

كريستوف شيلر Christoph Schiller

جبل الحركة

مغامرة الفيزياء

المجلد الأول

السقوط ، التدفق و الحرارة

الطبعة 30 ، متوفرة مجانا بشكل pdf

مع الأفلام من www.motionmountain.net

ترجم إلى العربية من النسخة الإنجليزية من قبل :

أحمد باسل رضوان

Translated from English into Arabic

by : Ahmad Bassel Radwan

الطبعة الثلاثين

حقوق الملكية © 2018 – 1990 لكريستوف شيلر

من السنة الثالث للأولمبياد الرابع و العشرين

إلى السنة الثانية للأولمبياد الحادي و الثلاثين



إن pdf هذا مرخص بموجب النسبة غير التجارية المشتركة / العامة الإبداعية للأعمال غير المستمدة من غيرها للرخصة الألمانية 3.0 التي نصها الكامل موجود على موقع الإنترنت creativecommons.org/license/by-nc-nd/3.0/de

مع قيد إضافي بأن النسخ ، التوزيع و الاستخدام كليا أو جزئيا ، لأي مادة أو خدمة ، سواء كانت تجارية أو لا ، غير مسموحة بدون موافقة خطية من مالك حق الملكية . و ملف pdf كان و سيبقى مجانا لكل شخص ليقرأه ، يخزنه و يطبعه للاستخدام الشخصي و يوزع إلكترونيا ، ولكن فقط بدون تعديل و بدون مقابل .

إلى بريتا ، إستر و جوستوس آرون

τῷ ἐμοὶ δαίμονι

Die Menschen stärken , die Sachen klären

في اختلاف الناس تتضح الأشياء

مقدمة

" تحرك أولا ، ثم تعلم " *

عبارة / مقولة قديمة

هذا الكتاب السلسلة لأي شخص لديه فضول حول الحركة في الطبيعة . لكن السؤال كيف تتحرك الأشياء ، الناس ، الحيوانات ، الصور ، و الفضاء الخالي ؟

يفضي الجواب على هذا السؤال إلى العديد من المغامرات ، هذا المجلد يقدم أفضل المغامرات عن الحركة اليومية .

إن الملاحظة الدقيقة للحركة اليومية تمكّننا من استخلاص ست عبارات أساسية " الحركة اليومية مستمرة ، منحفظة / مصونة ، نسبية ، قابلة للانعكاس ، متطابقة و كسولة . نعم الطبيعة فعلا كسولة : في كل حركة هي تقلل للحد الأدنى من التغير .

هذا الكتاب يستعرض كيف تم استنتاج هذه النتائج الست وكيف أنها تتطابق مع كل الملاحظات التي يبدو أنها تتناقض معها.

في بنية الفيزياء الحديثة ، المبينة في الشكل 1 ، فإن النتائج حول الحركة اليومية تشكّل الجزء الرئيس من نقطة البداية في الأسفل . إن المجلد الحالي هو الأول من ست مجلدات تعرض لعلم الفيزياء . و هو ناتج عن هدف ثلاثي وضعته لنفسي منذ عام 1990 : تقديم الحركة بشكل بسيط ، حديث و آسر .

من أجل أن يكون بسيطا فإن النص يركز على المفاهيم ، بينما يبقي العلاقات الرياضية في حدها الأدنى اللازم و فهم المفاهيم الفيزيائية يعطى أولوية على استخدام العلاقات في الحسابات . إن كل النص هو ضمن متناول الطالب في مرحلة الدراسة الجامعية الأولى . و من أجل أن يكون حديثا ، النص غني بالعديد من الإضافات النظرية و التجريبية المنتشرة في جميع المراجع العلمية .

من أجل أن يكون آسرا فإن النص يحاول أن يبهر القارئ قدر المستطاع . إن قراءة كتاب في الفيزياء العامة يجب أن يكون مثل الذهاب لعرض سحري . حيث نشاهد ، و ندهش و لا نصدق أعيننا ، ثم نفكر و أخيرا نفهم الحيلة .

إن مقولة النص " يقوى الناس بفهم الأشياء " وهي عبارة شهيرة حول التعليم تترجم كما سبق و قلنا ، الالتزام فقط بالحقيقة يتطلب شجاعة حيث أن تغيير عادات الفكر ينتج خوفا الذي غالبا يتخفى بالغضب . و لكن بالتغلب على مخاوفنا

فإننا نكبر ونقوى . و عندها نعاني من شعور قوي / شديد و جميل . و كل المغامرات العظيمة في الحياة تسمح بهذا و استكشاف الحركة هو أحدها . فلتستمتعوا بها .

كريستوف شيلر

---

*أولا تحرك ثم تعلم . في اللغة الحديثة ، النوع المذكور من الحركة (القلب) يدعى الخفق / الحفز و كلا المصطلحين يعودان لنفس الجذر اللاتيني .

<u>الوصف النهائي الموحد للحركة</u>

المغامرات : الوصف الدقيق لكل الحركة ، فهم أصل الألوان ، الفراغ – الزمن و الجزيئات ، الاستمتاع بالتفكير المتطرف ، حساب الكتل و الارتباطات / الاقترانات ، الحصول على لمحة أخرى صغيرة من النعيم (المجلد 6)

السهم يشير إلى زيادة في الدقة بإضافة حد للحركة

الفيزياء : وصف الحركة بدقة ، أي استخدام مبدأ الفعل الأقل / أقل جهد .

النسبية العامة : المغامرات : في سماء الليل ، قياس الفضاء المنحني و المرتعش / المتذبذب و استكشاف الثقوب السوداء و الكون ، الفضاء و الزمن (المجلد 2) .

نظرية الكم مع الجاذبية / الثقالة الكلاسيكية : النترونات المرتدة ، فهم النمو الحر (المجلد 5)

مغامرات نظرية الحقل / المجال الكمي (النموذج المعياري): بناء مسرعات ، فهم الكواركات ، النجوم ، القنابل و أساس مادة الحياة ، المادة و الإشعاع (المجلد 5)

مغامرات الجاذبية / الثقالة الكلاسيكية : التسلق ، التزلج ، السفر في الفضاء ، عجائب علم الفلك و الجيولوجيا (المجلد 1) . حدود G ، الحركة المنتظمة

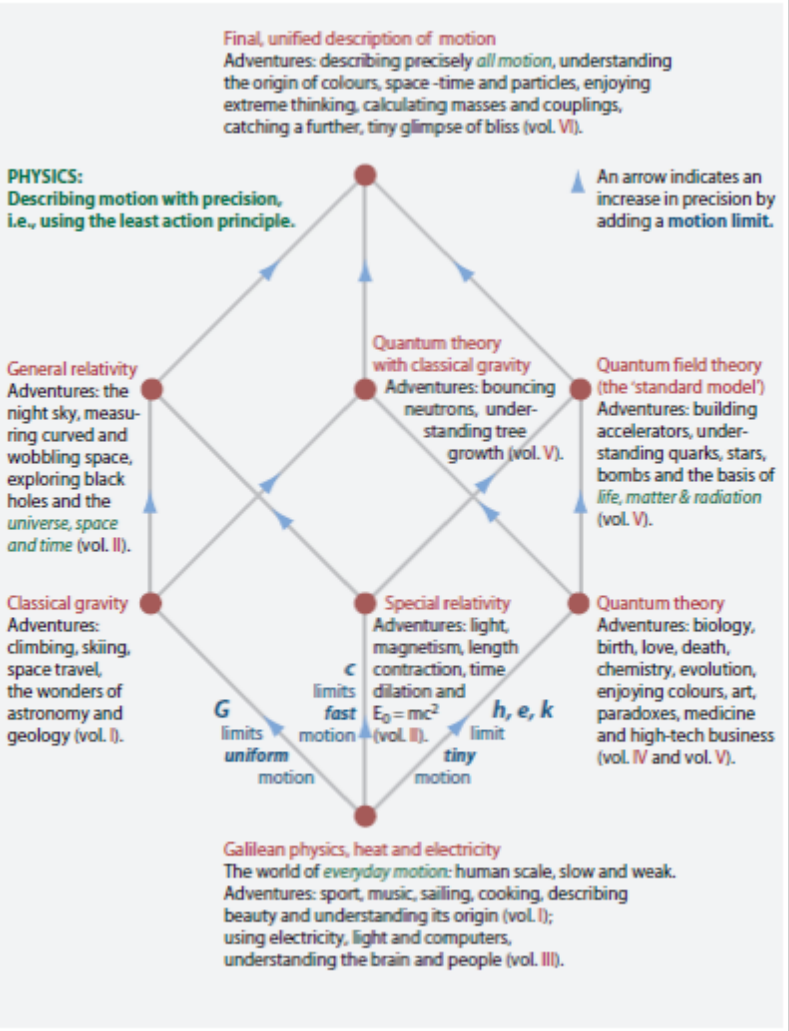
مغامرات النسبية الخاصة : الضوء ، المغناطيسية ، تقلص الطول ، تمدد الزمن و $E_0 = mc^2$ (المجلد 2) . حدود

h,e,k ، الحركة الصغيرة

مغامرات نظرية الكم : علم الحياة ، الولادة ، الحب ، الموت ، التطور ، الاستمتاع بالألوان ، الفن ، التناقضات ، الطب و الأعمال عالية التقانة (المجلد 5 & 4) .

فيزياء غاليليو ، الحرارة و الكهرباء : عالم الحركة اليومية : المقياس البشري ، البطيء و الضعيف .

مغامرات : الرياضة ، الموسيقى ، الإبحار ، الطبخ ، وصف الجمال وفهم أصله (المجلد 1). استخدام الكهرباء ، الضوء و الحاسبات ، فهم الدماغ و الناس (المجلد 3) .



الشكل 1 - خارطة كاملة للفيزياء ، علم الحركة كما اقترحت لأول مرة من قبل Matvei Bronshtein . مكعب Bronshtein يبدأ في الأسفل بالحركة اليومية و يبين الارتباطات بين حقول الفيزياء الحديثة . و كل ارتباط يزيد دقة الوصف و هو بسبب محدودية الحركة التي تؤخذ بالحسبان . إن الحدود معطاة من أجل الحركة المنتظمة بواسطة ثابت الجاذبية G و من أجل الحركة السريعة بواسطة سرعة الضوء c ومن أجل الحركة الصغيرة / الدقيقة بواسطة ثابت بلانك $\hbar$ و الشحنة الأولية e ، و ثابت بولتزمان k .

استخدام هذا الكتاب

إن الملاحظات في الهوامش هي للمراجع العلمية المعتمدة ، و لصفحات أخرى أو لتحديات إيجاد الحلول . وفي النسخة الملونة ، فإن الملاحظات الهامشية ، مؤشرات للملاحظات السفلية و روابط لمواقع إنترنت مطبوعة باللون الأخضر

وعبر الزمن الروابط على الإنترنت تختفي و أكثر الروابط يمكن استعادتها من خلال www.archive.org الذي يبقي على نسخة من صفحات الإنترنت القديمة . و في نسخة pdf المجانية ، المتوفرة على www.motionmountain.net فإن كل المؤشرات الخضراء و الروابط قابلة للنقر . و نسخة pdf أيضا تحتوي على كل الأفلام ، و يمكن مشاهدتها مباشرة في برنامج Adobe Reader .

إن الحلول و الإرشادات للتحديات معطاة في الملحق . التحديات مصنفة بأنها (e) سهلة ، ذات مستوى مناسب للطالب المعياري (s) و صعبة (d) و ذات مستوى خاص بالبحوث (r) . التحديات التي لا يوجد من أجلها حلول و التي لم يتم تضمينها بعد في الكتاب قد وضعت عليها علامة (ny) .

نصيحة للمتعلمين

التعلم يسمح لنا باكتشاف ما هو نوع الشخص الذي يمكن نحن أن نكون عليه و يوسع التعلم معرفتنا ، يحسّن من الذكاء و يعطي إحساسا بالإنجاز .بالتالي التعلم من كتاب ، خلاصة كتاب يبحث في الطبيعة ، يجب أن يكون فعالا و ممتعا . تجنب طرق التعلم السيئة مثل الطاعون . و لا تستخدم قلم تأشير أو قلم رصاص للإشارة أو وضع خط على النص الورقي . إنه مضيعة للوقت ، حيث يعطي راحة زائفة ويجعل النص غير قابل للقراءة . و لا تتعلم من شاشة ، و بشكل خاص لا تتعلم أبدا من الإنترنت ، من الفيديو ، من الألعاب أو من الهاتف الذكي . أكثر الإنترنت و تقريبا كل الفيديوهات و كل الألعاب سموم و مخدرات للدماغ . و إن الهواتف الذكية هي أوعية مخدرات التي تجعل الناس مدمنين و تمنعهم من التعلم و لا يوجد أي شخص يضع علامات على الورق أو ينظر لشاشة يتعلم بشكل فعال أو يستمتع بالقيام بذلك .

في رأيي كتلميذ و كمعلم ، إحدى طرق التعلم التي لا تخطئ أبدا هي تحويل التلاميذ غير الناجحين إلى ناجحين : إذا كنت تقرأ نصل لدراسته ، لخص كل فقرة تقرؤها ، بكلماتك الخاصة و صورك ، بصوت عال . إذا كنت غير قادر على القيام بذلك اقرأ الفقرة ثانية . كرر هذا حتى تلخص بوضوح ما قرأته بكلماتك الخاصة و صورك بصوت عال . واستمتع بأن تخبر و تقول بصوت عال أنه يمكنك القيام بذلك لوحدك أو مع الأصدقاء ـ في غرفة بينما تمشي . إذا قمت بذلك في كل شيء تقرؤه فإنك ستخفض زمن التعلم و القراءة بشكل كبير وسوف تستمتع بالتعلم من نصوص جيدة أكثر بكثير و تكره النصوص السيئة أقل بكثير . و إن أرباب هذه الطريقة يمكنهم أن يستخدموها حتى بينما يستمعون لمحاضرة ، بصوت منخفض و بالتالي يتجنبون تسجيل الملاحظات .

نصائح للمعلمين

إن المعلم يحب تلاميذه و يحب أن يقودهم لاستكشاف الحقل الذي يختاره و إن حماسته هي الأساس للرضا عن العمل و إذا كنت معلما قبل بدء الدرس ، صور ، اشعر و أخبر نفسك كم تستمتع بموضوع الدرس و بعدها صور واشعر و أخبر نفسك كيف ستقود كلا من تلاميذك ليستمتعوا بالموضوع كما استمتعت أنت ، و قم بهذا التمرين لشكل واع ، كل يوم و سوف تقلل من المشاكل في صفك و تزيد من نجاحك في التعليم

هذا الكتاب لم يكتب بهدف عمل امتحانات ولكنه مكتوب لجعل المعلمين و الطلاب يفهمون و يستمتعون بالفيزياء ، علم الحركة .

الآراء

إن آخر إصدار pdf للكتاب هو وسيبقى مجانا للتحميل من الإنترنت . و يسعدني أن أتلقى منكم رسائل إلكترونية على عنواني fb@motionmountain.net ، خاصة حول القضايا التالية :

التحدي الأول

- ما هي الأمور غير الواضحة و التي يجب تحسينها ؟
- ما هي القصة ، الموضوع ، الأحجية ، الصورة أو الفيلم الذي لم تفهمه ؟

أيضا ساعد في نقاط خاصة واردة في صفحة الويب www.motionmountain.net/helplhtml والتي هي موضع ترحيب . و كل الآراء سيتم استخدامها لتحسين الإصدار التالي . و إنه مرحب بكم لإرسال الآراء بالبريد الإلكتروني على العنوان التالي fb@motionmountain.net خاصة حول القضايا التالية :

التحدي الأول

- ما هي الأمور غير الواضحة الواجب تحسينها ؟
- ما هي القصة ، الأحجية ، الصورة أو الفيلم الذي لم تفهمه ؟

أيضا المساعدة حول النقاط الخاصة الواردة في صفحة الويب www.motionmountain.net/help.html هي موضع ترحيب و كل الآراء ستستخدم لتحسين الإصدار التالي . و أنتم مرحب بكم لإرسال الآراء بالبريد الإلكتروني أو بإرسالها كملف pdf مع إضافة ملاحظات باللون الأصفر لإعطاء توضيحات أو صور أو المساهمة في التصويب للأخطاء على موقع الويب و إذا كنتم ترغبون بترجمة فصل من الكتاب إلى لغتكم أخبروني من فضلكم . و باسم كل القراء ، أتقدم بالشكر لكم مقدما من أجل مجهودكم في ذلك ، و من أجل أي مساهمة مفيدة خاصة ستذكرون – إذا أردتم - في الثناءات / التقديرات و تتلقوا مكافأة أو كلاهما .

الدعم

إن تبرعكم للمنظمة الخيرية ، غير الربحية المعفاة من الضريبة التي تنتج ، تترجم و تنشر هذه السلسلة من الكتب هو موضع ترحيب . من أجل التفاصيل ، أنظروا من فضلكم في صفحة الويب www.motionmountain.net/donation.html إن مكتب الضرائب الألماني يتأكد الاستخدام الصحيح مسبقا من أجل مساعدتكم باسم كل القراء عبر العالم . إن الإصدار الورقي للكتاب متوفر ، إما بشكل ملون أو بالأبيض و الأسود من www.amayon.com أو www.createspace.com . و الآن استمتعوا بالقراءة .

المحتويات

15 1 **لماذا علينا أن نهتم بالحركة**

هل الحركة موجودة ؟ 16 . كيف علينا الحديث حول الحركة ؟ 18 . ما هي أنواع الحركة ؟ 20 . التصور ، الدوام و التغير . 25 . هل العالم بحاجة لحالات ؟ 27 . فيزياء غاليليو في ستة عبارات ممتعة 29 . الفضول و تحديات المرح حول الحركة 30 . ملخص عن الحركة 33

34 2 **من قياس الحركة إلى الاستمرارية**

ما هي السرعة ؟ ما هي السرعة ؟ 35 . ما هو الزمن ؟ 40 . الساعات 44 . لماذا تدور الساعات بهذا الاتجاه ؟ 48 . هل يتدفق / يجري الزمن ؟ ما هو الفضاء / الفراغ ؟ 49 .هل الفراغ

و الزمن مطلقان أم نسبيان ؟ 52 . الحجم – لماذا يوجد القياس و المساحة ، و لكن لا يوجد الحجم ؟ 52 . ما هو المستقيم / الاستقامة ؟ 59 . ما هي الأرض المجوفة ؟ 60 الفضول و تحديات المرح حول الفراغ و الزمن اليومي ؟ 61 . ملخص حول الفراغ و الزمن اليومي 73 .

75 3 **كيف نصف الحركة – الكينماتيك**

الرمي ، القفز و الإطلاق 78 . الاستمتاع بالأشعة 80 . ما هي الراحة ؟ ما هي السرعة ؟ 81 . التسارع ؟ 84 . من الأشياء إلى الجزيئات النقطية 85 . السيقان و العجلات 89 . تحديات الفضول و المرح حول الكينماتيك 92 . ملخص عن الكينماتيك 96

98 4 **من الأشياء و الصور إلى الملاحظة**

الحركة و التماس 99 . ما هي الكتلة ؟ 100 . كمية الحركة و الكتلة 102 هل الحركة خالدة ؟ - انحفاظ / مصونية كمية الحركة 107 . مزيد من الانحفاظ –الطاقة 110 . الجداء التصالبي أو الجداءالشعاعي 113 . العزم الدوراني و الزاوي 116 . العجلات الدوارة 120 . كيف نمشي و نركض ؟ 121 . الفضول و تحديات المرح حول الكتلة ، الانحفاظ و الدوران 123 . ملخص عن

الانحفاظ في الحركة 133

135 5 **من دوران الأرض إلى نسبية الحركة ؟**

كيف تدور الأرض ؟ 145 هل تتحرك الأرض ؟ 150 . هل السرعة مطلقة ؟نظرية النسبية اليومية 156 . هل الدوران نسبي ؟ 158 . فضول و تحديات المرح حول الدوران و النسبية 158 . السيقان أو العجلات ؟ - مرة ثانية 168 .ملخص عن النسبية الغاليلية 172

173 6 **الحركة بسبب الجاذبية**

الجاذبية كحد للحركة المنتظمة 173 . الجاذبية في السماء 174 . الجاذبية على الأرض 178 . خواص الجاذبية : 182 G & g. الكمون الجاذبي 186 . شكل الأرض 188 . الديناميك – كيف تتحرك الأشياء في أبعاد مختلفة ؟ 189 . القمر 190 . المدارات – المقاطع المخروطية و أكثر 192.

المد و الجزر 197 . هل يمكن للضوء أن يسقط ؟ 201 الكتلة : العطالية و الجاذبية 202 .الفضول و تحديات المرح حول الجاذبية 204 . ملخص عن الجاذبية 224

225 7 **الميكانيك الكلاسيكي ، القوة و قابلية توقع الحركة .**

هل يجب على المرء استخدام القوة ؟ 226 . القوى ، الأسطح و الانحفاظ 230 . الاحتكاك و الحركة 231 . الاحتكاك ، الرياضة ، الآلات و قابلية التوقع 233 .الحالات الكاملة - الشروط الابتدائية 236 . هل توجد مفاجئات ؟ هل المستقبل محدد ؟ 237 . الإرادة الحرة 240 . ملخص عن قابلية التوقع 241 . من قابلية التوقع إلى الوصف الشامل للحركة 241 .

247 8 **قياس التغير في الفعل / العمل**

مبدأ أقل فعل 252 . اللاغرانجيان و الحركة 235 . لماذا الحركة تكون غالبا محدودة ؟ 256 فضول و تحديات مرحة حول اللاغرانجيان 260 .ملخص عن الفعل 263

265 9 **الحركة و التناظر**

ماذا يمكن أن نفكر و نتحدث عن العالم ؟ 269 . وجهات نظر 270 . التناظرات و المجموعات 271. المضاريب / المضاعفات 272 . التمثيلات 274 . التناظرات و مفردات الحركة 275 . قابلية التكرار ، الانحفاظ و نظرية نويثر 279 ؟ قلب / عكس الإنجابية و عكس الحركة 283 . تناظرات التأثير المتبادل 284 . فوضل و تحديات مرحة حول التناظر 284 . ملخص حول التناظر 285

287 10 **الحركات البسيطة للأجسام الممتدة – التذبذبات و الأمواج**

التذبذبات 287 . التخامد 288 . التجاوب 290 . الأمواج : العامة و التوافقية 292 . أمواج الماء 294الأمواج وحركتها 299 . لماذا يمكننا التحدث مع بعضنا البعض ؟-مبدأ هويغنيز 303 . معادلات الموجة 304 . لماذا أصوات الموسيقى و الغناء جميلة ؟ 306 . قياس الصوت 309 . هل التصوير بالأمواج فوق الصوتية آمن للأطفال ؟ 312 . الإشارات 313 . الأمواج المنفردة و السوليتونات 315فضول و تحديات مرحة حول الأمواج و التذبذب 317 . ملخص حول الأمواج و الاهتزازات 330

331 11 **هل الأجسام الممتدة موجودة ؟ - حدود الاستمرارية**

الجبال و الفراكتالات 331 . هل يمكن لقضيب الشوكولا أن يدوم للأبد ؟ 331 . حالة غاليليو غاليلاي 333 . كم يبلغ ارتفاع قفزة الحيوانات ؟ 335 . أشجار القطع 336 كرات ذات بعض الصلابة 337 . صوت الصمت 338 . كيف تعد ما لا يمكن رؤيته 338 الإحساس بالذرات 340 . رؤية الذرات 342 . فضول و تحديات مرحة حول الأجسام الصلبة و الذرات 343 . ملخص حول الذرات ملخص حول الذرات 349

352 12 **السوائل/ الموائع و حركتها**

ما الذي يمكن أن يتحرك في الطبيعة ؟ - تدفقات من كل الأنواع 352 . حالة المائع 355 .التدفق الصفحي و الدوامي 359 . الغلاف الجوي . الغلاف الجوي 362 . فيزياء الدم و التنفس 365 . فضول و تحديات مرحة حول الموائع 367 . ملخص حول الموائع 380 .

381 13 **حول الحرارة و عدم تغير انعكاس الحركة**

درجة الحرارة 381 الطاقة الحرارية 385 . لماذا تنطلق المناطيد في الهواء ؟ - نهاية الاستمرارية 387الحركة البراونية الحركة البراونية 389 لماذا لا يمكن للأحجار أن تكون لا ملساء / انسيابية و الفراكتال ، و لا مصنوعة من الكرات ذات الصلابة القليلة 392 . الإنتروبي 393 . الإنتروبي من الجزيئات 396 . الإنتروبي الأصغري للطبيعة – كم المعلومات للطبيعة – كم المعلومات 397 هل كل شيء مكون من جزيئات ؟ 398 . المبدأ الثاني في الترموديناميك 400 لماذا لا يمكننا تذكر المستقبل ؟ 402 . تدفق الإنتروبي 402 هل توجد الأنظمة المعزولة ؟ 403 . فضول و تحديات مرحة حول قابلية الانعكاس و الحرارة 403 . ملخص حول الحرارة و عدم التغير الزمني 411

413 14 **التنظيم الذاتي و الفوضى – بساطة التعقيد**

شكل النظام 416 . التنظيم الذاتي في الرمل 418 . التنظيم الذاتي للكرات 420 . شروط شكل النظام420 رياضيات شكل النظام 421 . الفوضى 422 . الظهور / الانبلاج 424 فضول وتحديات حول التنظيم الذاتي 425 . ملخص حول التنظيم الذاتي و الفوضى 431 .

432 15 **من حدود الفيزياء إلى حدود الحركة**

مواضيع البحث في الديناميك الكلاسيكي 438 ما هو التماس 433 . ما الذي يحدد الضبط و الدقة ؟ 434 . هل يمكن لكل الطبيعة أن توصف في كتاب ؟ 434 شيء ما خطأ حول وصفنا للحركة 435 . لماذا القياس ممكن ؟ 436 . هل الحركة غير محدودة ؟ 436 .

438 A **المفاهيم و الاصطلاحات**

الأبجدية اللاتينية 438 الأبجدية الإغريقية 440 . الأبجدية العبرية و أنظمة كتابة أخرى 441 . الأعداد و الأرقام الهندية 442 . الرموز المستخدمة في النص 443 . الموقتات 446 . أسماء الناس 447 . مختصرات و أسماء ممنوحة / ألقاب أو مفاهيم ؟ 448 .

449 B **واحدات ، قياسات و ثوابت**

وحدات SI المترية الدولية 449 . معنى القياس 452 . فضول و تحديات مرحة حول الواحدات 452 الضبط و دقة القياسات 455 . حدود الإحكام 456 . الثوابت الفيزيائية 457 . الأرقام المفيدة 464 .

465 C **مصادر معلومات الحركة**

471 **إشارات عن التحديات و الحلول**

519 **المراجع**

552 **الإضافات / التوثيقات / مصادر**

امتنان 552 توثيقات أفلام 553 توثيقات / مصادر صور 553

560 **دليل الأسماء**

573 **دليل المواضيع**



السقوط ، التدفق و الحرارة

في سعينا لتعلم كيف تتحرك الأشياء ،

فإن خبرة التسلق و الحركات الأخرى

تؤدي بنا إلى إدخال مفاهيم السرعة ، الكتلة ودرجة الحرارة .

إننا نتعلم كيف نستخدمهم لقياس التغير

ونجد تلك الطبيعة التي تقلل منه .

وإننا نكتشف كيف نعوم في الفضاء الحر ،

لماذا لدينا أرجل بدلا من العجلات ،

لماذا لا يمكن أبدا إزالة الإصابة / الاضطراب

ولماذا إحدى أهم القضايا المفتوحة و الأكثر صعوبة

في العلم هي تدفق الماء عبر أنبوب .

الفصل الأول

لماذا يجب أن نهتم بالحركة ؟

" كل الحركة هي وهم .

زينو من إلياء "

وام ! البرق يضرب الشجرة القريبة بعنف و يزيل هدوء مشينا في الغابة و يجعل قلوبنا تنبض فجأة بشكل أسرع . في أعلى الشجرة نرى النار تضطرم وتخبو ثانية . الريح اللطيفة تحرك الأوراق حولناتساعد في استعادة الهدوء للمكان . في القريب ، الماء من نره صغير يتبع طريقه المعقد لأسفل الوادي ، و يعكس سطحه أشكال التغير المستمرة للغيوم .

الحركة هي في كل مكان : ودودة و خطرة ، مريعة و جميلة . هي أساسية لوجودنا البشري . نحن نحتاج للحركة كي نكبر ، كي نتعلم ، كي نفكر ، من أجل أن نبقى أصحاء و نستمتع بالحياة . نحن نستخدم الحركة للمشي عبر الغابة من أجل الاستماع للضجيج و من أجل الحديث عن كل هذا . مثل كل الحيوانات ، نحن نعتمد على الحركة من أجل الحصول على الطعام ، و النجاة من الخطر . مثل كل الكائنات الحية ، نحن نحتاج للحركة كي نتكاثر ، من أجل التنفس و الهضم . مثل كل الأشياء ،الحركة تبقينا دافئين .

الحركة هي الملاحظة الأكثر أساسية للطبيعة بشكل أعم / كبير . و ينتج أن كل شيء يحدث في العالم هو نوع من الحركة . ليس هناك استثناءات .

الحركة هي ذلك الجزء الأساسي من ملاحظاتنا التي تكون بحيث أن أصل الكلمة يضيع في ظلام التاريخ اللغوي الهندو أوربي . إن سحر الحركة كان دائما موضوعا مفضلا للفضول . وفي القرن الخامس قبل الميلاد في اليونان القديمة بدأت

(مرجع 1) دراسة الحركة تأخذ اسم : الفيزياء :

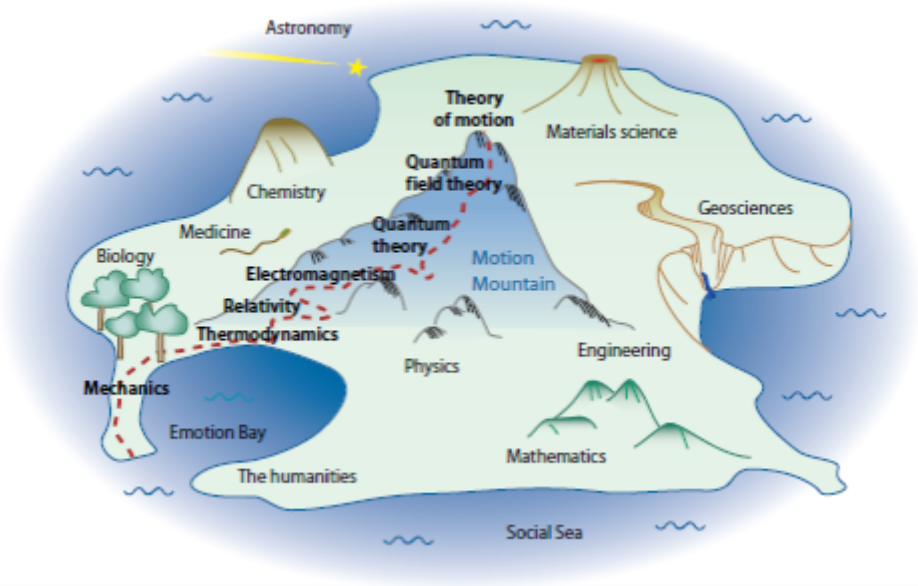
الحركة هي أيضا مهمة للحالة البشرية . ماذا يمكن أن نعرف ؟ من أين أتى العالم ؟ من نحن ؟ من أين أتينا ؟ ماذا سنفعل ؟ ماذا يجب أن نفعل ؟ بماذا سيأتي المستقبل ؟ ما هو الموت ؟ إلى أين تؤدي الحياة ؟ كل هذه الأسئلة هي حول الحركة . و دراسة الحركة تعطي إجابات عميقة ومدهشة .

(المرجع 2) الحركة هي غامضة . بالرغم من أنها موجودة في كل مكان – في النجوم ، في المد و الجزر ، في جفوننا – حيث أنه لا المفكرون القدماء و لا أكثر الآخرين في القرون الـ 25 منذ ذلك الحين كانوا قادرين على إلقاء الضوء على الغموض المركزي : ما هي الحركة ؟ هل سنكتشف أن الإجابة القياسية هي " الحركة هي تغير المكان في الزمن " ، هذا صحيح و لكن غير دقيقة .

تماما في وقت قريب مؤخرا وجدت الإجابة النهائية الكاملة . و هي القصة التي سنقوم بالبحث عنها فالحركة هي جزء من الخبرة البشرية . إذا تخلينا أن خبرة البشر جزيرة ،بالتالي الكثافة ، التي ترمز لها أمواج البحر ، تحملنا إلى شاطئها .

زينو من إلياء "

(تقريبا عاش في 450 قبل الميلاد) وهو أحد دعاة المدرسة الإليائية للفلسفة .



الشكل 2 جزيرة الخبرة ، حيث يتم متابعة جبل الحركة و المسار

قرب مركز الجزيرة هناك جبل عال يقف منتصبا . و من قمته يمكننا أن نرى كل المشهد و الحصول على انطباع للعلاقات بين كل الخبرات البشرية ، وبشكل خاص بين الأمثلة المختلفة للحركة . هذا دليل للوصول إلى قيمة ما اسميه جبل الحركة

(أنظر الشكل 2 ، الشكل الأقل رمزية و أكثر دقة صفحة 8 / في الشكل 1) . إن التسلق هو إحدى أجمل المغامرات في العقل البشري .

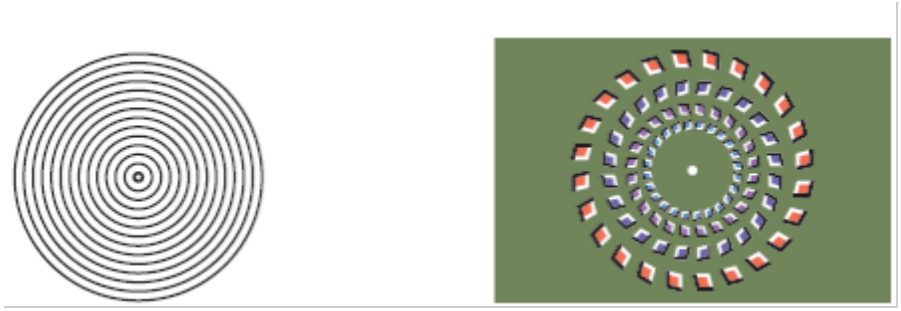
أول سؤال نسأله هو : هل توجد الحركة ؟

"لا يوجد أحجيات و لكن إذا كان هناك سؤال فإنه يمكن الإجابة عليه "

لودفيج فيتغنشتاين ، تراكتاتوس 6.5

لشحذ الذهن حول قضية وجود الحركة ، لننظر للشكل 3 أو المرجع 3/ الشكل 4 و نتبع التعليمات . في كل الحالات الشكلين يبدوان مدوران . يمكنك أن تعاين تأثيرات مشابهة إذا مشيت فوق رصف من أحجار الرصف المرتبة في نماذج قوسية أو إذا نظرت إلى التوهمات الحركية الكثيرة المجموعة من قبل كيتاوكا أكيوشي المرجع 4 / www.ritsumei.ac.jp/~akitoka . كيف يمكنك التأكد من أن الحركة الحقيقية التحدي الثاني / مختلفة عن هذه أو الأوهام المشابهة الأخرى ؟

إن العديد من الباحثين قالوا ببساطة أن الحركة غير موجودة على الإطلاق . إن مقولاتهم (المرجع 5) تأثرت بعمق بدراسة الحركة خلال عدة قرون .



الشكل 3 أوهام الحركة : أنظر للشكل إلى اليسار و حرك الصفحة بشكل طفيف ، أو انظر للنقطة البيضاء في مركز الشكل إلى اليمين و حرك رأسك للخلف و الأمام .

مثلا الفيلسوف الإغريقي بارمينيدس (ولد تقريبا في 515 قبل الميلاد في إلياء ، وهي بلدة صغيرة قرب نابولي) قال نظرا بأنه لا شيء يأتي من لا شيء ، فالتغير غير موجود . و قد قلل من أهمية استمرار الطبيعة و بالتالي قال بشكل منسجم أن كل التغير و بالتالي كل الحركة هي وهم (المرجع 6) .

هيراكليتوس (من 540 إلى 480) قال بالرأي المعاكس . لقد عبّر عنه في عبارته الشهيرة " كل شيء يتدفق " وقد رأى التغير كجوهر / أساس للطبيعة على عكس بارمينيدس. هذين الرأيين الشهيرين بنفس القدر حرضا الكثير من الباحثين على البحث بمزيد من التفصيل فيما إذا كان في الطبيعة كميات منحفظة / مصونة أو فيما إذا كان الخلق مستحيلا . و سوف نكشف عن الجواب لاحقا ، وحتى ذلك الحين يمكنك التفكير في أي خيار تفضل (تحدي 3).

إن بارمينيدس مساعد زينو من إلياء (المولود تقريبا في 500 قبل الميلاد) قال مناهضا بشدة الحركة بأن بعض الناس ما يزالون قلقين حول ذلك اليوم . و في إحدى مقولاته قال بلغة بسيطة – أنه من المستحيل أن نصفع أحدا ما نظرا لأن اليد في البداية تكون قد قطعت نصف المسافة للوجه ، و بالتالي الانتقال عبر النصف الثاني من المسافة هو الباقي بالتالي ثانية يكون ، و هكذا ، بين اللانهاية و عكسها ، النهاية ، في وصف الحركة .

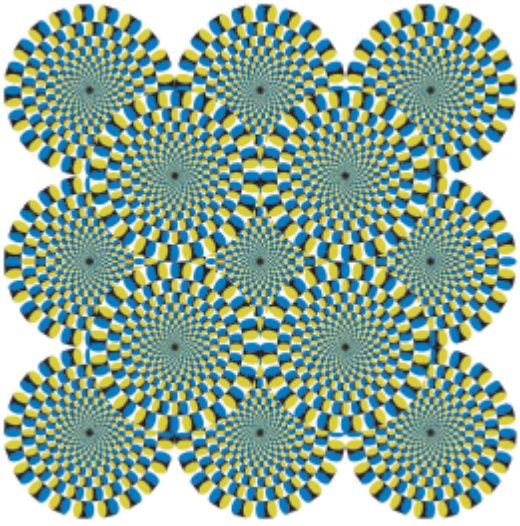
(المرجع 7) في نظرية الكم الحديثة فإن القضية المرتبطة بذلك هي موضوع بحث حتى هذا اليوم .

زينو أيضا قال أنه بالنظر إلى الجسم المتحرك في لحظة وحيدة من الزمن لا يمكن للمرء أن يتحقق من أنه يتحرك . و قد قال أنه عند لحظة واحدة من الزمن فإن لا يكون هناك فرق بين الجسم المتحرك و الساكن . و استنتج بالتالي أنه إذا لم يكن هناك فرق في وقت / زمن وحيد ، فإنه لن يكون هناك فرق في الأزمنة الأطول . و بالتالي تساءل زينو فيما إذا كانت الحركة يمكن تمييزها بوضوح عن نقيضها / عكسها ، السكون / الراحة . و في الحقيقة في تاريخ الفيزياء فإن المفكرين تذبذبوا بين الإجابة الإيجابية و السلبية . و كان هو السؤال بعينه الذي أدى بأينشتاين لتطوير / وضع النسبية العامة ، و هي إحدى النقاط المهمة في رحلتنا . و في مغامرتنا فإننا سوف نستكشف كل الفروقات المعلومة بين الحركة و السكون . و في النهاية سنتجاسر على السؤال فيما إذا كانت لحظات وحيدة من الزمن هي موجودة فعلا . و الإجابة على هذا السؤال هي أمر أساسي للوصول إلى قمة جبل الحركة .

عندما نستكشف النظرية سوف نكتشف أن الحركة في الحقيقة بدرجة معينة هي وهم كما قال باريمينديس , و بشكل أكثر دقة سنبين أن الحركة تلاحظ فقط بسبب حدود الوضعية / الحالة البشرية . و سوف نجد أننا نختبر الحركة فقط بسبب

---

*الملحق A يشرح كيفية قراءة نص إغريقي



الشكل 4 – قم بتكبير هذه الصورة إلى حجم كبير أو اقترب منها بشكل وثيق من أجل الاستمتاع بحركتها الظاهرة
(حقوق النسخ مايكل باخ Michael Bach من كتاب اكتشاف Kitaoka Akiyosihi).

- إننا بحجم منتهي
- إننا مصنوعين من عدد كبير جدا و لكن منتهي من الذرات
- لدينا درجة حرارة منتهية و لكن معتدلة
- نتحرك بسرعة أقل من سرعة الضوء
- نعيش في أبعاد ثلاثية
- نحن كبيرون بالمقارنة مع الثقب الأسود ذو كتلة تساوي كلتنا
- نحن صغيرون بالمقارنة مع الكون
- لدينا ذاكرة تعمل و لكنها محدودة

- نحن مجبرون من قبل أدمغتنا على تقريب الفضاء و الزمن واعتبارهما أشياء مستمرة و

- نحن مجبرون من قبل أدمغتنا على تقريب الطبيعة واعتبارها مكونة من أجزاء مختلفة . إذا لم تتحقق أي من الشروط هذه فإننا لن نلاحظ الحركة ، الحركة بالتالي سوف لن توجد . إذا لم تكن كافية ، لاحظ لا يوجد أي من الشروط خاصة ببني البشر حيث أنها مقبولة بالنسبة للعديد من الحيوانات و الآلات . و كل من هذه الشروط

يمكن كشفها بشكل أكثر فعالية إذا بدأنا بالأسئلة التالية :

كيف يمكننا الحديث حول الحركة ؟

" أكره الحركة التي تزيح الخطوط / تغير الأشكال

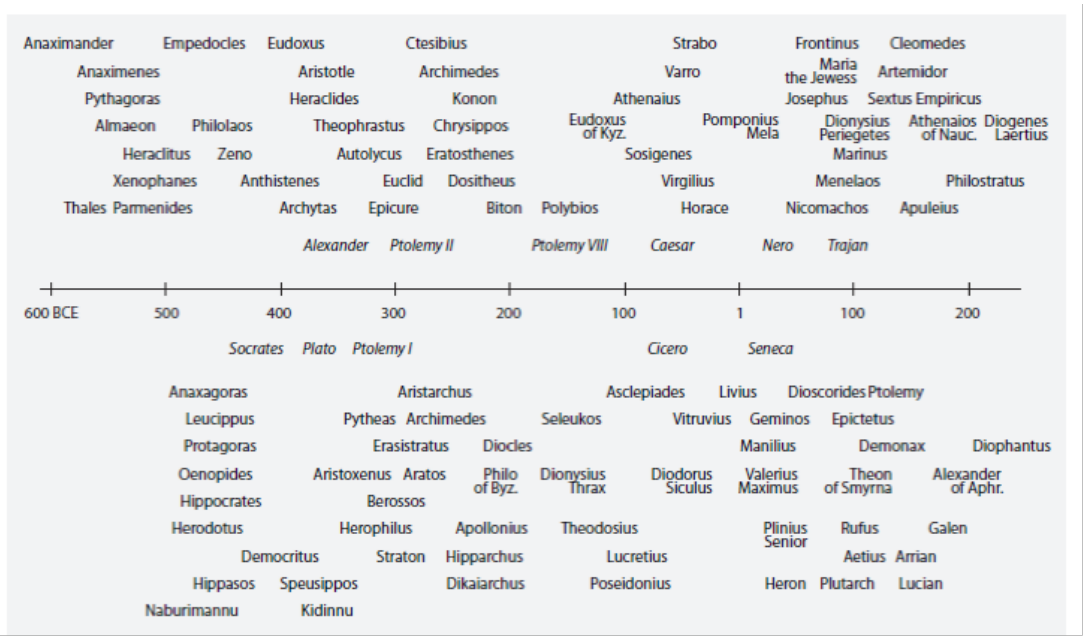
و دائما لا يصيبني البكاء و لا يصيبني الضحك "

شارل بودلير ، الجمال

مثل أي علم ، فإن منهج الفيزياء هو في منحيين : الأول نتقدم بالدقة precision و بالفضول . و الدقة هي الدرجة التي تطابق بها أوصافنا القياسات .

--

شارل بودلير (ولد في باريس 1821 وتوفي فيها في 1867) الجمال : " أكره الحركة التي تزيح الخطوط / تغير الأشكال و دائما لا يصيبني البكاء و لا يصيبني الضحك "
المرجع 8 /



الشكل 5 – الخط الزمني للشخصيات العلمية و السياسية في الأزمنة القديمة . الحرف الأخير هو اسم مرتبط بسنة الوفاة . مثلا ماريا الشابة هي مخترع عملية خبز ماري و تالس هو ألو رياضي و عالم معروف بالاسم .

الفضول هو شغف الذي يقود كل العلماء . و الدقة تجعل الاتصال ذو المعنى ممكنا ، و الفضول يجعله ذو قيمة . لنأخذ الكسوف ، هو قطعة موسيقية جميلة (المرجع 9) أو عمل بطولي في الألعاب الأولمبية : العالم مليء بالأمثلة الرائعة عن الحركة .

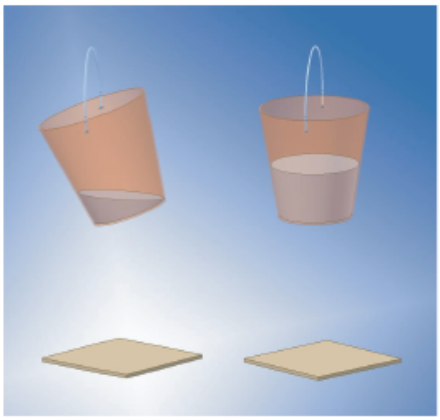
إذا وجدت نفسك مرة تتحدث عن الحركة ، سواء كنت تفهمها بشكل أكثر دقة أو أكثر عمقا ، فإنك تتخذ خطوات باتجاه تحريك / جبل الحركة , الأمثلة في الشكل 6 تبين هذه النقطة . إن الدلو الفارغ يقف بشكل شاقولي . عندما تملأ الدلو بالماء فإنه لا يقف بشكل شاقولي (لماذا ؟) . إذا استمريت بإضافة الماء فإنه يبدأ بالوقوف شاقوليا ثانية . كم مقدار الماء

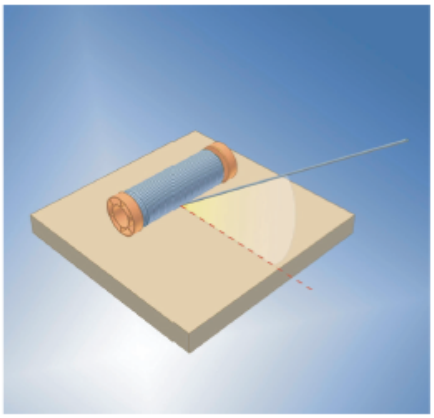
اللازم التحدي الرابع / لهذا التحول الأخير؟ التوضيح الثاني في الشكل 6 هو من أجل الأحجية التالية . عندما تسحب خيطا من بكرة بالشكل المبين فإن البكرة ستتحرك إما للأمام أو للخلف ، تبعا لزاوية السحب . ما هي الزاوية المحددة بين الإمكانيتين ؟

تعني الدقة العالية الدخول في التفاصيل الدقيقة . إن كونك متناغم مع التفاصيل يخلق في الحقيقة سعادة المغامرة . * الشكل 7 يبين مثال عن ذلك . كلما صعدنا لأعلى الجبل كلما استطعنا أن ترى أكثر و كلما تم إشباع فضولنا أكثر .

إن المناظر التي نراها خلابة ، خاصة من أعلى القمة . الطريق الذي سنسلكه - وهو أحد الطرق العديدة الممكنة – يبدأ من ناحية علم الحياة و مباشرة يدخل المرجع 10 / الغابة التي تقع في سفح الجبل .

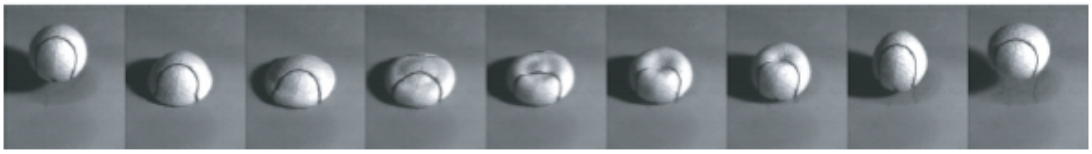
التحدي السادس : لا تثق بأي شخص يريد الحديث عن تفاصيل البحث . إنه يحاول خداعك . التفاصيل مهمة . كن يقظا خلال الرحلة .





الشكل 6 كم مقدار الماء اللازم لجعل الدلو يقف بشكل شاقولي ؟ عند أي زاوية البكرة

التحدي الخامس / (المرسومة بشكل غير صحيح ، بحواف صغيرة جدا) يتغير اتجاه الحركة عندما تسحب على طول الخيط ؟



الشكل 7 مثال عن مقدار دقة الملاحظة التي يمكن أن تؤدي لاكتشاف تأثيرات جديدة :التشوه في كرة التنس خلال الارتداد السريع بسرعة 6 متر بالثانية .

إن الفضول الشديد يقودنا إلى المضي مباشرة إلى الحدود : فهم الحركة يتطلباستكشاف أكبر المسافات ، أعلى السرعات ، أصغر الجزيئات ، أقوى القوى ، و أعلى الدقة و أغرب المفاهيم . لنبدأ الرحلة .

ما هي أنواع الحركة ؟

" كل حركة تولد الرغبة في التغيير "

قول مأثور

إن المكان الجيد للحصول على عرض لأنواع الحركة هو مكتبة كبيرة . الجدول 1 يبين النتائج . إن المجالات التي فيها الحركة ، التحركات و التحريكات تلعب دورا هي في الحقيقة متنوعة . إن الباحثين الأوائل في اليونان القديمة . – الواردين في الشكل 5 –كان لديهم شك أن كل أنواع الحركة ، و أيضا العديد من أنواع التغير الأخرى هي مرتبطة ببعضها . و وهذه الأنواع من التغيرات المعروفة عادة بالشكل التالي :

1. النقل : النوع الوحيد من التغيير الذي سندعوه بالحركة في الحياة اليومية هو نقل المادة ،مثل شخص يمشي ، ورقة تسقط من شجرة ، أداة موسيقية تعزف . و النقل هو تغير الموضع أو الاتجاه لأشياء ، بما فيها الموائع / السوائل . بدرجة كبيرة ، سلوك الناس أيضا يقع ضمن هذا النوع .
2. التحويل . النوع الآخر لملاحظات / قياسات مجموعات التغيير مثل انحلال ملح في الماء ، تشكل الجليد بواسطة التجمد ، تعفن الخشب ، طبخ الطعام ، تخثر الدم ، و انصهار و سباكة المعادن .

الجدول 1 – محتوى الكتب حول الحركة التي وجدت في مكتبة عامة

مواضيع الحركة	مواضيع الحركة
صور الحركة و التأثيرات الرقمية	الحركة كعلاج للسرطان ، السكري ، حب الشباب و الاكتئاب
تصور الحركة / المرجع 11	مرض الحركة
الحركة من أجل الرشاقة و الصحة	الحركة من أجل الروحانيات
التحكم بالحركة و التدريب في الرياضة و الغناء	إمكانية الحركة كفحص للصحة
الحركة كدليل على الآلهة المتعددة / المرجع 12	حركة الكواكب ، النجوم و الملائكة / المرجع 13
المردود الاقتصادي للحركة	الارتباط بين العادات الحركية و الشعورية / الانفعالية
الحركة كمساعد للتغلب على الرض	الحركة كعلاج نفسي / المرجع 14
حركة الحشرات ، الخيول ، الحيوانات و الروبوت	حركة الخلايا و النباتات
اصطدام الذرات ، السيارات ، النجوم و المجرات	نمو الكائنات متعددة الخلايا ، الجبال ، البقع الشمسية و المجرات
حركة النوابض ، الوصلات ، الآليات ، السوائل و الغازات	حركة القارات ، أسراب الطيور ، الظلال و الفضاء الحر

الفوضى / الثورة و العنف	الحركة في الفنون الحربية
الحركات في البرلمان	الحركات في الفن ، العلم و السياسة
الحركات في الساعات	الحركات في سوق البورصة
الحركة في التعليم و التعلم	الحركة في نمو الأطفال / المرجع 15
الحركات الموسيقية	حركات القوات / المرجع 16
الحركات الدينية	حركات الأمعاء
الحركات في الشطرنج	حركات الغش في الكازينوهات / الملاهي / المرجع 17
الربط بين المنتج القومي و حركة المواطنين	

هذه التغيرات في اللون ، السطوع ، الصلابة ، درجة الحرارة ،و خواص المادة الأخرى هي كلها تحولات . و التحولات هي تغيرات مرئية غير مرتبطة بالنقل . يمكن إضافة لهذا النوع الانبعاث / الإصدار و الامتصاص للضوء . و في القرن العشرين ، هذين الأثرين أثبت أنهما حالة خاصة من التحويلات ، حيث أنهما كانا شكلين مكتشفين حديثا لظهور و اختفاء المادة ، كما لوحظ في الشمس و النشاط الإشعاعي . إن تغير الفكر ، مثل التغير في المزاج ، (المرجع 18) الصحة ، التعليم و الشخصية ، هو أيضا (في الأغلب) نوع من التحويل .

(المرجع 19) النمو . هذا هو النوع الأخير و المهم بشكل خاص من التغير ، وقد لوحظ في الحيوانات ، النباتات ، الجراثيم ، البلورات ، الجبال ، الكواكب ، النجوم وحتى المجرات . وفي القرن التاسع عشر ، فإن التغيرات في أعداد / مجموعات الأنظمة ، التطور البيولوجي ، وفي القرن العشرين ، التغيرات في حجم الكون ، التطور الكوني ، أضيفت

لهذا النوع . و بشكل تقليدي ، فإن هذه الظواهر درست من قبل علوم منفصلة . و بشكل مستقل توصلوا إلى نتيجة مفادها أن النمو هو مجموع كل من النقل و التحويل . الفرق هو مرتبط بالتعقيدات و المقياس الزمني .



الشكل 8 – مثال عن النقل ، جبل إنتا

في بدايات العلم الحديث خلال عصر النهضة ، فإن دراسة النقل فقط كانت ترى هي موضوع للفيزياء . و الحركة كانت تعادل النقل . و المجالين الآخرين أهملا من قبل الفيزيائيين . بالرغم من هذا التقييد ، فإن حقل البحث ما يزال كبيرا ، الصفحة 16 / الذي يغطي جزءا كبيرا من جزيرة الخبرة . و إن الباحثين الأوائل فرقوا بين أنواع النقل حسب منشأها . الحركات مثل التي تعود للساقين أثناء المشي صنفت بأنها إرادية ، لأنه يتحكم بها من قبل الإرادة الذاتية ، بينما حركات الأجسام الخارجية مثل سقوط ندفة الثلج التي لا يمكن أن تتأثر بقوة الإرادة ، صنفت بأنها غير فعالة . و إن البشر الشباب ، خاصة البشر الذكور الشباب ، قضوا وقتا طويلا في تعلم الحركات الإرادية الشاقة . و المثال على ذلك مبين في الشكل 10.

التمييز الكامل بين الحركة غير الفعالة و الإرادية تتم من قبل الأطفال في عمر ست سنوات ، وهذا يؤشر على خطوة مركزية في تطور كل إنسان تجاه وصف البيئة *. من هذا التمييز ينبع التعريف التاريخي و هو الآن قديم للفيزياء ، بأنه علم حركة الأشياء غير الحية .

إن حلول عصر الآلات أجبر الباحثين على التمييز بين الحركة الإرادية وغير الفعالة . و مثل الأشياء الحية ، فإن الآلات تتحرك ذاتيا و بالتالي تحاكي الحركة الإرادية .

و لكن الملاحظة الدقيقة تبين أن كل جزء في آلة يحرك من قبل جزء آخر ، بحيث أن الحركة في الحقيقة غير فعالة . و لكن هل الأحياء أيضا آلات ؟

هل أعمال البشر هي غير فعالة أيضا ؟ إن تراكم الملاحظات في السنوات المائة الأخيرة جعل من الواضح أن الحركة الإرادية ** في الحقيقة لها نفس خواص الحركة غير الفعالة في الأنظمة غير الحية .

---

*إن الفشل في تجاوز هذه المرحلة كليا يؤدي بالشخص إلى تبني اعتقادات عديدة غريبة مثل الاعتقادبإمكانية التأثير على كرات الروليت و أجسام أخرى بالفكر ، كما وجد في اللاعبين القهريين، أو المقدرة على تحريك أجسام أخرى بالفكر ، كما وجد في أناس كثيرين يبدون خلافا لما هو عليه أصحاء . و الأمر المسلي و العلمي لكل الغش و خداع النفس قائم في خلق و تغذية هذه الاعتقادات أعطيت من قبل Jamed Randi ، اعتقاد / إيمان المطببين ، , Prometheus Books 1989 . وهو الساحر المختص ، الذي يقدم العديد من المواضيع المشابهة في كتبه الأخرى . أنظر أيضا موقع الويب www.randi.org لمزيد من التفاصيل **كلمة " حركة " هي حديثة ، وقد جلبت إلى اللغة الإنجليزية من الفرنسية القديمة و أصبحت شائعة فقط في نهاية القرن الثامن عشر , و هي لم تستخدم أبدا من قبل شكسبير .



الشكل 9 النقل ، النمو و التحويل



الشكل 10 إحدى الحركات الإرادية الأكثر صعوبة المعروفة ، تنفذ من قبل ألكسندر توسكانوف و هو أول رجل كان قادرا على فعل هذا ، بالقفز من عجلة لأخرى .

إن التمييز بين نوعين من الحركة هو بالتالي غير ضروري . بالطبع من وجهة النظر الشعورية ، فإن الفروقات (المرجع 20) هي مهمة ، مثلا ، الصلاة يمكن فقط نسبتها إلى الحركات الإرادية . نظرا لأن الحركة غير الفعالة و الإرادية لها نفس الخواص ، عن طريق دراسة حركة الأجسام غير الحية ، يمكننا تعلم شيئا ما عن الوضعية البشرية , هذا هو الأكثر وضوحا عندما نتعرض لموضوعات التحديد ، السببية ، الاحتمال ، اللانهاية ، الزمن ، الحب و الموت ، الاسم وهذه بعض المواضيع التي سوف نصادفها خلال مغامرتنا .

في القرنين التاسع عشر و العشرين فإن الاعتقادات الأخرى القائمة حول الحركة سقطت في الطريق . و إن الملاحظات الشاملة بينت أن كل ظواهر التحويلات و النمو بما فيها التغير السلوكي و التطور هي أيضا أمثلة عن النقل . بمعنى آخر ، أكثر من 2000 عام من الدراسة بينت أن التصنيف القديم للملاحظات كان عديم الفائدة :

- كل التغيرات هي نقل .

و

- النقل و الحركة هما نفسهما

في منتصف القرن العشرين فإن دراسة الحركة توجت بتأكيد تجريبي لفكرة أخرى خاصة حتى ، و التي وجدت سابقا في اليونان القديمة .

- كل نوع من التغير هو ناتج عن حركة الجزيئات .

استغرق الأمر وقتا و عملا للوصول لهذه النتيجة ، التي تبدو فقط عند السعي الذي لا يكل وراء الدقة الأعلى و الأعلى في وصف الطبيعة . و أول خمسة أجزاء (التحدي السابع) من هذه المغامرة هو متابعة مسار هذه النتيجة . (هل تتفق معها ؟)

في العقد الأخير من القرن العشرين ثانية تغير كليا وصف الحركة : فكرة الجزيئة تحولت إلى أنها محدودة و خاطئة . وهذه النتيجة الأخيرة وصلت عن طريق اشتراك الملاحظة الدقيقة و الاستنتاج ، و هذا سيدرس في الجزء الأخير من مغامرتنا . و لكننا ما زلنا ما يزال علينا السير بعض الشيء في الطريق قبل أن نصل إلى تلك النتيجة ، تماما أسفل قمة رحلتنا .

باختصار ، فإن التاريخ بيّن أن تصنيف أنوا عديدة من الحركة ليس مثمرا . و فقط بمحاولة تحقيق الدقة العظمى يمكننا أن نأمل الوصول إلى الخواص الأساسية للحركة . الدقة ، ليس التصنيف ، هي الطريق الواجب اتباعه . كما قال إرنست رذرفورد على سبيل الفكاهة : " كل العلم إما فيزياء أو جمع طوابع " من أجل تحقيق الدقة في وصف الحركة ، فإننا بحاجة لاختيار أمثلة خاصة عن الحركة ودراستها بتفصيل كامل . و إنه من الواضح بشكل حدسي أن الوصفالأكثر دقة هو القابل للتحقيق من أجل أبسط الأمثلة الممكنة . في الحياة اليومية هذا هو حال الحركة لأي شيء جسم غير حي ، صلب وجاسئ في بيئتنامثل الحجر الذي يرمى في الهواء . في الحقيقة مثل كل البشر فننا تعلمنا رمي (المرجع 21) الأشياء قبل فترة طويلة من تعلمنا للمشي . و إن الرمي هو إحدى أولى التجارب الفيزيائية التي أجريناها بأنفسنا . و إن أهمية الرمي هي أيضا ترى من الشروط المستنتجة منها : في اللاتينية ، كلمات مثل الجسم أو المرمي لأسفل أو المرمي للأمام ، و الاعتراض / المعترض ، و المرمي بين شيئين ، في اليونانية عملية الرمي تؤدي لمصطلحات مثل رمز أو مرمي معا ، مشألة أو مرمي للأمام ، رمز / شعار مرمي في و أخيرا و ليس آخرا ، الشيطان أو المرمي عبر . في الحقيقة خلال طفولتنا المبكرة برمي الأحجار ، الألعاب ، و الأشياء الأخرى حتى يخاف أبوانا على كل قطعة من البيت فإننا نستكشف مفهوم و خواص الحركة . و نحن نقوم بنفس الشيء هنا .

" إن العالم مستقل عن إرادتي "

لودفيج فيتجنشتاين ، تراكتاتوس 6.373



الشكل 11 كيف يمكن أن نميز الغزال عن بيئته ؟

التصور / الإدراك ، الديمومة و التغير

" فقط الضعفاء يدرسون فقط الحالة العامة ، العلماء

الحقيقيون يعطون أمثلة "

بيريسفورد بارليت

إن البشر يستمتعون بالتصور . يبدأ التصور قبل الولادة ، و نحن نستمر بالاستمتاع به طالما نستطيع . وهذا لماذا يكون التلفاز ، حتى عندما يكون خاليا من المحتوى ، ناجحا جدا . و خلال سيرنا عبر الغابة في سفح جبل الحركة فإنه لا يمكن أن نتجرد من التصور . و التصور هو أول كل الإمكانات من أجل التمييز . و نحن نستخدم الفعل العقلي للتمييز تقريبا في كل لحظة من الحياة ، مثلا خلال الطفولة أول ما نتعلم هو تمييز الملاحظات الشائعة من غير الشائعة . و هذا ممكن بالاشتراك مع مقدرة أساسية أخرى ، وهي المقدرة على حفظ الخبرات في الذاكرة . و إن الذاكرة تعطينا المقدرة على الاستفادة من الخبرة ، الحديث ، و بالتالي استكشاف الطبيعة . إن التصور ، التصنيف و التذكر / الحفظ معا يشكون التعلم . و بدون أي من هذه القدرات الثلاث لا يمكننا أن ندرس الحركة .

يتعلم الأطفال بسرعة التمييز لما هو دائم / ثابت عن المتغير . و هم يتعلمون تمييز الأوجه البشرية ، حتى بالرغم من أن الوجه ربما لا يبدو أبدا تماما نفسه في كل مرة يشاهدوه .

من معرفة الوجوه ، يوسع الأطفال معرفتهم لكل الملاحظات الأخرى . و المعرفة تؤدي دورها جيدا في الحياة اليومية ، حتى ليلا ، و حتى بعد احتساء عدة كؤوس من الجعة (ليس تحديا) . إن عملية التعرف بالتالي تستخدم دائما شكل

التعميم . و عندما نلاحظ فإننا دائما يكون لدينا فكرة عامة ما في ذهننا . لنحدد الأشياء الأساسية .

إن الجلوس على العشب في فسحة في الغابة على سفح جبل الحركة ، محاطين بالأشجار و السكون الكائن في مثل هذه الأماكن ، فإن الشعور بالسكينة ، و الطمأنينة يتغشانا . و نحن نفكر بأصل التصور . فجأة ، يتحرك شيء مابين الشجيرات ، فورا تدور أعيننا و يتركز انتباهنا . و إن الخلايا العصبية التي تكشف الحركة هي جزء من أقدم جزء من دماغنا ، ونتشارك بها مع الطيور (المرجع 22) الزواحف : جذع الدماغ . بالتالي فإن قشر الدماغ ، أو الدماغ الحديث ، يأخذ وظيفة تحليل نوع الحركة و تحديد أصلها . و بمراقبة الحركة عبر حقل الرؤية ، نلاحظ نوعين محددين من الأشياء : المشهد الثابت و الحيوان المتحرك . و بعد أن نتعرف على الحيوان كغزال ، فإننا نسترخي و نرتاح ثانية .

كيف ميزنا ، في حال الشكل 11 ، بين الشكل الطبيعي و الغزال ؟ التصور يتضمن العديد من العمليات في العين و في الدماغ . و إن الجزء الأساسي من هذه العملية هو الحركة ، كما يستنتج من فيلم مطوي مبين في الزاوية السفلى من (المرجع 23) هذه الصفحات . كل صورة تبين فقط مستطيلا مملوءا بنموذج رياضي عشوائي .

لكن عندما تمسح الصفحات في تتابع سريع ، فإنك تستنتج شكلا – مربع – الذي يتحرك مقابل خلفية ثابتة . و في أي لحظة معينة ، فإن المربع لا يمكن تمييزه عن الخلفية ، و لا يكون هناك جسم مرئي في أي لحظة معينة من الزمن . على أنه من السهل تصور حركته *. تجارب التصور مثل هذه قد أجريت بأشكال عديدة . مثل هذه التجارب بينت أن كشف مربع متحرك مقابل خلفية عشوائية هو ليس شيئا خاصا بالبشر ، الذباب لديه نفس الإمكانية ، وكذلك في الحقيقة كل الحيوانات التي لها عيون .

إن الفيلم المطوي في الزاوية اليسرى السفلى ، مثل العديد من التجارب المشابهة ، يوضح مسألتين أساسيتين في الحركة . أولا الحركة فقط تتصور إذا كان الجسم يمكن تمييزه عن الخلفية أو بيئته . العديد من أوهام الحركة تركز على هذه النقطة **

ثانيا ، الحركة مطلوبة لتعريف كل من الجسم و البيئة ، و تمييزهما عن بعضهما البعض . في الحقيقة ، مفهوم الفراغ – من بين المفاهيم الأخرى – هو تجريد لفكرة الخلفية . إن الخلفية معممة ، الشيء المتحرك يتم تحديد موضعه . هل هذا يبدو مملا ؟ لا ليس كذلك ، فقط انتظر ثانية .

ندعو تحديد موضع الشيء بالدراسة التي يمكن أن تغير أو تحرك الجملة الفيزيائية أو ببساطة الجملة . الجملة هي شيء قابل للإدراك ، وبالتالي جزء ثابت من الطبيعة . الجمل يمكن أن تكون أشياء – أيضا تعرف بالأجسام الفيزيائية . بالتالي ، الصور ، المكونة من أشعة هي ، هي جوانب من الجمل الفيزيائية ، ولكن ليست بنفسها جمل فيزيائية .

التحدي الثامن / هذه الارتباطات ملخصة في الجدول 2 . الآن ، هل الثقوب جمل فيزيائية ؟ بمعنى آخر سوف ندعو مجموعة النواحي المدركة التي تبقى بلا تغيير أو ثابتة خلال الحركة ، مثل الحجم ، الشكل ، اللون .. الخ كجملة معا ، بالشيء (المادي / الفيزيائي) أو الجسم الفيزيائي . و سوف نشدد في التعريف لاحقا ، لتمييز الأشياء عن الصور .

وسوف نلاحظ أننا لتحديد الأشياء المتحركة الدائمة ، فإننا بحاجة لتمييزها عن البيئة . بمعنى آخر ، مباشرة منذ البداية التي نعايش فيها الحركة كعملية نسبية فإنها تتصور بالنسبة إلى و بشكل متعارض / معاكس للبيئة .

التمييز في المبدأ بين الأشياء المتوضعة ، القابلة للعزل و البيئة التحدي التاسع /الممتدة هو أمر مهم . و من الصحيح ، أن لها شكل التعريف الدوار . (هل تتفق مع ذلك ؟) .

صفحة 435 / في الحقيقة هذه القضية ستبقينا مشغولين فيما يلي . من ناحية أخرى ، لقد استخدمنا مقدرتنا على عزل الأنظمة المحلية من البيئة التي أخذناها على أنها مسلمة . و لكن سنكتشف لاحقا في مسيرنا ، أن هذا التمييز كان من الناحية الممنطقية (المجلد 5 صفحة 84) و التجريبية مستحيلا ***. إن سبب هذه الاستحالة سنتبين أنها مذهلة . لاكتشاف الاستحالة ، التي نلاحظها ، كخطوة أولى ، التي بعيدا عن الكيانات المتحركة و الخلفية الثابتة ، أيضا نحن بحاجة لأن نصف علاقاتها .

---

*العين البشرية هي جيدة في كشف الحركة. مثلا العين يمكن أن تكشف حركة نقطة ضوء

حتى إذا كانت زاوية التغير أصغر من التي يمكن تمييزها في صورة ثابتة , إن تفاصيل

المرجع 11 / هذا و المواضيع المشابهة عن الحواس الأخرى هي مجال أبحاث الإدراك الحسي .

**موضوع إدراك الحركة هو مليء بالنواحي الممتعة . إن المقدمة الممتازة عن ذلك هي الفصل 6 لنص

جميل بقلم DONALD F. HOFFMAN ، الذكاء المرئي – كيف يمكننا أن نشكل ما نراه ، نشر W.W.Norton & Co. ، 1998 و إن مجموعته عن أوهام الحركة الأساسية يمكن الإطلاع عليها و استكشافها في موقع

. www.cogsci.ucl.edu/~ddhoff

*** بشكل معاكس لما يقرأ غالبا في المراجع الشائعة ، فإن التمييز ممكن في نظرية الكم . و يصبح من المستحيل فقط عندما توحد نظرية الكم مع النسبية العامة .

الجدول 2 شجرة عائلة المفاهيم الفيزيائية الأساسية

الحركة

النوع الأساسي للتغير

الأجزاء / الأنظمة ثابتة محدودة لها أشكال		العلاقات تنتج حدود تنتج أشكال		الخلفية قابلة للقياس غير محدودة ممتدة	
أشياء فير قابلة للاختراق	قابلة للاختراق بالإشعاع	حالات عامة / شاملة	تبادلات تأثير محلية	مكونة من فراغ الطور	بسيطة من حيث الفراغ – الزمن
النواحي المقابلة					
الكتلة القياس الشحنة البرم ..الخ	الشدة اللون الصورة الشكل / المظهر ..الخ	اللحظة الوضعية كمية الحركة الطاقة ..الخ	المصدر المجال القوة الاتجاه ..الخ	البعد المسافة الحجم الفراغات الجزئية ..الخ	الانحناء الطبولوجيا المسافة المساحة .. الخ

العالم – الطبيعة – الكون – الأكوان

مجموعة كل الأجزاء ، العلاقات و الخلفيات و المفاهيم الأساسية ملخصة في الجدول 2

" الحكمة هي شيء : لفهم الفكر الذي يقود كل الأشياء عبر كل الأشياء "

المرجع 24 / هيرقليس إفسوس

هل العالم بحاجة لحالات ؟

" الثابت ، الموجود و الشيء هما واحد . الجسم هو الثابت ، الموجود ، التشكيل هو التغير ، المتحول "

لودفيج فيتيجنشتاين ، تركتاتوس 2.027-2.0271

الذي يميز النماذج المختلفة هو الزوايا السفلية اليسرى من هذا النص ؟ في الحياة اليومية يمكن أن نقول : الوضعية أو التشكيل للكيانات القائمة . الوضعية تصف بشكل ما كل تلك النواحي التي يمكن أن تختلف من حالة لأخرى . و من المعتاد

أن ندعو قائمة كل المتحولات لمجموعة الأشياء بحالتها (الفيزيائية) للحركة أو ببساطة حالتها . كيف يمكن تمييز الحالة ؟

إن التشكيلات في الزوايا السفلى اليسرى تختلف أولا / قبل كل شيء بالزمن . الزمن هو ما يجهل المتعارضات ممكنة : الطفل في منزل و نفس الطفل خارج المنزل .

الزمن يصف و يزيل هذا النوع من التناقض . و لكن الحالة ليس فقط تميز الوضعيات في الزمن : الحالة تحتوي كل هذه النواحي للنظام – أي مجموعة الأشياء – التي تجعله متفردا عن كل الأنظمة المشابهة . الأشياء المتشابهة يمكن أن تختلف في كل لحظة من الزمن في :

- موضعها
- سرعتها
- توضعها / اتجاهها أو
- سرعتها الزاوية

هذه الخواص تحدد الحالة و تشير إلى فردية النظام / الجملة الفيزيائي من بين النسخ الدقيقة نفسها . و بشكل مكافئ ، الحالة تصف علاقة شيء أو نظام بالنسبة للبيئة , أو مرة ثانية بشكل مكافئ :

- الحالة تصف كل نواحي النظام التي تعتمد على المراقب / الملاحظ تعريف الحالة ليس مملا أبدا – فقط تأمل هذا : هل الكون له حالة ؟ و : هل قائمة خواص الحالة التي أعطيت هي كاملة ؟ بالإضافة لذلك ، الأنظمة / الجمل الفيزيائية توصف بواسطة خواصها الثابتة / الدائمة ، الذاتية و بعض الأمثلة على ذلك :
- الكتلة
- الشكل
- اللون
- التركيب

الخواص الذاتية لا تعتمد على الملاحظ , هي مستقلة عن حالة

التحدي العاشر / الجملة . و هي دائمة – على الأقل من أجل مجال زمني معين . الخواص الذاتية أيضا تسمح بتمييز الأنظمة الفيزيائية عن بعضها البعض . و مرة ثانية ، يمكننا أن نسأل : ما هي القائمة الكاملة للخواص الذاتية في الطبيعة ؟ و هل الكون له (التحدي الحادي عشر) خواص ذاتية .

إن النواحي المتعددة للأشياء و حالاتها تدعى قابلة للملاحظة (الفيزيائية) . و سوف ندقق في هذا التعرف الأولي التقريبي فيما يلي .

إن وصف الطبيعة كمجموعة من الكيانات الدائمة / المستمرة و حالات متغيرة هو نقطة البداية لدراسة الحركة . كل ملاحظة للقياس تتطلب تمييز الخواص الثابتة و الذاتية – التي تصف الأشياء التي تتحرك – و الحالات المتغيرة – و التي تصف الطريقة التي تتحرك بها الأشياء . بدون هذا التمييز ، ليس هناك حركة .

باستخدام المصطلحات التي طرحناها للتو يمكننا القول :

- الحركة هي تغير حالة الأشياء الثابتة الفصل الدقيق بين هذه النواحي التي تنتمي للشيء ، و الخواص المستمرة / الثابتة و تلك التي تنتمي للحالة ، خواص الحالة المتغيرة ، تعتمد على دقة الملاحظة . مثلا ، طول قطعة من الخشب ليس ثابتا حيث أن الخشب يتقلص و ينحني مع الزمن ، بسبب العمليات على المستوى الجزيئي . و من

أجل أن نكون دقيقين فإن طول قطعة من الخشب لا يكون صفة للشيء / الجسم و لكنه صفة لحالته .
و الملاحظات الدقيقة بالتالي تزيح التمييز بين الشيء و حالته ، حيث أن التمييز نفسه لا يختفي – على الأقل ليس في أول خمسة مجلدات من مغامرتنا .

في نهاية القرن العشرين ، اكتشفت العلوم العصبية أن التمييز بين الحالات المتغيرة و الأشياء الدائمة / الثابتة لا يتم فقط من قبل العلماء و المهندسين .أيضا الطبيعة تقوم بالتمييز . و في الحقيقة ، الطبيعة لقامت بتجهيز الدماغ

للتمييز! . وباستخدام إشارات الخرج من القشرة المرئية التي تعالج ما تراه العين ، فإن الأجزاء المجاورة على الطرف العلوي من الدماغ البشري – الجزء الظهري – يعالج حالة الأشياء التي ترى ، مثل المسافة و الحركة ،

بينما الأجزاء المجاورة على الطرف السفلي من الدماغ البشري – الجزء البطني – تعالج الخواص الذاتية ، مثل الشكل ، الالوان و النماذج .

باختصار فإن الحالات في الحقيقة مطلوبة لوصف الحركة . وكذلك الخواص الثابتة الذاتية . من أجل المتابعة و تحقيق الوصف الكامل للحركة ، فإننا بالتالي بحاجة لوصف كامل للحالات الممكنة و وصف كامل للخواص الذاتية للأشياء . و أول طريقة التي تحاول هذا تدعى الفيزياء الغاليلية ، وهي تبدأ بتحديد البيئة اليومية و الحركة فيها بشكل دقيق قدر المستطاع .

الفيزياء الغاليلية في ستة عبارات ممتعة / مهمة

إن دراسة الحركة اليومية ، فيزياء غاليليو ، هي مسألة جديرة بذاتها : وسوف نميط اللثام عن العديد من النتائج التي تخالف خبرتنا المعتادة . مثلا إذا تذكرنا ماضينا ، فإننا سنتذكر مقدار المفاجآت ذات الأهمية ، السعادة أو السوء . على أن دراسة الحركة اليومية تبين أنه لا يوجد مفاجآت في الطبيعة . الحركة و بالتالي العالم ، قابل للتوقع أو تحديدي .

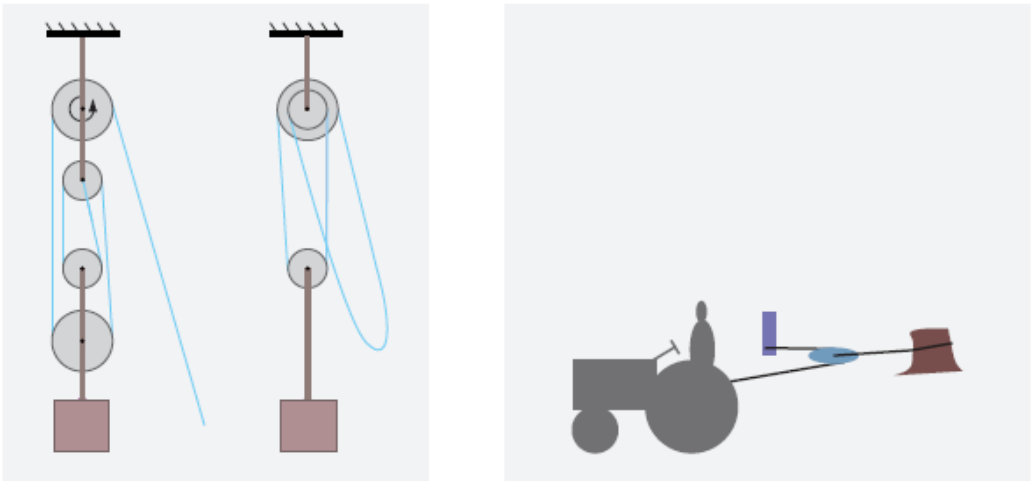
المفاجأة الرئيسية لاستكشافنا للحركة هي أنه ليس هناك مفاجآت في الطبيعة . الطبيعة يمكن توقعها . في الحقيقة ، سوف نكشف عن النواحي الست لقابلية التوقع للحركة اليومية :

I - الاستمرارية : نحن نعلم أن العينين ، الكاميرات ، و أجهزة القياس لها دقة محدودة / منتهية . و كلها لها أصغر مسافة يمكنها ملاحظتها / قياسها . و بالرغم من هذه القيود ، في الحياة اليومية كل الحركات ، حالاتها ، و أيضا الفراغ و الزمن نفسهما هي مستمرة .

II – الانحفاظ : نحن كلنا نلاحظ أن الناس ، الموسيقى ، و العديد من الأشياء الأخرى المتحركة و تتوقف عن الحركة بعد برهة . إن دراسة الحركة تعطي النتيجة المعاكسة : الحركة لا تتوقف أبدا . في الحقيقة هناك ثلاثة نواحي للحركة التي لا تتغير ، ولكنها محافظة : كمية الحركة كمية الحركة الزاوية و الطاقة ، بشكل منفصل في كل الأمثلة للحركة . و لام يلاحظ أي استثناء لهذه الأنواع الثلاثة من المحافظة . (على العكس فإن الكتلة غالبا ، و ليس دائما تكون منحفظة) . بالإضافة لذلك ، سوف نكتشف أن الانحفاظ يقتضي أن الحركة و خواصها تكون نفسها في كل الأماكن وكل الأوقات : الحركة عامة .

III – النسبية : كلنا نعلم أن الحركة تختلف عن السكون . و بالرغم من هذه الخبرة فإن الدراسة الدقيقة تبين أنه ليس هناك فرق جوهري بين الاثنين . و الحركة و السكون تعتمد على الملاحظ . الحركة نسبية , و كذلك هو السكون . و هذه هي الخطوة الأولى تجاههم نظرية النسبية .

IV – قابلية الانعكاس : نحن كلنا نلاحظ العديد من العمليات تحدث فقط في اتجاه واحد . مثلا الحليب المنسكب لا يعود أبدا إلى الإناء بنفسه . و بالرغم من مثل هذه الملاحظة



الشكل 12 بلوك و حبل و بكرة تفاضلية (اليسار) و مزارع (اليمين)

فإن دراسة الحركة ستبين لنا أن كل الحركة اليومية قابلة للانعكاس . الفيزيائيون يسمون هذا بعدم التفاوت للحركة اليومية تحت انعكاس الحركة . بشكل غامض لكن صحيح يمكن في بعض الأحيان للمرء أن يتكلم عن " انعكاس الزمن "

V - عدم التفاوت المرآتي : أكثرنا يجد أنه من الصعب التعامل مع المقصات باليد اليسرىولديه مصاعب في الكتابة باليد الأخرى ، و قد كبر وقلبه واقع في الطرف الأيسر من جسده .

بالرغم من كل هذه الملاحظات فإن استكشافنا سيبين أن الحركة اليومية غير متغيرة مرآتيا (أو غير متغيرة تشابهيا / تكافؤيا أو تساويا) و العمليات المرآتية / المتطابقة هي دائما ممكنة في الحياة اليومية .

VI – تقليل التغير : نحن كلنا ندهش بواسطة العديد من الملاحظات التي يقدمها العالم : الألوان ، الأشكال ، الأصوات ، النمو ، الكوارث ، السعادة ، الصداقة ، الحب . و التغير ، الجمال و تعقيد الطبيعة مذهل . و سوف نؤكد أن كل الملاحظات

هي ناتجة عن الحركة . و بالرغم من المظهر المعقد فإن كل الحركة بسيطة . إن دراستنا ستبين أن كل الملاحظات يمكن تلخيصها في شكل بسيط : الطبيعة كسولة . كل الحركة تحدث بطريقة تقلل من التغير . التغير يمكن قياسه ، باستخدام كمية تدعى " الفعل " و الطبيعة تبقيه في الحد الأدنى . الوضعيات أو - الحالات كما يحب أن يقول الفيزيائيون – تطورت بواسطة التغير الأدنى . الطبيعة كسولة .

هذه النواحي الست أساسية في فهم الحركة في الرياضة ، في الحيوانات ، في الآلات أو بين النجوم . و هذا المجلد الأول من مغامرتنا سيستكشف مثل هذه الحركات . و بشكل خاص ، سوف نؤكد ، مقابل كل الأشكال المعاكسة الخواص الست المذكورة في كل حالات الحركة اليومية .

الفضول و تحديات ممتعة حول الحركة *

على عكس أكثر الحيوانات ، فإن المخلوقات المستقرة ، مثل النباتات أو شقائق النعمان البحرية ليس لهاأرجل و لا يمكنها التحرك ، ومن أجل الدفاع عن نفسها فإن لديها سموما .

---

*الفقرات التي أشير لها بكلمة فضول ، هي مجموعات مواضيع التي تسمح للمرء أن يتأكد و يعمماستخدام المفاهيم التي تم طرحها .

و الأمثلة على مثل هذه النباتات هي القراص اللاسع ، نبات التبغ ، الديجتاليس ، البيلادونا ، و الخشخاش ، السموم تتضمن الكافيين ، النيكوتين ، و الكورار . السموم مثل هذه هي أساس أكثر الأدوية . بالتالي أكثر الأدوية توجد أساسا لأن النباتات ليس لها أرجل .

* *

يتسلق رجل جبلا من الساعة التاسعة صباحا و حتى الواحدة ظهرا . وينام في القمة و ينزل في اليوم التالي ، و يباشر الصعود ثانية من الساعة التاسعة صباحا و حتى الواحدة ظهرا ثم ينزل . هل هناك مكان (التحدي الثاني عشر) في الطريق الذي يمر به في نفس الوقت في اليومين .

* *

في كل مرة تنفجر بها فقاعة الصابون ، فإن حركة السطح خلال الانفجار هي نفسها (التحدي الثالث عشر) حتى بالرغم من أنها سريعة جدا بحيث يصعب رؤيتها بالعين المجردة . هل يمكنك تخيل التفاصيل؟

* *

التحدي الرابع عشر : هل حركة الشبح هي مثال عن الحركة ؟

* *

التحدي الخامس عشر : هل يمكن لشيء ما أن يتوقف عن الحركة ؟ هل يمكنك بيان ذلك ؟

* *

التحدي السادس عشر : هل الجسم المتحرك للأبد في خط مستقيم يبدي طبيعة أو فراغ لا نهائي ؟

* *

(التحدي السابع عشر) ما هو طول حبل على المرء سحبه من أجل أن يرفع كتلة بارتفاع h بواسطة بلوك و حبل بواسطة أربع عجلات كما هو مبين في يسار الشكل 12 ؟ هل المزارع إلى يمين الشكل يفعل شيئا محسوسا ؟

في الماضي ، البلوك و الحبل كانت مهمة في العديد من الآلات . و إن شكلين مهمين خصيصا ، هما البلوك التفاضلي و الحبل و أيضا يدعى البكرة التفاضلية ، التي من السهل صنعها ، و البورتون الإسباني الذي له أكبر تأثير في أصغر.

* *

التحدي الثامن عشر / المرجع 25 : عدد من الدواليب . وهذا حتى يعرف بحبل الأحمق . استمتع باستكشافه .

كل هذه الأدوات هي أمثلة عن القاعدة الذهبية في الميكانيك : ما هو الربح في القوة ، الذي تحصل عليه في الإزاحة أو بشكل مكافئ :القوة مضروبة بالإزاحة – أيضا تعرف (فيزيائيا) بالعمل – تبقى بلا تغيير ، مهما كان الجهاز الميكانيكي الذي تستخدمه . و هذه حالة خاصة .

* *

التحدي التاسع عشر : هل يمكن للكون أن يتحرك ؟

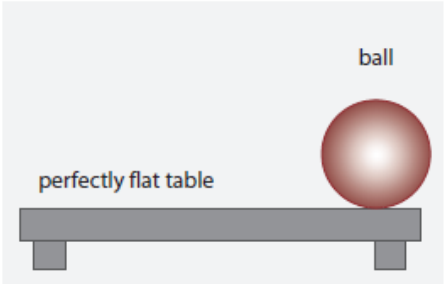
للحديث عن الدقة بواسطة الدقة فإننا نحتاج لقياس الدقة نفسها . هل (التحدي العشرين) يمكنك القيام بذلك ؟

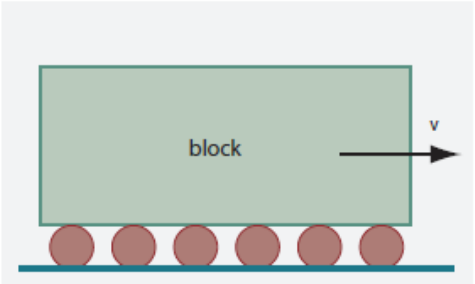
* *

التحدي الحادي و العشرين / هل سنلاحظ الحركة إذا لم يكن لدينا ذاكرة ؟

* *

التحدي الثاني و العشرين / ما هي السرعة الأخفض التي لاحظتها ؟ هل هناك سرعة أخفض ما تكون في الطبيعة؟





الشكل 14 ما هي سرعة الرولرات / الدارجات ؟ الشكل 13 ماذا يحدث ؟

هل أشكال الدارجات الأخرى ممكنة ؟

وفقا للأسطورة ، سيسا بن ضاهر ، المخترع الهندي للعبة شاتورانجا أو الشطرنج ، طلب من الملك شيرهام الجائزة التالية لاختراعه : أراد حبة من القمح لأول مربع ، اثنين للثاني و أربعة للثالث و ثمانية للرابع و هكذا . كم من الزمن ستحتاج كل حقول الحنطة في العالم التحدي الثالث و العشرين / لإنتاج الحبوب المطلوبة ؟

* *

عندما تحرك شمعة تحترق ، فإن اللهب يتأخر عن الشمعة . كيف سيتصرف

التحدي الرابع و العشرين / اللهب إذا كانت الشمعة داخل زجاجة ، هل ما تزال تحترق و هل الزجاج يتسارع ؟

الطريقة الجيدة لجني المال هي بناء كواشف حركة . كاشف الحركة هو صندوق صغير ذو بعض الأسلاك . و الصندوق ينتج إشارة كهربائية متى تحرك الصندوق .

ما هي أنواع كواشف الحركة التي تتخيلها ؟ كم سعر مثل هذا الصندوق ؟

* *

التحدي الخامس و العشرين d / و كم دقته ؟

إن الكرة عديمة الاحتكاك بشكل تام و الكروية تقع قرب حافة طاولة مسطحة بشكل تام

* *

التحدي الخامس و العشرين d / و أفقية كما هو مبين في الشكل 13 . ماذا يحدث ؟ في أي مقياس زمني ؟

أنت تقف في صندوق مغلق بدون نوافذ . الصندوق يحرك بواسطة قوى خارجية

* *

التحدي السابع و العشرين / غير معلومة بالنسبة لك . يمكنك تحديد كيف تتحرك من داخل الصندوق ؟

عندما يدور بلوك فوق أرض عبر مجموعة من الأسطوانات :ما هو مبين في الشكل 14 كم التحدي الثامن و العشرين s / هي سرعة البلوك و سرعة الأسطوانات بالنسبة إليه ؟

* *

المرجع 18 هل تكره العلاقات ؟ إذا كنت ، استخدم طريقة الثلاث دقائق التالية لتغيير الوضع .

التحدي التاسع و العشرين / من الجدير محاولة ذلك ،حيث أثناء القيام بذلك ستستمتع بهذا الكتاب أكثر . الحياة قصيرة ، حيث أنه من الممكن مثل قراءة هذا النص أن تكون ممتعة .

* *

I) أغلق عينيك و تذكر معايشة حالة كانت رائعة بشكل مطلق ، حيث شعرت بأنك مثار ، فضولي ، و إيجابي

II) افتح عينيك لثانية أو اثنين انظر للصفحة 279 ، أو أي صفحة أخرى التي

تحتوي العديد من العلاقات

III) بعدها أغلق عينيك ثانية و عد إلى معايشتك الرائعة

IV) كرر الملاحظة للعلاقات و عرض ذاكرتك –

كرر الخطوتين 3 & 2 – ثلاث مرات أخرى بعدها اترك الذاكرة ، انظر حولك للعودة إلى هنا و الآن اختبر نفسك . أنظر ثانية للصفحة279 . كيف تشعر حول المعادلات الآن ؟

في القرن السادس عشر ، اقترح نيكولو تراجيلا المسالة التالية . ثلاث أزواج شباب يريدون عبور نهر . فقط يوجد قارب صغير الذي يمكن أن يحمل شخصين .

الرجال غيورين جدا ، و لا يريدون أبدا أن يتركوا زوجاتهم مع التحدي الثلاثين / رجل آخر . كم عدد الرحلات عبر النهر اللازمة .

الأسطوانات يمكن استخدامها لتدريج جسم مسطح فوق الأرض ، كما هو مبين في الشكل 14 . تبقي الأسطوانات مستويي الجسم دائما في نفس المسافة عن الأرض . ما هي المقاطع العرضية غير الدائرية ، ما يعرف بالمنحنيات ذات العرض الثابت ، التي يمكن لأسطوانة أن تملكها لتحقيق التحدي الحادي و الثلاثين / نفس الهدف ؟ كم عدد الأمثلة التي يمكنك إيجادها . هل الأشياء مختلفة عن الأسطوانات ممكنة ؟

تعليق الصور على الجدار أمرا ليس سهل . الأحجية الأولى : ما هي أفضل طريقة لتعليق صورة على مسمار ؟ الطريقة يجب أن تسمح لك بتحريك الصورة في وضعية أفقية بعد التحدي الثاني و الثلاثين / تثبيت المسمار بالحائط ، في حال أن الوزن لم يكن موزعا بشكل متساوي . الأحجية الثانية :

المرجع 26 / هل يمكنك تعليق صورة على جدار – هذه المرة بواسطة حبل طويل – فوق مسمارين في مثل (التحدي الثالث و الثلاثين) هذه الطريقة التي تسحب إما المسمار مما يجعل الصورة تسقط ؟ و بواسطة ثلاثة مسامير ؟ n مسمار

ملخص حول الحركة

الحركة هي الملاحظة الأكثر أساسية في الطبيعة . الحركة اليومية يمكن توقعها و قابلة للتحديد . قابلية التوقع تنعكس في ست نواحي : الاستمرارية ، المحافظة قابلية العكس ، عدم التغير المرآتي ، النسبية و التقليل . بعض هذه النواحي مقبولة من أجل كل الحركة ، وبعضها مقبولة من أجل الحركة اليومية فقط . أيها ؟

التحدي الرابع و الثلاثين d / و لماذا ؟ سنستكشف هذا الآن .

نيكولو فونتانا تراتاجيلا (1557-1499) رياضي مهم من عصر النهضة

الفصل الثاني

من قياس الحركة إلى الاستمرارية

" الفيزياء في الحقيقة دراسة فعلية للبشر "

جورج كريستوف ليشتنبيرج

إن أبسط وصف للحركة هي الذي كلنا نستخدمه ، مثل القطط أو القردة في كل حياتنا اليومية : الشيء الوحيد الذي يمكن أن يكون في بقعة معينة في زمن معين .

و هذا الوصف العام يمكن فصله إلى ثلاثة افتراضات : المادة غير نفوذة و تتحرك ، و الزمن مكون من لحظات ، و الفراغ / الفضاء مكون من نقاط . وبدون هذه التحدي الخامس و الثلاثين / الافتراضات الثلاث (هل تتفق معها ؟) إنه حتى ليس من الممكن تعريف السرعة و بالتالي فإننا بحاجة لنقاط كامنة في الفراغ المستمر و الزمن للحديث عن الحركة . وهذا الوصف للطبيعة يدعى بفيزياء غاليليو ، أو في بعض الأحيان بفيزياء نيوتن .

غاليليلو غاليلي (1564-1642) هو أستاذ رياضيات من توسكاني و كان المؤسس الأول للفيزياء الحديثة . و قد أصبح شهيرا بسبب دعوته أهمية الملاحظات كوسائل تأكيد للمقولات حول الطبيعة . و باشتراط و تنفيذ هذه الفحوصات في كل حياته قاده الأمر إلى الزيادة المستمرة للدقة في وصف الحركة . مثلا درس غاليليو الحركة بقياس التغير في الموضع بواسطة ساعة توقيت صنعها بنفسه . و هدف غاليليو التجريبي كان قياس كل ما هو قابل للقياس حول الحركة .

إن طريقته غيرت الوصف التخميني لليونان القدماء في الفيزياء التجريبية في إيطاليا في عصر التنوير / النهضة . ***بعد غاليليو ، الخيميائي الإنجليزي ، عالم اللاهوت ، الفيزيائي و السياسي إسحق نيوتن (1643-1727) استمر في استكشاف بحيوية فكرة الأنواع المختلفة من الحركة التي لها نفس الخواص و قام بخطوات مهمة في إنشاء المفاهيم اللازمة لإظهار هذه الفكرة . ****

فوق كل شيء ، فإن الدراسات و الكتب التي صدرت عن غاليليو نشرت المقولات الأساسية التجريبية حول خواص السرعة ، الفراغ و الزمن .

**الفيزياء في الحقيقة هي الدراسة الصحيحة للإنسان . جورج كريستوف ليشتينبيرغ (ولد في 1724 في رامشتدات

وتوفي في 1799 في جوتنجن) كان فيزيائي و كاتب مهم .

*** أفضل و أكثر الكتب أهمية حول حياة غاليليو و زمانه بقلم بيترو ريدوندت (أنظر

الفقرة في الصفحة في الصفحة 333) , قد ولد غاليليو في السنة التي اخترع فيها قلم الرصاص .وقبل هذا الوقت كان من المستحيل القيام بالحسابات باستخدام الورقة و القلم . من أجل إشباع الفضول فإن موقع الويب www.mpiwg-berlin.mpg.de يسمح لك بقراءة المخطوط الأصلي المكتوب من قبل غاليليو .

*** ولد نيوتن بعد سنة من وفاة غاليليو . و في أغلب حياته وصل نيوتن إلى حجر

الفلاسفة .إن هواية نيوتن كرئيس لمصلحة سك العملة كانت الإشراف شخصيا على شنق

المرجع 27 / المزورين . إن هيام نيوتن في حياته كلها بالخيمياء ، أنظر كتب Dobbs . لقد كان نيوتن

طيلة حياته مبغضا للنساء ، و كان يعتقد أنه قد اختير من قبل الله ، وتسمى باسمه اللاتيني إسحاقوس نيوتونوس أنظر

المرجع 28 / النص من قبل Clifford Truesdell .



الشكل 15 غاليليلو غاليلي (1564-1642)



الشكل 16 بعض أجهزة قياس السرعة : مقياس أنيومومتير ، تاكوميتر من أجل الانزلاقات ضمن الخطوط ، مسدس رادار رياضي و أنبوب بيتو – براندتي في طائرة .

ما هي السرعة ؟

" ليس هناك شيء آخر مثلها "

جوشن ريندت

السرعة تبهر . بالنسبة للفيزيائيين ، ليس فقط سباقات السيارات ممتعة و لكن أي شيء متحرك .بالتالي الفيزيائيون أولا يقيسون العديد من الأمثلة قدر المستطاع . إن اختيار قيم السرعة المقاسة معطى في الجدول 3 . الوحدات و السوابق مشروحة بالتفصيل (الصفحة 449) في الملحق B . بعض أجهزة قياس السرعة مبينة في الشكل 16 .

تعلمنا الحياة اليومية الكثير عن الحركة : الأشياء يمكن أن تسبق بعضها البعض ويمكنها أن تتحرك في اتجاهات مختلفة . و أيضا نلاحظ أن السرعات يمكن أن تجمع أو تغير بشكل انسيابي . و القائمة الدقيقة لهذه الخواص هي كما معطى في الجدول 4 ، وهي ملخصة من قبل رياضيين بدلالات خاصة ، و هم يقولون أن السرعات تشكل فضاء شعاعي إقليدي ** أيضا (الصفحة 80) التفاصيل حول هذا المصطلح الغريب ستعطى عن قريب . و بالنسبة للآن فإننا نلاحظ فقط أن في

وصف الطبيعة ، فإن المفاهيم الرياضية تعطي التعبير الأكثر دقة .

عندما يفترض أن السرعة شعاع إقليدي ، فإنها تسمى بالسرعة الإقليدية . و السرعة هي مفهوم أساسي . مثر السرعة لا تحتاج إلى قياسات مكانية / فراغية و زمنية كي تحدد . هل تقدر على إيجاد متوسطات سرعات القياس بدون

---

*جوشن ريندت (1970-1942) ، سائق سيارات أسترالي للفورميولا ون ، يتحدث عن السرعة .

** سميت باسم إقليد أو إقليدس ، الرياضي اليوناني العظيم الذي عاش في الإسكندرية حوالي

إقليد أو إقليدس ، الرياضي اليوناني العظيم الذي عاش في الإسكندرية حوالي 300 قبل الميلاد . وقد كتب إقليد كتابا عن الهندسة سماه العناصر ، و الذي هو أحد النقاط البارزة في الفكر البشري . و النص يقدم كل المعرفة حول الهندسة في ذلك الوقت . لأول مرة طرح إقليدس طرقا التي هي الآن مستخدمة بشكل شائع : كل المقولات مستنتجة من عدد صغير من البديهيات / المسلمات و من أجل كل مقولة يعطى برهان لها . و الكتاب ما يزال يطبع اليوم وكان المرجع في الهندسة لأكثر من ألفي عام . و على الويب يمكن أن نجده في الموقع aleph0.clarku.edu/~djoyce/java/elements/ elements.html .

الجدول 3 بعض قيم السرعة المقاسة

الملاحظة	السرعة
نمو قشريات المنغنيز البحرية	80 am/s

هل يمكنك أن تجد شيئا ما أبطأ ؟	التحدي السادس و الثلاثين
نمو الصواعد و النوازل / الرواسب الكلسية	0.3 pm/s
نمو الأشنة	حتى 7 pm/s
الحركة النوعية للقارات	10 mm/a = 0.3 nm/s
النمو البشري خلال الطفولة ، نمو الشعر	4 nm/s
نمو الشجر	حتى 30 nm/s
انجراف الإلكترون في سلك معدني	1 μ m/s
حركة النطفة	60 -160 μ m/s
سرعة الضوء في مركز الشمس المرجع 29	1 mm/s
حركة صلصة الطماطم / الكتشاب	1 mm/s
أخفض سرعة في الضوء مقاسة في مادة على الأرض المرجع 30	0.3 m/s
سرعة ندف الثلج	0.5 – 1.5 m/s
سرعة الإشارة في الخلايا العصبية البشرية المرجع 31	0.5 – 120 m/s
سرعة الريح في الهواء الخفيف و الإعصار	< 1.5 m/s , > 33 m/s
سرعة هطول المطر تبعا لنصف القطر	2 -8 m/s
أسرع سمكة سباحة /سمكة البحار	22 m/s
سرعة الإبحار المسجلة عام 2009 لمسافة 500 متر	26.4 m/s
أسرع حيوان جريا ، الفهد	30 m/s
سرعة الهواء أثناء العطاس	42 m/s
أسرع رمي : كرة الكريكيت المرمية بواسطة تقنية كرة القاعدة أثناء الجري	50 m/s
السقوط الحر للإنسان ، تبعا للملابس	50- 90 m/s
أسرع طائر ، غوصا	60 m/s
أسرع ضرب للريشة (في لعبة الريشة الطائرة)	70 m/s
السرعة المتوسطة لجزيئة الأكسجين في الهواء عند درجة حرارة الغرفة	280 m/s
سرعة الصوت في الهواء الجاف عند مستوى سطح البحر و درجة حرارة معيارية	330 m/s
سرعة خط الاستواء	434 m/s
تشقق نهاية السوط	750 m/s
سرعة طلقة البندقية	1 Km/s
سرعة انتشار الشق في السليكون المتكسر	5 Km/s
أعلى سرعة ماكرسكوبية محققة من قبل البشر – القمر الصناعي Heltos II	70.2 Km/s
سرعة الكرة الأرضية عبر الكون	370 Km/s

السرعة المتوسطة (و سرعة الذروة) للبرق	600 Km/s (50 Mm/s)
أعلى سرعة ماكرسكوبية مقاسة في مجرتنا ، المرجع 32	$0.97.10^8$ m/s
سرعة الإلكترونات داخل أنبوب التلفزيون الملون	1.10^8 m/s
سرعة بقعة الضوء للمنارة عند المرور فوق القمر	2.10^9 m/s
أعلى سرعة محققة بالنسبة للإلكترونات من قبل البشر	7.10^{13} m/s
أعلى سرعة ممكنة لبقعة الضوء أو الظل	لا حدود

الجدول 4 – خواص السرعة اليومية أو الغاليلية

السرعة	الخاصة الفيزيائية	الاسم الرياضي	التعريف
يمكن تمييزها	قابلية التمييز	عنصر مجموعة	المجلد III ، صفحة 212
تتغير تدريجيا	مستمرة / استمرارية	فضاء شعاعي حقيقي	صفحة 80 ، المجلد V ، صفحة 364
نقطة في مكان ما	اتجاه	فضاء شعاعي ، قابلية التحديد للبعد	صفحة 364
تقارن	قابلية القياس	القياسية	المجلد IV ، صفحة 235
تجمع	قابلية الجمع	فضاء شعاعي	صفحة 80
لها زوايا محددة	اتجاه	فضاء شعاعي إقليدي	صفحة 80
تجاوز أي حد	لا نهاية	عدم المحدودية	المجلد III ، صفحة 213

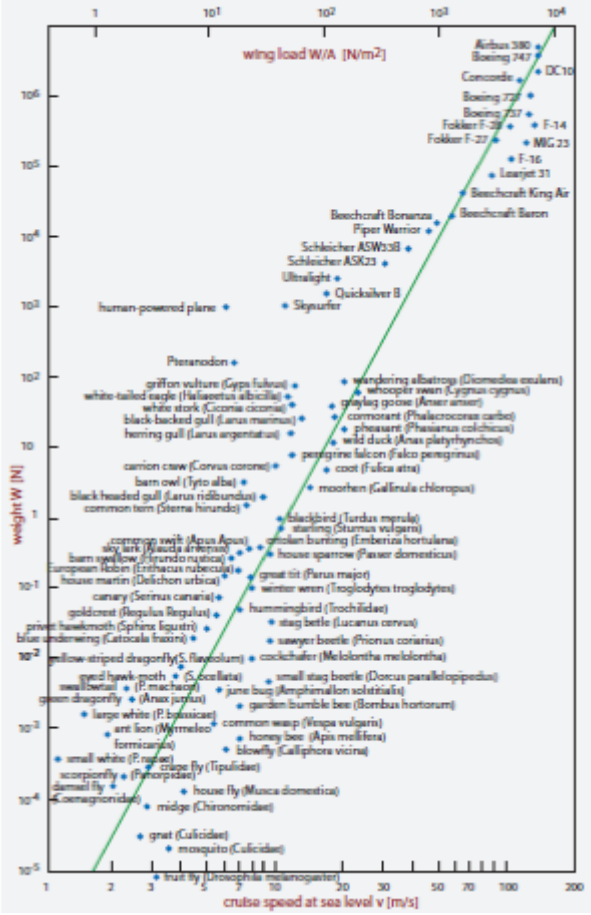
التحدي السابع و الثلاثين / قياس الفضاء و الزمن ؟ و إذا كان الأمر كذلك ربما ترغب بتجاوز المجلد التالي و تقفز مقدار ألفي عام من البحث . إذا لم تستطع فعل ذلك ، اعتبر هذا : متى نقيس كمية فإننا نفترض أن كل جسم قادر على القيام بذلك و أن كل شخص سيحصل على نفس النتيجة . بمعنى آخر ، فإننا نعرف القياس كمقارنة مع قيمة معيارية . و بالتالي فإننا نفترض ضمنيا أن مثل هذا المعيار موجود ، أي أن مثال عن سرعة مثالية / تامة يمكن أن يوجد . و من الناحية التاريخية فإن دراسة الحركة لم تبحث في هذه القضية أولا، لأنه لقرون كثيرة لم يتمكن أحد من إيجاد مثل هذه السرعة القياسية . و بالتالي فإنك شريك جيد في هذا .

كيف تقاس السرعة في الحياة اليومية ؟ الحيوانات و الناس تقدر سرعها بطريقتين : بتقدير تواتر حركتهم ، مثل خطواتهم أو باستخدام أعينهم ، آذانهم ، حس اللمس أو حس الاهتزاز لاستنتاج كيف يتغير موضعهم بالنسبة للبيئة . و لكن العديد من الحيوانات لديها إمكانيات إضافية : بعض منها يمكن أن يحدد السرعات بواسطة أعضاء الحساسات تحت الحمراء (الخفاش والحيوانات الليلية) ، و أخرى بواسطة أعضاء تحسس للحقل المغناطيسي (الطيور) . و ما تزال هناكحيوانات تصدر أصوات تعمل صدى لقياس السرعات بدقة عالية . تستخدم الحيوانات الأخرى النجوم من أجل التحرك . إن تشكيلة أخرى من الحلول تستخدم من قبل أجهزة فنية . الجدول 5 يعطي عرضا لذلك.

السرعة ليست دائما موضوعا سهلا . الفيزيائيين يحبون القول ، بشكل محرش ، أنهم لا يستطيعون قياس ما لا يوجد . هل يمكنك قياس سرعتك الخاصة في (التحدي الثامن و الثلاثين) الفراغ النجومي .

السرعة مهمة لكل من المهندسين و علماء التطور . بشكل عام أنظمة الدفع الذاتي كلما أريد لها أن تكون أسرع ستكون أكبر حجما . كمثال الشكل 17 يبين كيف يطبق هذا على سرعة الطيران لأشياء طائرة . بشكل عام سرعة الطيران ترتبط بالجذر من المرتبة السادسة للوزن ، كما هو مبين بواسطة خط التحول المرسوم في المخطط (هل يمكنك /التحدي التاسع والثلاثون / إيجاد لماذا ؟) و بشكل مشابه فإن علاقات الارتباط التصالبية / الألومترية تصح من أجل العديد من الخواص الأخرى للجمل المتحركة كما سنرى لاحقا ؟

بعض الباحثين قد تخصصوا في دراسة أخفض السرعات التي توجد في الطبيعة : المرجع 33 / و يسمون الجيولوجيون . لا تفوت فرصة المشي عبر المشهد الطبيعي بينما التحدي الأربعون / تستمع لواحد منهم .السرعة هي أمر أساسي لسبب إضافي : سوف نكتشف أن كل الخواص السبعة لها في الجدول 4 هي تقريبية و لا واحدة منها فعلا صحيحة . إن التجارب المحسنة ستكشف عن استثناءات لكل خاصة من السرعة الغاليلية .



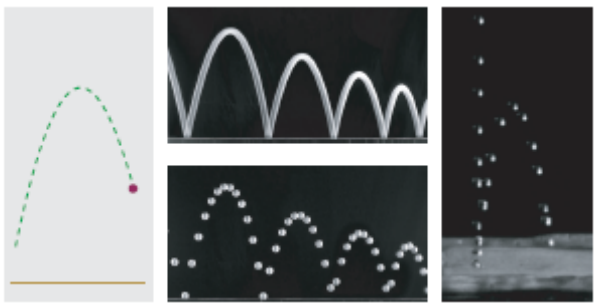
الشكل 17 كيفية تناسب حمل الجناح و سرعة الطيران عند مستوى سطح البحر مع الوزن للأجسام الطائرة مقارنة مع خط / مستقيم التحول العام

الجدول 5 أجهزة قياس السرعة في الأنظمة الحيوية و المهندسة

القياس	الجهاز	المجال
سرعة الجري في الحشرات ، الثدييات و البشر	قياس تردد ضربة / خبطة القدم / الساق بواسطة ساعة داخلية	0-33 m/s
سرعة السيارة	تاكومتر مرتبط بالعجلات	0 -150 m/s
قياس المفترسات لسرعة الفريسة	نظام الرؤية	0-30 m/s
قياس الشرطة لسرعة السيارة	مسدس رادار أو ليزر	0-90 m/s

قياس الخفاش لسرعته و سرعة الفريسة ليلا	سونار دوبلر	0-20 m/s
قياس سرعة انزلاق باب لناس يقتربون	سونار دوبلر	0-3 m/s
سرعة السباحة في السمك و البشر	الاحتكاك و تشوه الجلد	0-30 m/s
سرعة السباحة في الدولفين و السفن	السونار إلى أرض البحر	0-20 m/s
سرعة الغوص في السمك ، الحيوانات ، الغواصين و الغواصات	تغير الضغط	0-5 m/s
قياس المفترسات البحرية و قوارب الصيد لسرعة الفريسة	سونار	0-20 m/s
سرعة الحشرات بالنسبة للأرض	غالبا لا يوجد (الجنادب)	غير معلومة
سرعة الطيور بالنسبة للأرض	نظام الرؤية	0-60 m/s
سرعة الطائرات و الصواريخ بالنسبة للأرض	نظام قياس الزوايا اللاسلكي ، رادار	0-8000 m/s
سرعة الحشرات و الطيور بالنسبة للأرض	انعطاف / فتل الأشعار الرفيعة في الحشرات و الريش في الطيور	0-60 m/s
سرعة الطائرة بالنسبة للهواء	أنبوب Pitot - Prandtl	0-340 m/s
قياس سرعة الريح في محطات الرصد الجوي	مقاييس سرعة الرياح حرارية ، دورانية أو فوق صوتية	0-80 m/s
قياس السنونو لسرعة الفريسة	نظام الرؤية	0-20 m/s
قياس الخفاش لسرعة الفريسة	سونار	0-20 m/s
الحركة الماكروسكوبية على الأرض	نظام تحديد الموضع الجغرافي ، غاليليو ، غلوناس	0-100 m/s
الربابنة الذين يقيسون سرعة الهدف	رادار	0-1000 m/s
حركة النجوم	تأثير دوبلر الضوئي	0-1000 m/s
حركة ستار جيت	تأثير دوبلر الضوئي	0-200 m/s

إن آخر ثلاثة خواص في الجدول 4 ستؤدي بنا إلى النسبية الخاصة و العامة ، و فشل الخاصتين المتوسطتين لنظرية الكم و فشل أول خاصتين إلى الوصف الموحد للطبيعة . و لكن بالنسبة للآن سنبقى في السرعة الغاليلية و نستمر في مفهوم غاليلي آخر مشتق منه : الزمن .



الشكل 18 مسار نوعي يتبعه حجر مرمي في الهواء – مساره عبارة عن قطع مكافئ – مع صور (مغشاة و ستروبوكسوبية) لكرة تنس الطاولة التي ترتد عن الطاولة (الوسط) و صورة ستروبوسكوبية لقطرة ماء ترتد عن سطح كاره للماء (يمين) .

بدون مفاهيم المكان ، الفراغ و الزمن ، لا يمكن أن يكون هناك تغير . و بالتالي من الواضح أن دراستها قد تمت بدراسة كل منها بشكل منفصل .

أرسطو * الفيزياء ، الكتاب III ، الجزء 1 .

ما هو الزمن ؟

" الزمن هو حادث الحركة ".

ثيوفراستوس **

" الزمن لا يوجد بنفسه ، فقط عن طريق الأشياء المتصورة ، التي تنشأ منها مفاهيم الماضي ، الحاضر و المستقبل .

لوكرتيوس *** الطبيعة الضاحكة ، الكتاب 1 ، v.460 ss في أول سني عمرهم فإن الأطفال يقضون وقتا طويلا في رمي الأشياء . إن مصطلح "شيء" هو كلمة لاتينية تعني " ما يرمى للأمام " . إن علم النفس التطوري المرجع 21 قد بيّن تجريبيا أن من هذه الخبرة الأولى يستخلص الأطفال مفاهيم الزمن و الفضاء / الفراغ . إن الفيزيائيين البالغين يقومون بنفس الشيء عند دراسة الحركة في الجامعة .

عندما نرمي حجرا في الهواء ، يمكننا أن نحدد تتابع الملاحظات .يوضح الشكل 18 كيف يتم ذلك . إن ذاكرتنا و حواسنا تعطينا هذه المقدرة .

---

*أرسطو (ولد في 384/3 ، ستاجيريا ، و توفي في 322 قبل الميلاد في إيوبيا) و هو فيلسوف إغريقي مهم وعالم مؤسس المدرسة المشائية الواقعة في ليسيوم ، و هي مكان مخصص للإله أبولو ليسيوس

**ثيوفراستوس من إيرسوس (287 -371) كانت فيلسوفا سحاقية ، وهي خلفت أرسطو في ليسيوم

***تيتوس لوكريتوس كاروس (55-95 قبل الميلاد) . عالم و شاعر روماني.

الجدول 6 قياسات زمنية مختارة

القياس	الزمن
أقصر زمن قابل للقياس	10^{-44} ثانية
أقصر زمن تم قياسه قط	10 ys
زمن عبور الضوء عبر ذرة نموذجية	0.1 – 10 as
أقصر زمن لنبضة ليزر منتجة حتى الآن	200 as
فترة انتقال ذر ة السيزيوم من الحالة الأرضية فائقة النعومة	108.78277570778 ps
فترة النجم النابض (نجم النيوترون الدوار) PSR 1913+16	0.059029995271(2)s
اللحظة البشرية	20 ms
أقصر حياة لكائن حي	0.3 d
الطول المتوسط لليوم منذ 400 مليون سنة خلت	79200 s

الطول المتوسط لليوم اليوم	86400.002(1) s
من ولادة الإنسان حتى مرور 1000 مليون ثانية	31.7 a
عمر أقدم شجرة حية	4600 a
استخدام اللغة البشرية	0.2 Ma
عمر الهيمالايا	35 – 55 Ma
عمر أقدم الصخور التي وجدت في حزام إيسوا ، في غرينلند و في بروبويس كوف في خليج هدسون	3.8 Ga
عمر الأرض	4.6 Ma
عمر أقدم النجوم	13.8 Ma
عمر أكثر البروتونات في جسمك	13.8 Ga
عمر نواة التيتانيوم ^{180}Ta	10^{15} a
عمر نواة البيسموث ^{209}Bi	$1.9 (2).10^{19}$ a

إن الحاسة / الإحساس تسمى سجلات السمع خلال صعود و نزول متعدد و سقوط و نزول الحجر .

إن أعيننا تتابع موقع الحجر من نقطة لأخرى .كل الملاحظات لها مكانها في تتابع ، حيث بعض الملاحظات تسبقها ، وبعض الملاحظات تأتي معها وما يزال هناك بعض الملاحظات التي تأتي بعدها / تلحقها . و نقول بأن الملاحظات متصور أن تحدث في لحظات متعددة – أيضا تدعى النقاط في الزمن – و سوف نسمي التتابع لكل اللحظات بالزمن .

إن الملاحظة التي تعتبر أصغر جزء من تتابع ، أي ليست نفسها تتابعا ، تدعى حدثا . و الأحداث هي أساسية في تعريف الزمن ، بشكل خاص (التحدي الحادي و الأربعين) تشغيل أو إيقاف ساعة توقيت هي أحداث . (لكن هل توجد الأحداث فعلا ؟ أبق هذا السؤال في مؤخرة دماغك أثناء تقدمنا في الدرس) .

إن الظواهر التتابعية لها خاصة إضافية تعرف بالامتداد ، التمدد أو الاستمرار . بعض القيم المقاسة معطاة في الجدول *6 . الاستمرار تعبر عن فكرة أن التتابع يستغرق زمنا . و نقول أن التتابع يستغرق زمن للتعبير أن تتابعات أخرى يمكن أن تتم على التوازي معها .

السنة تختصر بحرف a (من اللاتينية annus) .

كيف يستنتج تماما مبدأ الزمن ، بما فيه التتابع و الاستمرار من الملاحظات ؟ العديد من الناس بحثوا في هذا السؤال : رواد فضاء ، فيزيائيين ، صانعي ساعات ، علماء نفس و فلاسفة . و كلهم وجدوا :

- الزمن يستنتج بمقارنة الحركات .

هذه هي الحالة حتى بالنسبة للأطفال و الحيوانات . بدءا من عمر صغير ، فإنهم (المرجع 21) يطوروا مفهوم الزمن من مقارنة الحركات في محيطهم .

الكبار يأخذون كمعيار حركة الشمس و يسمون النوع الناتج من الزمن بالزمن المحلي . ومن القمر فإنهم يستنتجوا التقويم القمري . إذا أخذوا ساعة قرية معينة في جزيرة أوربية فإنهم يسموه الإحداثي الزمني العام (UTC) ، والذي كان يعرف بتوقيت غرينتش المتوسط * GMT . يستخدم رواد الفضاء حركات النجوم و يسمون الوقت الناتج بالوقت المداري ephemeris (أو أحد خلائفه) . المراقب الذي يستخدم ساعته الشخصية يسمي القراءة زمنه الخاص ، و غالبا يستخدم في نظرية النسبية .

ليست كل حركة هي معيار جيد للزمن . في عام 2000 فإن دوران الأرض (صفحة 453) لم يعد يستغرق 86 400 ثانية كما في عام 1900 ، و لكن 86 400.002 ثانية . هل يمكنك استنتاج في أي سنة سيكون عيد ميلادك مزاحا يوما كاملا عن (التحدي الثالث و الأربعين) الوقت المتوقع البالغ 86 400 ثانية ؟

كل طرق تعريف الزمن كانت بالتالي تستند إلى مقارنات الحركة من أجل أن نجعل المفهوم دقيقا ومفيدا قدر الإمكان ، فإنه يتم اختيار المرجع القياسي للحركة ومن أجله يتم تعريف تتابع قياسي و استمرار / فترة قياسية .

الجهاز الذي يقوم بهذا العمل يدعى الساعة . و يمكننا بالتالي أن نجيب على سؤالالفقرة بعنوان :

- الزمن هو ما نقراه من الساعة .

لاحظ أن كل التعاريف للزمن المستخدمة في فروع مختلفة من الفيزياء مكافئة لهذا و لا يمكن إيجاد أي تعريف أعمق أو أكثر أساسية ** . لاحظ أن كلمة "لحظة " هي في الواقع مستنتجة من كلمة حركة . اللغة تتبع الفيزياء في هذه الحالة . و من المدهش ، أن تعريف الزمن المعطى الآن هو نهائي ، سوف لن يتغير أبدا و لا حتى في أعلى قمة جبل الحركة . و هذا مدهش للوهلة الأولى لأن العديد من الكتب قد كتبت حول طبيعة الزمن . و بدلا من ذلك يجب أن تبحث في طبيعة الحركة . - كل ساعة تذكرنا أنه من أجل فهم الزمن يجب أن نفهم الحركة .

لكن هذا هو هدف مشينا بأي حال . وبالتالي فإننا مخلوقون كي نكتشف كل أسرار الزمن كنتيجة جانبية لمغامرتنا . الوقت ليس فقط ناحية من الملاحظات ، فهو أيضا وجه من الخبرة الشخصية .

حتى في حياتا الخاصة الأكثر حميمية ، في أفكارنا ، شعورنا و أحلامنا فإننا نختبر التتابعات و الفترات . يتعلم الأطفال ربط هذه الخبرة الداخلية للزمن مع زمن غاليليو

---

*توقيت UTC الرسمي يستخدم لتحديد طور شبكة القدرة ، توقيت الاتصال في شركات الهاتف و الإنترنت

و إشارة نظام GPS . و الأخيرة تستخدم من قبل العديد من أنظمة الترحال حول العالم ، خاصة

في السفن ، الطائرات و الهواتف النقالة . و لمزيد من المعلومات زر الموقع www.gpsworld.com .

إن البنية التحتية لإعطاء الزمن هي أيضا مهمة من أجل أجزاء أخرى من الاقتصاد الحديث . هل يمكنك أن التحدي الثاني و الأربعين / تحدد المجالات المهمة الأخرى .

المرجع 34 : أقدم الساعات هي الساعات الشمسية / المزاول . علم صناعتها يعرف بـ gnomonics

الجدول 7 خواص زمن غاليليو

لحظة الزمن	الخاصة الفيزيائية	الاسم الرياضي	التعريف
يمكن تمييزه	قابلية التمييز	عنصر الضبط	المجلد III ، صفحة 212

يمكن ترتيبه	تتابع	ترتيب	المجلد V ، صفحة 364
تعريف الفترة / الاستمرار	قابلية القياس	القياسية	المجلد IV ، صفحة 235
يمكن أن يكون له فترة متناقصة	الاستمرارية	الكثافة ، الاكتمال	المجلد V ، صفحة 364
السماح للفترات بأن تجمع	قابلية الجمع	القياسية	المجلد IV ، صفحة 235
لا يحتمل المفاجئات	عدم التغير التحويلي	التجانس	صفحة 237
لا ينتهي	اللانهاية	عدم المحدودية	المجلد III ، صفحة 213
متساوية من أجل كل الملاحظين	المطلق	التفردية	

الملاحظات الخارجية ، و استخدام الخاصة التعاقبية للأحداث في أعمالهم . دراسات أصل الزمن النفسية بينت أنها تتفق – بعيدا عن قلة الدقة فيها – من زمن الساعة * . و إن كل البشر الأحياء بالضرورة يستخدمون في حياتهم اليومية مفهوم الزمن كمجموع تتابع و فترة / استمرار و هذه الحقيقة تم دراستها في العديد من الأبحاث . مثلا ، مصطلح " متى " يوجد في كل لغات العالم (المرجع 38) .

مفهوم الزمن ضروري للتمييز بين الملاحظات . في أي تتابع للملاحظات ، فإننا نلاحظ أن الأحداث تلاحق بعضها البعض بانسيابية ، بشكل ظاهر بدون نهاية . و في هذا السياق ، فإن إنسيابية تعني أن الملاحظات التي ليست بعيدة جدا تميل لألا تكون مختلفة كثيرا . و مع ذلك بين لحظتين ، بالقدر القريب الذي نلاحظهما ، يكون هناكدائما مجال من أجل أحداث أخرى . الفترات ، أو الفواصل / المجالات الزمنية ، مقاسة من قبل أناس مختلفين بواسطة ساعات مختلفة تتفق في الحياة اليومية ، و أيضا كل المراقبين يتفقون حول ترتيب تتابع الأحداث . و الزمن بالتالي فريد في الحياة اليومية . و يقول المرء أيضا أن الزمن مطلق في الحياة اليومية .

الزمن ضروري للتمييز بين الملاحظات . ولهذا السبب كل أجهزة الملاحظة التي تميز بين الملاحظات ، من الأدمغة إلى الدكتافون / جهاز الإملاء و كاميرات الفيديو لها ساعات داخلية . و بشكل خاص كل أدمغة الحيوانات لها ساعات داخلية . هذه الساعات الدماغية تسمح لمستخدميها بالتمييز بين بيانات الحاضر ، القريب و الماضي و الملاحظات .

عندما درس غاليليلو الحركة في القرن السابع عشر ، لم يكن هناك بعد أي ساعات توقيت و قد كان عليه بالتالي أن يصنع واحدة لقياس الأزمنة في المجال (التحدي الرابع و الأربعين) بين جزء من الثانية و بضع ثوان . هل يمكنك تخيل كيف فعل ذلك ؟

إذا صغنا بدقة كل خواص الزمن التي نختبرها في حياتنا اليومية فإننا نحصل على الجدول 7 . و هذا المفهوم للزمن يعرف بزمن غاليليلو . كل خواصه يمكن التعبير عنها بنفس الوقت بوصف الزمن بمساعدة الأعداد الحقيقية .

في الحقيقة ، الأعداد الحقيقة تم تشكيلها من قبل الرياضيين ليكون لديهم تماما نفس (المجلد III ، صفحة 221) خواص زمن غاليليلو كما شرحنا في الفصل حول الدماغ .

المجلد V ، صفحة 42 *الدماغ يحتوي ساعات كثيرة . أكثر ساعة دقة للفترات الزمنية القصيرة هي مؤقت الفترة الداخلي للدماغ ، وهو أكثر دقة مما يتخيل غالبا ، خاصة عندما يدرب . من أجل الفترات الزمنية بين (المرجع 35) بضع أجزاء من عشرة من الثانية ، اللازمة من أجل الموسيقى وبضع دقائق ، يمكن للبشر أن يحققوا دقة في التوقيت تبلغ بضع بالمائة

في حال كل لحظة يوصف بها لحظة زمنية بواسطة عدد حقيقي ، غالبا تختصر بـ t .

إن فترة تتابع الأحداث يعطى بالتالي بواسطة الفرق بين قيم الزمن للحدث النهائي و الحدث البدائي . سوف نلهو بعض الشيء مع زمن غاليليلو في هذا الجزء من مغامرتنا . لكن مئات السنين من الدراسة الدقيقة بينت أن كل خاصة وحيدة من زمن غاليليوواردة في الجدول 7 هي تقريبية ، و لا واحدة منها صحيحة بدقة . القصة يمكن أن نقصها في بقية مغامرتنا .

الساعات

" الشيء الأكثر قيمة الذي يمكن أن ينفقه الإنسان هو الزمن "

ثيوفراستوس

الساعة هي نظام متحرك الذي موضعه يمكن أن يقرأ .

هناك العديد من أنواع الساعات : ساعات توقيت ، ساعات ذات اثني عشرة ساعة ، ساعات شمسية ، ساعات قمرية ، ساعات موسمية . ..الخ و البعض منها مبين في الشكل 19 . و أكثر أنواع هذه الساعات (المرجع 37) أيضا توجد في النباتات و الحيوانات ، كما هو مبين في الجدول 8 .

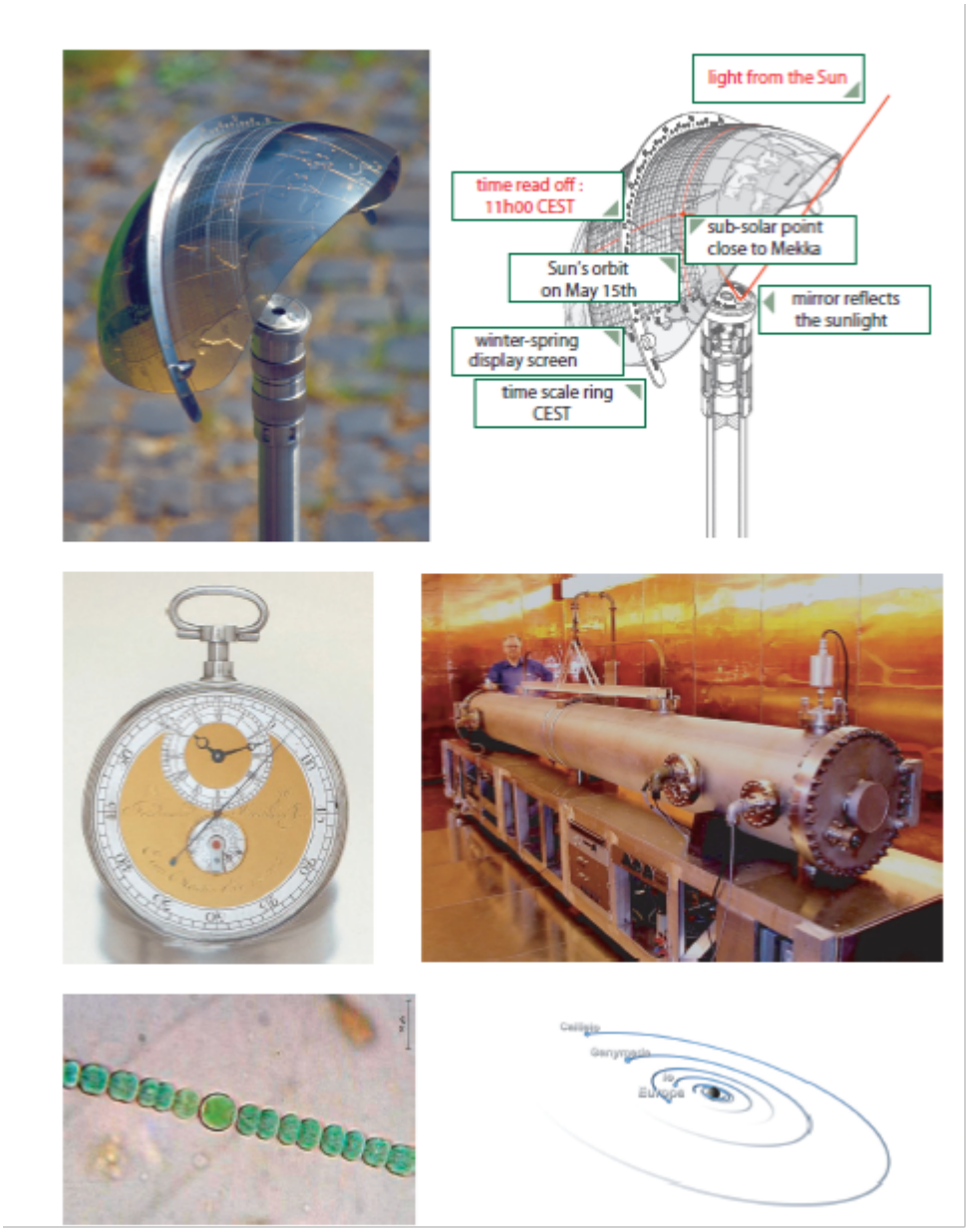
المرجع 38 / من الممتع أن هناك قاعد ة دقيقة في المملكة الحيوانية : الساعات الكبيرة تمشي ببطء . كيفية حدوث هذا مبين في الشكل 20 ، و هو مثال آخر لقانون قياس تفاوت النمو .

الساعة هي جملة متحركة التي يمكن قراءة موضعها . بالطبع الساعة الدقيقة هي جملة متحركة بشكل منتظم قدر الإمكان ، مع القليل من الاضطراب الخارجي قدر الإمكان .

صناع الساعات هم خبراء في إنتاج الحركة التي هي منتظمة قدر الإمكان . سوف (صفحة 181) نكتشف بعض الحيل فيما يلي . سوف أيضا نستكشف ، لاحقا ، الحدود لدقة

المجلد V ، صفحة 45 / الساعات .

هل هناك ساعة مثالية في الطبيعة ؟ هل الساعات موجودة على الإطلاق ؟ سوف نستمر في دراسة هذه القضايا في كل هذا العمل و في النهاية نصل إلى نتيجة مدهشة . لكن عند هذه النقطة سوف نبين نتيجة وسيطة بسيطة : نظر لأن الساعات موجودة ، فإنه بشكل ما (التحدي الخامس و الأربعون) يوجد في الطبيعة طريقة ذاتي / ضمنية ، طبيعية ، و مثالية لقياس الزمن .هل يمكنك رؤيتها؟

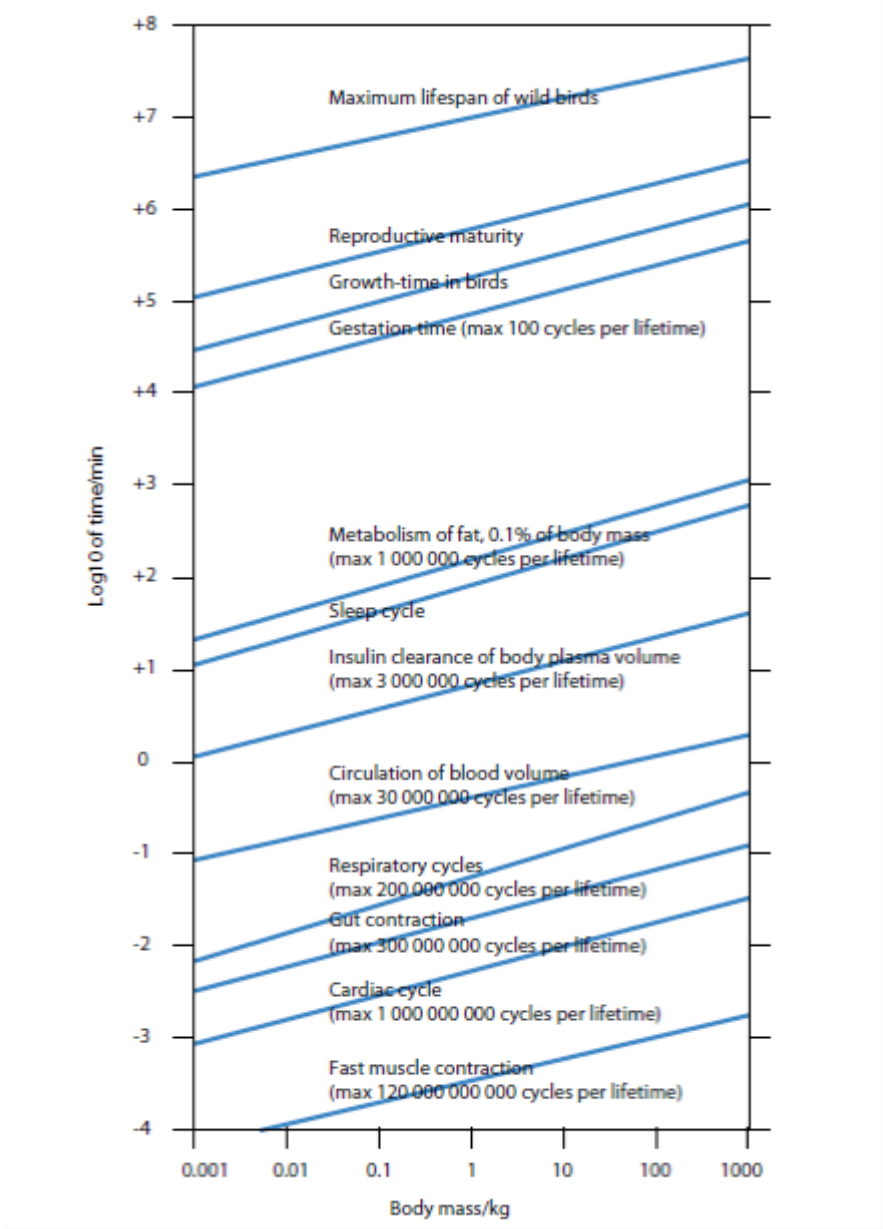


الشكل 19 أنواع مختلفة من الساعات : ساعة شمسية / مزولة عالي التقنية (قياسه تقريبا 30 cm) ، كرونومتر جيب بحري (قياسه تقريبا 6 cm) ، مجموعة من الزَّراقِم (قِسْمٌ مِنْ بِدائِيَّاتِ النَّواة) ، ساعة سيزيوم ذرية (قياسه تقريبا 4 cm) الأقمار الصناعية الغاليلية للمشتري .

الجدول 8 أمثلة على الغيقاعات البيولوجية و الساعات

الكائن الحي	النظام الذبذبة / الاهتزاز	الفترة / الدور
جندب الرمل	يعرف في أي اتجاه يهرب من موضع الشمس أو القمر	يوماوي
البشر	أمواج غاما في الدماغ أمواج ألفا في الدماغ المعدل القلبي أمواج دلتا في الدماغ دوران الدم الإيقاعات الدورية الخلوية دور النوم لحركة العين السريعة الدورة الأنفية دورة النمو الهرموني نواة فوق التصالبة (SCN) ، تركيز الهرمون اليوماوي درجة الحرارة ، ..الخ تؤدي إلى تأخر الدفع ساعة الجلد الدورة الشهرية التقدم في العمر	0.023 – 0.03 s 0.08-0.13 s 0.3-1.5 s 0.3-10 s 30s 1 – 2 ks 5.4 ks 4 -9 ks 11 ks 90ks يوماوية 2.4(4) Ms 3.2(3)Gs
الذباب الشائع	ضربات الجناح	30 ms
ذباب الفاكهة	ضربة الجناح من أجل المغازلة	34 ms
أكثر الحشرات (مثل اليعاسيب ، ذباب الفاكهة)	كشف اقتراب الشتاء (السبات) وفق طول قياس اليوم مما يقدح تغيرات استقلابية	سنويا
العوالق	تركيز الأدينتوزين ثلاثي الفوسفات ATP	
العفن	تشكل الغبيرات	يوماوي
العددي من النباتات المزهرة	فتح و إغلاق الزهرة	يوماوي
نبات التبغ	ساعة فتح الزهرة ، يقدها طول اليوم وقد اكتشف في عام 1920 من قبل Garner & Allard	سنوي
الصمغ العربي	الحركة المحيطية Circumnutation النمو	يوماوي بضع ساعات

نبات التلغراف	دوران الورقة جانبيا	200 s
نبات Frosythiaالأوربي ، المعلق ، spectabilis ، viridissima	تذبذب بتلات الزهرة ، اكتشف من قبل Van Gooch 2002	5.1 ks



الشكل 20 مقدار الإيقاع البيولوجي منسوبا للحجم في الثدييات كلها ذات قياس أكثر أو أقل من ربع قوة الكتلة .

لماذا تمشي الساعات باتجاه اليمين ؟

التحدي السادس و الأربعون كم الزمن عند القطب الشمالي الآن ؟ أكثر الحركات الدورانية في مجتمعنا ، مثل السباقات الرياضية ، الخيل ، الدراجات أو سباقات التزلج تدور بعكس عقارب الساعة * الرياضيون يسمون هذا باتجاه الدوران الإيجابي . كل سوبر ماركت يقود زبائنه باتجاه عكس عقارب الساعة عبر الصالة ، لماذا ؟ . أكثر الناس أيامن / يستخدمون يدهم اليمنى و اليد اليمنى لديها حرية أكبر عند خارج الدائرة . بالتالي منذ آلاف السنين خلت فإن سباقات

العربات في الستادات / الحلبات كانت تتم بعكس اتجاه عقارب الساعة . بالنتيجة كل سباقات الستاد / الحلبات ما تزال تفعل ذلك حتى اليوم و أن العدائين يتحركون عكس عقارب الساعة . لنفس السبب ، الأدراج الحلزونية في القلاع معمولة بطريقة تساعد الأيامن ، عادة من الأعلى ، بحيث يمسك الشخص بيده باتجاه الخارج .

من ناحية أخرى ، الساعة تحاكي ظل الساعات الشمسية / المزاول ، من الواضح أن هذا صحيح في نصف الكرة الشمالي فقط وفقط بالنسبة للساعات الشمسية / المزاول على الأرض ، التي كانت الأكثر شيوعا . (الخدعة القديمة لتحديد الشمال بالإشارة لعقرب الساعة لساعة أفقية باتجاه الشمس و تنصيف الزاوية بينها و اتجاه الساعة 12 الذي لا ينجح في نصف الكرة الجنوبي – لكن هناك يمكنك أن تحدد الشمل بهذه الطريقة) . هكذا كل ساعة تستمر بشكل ضمني ببيان في أي نصف كرة تم اختراعها . بالإضافة لذلك ، أيضا تخبرنا أن المزاول على الجدران أتت متأخرة أكثر من تلك التي على الأرض .

هل يتدفق الزمن ؟

" لا يمكننا أن نقارن أي عملية مع مرور الزمن – ليس هناك شيء كهذا - لكن يمكن بواسطة عملية أخرى (مثلا بواسطة علم كرونومتر) "

لودفيج فيتجنشتاين ، تراكتاتوس 6.3611

" إذا كان الزمن نهرا فما هو سريره ؟ "

إن تعبير تدفق الزمن ، غالبا يستخدم لإعطاء فكرة أنه في الطبيعة أي تغير يتلوه تغير في شكل مستمر و ثابت . و لكن عن طريق تدفق عقارب الساعة فإن الزمن نفسه لا يتغير . الزمن هو مفهوم طرح خصيصا ليصف تدفق الأحداث حولنا و هو لا يتدفق بنفسه و لكنه يصف التدفق . الزمن لا يتقدم . الزمن ليس خطيا و لا دوريا . فكرة أن الزمن يتدفق هي مثل إعاقة فهم الطبيعة في فكرة (المجلد III ، صفحة 72) أن المرايا تبدل اليمين و اليسار .

إن الاستخدام غير المضلل للتعبير الخاطئ لتدفق الزمن قد انتشر أولا (المرجع 39) بواسطة بعض المفكرين الإغريق ومرة أخرى من قبل نيوتن . و ما يزال مستمرا كان أرسطو حذرا في التفكير منطقيا ، و أشار إلى سوء هذا الفهم ، و العديد قاموا بذلك بعده . على أن التعابير مثل انعكاس الزمن ، عدم قابلية انعكاس الزمن و الكثير أساؤوا استخدام سهم الزمن الذي ما زال شائعا . تماما اقرأ مجلة علمية شعبية

---

*الاستثناءات الملحوظة هي الأكثر ولكن ليس كلها ، سباقات الفورميولا 1

التحدي السابع و الأربعين e/ مختارة بشكل عشوائي . الحقيقة هي أن: الزمن لا يمكن أن يعكس ، فقط الحركة يمكن أو بشكل أكثر دقة سرعات الأجسام فقط ، الزمن لا يملك سهما ، الحركة فقط تملك و ليس تدفق الزمن الذي يستطيع البشر إيقافه لكن حركة كل الأشياء في الطبيعة . وبشكل (المرجع 40) لا يصدق هناك حتى كتب كتبت من قبل فيزيائيين محترمين الذين درسوا أنواعا مختلفة من أسهم الزمن و قارنوها مع بعضها البعض . و من المتوقع أنه لن تستخلصأي نتيجة ذات صلة أو جديدة .

- الزمن لا يتدفق . فقط الأجسام تتدفق الزمن لا يملك اتجاها . الحركة تملك . لنفس السبب ، التعابير العامية مثل بداية (أو نهاية) الزمن يجب تجنبها . إن خبير الحركة يترجمها ويحولهاإلة بداية (أو نهاية) الحركة .

ما هو الفراغ ؟

إن طرح الأعداد مثل الإحداثيات ...

هو عمل عنيف

هيرمان ويل فيلسوف الرياضيات و العلوم الطبيعية *

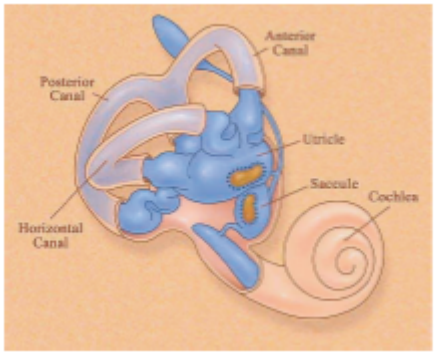
متى ميزنا جسمين عن بعضهما البعض ، مثل نجمين ، فإننا أولا نميز موضعهما . و نحن نميز المواضع بواسطة حواس الرؤية ، اللمس ، التصور و السمع . و الموضع بالتالي هو ناحية مهمة من الحالة الفيزيائية للجسم . إن الموضع يؤخذ لأحد الجسمين كل مرة . المواضع محدودة . إن مجموعة المواضع المتاحة ، التي تسمى الفراغ / الفضاء المادي تعمل كحاوية و خلفية .

إن الخاصة المرتبطة بشكل وثيق بالفضاء / الفراغ و الموضع هو الحجم ، و هو مجموعة المواضع التي يشغلها جسم .الأجسام الصغيرة تشغل فقط مجموعات جزئية من الماضع المشغولة من قبل الأجسام الأكبر . و سوف نناقش (صفحة 52) الحجم بتفضيل أكبر بعد وقت قصير .

كيف نستنتج الفراغ من الملاحظات / القياسات ؟ خلال الطفولة ،فإن البشر (و أكثر الحيوانات الأعلى) تتعلم من أن تجمع كل التصورات المختلفة للفرغ و هي المرئية ، اللمسية و السمعية ، الحركية الحسية ، الدهليزية ... الخ في مجموعة واحدة منسجمة ذاتيا من الخبرات و الوصف . نتيجة هذه العملية التعليمية هي المفهوم المؤكد للفراغ في الدماغ . و في الحقيقة ، السؤال " أين " ؟ يمكن أن يسأل و يجاوب عليه في كل لغات العالم . و لكونه أكثر دقة فإن البالغين يستنتجون الفراغ من قياسات بعيدة . و مفاهيم الطول ، المساحة ، الحجم ، الزاوية و الزاوية الحجمية كلها تستنتج بمساعدتهم . إن المقييسن الهندسيين ، المساحين ، المعماريين ، رواد الفضاء ، بائعي السجاد و منتجي المقاييس يستندون في مهنتهم إلى قياسات المسافة .

- الفراغ يتشكل من كل علاقات الموضع و المسافة بين الأجسام باستخدام أدوات القياس . طور البشر مقاييس المسافة لتحديد المسافات و الأحجام بالدقة الممكنة .

هيرمان ويل (1955- 1885) كان أحد الرياضيين الأكثر أهمية في عصره و أيضا فيزيائي نظري مهم . ولقد كان أحد آخر العلماء في كلا الحقلين ، و هو من المساهمين في نظرية الكم و النسبية ، وهو أبو نظرية مصطلح القياس و مؤلف العديد من الكتب الشائعة .





الشكل 21 إثباتين أن الفراغ له ثلاثة أبعاد : التيه الدهليزي في الأذن الداخلية للثدييات (هنا البشر) ذو ثلاث قنوات و عقدة .

مقاييس المسافة تعمل جيدا فقط إذا كانت مستقيمة . ولكن عندما عاش البشر في الغابات لم يكن هناك أجسام مستقيمة حولهم . و لم يوجد مساطر مستقيمة و لا أدوات مستقيمة و لا شيء.

التحدي الثامن و الأربعين / اليوم إن مخطط المدينة هو أساسا مجموعة من الخطوط المستقيمة . هل يمكنك وصف كيف حقق البشر هذا ؟ حالما خرج البشر من الغابة ، مع مقاييسهم المترية المصنوعة حديثا ، فقد جمعوا مجموعة كبيرة من النتائج . النتائج الأساسية واردة في الجدول 9 وهي تؤكد بسهولة بواسطة الخبرة البشرية . بشكل خاص ، الأجسام التي يمكن أن تأخذ موضعا في شكل مستمر واضح: و هناك في الحقيقة مزيد من المواضع أكثر من أن يعد .* الحجم يتم الحصول عليه بتعريف المساقة بين مواضع مختلفة تعرف بالطول أو باستخدام حقل الرؤية الذي يأخذه جسم عندما يلمس و الذي يعرف بمساحة سطحه . الطول و المساحة يمكن قياسها بمساعدة المقياس المتري . (نتائج القياس المختارة معطاة في الجدول 10 ، بعض أجهزة قياس الطول مبينة في الشكل 23) . إن طول الأجسام مستقل عن الشخص الذي يقيسها ، و عن موضع الأجسام و توضعها . و في الحياة اليومية فإن مجموع الزوايا في أي مثلث يساوي زاويتين قائمتين . وليس هناك حدود للمسافات ، الأطول و بالتالي الفراغ .

تبين لنا الخبرة أن الفراغ له ثلاثة أبعاد ، ويمكننا تعريف تتابعات المواضع في ثلاثة طرق مستقلة . في الحقيقة الأذن الداخلية (عمليا) لكل الفقاريات لها ثلاث قنوات نصف دائرية التي تتحسس لتسارع الجسم في الأبعاد الثلاثة للفراغ كما هو مبين في الشكل **21 . بشكل مشابه فإن كل عين بشرية تتحرك (التحدي التاسع و الأربعين) بواسطة ثلاثة أزواج من العضلات . (لماذا ثلاثة ؟) و هذا دليل آخر على أن الفراغ له ثلاثة أبعاد وهي تتم بواسطة أربطة : إذا كان الفراغ له أكثر من ثلاثة أبعاد ، فإن الأربطة لن تكون مفيدة ، لأن العقد توجد فقط في الفراغ ثلاثي الأبعاد . لكن لماذا يكون للفراغ أبعاد ثلاثية ؟ هذا هو أحد الأسئلة الأكثر صعوبة في الفيزياء . نحن نتركه مفتوحا في الوقت الحاضر . يقال غالبا أن التفكير في أربعة أبعاد مستحيل . و هذا خطأ . حاول فقط .

---

*من أجل تعريف عدم قابلية العد ، أنظر الصفحة 215 في المجلد III .

**لاحظ أن القول أن الفراغ له ثلاثة أبعاد يقتضي أن الفراغ مستمر ، الرياضي

و الفيلسوف Luitzen BROUWER (ولد في Overschie في 1881 و توفي 1966 في Blaricum)أظهر أن قابلية تحديد الأبعاد هي فقط مفيدة من أجل المجموعات المستمرة .

الجدول 9 خواص الفراغ / الفضاء الغاليلي

النقاط أو المواضع في الفراغ	الخاصة الفيزيائية	الاسم الرياضي	التعريف
يمكن تمييزها	قابلية التمييز	عنصر مجموعة	المجلد III ، صفحة 212
يمكن جمعها إذا كانت على خط واحد	تتابع	ترتيب	المجلد V ، صفحة 364
يمكن تشكيل الأشكال	شكل	الطبولوجيا	المجلد V ، صفحة 363
تقع على طول ثلاثة اتجاهات مستقلة	إمكانية العقد	3 أبعاد	صفحة 80 ـ المجلد IV ، صفحة 234
يمكن أن يكون لها مسافة متناقصة	استمرارية	كثافة ، اكتمال	المجلد V ، صفحة 364
تعريف المسافات	قابلية القياس	القياس	المجلد IV ، صفحة 235
السماح بإضافة الانتقالات	قابلية الجمع	القياس	المجلد IV ، صفحة 235
تعريف الزوايا	الجداء السلمي	الفراغ الإقليدي	صفحة 90
لا تتضمن مفاجئات	عدم التغير في الانتقال	التجانس	
لا يمكن أن تتجاوز أي نهاية	لانهاية	عدم المحدودية	المجلد III ، صفحة 213
معرفة من أجل كل المراقبين	المطلقية	التفرد / الوحداينة	صفحة 52

التحدي الخمسون / مثلا هل يمكنك تأكيد أنه في الأبعاد الأربعة العقد هي مستحيلة ؟ مثل الفواصل الزمنية ، فإن فواصل الطول يمكن وصفها بشكل أكثر دقة بمساعدة الأعداد الحقيقية . من أجل تبسيط الاتصال فإنه تستخدم واحدات معيارية ، بحيث أن كل شخص يستخدم نفس الأعداد من أجل نفس الطول . الواحدات تدعنا نستكشف الخواص العامة للفراغ الإقليدي تجريبيا : الفراغ ، حاوية الأجسام هي مستمرة ، ثلاثية الأبعاد ، متماثلة المناحي ، متجانسة ، لا نهائية ، الإقليدية و التفرد أو المطلقية . في الرياضيات ، فإن بنية أو المفهوم الرياضي ذو كل الخواص التي ذكرت للتو تدعى الفراغ الإقليدي ثلاثي الأبعاد . إن عناصره النقاط(الرياضية) موصوفة بواسطة بارامترات حقيقية ثلاثة . و هي تكتب عادة بالشكل :

$$(x, y, z) \qquad (1)$$

وهي تعرف بالإحداثيات . و هي تحدد و ترتب موقع نقطة في الفراغ . (من أجل صفحة 80 / التعريف الدقيق للفراغات الإقليدية أنظر أدناه) .

ما هو موصوف هنا فقط في نصف صفحة استغرق 2000 عاما للوصول إليه بشكل أساسي بسبب أن مفاهيم الأعداد الحقيقية و الإحداثيات كان يجب أن تكتشف أولا . أول شخص وصف النقاط في الفراغ كان الرياضي الشهيرو الفيلسوف رينيه ديكارت * الذي سميت باسمه (1) الإحدثيات الديكارتية .

مثل الزمن فإن الفراغ هو مفهوم ضروري لوصف العالم . في الحقيقة الفراغ يطرحتلقائيا عندما نصف الحالات للعديد من الأجسام . مثلا عندما العديد من الكرات تقع على طاولة بلياردو فإننا لا يمكننا تجنب استخدام الفراغ لوصف العلاقات بينها . و ليس هناك طريقة لتجنب استخدام المفاهيم الفراغية عند الحديث عن الطبيعة .

رينيه ديكارت أو كارتيزيوس : (ولد في 1596 في La Haye و توفي في 1650 في ستوكهولم) ،هو رياضي و فيلسوف قائل العبارة الشهيرة " أنا أفكر إذا أنا موجود " . و في رأيه فإن هذه العبارة هي العبارة الوحيدة التي يمكن للإنسان أن يكون متأكد بشأنها .



الشكل 22 رينيه ديكارت (1650- 1569)

حتى بالرغم من أننا بحاجة للفراغ للحديث عن الطبيعة ، ما يزال من المهم السؤال لماذا هذا ممكن . مثلا نظرا لأن العديد من طرق قياس المسافة موجودة – فإن بعضها الواردة في الجدول 11 – ونظرا لأنها كلها تعطي نتائج متوافقة ، يجب أن تكون طريقة طبيعية أو (التحدي الحادي و الخمسين) مثالية لقياس المسافات ، الأحجام و الاستقامات . هل يمكن أن تجد ذلك ؟

كما في حال الزمن ، كل من خواص الفراغ الواردة يجب أن تدرس . و مرةثانية ، الملاحظات الدقيقة ستبين أن كل خاصة هي تقريب . و في كلمات أبسط و أكثر قسوة كلها خاطئة . وهذا يؤكد قول Weyl في بداية هذه الفقرة . في الحقيقة قوله حول العنف مرتبط بطرحالأعداد التي تخبرنا بها كل غابة في العالم . بقية مغامرتنا ستبين هذا .

هل الفراغ و الزمن مطلقان أم نسبيان ؟

في الحياة اليومية ، فإن مفاهيم الفراغ الغاليلي و الزمن تشمل ناحيتين متعاكستين ، التباين لوّن كل مناقشة لعدة قرون . من ناحية أخرى الفراغ و الزمن تعبر عن شيء ما غير متغير و ثابت ، و كلاهما يعملان مثل حاويات كبيرة من أجل كل الأشياء و الأحداث التي توجد في الطبيعة . و عندما ينظر إليها بهذا الشكل فإن الفراغ و الزمن يكون لهما وجود بذاتهما . وبهذا المعنى يمكن للمرء القول أنهما أساسيان أو مطلقان . من ناحية أخرى ، الفراغ و الزمن أداتان للوصف اللتان تسمحان لنا بالحديث عن العلاقات بين الأجسام . و بهذا الشكل ، فهما لا يملكان أي معنى عندما يفصلا عنالأجسام ، وفقط ينتجان عن العلاقات بين الأجسام ، وهما مشتقان ، مترابطان أو(التحدي الثاني و الخمسون e) نسبيان . أي هذه الآراء تفضل ؟ إن نتائج الفيزياء قد مالت بشكل مغاير لرأي أو آخر . وسوف نكرر هذا التغير في كل (المرجع 41) مغامرتنا حتى نجد الحل . و من الواضح أن هذا سيؤدي إلى خيار ثالث .

الحجم – لماذا الطول و المساحة توجد و لكن الحجم لا يوجد الناحية المركزية في الأشياء هي حجمها . كطفل صغير دون سن المدرسة ، كل إنسان يتعلم كيفية استخدام خواص الحجم و الفراغ في عملهم . و كبالغين يبحثون عن الدقة ، بتعريف المساقة بأنها الفرق بين إحداثيين تسمح لنا بتعريف الطول بشكل موثوق . استغرق الأمر مئات السنين لاكتشاف أن هذا ليس صحيحا .

---

*القياس هو أفضل (شيء) ، كليوبولوس (620-550 BCE) من ليندوس كان رجلا آخر من الحكماء السبعة

الجدول 10 بعض قيم المسافة المقاسة

الملاحظة	المسافة
طول موجة كومبتون للمجرة	10^{-85} m (محسوبة فقط)
طول بلانك ، أقصر طول قابل للقياس	10^{-35} m

قطر البروتون	1 fm
طول موجة كومبتون للإلكترون	2.426310215(18)pm
أصغر ذبذبة هواء قابلة للكشف من قبل الأذن البشرية	11pm
حجم ذرة الهيدروجين	30pm
حجم جرثومة صغيرة	0.2 µm
طول موجة الضوء المرئي	0.4 – 0.8 µm
نصف قطر شفرة الحلاقة	5 µm
النقطة : قطر أصغر جسم مرئي بالعين المجردة	20 µm
قطر الشعرة البشرية (الرفيعة إلى الثخينة)	30-80 µm
الطول الكلي لـ DNA في الخلية البشرية	2m
أكبر شيء حي ، فطر Armillaria ostoyae	3 km
أطول رمية بشرية لأي جسم ، باستخدام رامي معكوف	427 m
أعلى بناء من صنع البشر ، برج خليفة	828m
أكبر شبكة عنكبوت في المكسيك	تقريبا 5 km
طول خط الاستواء للأرض	40075014.8(6) m
الطول الكلي للأوعية الدموية للإنسان (تقديرا)	4-16 .10^4 km
الطول الكلي للخلايا العصبية للإنسان (تقديرا)	1.5-8 .10^5 km
المسافة المتوسطة للشمس	14959787061(30) m
السنة الضوئية	9.5 Pm
المسافة إلى نجم نوعي ليلا	10 Em
حجم المرجة	1 Zm
المسافة لمجرة الأندروميدا / المرأة المسلسلة	28 Zm
أكثر الأجسام المرئية بعدا	125 Ym

و العديد من الدراسات في الفيزياء و الرياضيات أدت إلى مضاعفات القضايا الفيزيائية بدأت بسؤال بسيط مدهش سئل من قبل لويس ريتشاردسون: *كم طول الساحل البريطاني ؟

بمتابعة الساحل على خارطة باستخدام مقياس مسافة ،وهو جهاز مبين في الشكل 24 ، وجد ريتشاردسون أن الطول l للساحل يعتمد على المقياس (ليكن 1:10 000 أو 1:500 000) للخارطة المستخدمة :

$$l = l_0 \, s^{0.25} \qquad (2)$$

(وجد ريتشاردسون أسس أخرى لسواحل أخرى) . العدد l_0 هو الطول في المقياس 1:1 . إن النتائج الأساسية هي أنه كلما كانت الخارطة أكبر كلما كان الساحل أطول . ماذا يحدث إذا ازداد مقياس الخارطة حتى أكثر من حجم الأصل ؟

الطول سيزداد أكثر من كل الحدود . هل يمكن للساحل أن يكون له فعلا طول لا نهائي ؟ نعم يمكن . في الحقيقة الرياضيون وصفوا مثل هذه المنحنيات ، و اليوم يسمون هذا المنحنيات المغلقة fractals . العدد اللانهائي منها يوجد و الشكل 25 يبين أحد الأمثلة **

---

*لويس فراي ريشتاردسون (1881-1953) فيزيائي إنجليزي و عالم نفس

**أكثر هذه المنحنيات هي متشابهة مع بعضها ، وهي تتبع قوانين تناسب ،مشابهة لما ذكر أعلاه



الشكل 23 ثلاثة أجهزة ميكانيكية (بياكوليس ، ميكرومتر ، شارب) و ثلاثة بصرية (العينين ، الليزر ، و الستارة الضوئية) لقياس الطول و المسافة .

التحدي الثالث و الخمسون e / هل يمنك إنشاء واحد آخر ؟

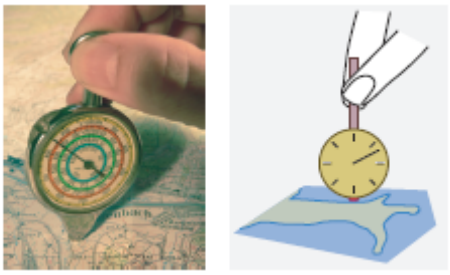
مصطلح فراكتال ، ناتج عن الرياضي Benoit Mandelbrot ويشير إلى خاصة غريبة : في معنى معين ، لديهم عدد غير صحيح من D للأبعاد ، بالرغم من كونها أحادية البعد من حيث البنية / الإنشاء .

رأى Mandelbrot أن البعد غير الصحيح كان مرتبطا بالأس e لريتشاردسون بالشكل D = 1+e ،المرجع 42 / وبالتالي يعطي D =1.25 في المثال أعلاه . و العدد D يختلف من حالة لأخرى . و تعطي القياسات قيمة D = 1.14 من أجل حدود أراضي دولة البرتغال D = 1.13 من أجل الساحل الأسترالي و D= 1.02 من أجل ساحل جنوب أفريقيا .

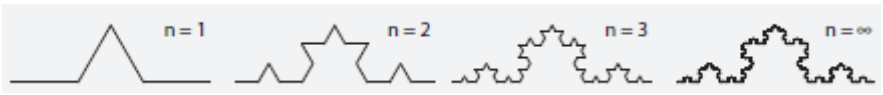
الجدول 11 أجهزة قياس الطول في الأنظمة البيولوجية و الهندسية

القياس	الجهاز	المجال
البشر قياس شكل الجسم مثل مسافة الإصبع ، موضع العين ، مسافة الأسنان	حساسات عضلية	0.3 mm - 2 m
قياس مسافة الجسم	الرؤية الستريوسكوبية	1-100 m
قياس مسافة الجسم	تأثير صدى الصوت	0.1 -1000m
الحيوانات قياس حجم الثقب / الحفرة	الشارب	حتى 0.5 m
قياس مسافة المشي من قبل نمل الصحراء	عداد خطوات	حتى 100 m
قياس مسافة الطيران من قبل نحل العسل	العين	حتى 3 km
قياس مسافات السباحة من قبل القروش	خارطة الحقل المغناطيسي	حتى 1000 km
قياس مسافة الفريسة من قبل الثعابين	حساس أشعة تحت الحمراء	حتى 2 m
قياس مسافة الفريسة من قبل الخفافيش ، الدلافين و الحيتان الحدباء	السونار	حتى 100 m
قياس مسافة الفريسة من قبل العصافير	الرؤية	0.1 – 1000m
الآلات قياس مسافة الجسم بواسطة الليزر	انعكاس الضوء	0.1 - 400 Mm
قياس مسافة الجسم بواسطة الرادار	صدى الراديو	0.1 – 50 km
قياس طول الجسم	مقياس التداخل الضوئي	0.5 µm- 50 km

قياس مسافة النجم ، المجرة أو الكوازر	تناقص الشدة	حتى 125 Ym
قياس حجم الجزيئة	مسرع	حتى 10^{-18} m



الشكل 24 مقياس انحناء أو مسافة



الشكل 25 مثال على فراكتال : منحني مشابه لنفسه ذو طول لا نهائي (أقصى اليمين) و بنيته

الطول له ثلاثة خواص . كان الرياضي Giuseppe Vitali أول من اكتشف أنه من الممكن قطع مقطع من طول 1 إلى قطع التي يمكن إعادة تجميعها – بمجرد إزاحتها في اتجاه القطعة / المقطع – في مقطع خط بطول 2 . حيث تستطيع إيجاد مثل هذا التقسيم باستخدام الملحوظة أنه من الممكن فقط (التحدي الرابع و الخمسون d /) استخدام قطع بعدد غير منته .

للتلخيص

- الطول موجود و لكن الطول معرف جيدا فقط من أجل الخطوط المستقيمة أو ذات الانحناء اللطيف ولكن ليس من أجل الخطوط المعقدة ، أو الخطوط التي يمكن تقطيعها إلى عدد لا نهائي من القطع .

بالتالي نحن نتجنب الفراكتال و المنحنيات ذات الشكل الغريب فيما يلي و سوف ننتبه بشكل خاص عند الحديث حول القطع الصغيرة بشكل لا متناهي . و هذه هي الافتراضات الرئيسية في أول خمسة مجلدات من هذه المغامرة و علينا أبدا ألا ننساها .

سوف نعود إلى هذه الافتراضات في آخر جزء من مغامرتنا . في الحقيقة كل هذه المشاكل تتلاشى مقارنة مع المشكلة التالية : عموما المساحة و الحجم يتم تعريفها باستخدام الطول . عل تعتقد أن هذا سهل ؟ إنك مخطئ ،وأيضا أنت ضحية لأحكام مسبقة انتشرت في المدارس حول العالم . لتعريف المساحة والحجم بدقة ، فإن تعريفها يجب أن يكون له خاصتين : القيم يجب أن تكون قابلة للجمع ، أي من أجل المجموعات المنتهية و غير المنتهية من الأشياء ، فإن المساحة الكلية و الحجم يجب أن يكونوا مجموع المساحات و الحجوم لكل عنصر من المجموعة ، و القيم يجب أن تكون دقيقةأي إذا قسمنا مساحة أو حجم إلى قطع و أعدنا ترتيب القطع ، فإن القيمة يجب أن تبقى نفسها . هل هذه التعاريف ممكنة ؟ بمعنى آخر هل مثل هذه المفاهيم للحجم و المساحة موجودة ؟

من أجل المساحات في المستوي فإننا نتابع بالطريقة القياسية : نعرف المساحة A لمستطيل بأنها جداء الضلعين a & b بالشكل A = ab نظرا لأن أي مضلع يمكن إعادة تشكيله (التحدي 55) إلى مستطيل ذو عدد منتهي من القطع المستقيمة ، و يمكننا بالتالي تعريف قيمة المساحة لكل المضلعات . بالتالي ، يمكننا تعريف المساحة من أجل الأشكال التي لها منحني ظريف كحد (صفحة 250) لمجموع العديد من المضلعات اللانهائية . هذه الطريقة تدعى التكامل ، و هي مطروحة بالتفصيل في الفقرة حول العمل الفيزيائي .

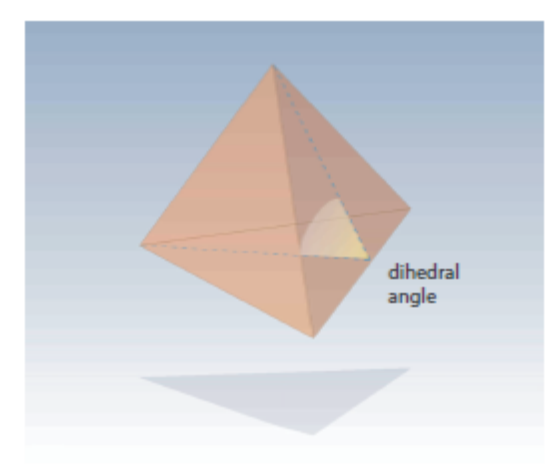
لكن التكامل لا يسمح لنا بتعريف المساحة من أجل مناطق محدودة بشكل اعتباطي (التحدي 56) (هل يمكنك تخيل مثل هذه المنطقة ؟) من أجل تعريف كامل ، فإن مزيدا من الأدوات المعقدة لازمة . و قد اكتشفت في عام 1923 من قبل الرياضي الشهير *Stephan Banach وقد أثبت أن المرء يمكنه فعلا تعريف مساحة بأي مجموعة من النقاط مهما كانت حتى إذا لم تكن الحدود ذات منحنيات لطيفة / منتظمة و لكن معقدة بشكل كبير مثل منحني الفراكتال الذي وصفناه سابقا . و اليوم هذا المفهوم المعمم للمساحة ، فنيا هو قياس تجميعي نهائي غير متغير بشكل متماثل المناحي ، و يعرف بقياس Banach تخليدا له . و الرياضيون يخلصون من هذه المناقشة بالقول أنه نظرا لأنه في بعدين يكون هناك قياس Banach فإن هناك طريقة لتعريف مفهوم المساحة – هي قياس جمع و تحديد – لأي مجموعة من النقاط مهما كانت ** . باختصار :

- توجد مساحة . المساحة تعرف جيدا من أجل المستوي و الأسطح ذات الشكل المنتظم و لكن ليس من أجل أشكال معقدة .

---

* Stephan Banach (ولد في 1892 في كراكوف ، و توفي في 1945 في لفوف)

**في الحقيقة هذا صحيح فقط من أجل مجموعات في المستوي مثل سطح كرة ، يكون هناك مضاعفات التي لن تناقش هنا . بالإضافة لذلك فإن المسائل المذكورة في تعريف طول الفراكتلات أيضا تعاود الظهور إذا كان السطح المقاس غير مسطح . إن المثال النوعي هو مساحة الرئة البشرية : تبعا لمستوى التفاصيل المفحوصة ، قيم المساحة تختلف من بضع إلى أكثر من مئات من الأمتار المربعة .



الشكل 26 كثير وجوه مع واحدة من الزوايا بين وجهين

ما هو الوضع في الأبعاد الثلاثية أي من أجل الحجم ؟ يمكننا البدء بنفس الطريقة في حال المساحة ، بتعريف الحجم V لمتوازي مستطيلات ذو أضلاع a,b,c حيث V = abc . لكن عندما نصادف أول مسألة : متوازي مستطيلات عام لا يمكننا تقسيمه إلى مكعب بواسطة قطع مباشرة . التحديد اكتشف في 1902 & 1900 من قبل *Max Dehn لقد وجد أن

الإمكانية تعتمد على قيم زوايا الأضلاع أو الزوايا بين الوجوه ، كما يسميها الرياضيون . (وهي معرفة في الشكل 26) . إذا وصف المرء كل ضلع من كثير وجوه عام بعدد معطى بواسطة طوله مضروبا بتابع خاص $g(\alpha)$ للزاوية بين الوجهين α و بالتالي وجد Dehn أن مجموع كل الأعداد من أجل كل الأضلاع لمجسم لا يتغير عند التقطيع / النشر ، شريطة أن التابع يحقق :$g(\alpha+\beta) = g(\alpha) + g(\beta)$ & $g(\pi) =0$. و كمثال على مثل هذا التابع الغريب g هو أن يعطي المرء القيمة صفر لأي مضاعف كسري لـ π و القيمة واحد لمجموعة أساس لمضاريب غير كسرية لـ π . و قيم كل الزوايا بين وجهين

لكثير الوجوه يمكن بالتالي إنشاؤها بتشكيل مضاريب كسرية لهذه الزوايا الأساسية . و باستخدام (التحدي 57) هذا التابع يمكنك أن تستنتج بنفسك أن المكعب لا يمكن أن يقطع إلى رباعي أضلاع لأن ثوابت Dehn لها هي مختلفة ** .

بالرغم من المشاكل المتعلقة بثوابت Dehn فإن المفهوم الصحيح و الجمعي للحجم من أجل كثيرات الوجوه موجود نظرا لأنه من أجل كل كثيرات الوجوه و بشكل عام من أجل كل الأشكال ذات أشكال المنحنيات المنتظمة فإن الحجم يمكن تعريفه بمساعدة التكامل .

الآن لنعتبر الأشكال العامة و قطع عامة في الأبعاد الثلاثية ليس فقط اللطيفة التي مرت معنا حتى الآن . و بالتالي سنتعثر في تطبيق نظرية Banach – Tarski (المرجع 43) (أو العبارة) . في 1924 أثبت Stephan Banach و Alfred Tarski*** أنه من الممكن قص كرة إلى خمسة أجزاء التي يمكن إعادة جمعها بشكل كرتين كل واحدة بحجم الأصلية .

Max Dehn * (ولد في هامبورج في 1878 ، وتوفي 1952 في الجبل الأسود) وهو رياضي ، و تلميذ دايفيد هيلبرت

** هذا أيضا يقال في الكتاب الجميل لـ M. AIGLER & G.M. ZIEGLER براهين من الكتاب ، طبع Springer 1999 و هذا العنوان هو ناتج عن عادة هللرياضي الشهير Paul Erdös لتخيل أن كل البراهين الرياضية الجميلة يمكن جمعها في كتاب البراهين .

Alfred Tarski*** (ولد في 1902 في وارسو و توفي في 1983 في بيركلي) هو رياضي تأثيري .



الشكل 27 خطوط مستقيمة في الطبيعة : سيروسيت

إن هذا التناقص المنطقي هو نظرية Banach – Tarski . حتى الأسوأ من ذلك الشكل الآخر من النظرية ينص على أن : خذ أي مجموعتين تمتدان للانهاية و تحتوي كل منهما كرة مجسمة بالتالي دائما من الممكن قطع واحدة إلى أخرى بعدد منتهي من القطعات . و بشكل خاص من الممكن قطع حبة البازلاء إلى الكرة الأرضية أو العكس بالعكس . الحجم لا يعتبر * و باختصار الحجم ليس مفهوما مفيدا على الإطلاق .

إن نظرية Banach – Tarski تطرح سؤالين : الأول هل يمكن تطبيق النتيجة على الذهب أو الخبز ؟ إن هذا سيحل العديد من المشاكل . ثانيا هل يمكن تطبيقه على الفضاء (التحدي 58) الخالي ؟ بمعنى آخر هل المادة خالية و الفضاء الخالي مستمر ؟ كلا الموضوعين سيدرسان لاحقا في مسيرتنا و كل قضية سيكون لها نتائجها الخاصة بها . و بالنسبة للحظة الحالية نلغي هذه القضية الشائكة بحصر اهتمامنا – ثانية – بالأشكال ذات المنحنيات المنتظمة (و سكاكين القطع) . بواسطة هذا الحصر فإن الأحجام للمادة و الفراغ / الفضاء الخالي تعملان بشكل جيد : حيث أنهما جمعيان و دقيقان و لا يبديان أي تناقض ** و في الحقيقة القطع المطلوبة من أجل تناقض Banach – Tarski ليست انسيابية ، حيث من الممكن

تنفيذها بواسطة سكين قطع عادية ، كما تتطلب (عدد لا نهائي) و الانحناءات تكون حادة بشكل لا نهائي التي تنفذ بواسطة سكين حادة بشكل لا نهائي . و مثل هذه السكين غير موجودة . على أننا سنبقي في خلفية عقلنا أن حجم جسم أو قطعة من فضاء فارغ هي كمية مخادعة – و أننا بحاجة لأن نكون دقيقين عند الحديث عنها .

باختصار

- الحجم يوجد فقط كتقريب . الحجم معرف جيدا من أجل المناطق ذات الأسطح الانسيابية . الحجم لا يوجد بشكل عام عندما

يسمح بالقطع الحادة المحدودة /النهائي . و نحن نتجنب الأحجام ذات الشكل الغريب ، الأسطح و المنحنيات فيما يلي و ننتبه بشكل خاص عند الحديث عن الأشياء الصغيرة . و يمكننا الحديث عن الطول ، المساحة و الحجم فقط بواسطة هذا الشرط . و هذا التجنب هو افتراض أساسي في أول خمسة مجلدات من هذه المغامرة .

---

*إثبات النتيجة لا يحتاج لكثير من الرياضيات حيث تفسر بشكل جميل من قبل إيان ستوارت في تناقض الكرات ، New Scientist ، 14 كانون الثاني 1995 ، صفحة 31-28 . البرهان يستند إلى بديهية الاختيار

مجلد III ، صفحة 213 / التي ستعرض لاحقا . إن تناقض Banach – Tarski أيضا توجد في الأبعاد الرباعية كما (مرجع 44) في أي بعد أعلى و مزيد من التفاصيل الرياضية يمكن أن توجد في كتاب جميل بقلم Stan Wagon .

**الرياضيون يقولون أن ما يعرف بقياس Lesbsgue هو كافي في الفيزياء و هذا قياس تجميعي حسابي

ثابت بشكل متماثل المناحي الذي يعطي طريقة الأكثر عمومية لتعريف حجم .



الشكل 28 صورة للأرض – ترى من اتجاه الشمس (ناسا)

ومرة ثانية علينا ألا ننسي أبدا هذه القيود حتى بالرغم من أنها ليست قضي في الحياة اليومية . سوف نعود للفرضيات في نهاية مغامرتنا .

ما هو المستقيم ؟عندما ترى شيئا مجسما ذو حافة مستقيمة فإن هذا تقدير آمن بنسبة 99% بأنه من صنع الإنسان . بالطبع هناك استثناءات كما هو مبين في الشكل *27 . أكبر البلورات التي وجدت قط المرجع 46 / هي بطول 18 متر . لكن بشكل عام التباين بين الأشياء التي ترى في المدينة كالأبنية ، الأثاث ، السيارات ، و الأعمدة الكهربائية ، الصناديق ،الكتب و الأشياء التي ترى في الغابة كالأشجار ، النباتات ، الغيوم هو واضح : في الغابة الشيء مستقيم أو مسطح ، بينما في المدينة أكثر الأشياء هي كذلك .

صفحة 475 / أي غابة تعلمنا أصل الاستقامة ، فهي تمثل جذوع الأشجار الطويلة و أشعة شمس النهار التي تدخل من أعلى عبر الأوراق . لهذا السبب ندعو الخط مستقيما إذا كان يلامس إما خطا عموديا أو شعاع ضوء على كامل طوله . و في الحقيقة التعريفان متكافئان (تحدي 60). هل يمكنك تأكيد هذا . هل يمكن أن تجد تعريفا آخر ؟ من الواضح أننا ندعو السطح مسطحا إذا كان من أجل أي توضع/ توجه مختار و وضعية لامس السطح الخط العامودي أو شعاع الضوء على طول امتداداه .

تحدي ny 59 /*لماذا البلورات لها حواف مستقيمة ؟ المثال الآخر للخطوط المستقيمة في الطبيعة غير مرتبط بالبنى صفحة 427 / الذرية و هي معروفة جيدا بالتشكيل الجيولوجي الإيرلندي تسمى الممرات العملاقة . و المرشحات الأخرى التي يمكن أن تأتي للذهن مثل الجراثيم المعينة التي لها (تقريبا) أشكال مربعة أو (تقريبا) مثلثية ليست (المرجع 45) أمثلة معاكسة كما أن الأشكال هي تقريبية فقط .



الشكل 29 نموذج يوضح نظرية الأرض المجوفة ، يبين كيف يظهر الليل و النهار

في الملخص ، مفهوم الاستقامة و بالتالي التسطح يعرف بمساعدة الأجسام أو الإشعاع . وفي الحقيقة كل المفاهيم الفراغية مثل كل المفاهيم الزمنية تتطلب حركة لتعريفها .

الأرض المجوفة ؟

الفراغ و الاستقامة تفرض تحديات قوية . بعض الناس الغريبين يقولون أن كل البشر يعيشون في داخل كرة ، و يسمون هذه بنموذج الأرض المجوف . و يدعون بأن (المرجع 47) القمر ، الشمس و النجوم هي كلها قرب مركز الكرة المجوفة كما هو موضح في الشكل 29 . وهم أيضا يشرحون أن الضوء يتبع مسارات منحنية في السماء و أنه عندما يتحدث الفيزيائيون التقليديون عن مسافة r من مركز الأرض ، فإن مسافة تحدي 61 / الأرض المجوفة هي $r_{he} = R^2_{Earth}/r$. هل يمكن أن تبين أن هذا النموذج خاطئ ؟ إن *Roman Sexl اعتاد أن يطرح هذا السؤال على طلابه و زملائه الفيزيائيين .

الجواب بسيط : إذا كنت تعتقد أن الفرضية / النظرية هي بيان أن نموذجالأرض المجوفة هو خاطئ فأنت مخطئ . ليس هناك طريقة لبيان أن مثل هذا الرأي خاطئ . و من الممكن شرح الأفق ، ظهور النهار و الليل و أيضا (التحدي 62 e) صور الأقمار الصناعية للأرض المدورة مثل الشكل 28 . لشرح ما يحدث خلال الرحلة للقمر هو أيضا ممتع . إن منظر الأرض المجوفة المتوافق هو مكافئ بشكل كامل للصورة الاعتيادية لفضاء ممتد للانهاية . و سوف نعود لهذه المسألة (المجلد II ، صفحة 243) في الفقرة حول النسبية العامة .

---

*Roman Sexl (1939-1986) فيزيائي نمساوي مهم ، مؤلف العديد من الكتب المهمة حول الجاذبية و النسبية

تحديات الفضول و المرح حول الفراغ والزمن اليومي

كيف يمكن للمرء أن يقيس سرعة طلقة مسدس بواسطة ساعة توقيت ، في فراغ مقداره متر مكعب واحد (تحدي 63) بدون إلكترونيات ؟ ملاحظة : نفس الطريقة يمكن أيضا استخدامها لقياس سرعة الطيران .

* *

من أجل طريقة مدهشة و تفاعلية لتغيير الحجم عبر كل مقاييس الطول في الطبيعة ، من طول بلانك إلى حجم الكون ، أنظر الموقع www.htwins.net/scale2/

* *

التحدي 64 من هو أسرع : السهم أو الدراجة النارية ؟

* *

التحدي 65 / لماذا غرف التفتيش دائما مستديرة ؟

* *

هل يمكنك أن تبين لطفل أن مجموع زوايا مثلث يساوي زاوتين قائمتين ؟ (تحدي 66 e) ماذا عن مثلث على كرة أو سرج ؟

* *

هل تملك كأس ارتفاعها أكبر من محيطها الأعظمي ؟

* *

يريد بستاني أن يزرع تسعة أشجار بحيث أنها تشكل عشرة خطوط مستقيمة (التحدي 67 e) على كل مستقيم منها ثلاثة أشجار . كيف يمكنه القيام بذلك ؟

* *

كم سرعة مسير حصادة العشب ؟ هذا السؤال هو عنوان منشور في (تحدي 68 d) المجلة الطبية البريطانية لعام 2011 .
هل تستطيع تخيل كيفية الإجابة عليه ؟

* *

قياسات الزمن تتطلب ظواهر دورية . حلقات الأشجار هي بقايا / آثار للفصول ؟ المتجلدات أيضا لها مثل هذه الآثار ،
تعرف بـ ogives . الآثار المشابهة توجد في الأسنان . هل تعلم مزيد من الأمثلة ؟

* *

يريد رجل أن يعلم كم عليه أن يصعد من الدرجات إذا كان الدرج المتحرك أمامه والذي يتحرك للأعلى و كانت واقفا . هو
يرقى الدرج و يعد ستون درجة و ينزل نفس الدرج بنفس السرعة و يعد تسعون درجة . (التحدي 69) ما هو الجواب ؟

* *

لديك ساعتين رمليتين : واحدة تحتاج أربعة دقائق و الأخرى تحتاج ثلاثة دقائق . كيف تستطيع (التحدي 70 e)
استخدامهما لتحدد إذا كانت خمس دقائق قد انقضت ؟



الشكل 30 في أي وزن يكون الكأس المخروطي نصف ممتلئ ؟

لديك فاصمتان بطول مختلف التي تستغرق كل منهما دقيقة لتحترق . و لا يسمح لكأن تحنيهما و لا أن تستخدم مسطرة .
كيف يمكنك تحديد أنه قد مضت 45 ثانية عليهما ؟ (التحدي 71e) الآن اللغز الأصعب : كيف يمكنك تحديد أنه قد مضت
عشرة ثواني بواسطة فاصمة وحيدة ؟

* *

لديك ثلاثة أوعية حليب : واحد ممتلئ بثمانية لترات و الآخر فارغة بسعة خمسة لترات و الآخر (التحدي 72e) فارغ
بسعة ثلاثة لترات . كيف يمكنك استخدامها لتقسيم الكمية إلى نصفين متساويين ؟

* *

كيف يمكنك صنع ثقب في بطاقة بريدية التي تسمح لك بالمرور عبرها ؟

* *

ما هي نسبة ارتفاع كأس مخروطية المبينة في الشكل 30 ، التي يجب أن تملأ بها (التحدي 74) الكأس نصفها ملآن ؟

* *

التحدي 75 / كم عدد أقلام الرصاص اللازمة لرسم خط بطول خط استواء الأرض ؟

* *

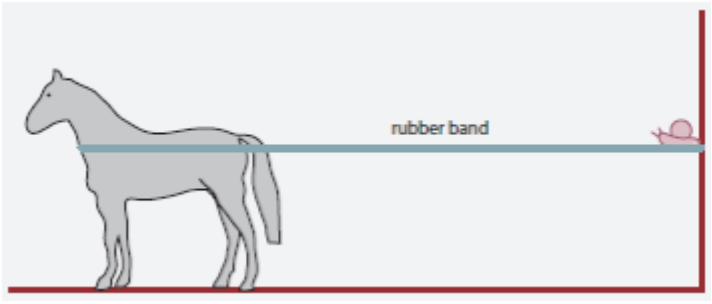
التحدي 76e / هل يمكنك وضع قطع نقدية خمسة متساوية بحيث أن كل منها يلامس الأربعة الأخرى ؟ هل تكديس طبقتين من ثلاث قطع نقدية ، كل طبقة في مثلث ، أوجد الحل من أجل ست قطع ؟ لماذا ؟ ما هو أصغر عدد من القطع النقدية التي يمكن أن توضع مسطحة على طاولة بحيث أن كل قطعة (التحدي 77e) تلامس تماما القطع الأخرى ؟

* *

التحدي 78e / هل يمكنك أن تجد ثلاث نقاط تقاطع على رقعة شطرنج التي تقع على مثلث متساوي الأضلاع؟

* *

لغز الدب التالي معروف جيدا : يغادر صياد بيته ،و يمشي عشرة كيلو مترات إلى الجنوب و عشرة كيلومترات للغرب ، و يطلق النار على دب ، يمشي عشرة كيلو مترات للشمال و يعود للمنزل ؟ما هو لون الدب ؟ ربما تعرف الجواب مباشرة . الآن يأتي السؤال الأصعب ، المفيد في كسب المال في المراهنات . البيت يجب أن يكون على عدة أماكن إضافية على الأرض ، حيث هناك أماكن أقل وضوحا التي يمكن للمرء أن يقوم تماما بنفس الرحلة (انس الدب الآن) التي وصفت للتو و يكون في البيت ثانية ؟



الشكل 31 هل يمكن لحلزون أن يصل للحصان حالما يبدأ في العدو بعيدا ؟

التحدي 79

تخيل حزام مطاطي موصل لجدار من طرف و متصل لحصان من جهة أخرى كما هو مبين في الشكل 31 . على الحزام المطاطي ، قرب الجدار ، هناك حلزون . كل من الحلزون و الحصان يتحركان ، بسرعة نوعية - حيث المطاط قابل للمط (التحدي 80) بشكل لا نهائي هل يمكن للحلزون أن يصل للحصان ؟

* *

بالنسبة للرياضيين فإن كيلو متر واحد هو نفس ألف متر . و بالنسبة للفيزيائيين هذا مختلف !في الحقيقة ، بالنسبة للفيزيائي الكيلومتر الواحد هو مقياس يقع بين 1.5 km & 0.5 بينما 1000m هي مقياس بين 1000.5 m & 999.5 m . وهكذا يجب الانتباه عندما تكتب قيم القياس . الطريقة المهنية هي كتابة مثلا 1000(8) m لتعني 1000±8 m أي القيمة تقع بين 1008 m & 992 باحتمال يبلغ (صفحة 455) 66.3% .

تخيل بقعة سوداء على سطح أبيض . ما هو لون الخط الذي يفصل البقعة (التحدي 81) عن الخلفية ؟ هذا السؤال غالبا يعرف بأحجية / لغز Peirce .

أيضا الخبز هو (تقريبا) فراكتال بالرغم من أنه غير منتظم . البعد الجزئي / الكسري / النسبي (التحدي 82) للخبز هو حوالي 2.7 . حاول قياسه .

* *

التحدي 83 e / كيف تعرف مركز قعر الكوب باستخدام ورقة و قلم رصاص ؟

* *

كم مرة في 24 ساعة يقع عقرب الساعات و الدقائق فوق بعضهما البعض ؟ (التحدي 84) بالنسبة للساعات التي أيضا لها عقرب ثواني ، كم مرة تقع العقارب الثلاث فوق بعضها البعض ؟

* *

التحدي 85 / كم مرة في 24 ساعة يقع عقرب الساعات و الدقائق يشكان زاوية قائمة ؟

* *

كم مرة في 12 ساعة يمكن لعقارب الساعة أن تتبادل مع (التحدي 85) نتيجة حالة جديدة التي تبين الزمن المقبول ؟ ماذا يحدث للساعات التي لها عقرب ثالث للثواني ؟

* *

التحدي 87 / كم عدد الدقائق التي تدور بها الأرض في دقيقة ؟

* *

ما هي أعلى سرعة تم تحقيقها في الرمي (مع أو بدون مضرب) ؟ ما ذا كان (التحدي 88) المقذوف المستخدم ؟

* *

يوضع حبل حول الأرض ، على خط الاستواء بشكل مشدود قدر الإمكان . الحبل (التحدي 89) يطول بعد ذلك بمقدار متر واحد . هل يمكن لفأر أن ينزلق تحت الحبل ؟ الأصل ، الحبل مشدود و تم إطالته بمقدار 1mm . هل يمكن لطفل أن ينزلق تحت الحبل ؟

* *

جاك كان يجدف في قاربه في نهر . عندما كان تحت جسر ، أسقط كرة في النهر . استمر جاك في التجديف بنفس الاتجاه لمدة عشرة دقائق بعد أن أسقط الكرة . و بعدها دار و جدف عائدا . عندما وصل للكرة فقدعامت 600m من الجسر . كم كانت سرعة جريان النهر ؟

* *

آدم و بيرت أخوان . آدم بعمر ثمانية عشر عاما و بيرت بضعف العمر (التحدي 91 e) عندما كان آدم بعمر بيرت الآن . كم عمر بيرت ؟

* *

أي أنا ؟ هو سؤال شائع ، متى كنت أنا ؟ هو تقريبا سؤال لا يسأل حتى في (التحدي 92) لغات أخرى ، لماذا ؟

* *

التحدي 93 هل هناك أصغر فترة زمنية في الطبيعة ؟ أصغر مسافة ؟

* *

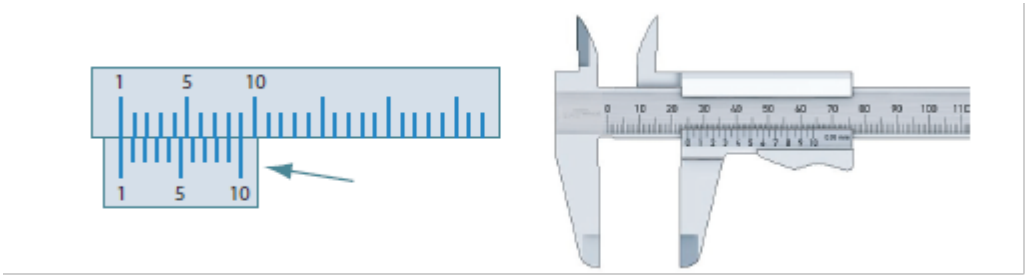
بفرض أنك تعرف ما هي الاستقامة ، كيف يمكنك تمييز أو تعريف (التحدي 94) خط منحني باستخدام الأعداد ؟ و ما هو السطح ؟

* *

التحدي 95 / ما هي سرعة جفن العين ؟

* *

إن مساحة سطح الجسم البشري هي حوالي $400\ m^2$. هل يمكنك القول من أين أتى (التحدي 96) هذا الرقم الكبير



الشكل 32 بياكوليس قياس 10-9 و شكل 20-19 (في الحقيقة هو شكل 40-38)

*

كيف يمكن لبياكوليس أن يعمل ؟ يسمى نونيوس في لغات أخرى . أول اسم مشتق من مهندس عسكري فرنسي * الذي لم يخترعه ، و الثاني هو لعبة كلمات حول الاسم اللاتيني لمخترع برتغالي لأكثر الأجهزة أهمية ** و الكلمة اللاتينية هي " تسعة " . في الحقيقة الجهاز كما يعرف اليوم – مبين في الشكل 32 صمم حوالي عام 1600 من قبل كريستوفر كلافيوس *** وهو نفس عالك الفلك الذي دراساته كانت أساس إصلاح التقويم الغريغوري في عام 1582 . هل تستطيع تصميم جهاز بياكوليس / vernier/ nonius/ clavius ، بدلا من زيادة الدقة بعشرة أضعاف تقوم بهذا (التحدي 97) بواسطة عامل اختياري ؟ هل هناك حد للدقة الممكن الوصول إليها ؟

* *

صفحة 55 / الفراكتلات في الأبعاد الثلاثية تحمل العديد من المفاجئات . لنعمم ، الشكل 25 لأبعاد ثلاثية . لنأخذ رباعي وجوه منتظم ، و بعدها نلصق على كل من أوجهه المثلثية رباعي وجوه أصغر منتظم بحيث أن سطح الجسم يكون ثانية مكونا من العديد من المثلثات المنتظمة المتساوية . كرر العملية مع لصق رباعيات الوجوه الأصغر لهذه الأسطح المثلية الجديدة (الأكثر عددا) . ما هو شكل الفراكتال النهائي بعد عدد (التحدي 98) نهائي من الخطوات ؟

* *

استخدام السيارات يشكل العديد من المشاكل الرياضية . المشكلة الرئيسية هي تحدي الاصطفاف التالي ، ما هي أقصر مسافة d عن السيارة التي في المقدمة اللازمة لمغادرة التحدي 99 / منطقة الصف بدون استخدام ترس الحركة للخلف ؟

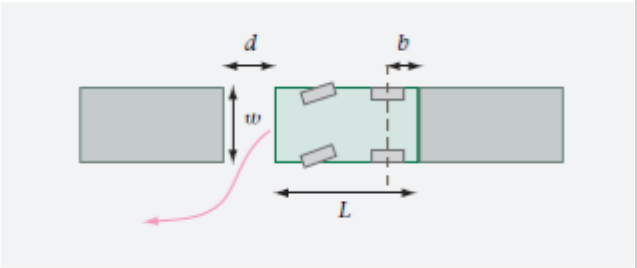
(افترض أنك تعرف الشكل الهندسي لسيارتك ، كما هو مبين في الشكل 33 ، و أصغر نصف قطر خارجي R ، المعروف لكل سيارة) . السؤال التالي : ما هو أصغر فجوة مطلوبة عندما يسمح لك (التحدي 100) بالمناورة للخلف و الأمام غالبا قدر ما تريد ؟ الآن المشكلة التي لا يبدو أن لها حل في المراجع : كيف تعتمد الفجوة على الرقم n

---

*Pierre Vernier (1580- 1637) ضابط فرنسي مهتم بالخرائط

**Pedro Nunes أو Peter Nonnius (1502-1578) رياضي برتغالي و عالم خرائط

***Christophonius Clavius أو Schlüssel (1537-1612) عالم فلك بافاري أحد علماء الفلك في عصره



الشكل 33 مغادرة فراغ الصف

الجدول 12 المفهوم الأسي : كيفية كتابة الأعداد الصغيرة و الكبيرة

العدد	التعبير الأسي	العدد	التعبير الأسي
1	10^{0}		
0.1	10^{-1}	10	10^{1}
0.2	$2 \cdot 10^{-1}$	20	$2 \cdot 10^{1}$
0.0324	$3.24 \cdot 10^{-2}$	32.4	$3.24 \cdot 10^{1}$
0.01	10^{-2}	100	10^{2}
0.001	10^{-3}	1000	10^{3}
0.000 1	10^{-4}	10 000	10^{4}
0.000 056	$5.6 \cdot 10^{-5}$	56 000	$5.6 \cdot 10^{4}$
0.000 01	10^{-5} etc.	100 000	10^{5} etc.

التحدي 101 / المرات التي تستخدم فيها السرعة الخلفية ؟ (الباحث عرض خمسون يورو لأول حل مفسر جيدا و الحل الفائز كان لدانييل هاوكينز وهو موجود الآن في الملحق) .

* *

يستخدم العلماء طريقة خاصة لكتابة الأعداد الكبيرة و الصغيرة ، مشروحة في الجدول 12 .

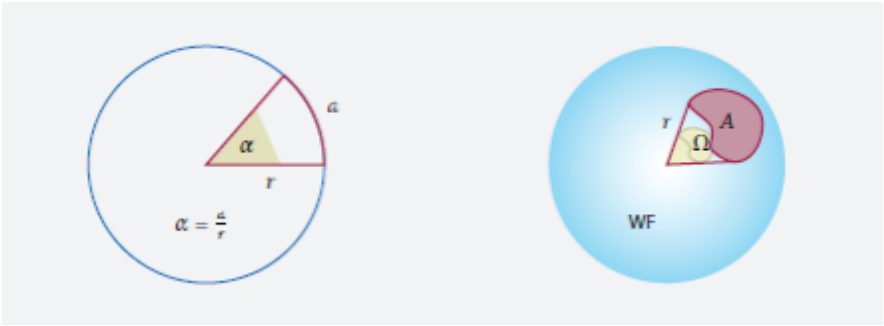
* *

المرجع 48 / في عام 1996 فإن أصغر مسافة تم قياسها تجريبيا كانت 10^{-19} m ، و حققت بين الكواركات في Fermilab . (لتتذوق قيمة المسافة ، اكتبها بدون أس) التحدي 102 / ماذا يعني هذا القياس لاستمرار الفضاء / الفراغ ؟

* *

Zeno الفيلسوف اليوناني ، الذي ناقش بالتفصيل ما يحدث لجسم متحرك عند لحظة معطاة من الزمن . للمناقشة معه ، عليك أن تبني مغلاق أسرع ما يمكن لكاميرا تصوير التي يمكنك تخيلها . لديك كل المال الذي تريد . ما هي (التحدي 103) أقصر زمن مغلاق يمكنك تحقيقه ؟

* *



الشكل 34 تعريف زوايا المستوي و زوايا المجسم

هل يمكنك إثبات نظرية فيثاغورث بوسائل هندسية لوحدها بدون استخدام (التحدي 104) الإحداثيات ؟ (هناك أكثر من 30 إمكانية) صفحة 59 / ما هي الكواكب و الأقمار بما فيها كوكبنا الأكثر كروية (تقريبا) (أنظر مثلا التحدي 105 ، الشكل 28) ؟

* *

حزام مطاطي يوصل رأسي عقارب ساعة . ما هو المساء الذي يتبعه (التحدي 106) بواسطة نقطة وسط العقرب ؟

* *

هناك مقدارين مهمين متصلين بالزوايا . كما هو مبين في الشكل 34 اللذين عادة يعرفان بالزاوية (المستوية) و التي تعرف بأنها النسبة بين أطوال القوس ونصف القطر . الزاوية القائمة هي $\pi/2$ راديان (أو $\pi/2$ راد) أو 90° .

الزاوية المجسمة و هي النسبة بين المساحة و مربع نصف القطر . و إن ثمن الكرة هو $\pi/2$ ستراديان (أو $\pi/2$ ستراد) . (الرياضيون بالطبع سيتركون / يتغاضون عن وحدة الستيراديان) . و بالنتيجة الزاوية المجسمة الصغيرة التي بشكل مثل المخروط و زاوية (التحدي 107) رأس المخروط هما مختلفتان . هل يمكنك أن تجد العلاقة بينهما ؟ .

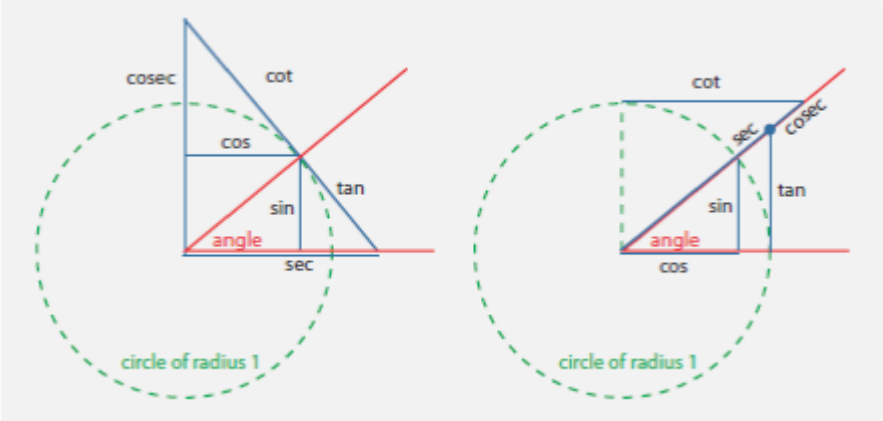
* *

تعريف الزاوية يساعد في تحديد قياس إظهار الألعاب النارية . قس الزمن T بالثواني بين لحظة ترى فيها الصارخ ينفجر في السماء و اللحظة التي تسمع بها الانفجار ، قس الزاوية (المستوية) α – تلفظ " ألفا " – للكرة المشكلة بواسطة الألعاب النارية بواسطة يدك . القطر D هو :

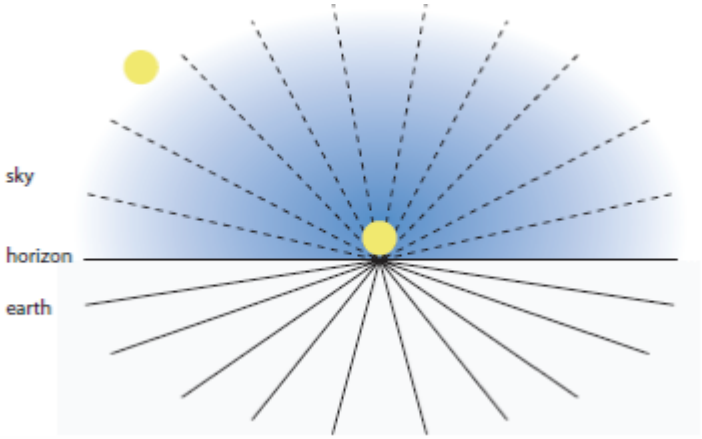
$$D \approx \frac{6\,\mathrm{m}}{s^\circ} T\,\alpha\,. \qquad (3)$$

التحدي e 108 / لماذا ؟ من أجل مزيد من المعلومات حول الألعاب النارية ، أنظر موقع cc.oulu.fi/~kempmp

بالمناسبة ، المسافة الزاوية بين براجم القبضة الممتدة هي حوالي 3° & 2° , 3° قياس اليد الممتدة 20° . هل يمكنك تحديد الزوايا الأخرى المرتبطة (التحدي 109) بيدك ؟



الشكل 35 تعريفين متكافئين لجيب ، تجيب (جيب التمام) ، الظل و التظل (ظل التمام) و الظل القطعي التظل القطعي لزاوية .



الشكل 36 كيف يتغير قياس القمر و الشمس الظاهريين خلال اليوم .

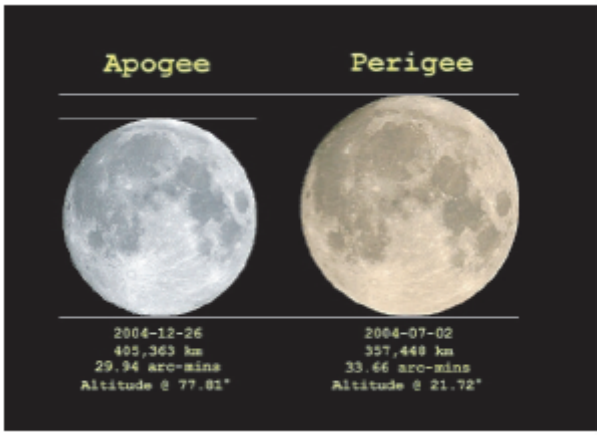
باستخدام الزوايا فإن جيب ، تجيب (جيب التمام) ، الظل و التظل (ظل التمام) و الظل القطعي التظل القطعي لزاوية يمكن تعريفها كما هو مبين في الشكل 35 . عليك تذكر هذا من المدرسة الثانوية . يمكنك تأكيد

التحدي e 110 / أن $\sin 15^\circ = (\sqrt{6} - \sqrt{2})/4$, $\sin 18^\circ = (-1 + \sqrt{5})/4$, $\sin 36^\circ = \sqrt{10 - 2\sqrt{5}}/4$, $\sin 54^\circ =$

$(1 + \sqrt{5})/4$ و أن $\sin 72^\circ = \sqrt{10 + 2\sqrt{5}}/4$ ؟ هل يمكنك أن تبين أيضا أن :

$$\frac{\sin x}{x} = \cos\frac{x}{2}\cos\frac{x}{4}\cos\frac{x}{8}... \qquad (4)$$

التحدي e 111 / هو صحيح ؟



الشكل 37 كم يتغير حجم القمر فعلا خلال مداره ؟

قياس حجم الزاوية بواسطة العين فقط هو أمر مخادع . مثلا هل يمكنك القول أن القمر أكبر من ظفر إبهامك في نهاية الذراع الممتدة ؟ التحدي e 112 / القياس الزاوي ليس كمية حدسية/ تخمينية ، إنها تتطلب أدوات قياس .

المثال الشهير ، مبين في الشكل 36 ، يوضح صعوبة تقدير الزوايا . إن كلا من الشمس و القمر يبدوان أكبر مما هما عليه في الأفق . و في الأزمنة الغابرة شرح بطليموس ما يعرف بخداع / وهم القمر بواسطة تغير مسافة ظاهرة غير مدركة

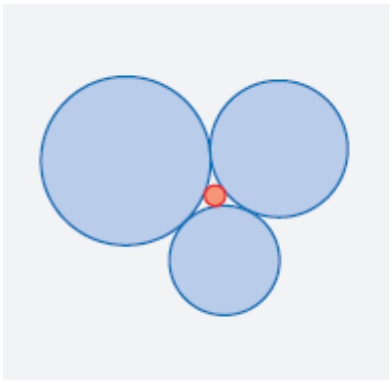
المرجع 49 / الناتجة عن دماغ الإنسان . في الحقيقة ، وهم القمر يختفي عندما تنظر للقمر عبر ساقيك . في الحقيقة يكون القمر حتى أبعد من الملاحظ عندما يكون تماما فوق الأفق ، و بالتالي صورته أصغر مما كان (التحدي e 113) قبل ساعات سابقا عندما كان عاليا في السماء . هل يمكنك تأكيد هذا ؟

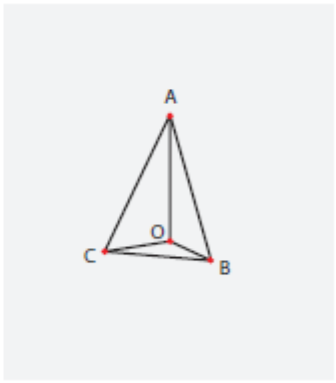
تتغير قيمة زاوية القمر حتى أكثر بسبب تأثير آخر : مدار القمر حول الأرض هو بيضوي .المثال على نتيجة ذلك مبين في الشكل 37 .

غاليليو أيضا ارتكب أخطاء . في كتابه الشهير حوارات ، حيث قال أن المنحني المتشكل بواسطة سلسلة رفيعة بين مسمارين هي قطع مكافئ ، أي المنحني المعرّف التحدي d 114 / بالعلاقة $y = x^2$. و هذا ليس صحيحا . ما هو المنحني الصحيح ؟ تستطيع ملاحظة شكل (تقريبا) المنحني في الجسور المعلقة .

* *

ارسم ثلاثة دوائر ذات حجم مختلف ، التي تلامس بعضها البعض كما هو مبين في الشكل 38 . الآن ارسم دائرة رابعة في الفراغ بينها و التي تلامس الدوائر الثلاث . ما هي العلاقة البسيطة (التحدي 115) التي تخضع لها مقاليب أنصاف أقطار الدوائر الأربعة خذ رباعي الوجوه OABC الذي أوجهه المثلثات OAB , OBC & OAC متعامدة في كما هو مبين في الشكل كما هو مبين في الشكل 39 . بمعنى آخر ، الأضلاع OA , OB & OC كلها متعامدة مع بعضها البعض . في رباعي الوجوه ، مساحات المثلثات OAB , OBC & OAC هي :



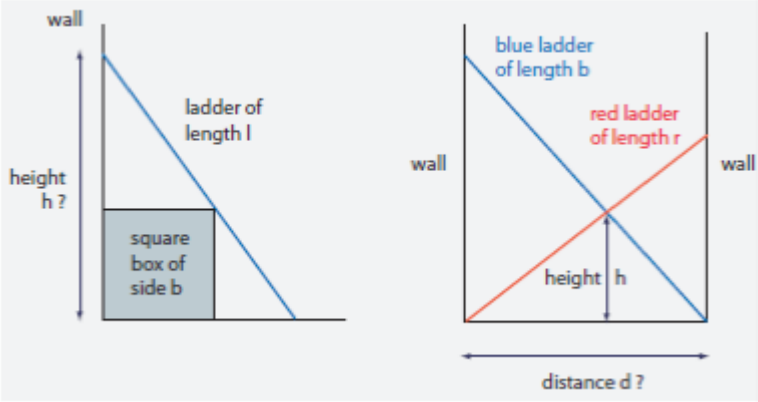


الشكل 38 لغز شهير : كيف ترتب أنصاف الأقطار الأربعة ؟

الشكل 39 ما هي مساحة ABC

عندما المساحات الثلاث الأخرى

و الزوايا الثلاث قائمة في O ؟



الشكل 40 لغز سلمين : متوسط الصعوبة (اليسار) و صعب (اليمين)

التحدي 116 / هي على التوالي 1 & 4 , 8 . ما هي مساحة المثلث ABC ؟

المرجع 50 : هناك العديد من الأحجيات حول السلالم . هناك اثنتين موضحتين في الشكل 40 . إذا وضع سلم 5mمقابل جدار بحيث أنه فقط بلامس صندوق ذو ارتفاع وعمق 1m (التحدي 117) كم الارتفاع الذي يصل له السلم ؟ إذا وضع سلمين مقابل جدارين متقابلين ، و إذا كانت أطوال السلالم و ارتفاع نقطة العبور معلومة ، كم هي (التحدي d 118) المسافة بين الجدارين ؟

بواسطة مسطرتين ، يمكنك جمع و طرح الأعداد بوضعها جنبا لجنب . هل تستطيع (التحدي 119) أن تصمم مساطر التي تسمح لك بالضرب و التقسيم بنفس الشكل ؟



الشكل 41 أشعة مضادة للشفق – أين الشمس في هذه الوضعية ؟

* *

كم عدد أيام السنة إذا دارت الأرض بالاتجاه الآخر بنفس (التحدي 120) التواتر الدوراني ؟

* *

التحدي 121 / الشمس مختفية في وضعية رائعة مبينة في الشكل 41 أين هي ؟

* *

إن الوضعية المختلفة و لكن أيضا الرائعة – و المفيدة من أجل الاعتياد على الرسم المنظوري – تظهر عندما كون لديك منارة في ظهرك . هل يمكنك رسم (التحدي e 122) الأشعة التي تراها في السماء حتى الأفق ؟

* *

أسطوانتين بنصف قطر متساوي يتقاطعان بزاوية قائمة . ما هي قيمة (التحدي 123) حجم التقاطع ؟ (أولا ارسم)

* *

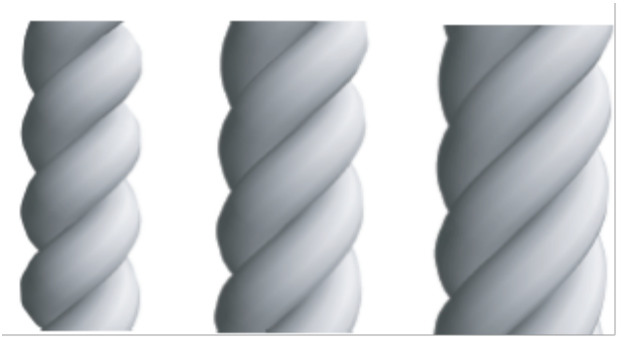
ضلعين من مكعب أجوف بطول 1 dm تم إزالتهما ليعطيان نفق ذو فتحة مربعة . هل صحيح أن المكعب المكعب ذو طول الضلع المساوي 1.06 dm يمكن أن يجعل (تحدي 124) يمر عبر المكعب الأجوف ذو طول الضلع 1 dm ؟

* *

مرجع 51 / هل يمكن للكون ذو البعدين أن يوجد ؟ تخيل ألكسندر ديوني مثل هذا الكون بتفصيل كبير و كتب كتابا معروفا جيدا حول ذلك . وقد وصف المنازل ، أجهزة النقل ، الهضم ، التكاثر و الكثير . هل يمكنك أن تشرح لماذا (تحدي 125d) الكون ذو البعدين مستحيل ؟

* *

الحبال هي بنى رائعة . هي مرنة و يمكن أن تحاك بشكل لولبي / حلزوني و لكن بالرغم من هذا فإنها لا يمكن أن تفل أو تفتل ، وهي تقريبا غير قابلة للتمدد ، و شكلها الهندسي (مرجع 52) يعتمد قليلا على المادة المستخدمة في صنعها . ما هو أصل كل هذه الخواص ؟



الشكل 42 تشكيلات مثالية من الحبال مصنوعة من جدلتين ، ثلاث و أربع في تشكيل مثالي ، و زاوية الخطوة الخاصة بالنسبة للمستوي الاستوائي – 43.8° & 42.8° , 39.4° على التوالي – و الذي يؤدي إلى بنى ذات فتل صفري . و في هذه التشكيلات المثالية ، الحبل لن يدور و لن يكون في الاتجاه الآخر تحت انفعال شاقولي .

صنع الحبال هو مهنة قديمة ، وهي تستند إلى نتيجة هندسية صرفة : من بين كل الحلزونات المحتملة ذات n جدلة من طول معطى مجدولة حول بنية مركزية ذات نصف قطر ثابت هناك حلزون وحيد من أجله عدد الدورات يكون أعظميا . و لأسباب هندسية صرفة الحبال ذات العدد الخاص من الدورات ، و نصف القطر الداخلي المقابل لها الخواص المذكورة التي تجعل الحبال مفيدة جدا . إن الأشكال الهندسية للحبال المثالية المصنوعة من جدلتين ، ثلاث و أربع جدلات مبينة في الشكل 42 .

تحدي 126 / بعض الباحثين يدرسون فيما إذا كان الزمن يمكن أن يكون ذو بعدين . هل يمكن أن يكون هذا؟

* *

باحثون آخرون يدرسون فيما إذا كان الفراغ يمكن أن يكون بأكثر من ثلاثة (تحدي 127) أبعاد ، هل يمكن أن يكون هذا ؟

* *

إحدى الطرق لمقارنة سرعات الحيوانات و الآلات هي قياسها في : طول جسم بالثانية . إن الخنفساء النطاطة تحقق قيمة حوالي 2000 خلال مرحلة القفز و بعض خلايا البدائيات (مثل البكتريا) قيمتها 500 ، و بعض الطيور الطنانة 380 . و هذه القيم المسجلة حتى الآن . السيارات ، الطائرات ، الفهود ، الصقور ، السرطانات و كل (مرجع 53) الأنظمة ذات المحركات هي أبطأ بكثير .

* *

تحدي e 128 / ما هو المقطع العرضي لأنبوب يكون عادة دائريا ؟

* *

ما هي أبعاد خزان مياه مستطيل مفتوح الذي يحتوى متر مكعب واحد من الماء (تحدي e 129) و يستخدم أصغر كمية من مادة الجدار ؟

* *



الشكل 43 مسألة بحثية مفتوحة : ما هو طول الحبل ذو عقدة مشدودة .

ارسم مربعا يحتوي أربعة قطع مستقيمة بطول متساوي متمفصلة عند رؤوسها . مثل هذه البنية يمكن أن تتشوه بحرية إلى شبه منحرف إذا طبقت قوة ما عليها .

كم عدد الخطوط الإضافية التي يجب رسمها بنفس الطول لتجنب هذه الحرية و منع المربع من التشوه ؟ الخطوط الداخلية الإضافية يجب أن تكون في نفس مستوي المربع و كل واحد يمكن أن يتصل مع الآخرين (تحدي 130) من نهاياته

* *

قياسات المساحة يمكن أن تكون صعبة . في عام 2014 أصبح من الواضح أن مساحة القناة المعدية المعوية / الهضمية للبشر الأصحاء البالغين هي بين 30 و 40 متر مربع و منذ سنوات عديدة كان تقدير المساحة الخاطئ هو بين 180 و 300 متر مربع .

* *

إذا لم تستكشف أبدا الهندسة المستوية ، افعلها مرة في حياتك . إن المقدمة الممتازة حول ذلك هي كتاب CLAUDIA ALSINA & ROGER B. NELSEN ، أيقونات الرياضيات : استكشاف عشرين صورة أساسية طباعة MAA Press , 2011 . و هذا الكتاب الرائع ذو العديد من الحقائق البسيطة و المدهشة حول الهندسية التي لم تخبرك بها قط المدرسة أو الجامعة .

* *

المثلثات دائما مليئة بالمفاجئات . اكتشف معا كل من Leonhard Euler , Chalrles Julien Brinchson &

Jean Victor Poncelet أنه في أي مثلث ، تقع تسعة نقاط على نفس الدائرة :

منصفات الأضلاع ، أقدام خطوط الارتفاع ، و منصفات مقاطع الارتفاع التي تصل كل رأس للمركز الآخر . و قد اكتشف أويلر أيضا أنه في كل مثلث المرك المتعامد ، المركز المشترك ، المركز المحيطي و مركز دائرة النقاط التسع تقع على نفس المستقيم الذي يعرف الآن بمستقيم أويلر . من أجل نتائج الأبحاث الأحدث حول المثلثات المستوية ، أنظر الموسوعة الرائعة لمراكز المثلثات المتوفرة من faculty.evansville.edu/ck6/encylcopedia/ETC.html

* *

هنا تحد بسيط حول طول الذي لم يحله أحد بعد . خذ قطعة من حبل مثالي : ذو نصف قطر ثابت ، مرن بشكل مثالي ، و منزلق كليا . اربط عقدة قوية فيه ، تحدي 113r / كما هو مبين في الشكل 43 . بكم يمكن أن تربط نهايتي الحبل معا ؟

ملخص حول الفراغ و الزمن اليومي الحركة نعرف السرعة و الطول . قياسات الحياة اليومية و تجارب الضبط هي موصوفة بشكل ملائم و دقيق بوصف السرعة كشعاع الفراغ كمجموعة ثلاثية الأبعاد من النقاط ، و الزمن كخط حقيقي أحادي البعد و أيضا مكون من نقاط . هذه التعاريف الثلاث من وصف الحياة اليومية أو غاليليو لبيئتنا .

نمذجة السرعة ، الزمن و الفراغ ككميات مستمرة هو دقيق و ملائم . إن النمذجة تعمل خلال أكثر المغامرات التالية . و لكن هذا النموذج الشائع / المشترك للفراغ و الزمن لا يمكن تأكيده بواسطة التجربة . مثلا لا يوجد تجربة يمكن أن تتحقق من المسافات الأطول من 10^{25} متر أو أصغر من 10^{-25} متر و نموذج الاستمرار من المحتمل أن يكون غير صحيحة عند مقاييس أصغر . و سوف نجد في الجزء الأخير من مغامرتنا أن هذه هي فعلا الحقيقة .

الفصل 3

كيف نصف الحركة – الكينماتيك

تبين التجارب أن خواص الحركة ، الزمن و الفراغ تستخلص من البيئة من قبل كل من الأطفال و الحيوانات . و هذا الاستخلاص أكد بالنسبة للقطط ، الكلاب ، الجرذان ، الفئران و السمك من بين الحيوانات الأخرى . و هي لها تجد نفس النتائج . أولا و قبل كل شيء الحركة هي تغير للموضع مع الزمن ، و هذا الوصف موضح بسرعة تقليب الزوايا اليسرى من هذا الكتاب بدءا من الصفحة 241 . و كل صفحة تحاكي لحظة من الزمن و التغير الوحيد الذي يحدث خلال الحركة هو موضع الشيء ، ليكن حجر ، ممثلا بنقطة داكنة . التغيرات الأخرى من صورة لصورة تالية ، التي هي ناتجة عن عدم مثالية تقنيات الطباعة و التي يمكن أن تؤخذ لمحاكاة أخطاء القياس التي لا بد منها .

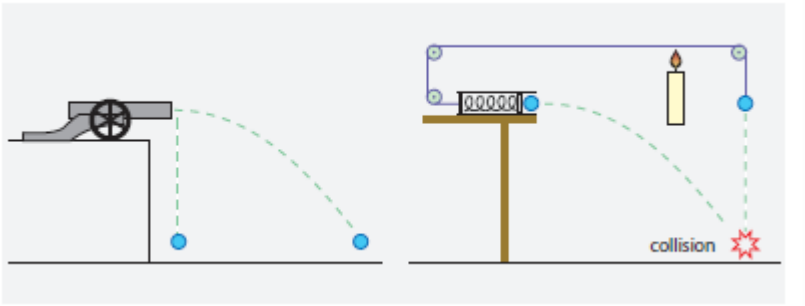
إن قول أن الحركة هي تغير في الموضع مع الزمن هو ليس اكتشافا و لا تعريفا نظرا لأن كل من مفاهيم الزمن و الموضع تستنتج من الحركة نفسها .

إنه وصف للحركة فقط . و ما يزال هذا القول مفيد ، لأنه يسمح بدقة عالية ، كما سنجد باستكشاف الجاذبية و الديناميك الكهربائي . و بعد كل شيء الضبط هي مبدؤنا الموجه خلال هذه النزهة . و بالتالي الوصف التفصيلي للتغيرات في الموضع له اسم خاص : يدعى بالكينماتيك .

إن فكرة تغير الموضع تستدعي أن الجسم يمكن متابعته خلال حركته .و هذا ليس واضحا ، في الفقرة حول نظرية الكم سوف نجد أمثلة حيث يكون هذا مستحيلا . و لكن في الحياة اليومية ، فإن الأجسام يمكن متابعتها دائما . و مجموعة المواضع التي يأخذها جسم خلال الزمن تشكل طريقه أو مساره . و أصل هذا المبدأ (المرجع 55) واضح عندما يراقب المرء الألعاب النارية أو مرة ثانية يقلب الزاويا السفلية اليسرى للكتاب بدءا من الصفحة 241 .

**العلم مكتوب في هذا الكتاب الضخم الذي هو مفتوح باستمرار أمام أعيننا (أنا أعني الكون) ..

هو مكتوب بلغة الرياضيات .



الشكل 44 طريقتين لاختبار أن زمن السقوط الحر لن يعتمد على السرعة الأفقية

في الحياة اليومية تتفق الحيوانات و البشر حول الخواص الإقليدية للسرعة الفراغ و الزمن . بشكل خاص ، هذا يقتضي أن المسار يمكن وصفه بتحديد ثلاثة أرقام ، ثلاثة إحداثيات (x , y, z) – واحد لكل بعد – بشكل تابع مستمر للزمن t . (التوابع ستعرف لاحقا بالتفصيل) . و هذا عادة يكتب بالشكل

$$\boldsymbol{x} = \boldsymbol{x}(t) = (x(t), y(t), z(t)) \,. \qquad (5)$$

مثلا ، وجد غاليليو للتو باستخدام ساعة توقيت و مسطرة أن الارتفاع z لأي حجر مرمي أو ساقط يتغير بالشكل :

$$z(t) = z_0 + v_{z0}\,(t - t_0) - \tfrac{1}{2} g\,(t - t_0)^2 \qquad (6)$$

حيث t_0 زمن بدء السقوط ، z_0 هو الارتفاع البدائي ، v_{z0} هو السرعة البدائية في الاتجاه الشاقولي و $g = 9.8\ m/s^2$ هو ثابت الذي وجد أنه نفسه ضمن حوالي جزء من 300 من أجل كل الأجسام الساقطة على سطح الأرض .

صفحة 56 حيث القيمة $9.8\ m/s^2$ و تغيراتها الطفيفة تأتي ؟ الجواب الابتدائي سيعطى بعد وقت قصير ولكن التفسير الكامل سيشغلنا خلال الجزء الأكبر من هذه الرحلة .

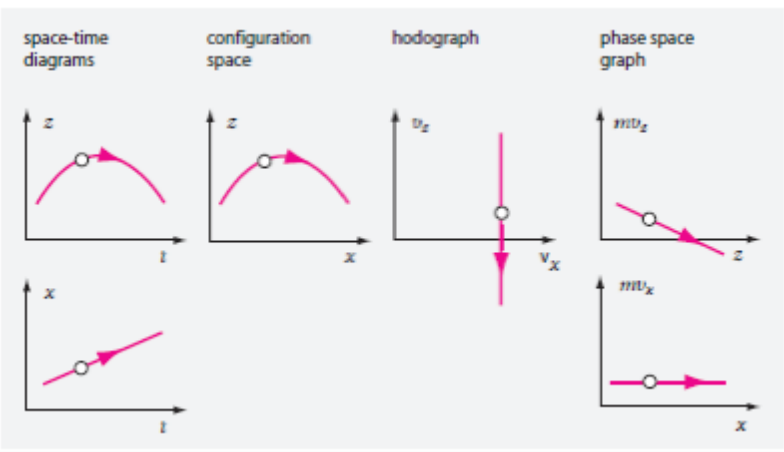
إن الحالة الخاصة بدون سرعة ابتدائية هي ذات أهمية كبيرة . مثل بعض الناس قبل غاليليو أوضحوا أن g هي نفسها من أجل كل الأجسام ، إذا كان سيتم إهمال مقاومة (الصفحة 202) الهواء . و كان لديه العديد من الحجج للتوصل لهذه النتيجة : هل يمكنك أن تجد واحدة منها ؟ وبالطبعالتجربة الشهيرة في برج بيزا المائل أكدت هذه الحقيقة . (هذه أسطورة مزيفة (المرجع 57) منتشرة أن غاليليو لم يجر أبدا مثل هذه التجربة . لكنه أجراها) .

المعادلة (6) بالتالي تسمح لنا بتحديد عمق بئر بمعرفة الزمن (التحدي 132) الذي يستغرقه حجر للوصول إلى قعره . المعادلة أيضا تعطينا السرعة v التي يصل بها المرء الأرض بعد أن يقفز من شجرة و هي :

$$v = \sqrt{2gh} . \qquad (7)$$

إن الارتفاع البالغ 3m يعطي سرعة تساوي .27 km/h و السرعة بالتالي متناسبة فقط مع الجذر التربيعي للارتفاع . هل هذا يعني أن الخوف القوي من السقوط ينتج من (التحدي 133) زيادة تدير هذه التأثيرات فعلا ؟

لقد كان غاليليلو أول من قال بهذه النتيجة المهمة عن السقوط الحر : الحركات في الاتجاهين الأفقي و الشاقولي هي مستقلة . و بيّن أن الزمن الذي يستغرقه



الشكل 45 أنواع مختلفة من المخططات تصف نفس مسار حجر مرمي

كرة مدفع التي أطلقت تماما بشكل أفقي لتسقط هي مستقلة عن قوة البارود كما هو مبين في الشكل 44 . العديد من المفكرين العظام لم يوافقوا على هذا القول (المرجع 58) حتى بعد وفاته : في عام 1658 حيث أن أكاديمية سيمنتو نظمت تجربة للتأكد من هذا بمقارن كرة مدفع منطلقة مع كرة تسقط ببساطة (التحدي 134) شاقوليا . يمكنك تخيل كيف يتم التأكد من ذلك بنفس الوقت ؟ الشكل 44 يبين كيف يمكنك التأكد من هذا في المنزل . في تجربته مهما كان الحمل النابضي للمدفع فإن الجسمين دائما سيصطدمان في منتصف الهواء (إذا كانت الطاولة عالية كفاية) و بالتالي تثبت النظرية .

بمعنى آخر ، إن كرة المدفع المنطلقة لا تتسارع في الاتجاه الأفقي . إن حركتها الأفقية ببساطة هي غير متغيرة – طالما أن مقاومة الهواء مهملة . و بتعميم وصف المعادلة (6) مع علاقتي الإحداثيات الأفقية و الشاقولية x & y وهما :

$$x(t) = x_0 + v_{x0}(t - t_0)$$
$$y(t) = y_0 + v_{y0}(t - t_0) , \qquad (8)$$

نحصل على وصف كامل للمسار الذي يأخذه حجران مرميان . والمسار من هذا الشكل

صفحة 40 / يعرف بالقطع المكافئ وهو مبين في الشكل 18,44&45 . (يستخدم أيضا شكل القطع المكافئ

تحدي 135 / من أجل عواكس الضوء داخل مصابيح الجيب أو مصابيح السيارة الأمامية . هل يمكن أن تبين لماذا؟)

المرجع 95 / يستمتع الفيزيائيون بتعميم فكرة مسار . كما يبين الشكل 45 فإن المسار هو أثر يترك في المخطط بواسطة جسم متحرك و تبعا لما يستخدم المخطط من أجله فإن هذه المسارات لها أسماء مختلفة . إن مخططات الفراغ – الزمن مفيدة لجعل نظرية النسبية ممكنة الفهم .

إن فضاء التكوين يتشكل من قبل الإحداثيات لكل الجزيئات لجملة . من أجل العديد من الجزيئات فإن له عددا كبيرا من الأبعاد و يلعب دورا مهما في (الصفحة 413) التنظيم الذاتي . و الفرق بين الفوضى و النظام يمكن وصفه بشكل فرق في خواص المسارات في فضاء التكوين . إن مخطاطات التحرك hodograph ، المسارات في فضاء السرعة تستخدم في التنبؤ بالطقس . و مخطط فضاء الطور يدعى أيضا مخطط فضاء الحالة و هو يلعب دورا أساسيا في الترموديناميك .

الرمي ، القفز و الإطلاق

الوصف الكينماتيكي للحركة مفيد في الإجابة على مجموعة كبيرة من الأسئلة .

**

ما هو الحد الأعلى للقفزة الطويلة ؟ الرقم القياسي العالمي لسرعة ذروة الجري في عام (المرجع 60) 2008 كان 12.5 m/s ≈ 45 km/h من قبل أوسين بولت و الرقم القياسي للنساء لعام 1997 (المرجع 61) كان 11 m/s . لكن لاعبي القفز الطويل من الرجال لا يجرون أبدا أسرع من حوالي 9.5 m/s . كم مقدار القفزة الإضافية التي يمكنهم تحقيقها إذا استطاعوا أن يجروا بسرعة أكبر ؟

و كيف يمكنهم تحقيق ذلك ؟ بالإضافة لذلك ، أصحاب القفزات الطويلة يهبطون بزاوية حوالي 20 درجة (المرجع 62) حيث أنهم لا يستطيعون تحقيق زاوية أعلى بالسرعة التي يجرون بها . كم المقدار (التحدي 136 s) الذي يربحونه إذا استطاعوا تحقيق زاوية 45 درجة ؟ هل الزاوية 45 درجة هي الزاوية المثلى؟

ماذا لدى الرياضي أوسين بولت و مايكل جونسون صاحبي آخر رقمين قياسيين عالميين في سباق 200 متر عند كتابة هذا الكلام ، بشكل مشترك ؟ إنهما طويلان ، رياضيين و لديهما ألياف عضلية سريعة الانتفاض . و هذه الخواص تجعل منهما عدائين .

الفرق الأخير يجعلها عدائين على المستوى العالمي : حيث أن لديهما عامود فقري منبسط ، تقريبا بدون شكل S . و هذه الحالة غير الطبيعية توفر لهما القليل من الوقت في كل خطوة ، لأن عمودهما الفقري ليس مرنا كما في الناس العاديين . و هذا يسمح لهما بالتفوق في سباقات المسافات القصيرة .

* *

الرياضيين باستمرار يحسنون من الأرقام القياسية لسرعاتهم . خيول السباق لا تقوم بذلك . من أجل خيول السباق فإن إيقاع التنفس يرتبط بالمشية (طريقة العدو) . و بالنتيجة ، خيول السباق لا يمكنها تغيير أو تحسين تقنيتها ، و سرعة خيول السابق أساسا هي نفسها كما تقاس .

* *

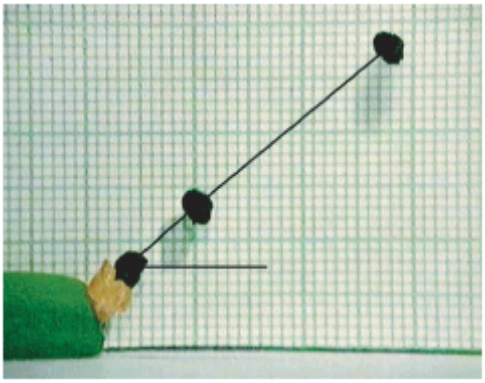
ما هو أعلى ارتفاع محقق من قبل رامي بشري لجسم ؟ ما هي أطول (التحدي 137s) مسافة محققة من قبل رامي بشري ؟ كم يمكنك توضيح القواعد ؟ قارن النتائج مع مسافة القيمة القياسية مع القوس والنشاب ، حيث حقق 1,871.8 متر في عام 1988 من قبل هاري دريك ، و هي المسافة القياسية بواسطة القوس و النشاب في عام 1971 أيضا من قبل هاريدريك و بواسطة قوس محمول باليد و حققت مسافة 1,222.0 متر في عام 1987 من قبل دون براون .

* *

التحدي 138s / كيف يمكن لسرعة المطر المتساقط أن تقاس باستخدام مظلة ؟ الجواب مهم نفس الطريقة يمكن أيضا استخدامها لقياس سرعة الضوء كما سنجد لاحقا في المجلد II ، صفحة 17 / (هل يمكن أن تحزر كيف ؟)

* *

عندما يقفز راقص في الهواء كم عدد المرات التي يدور / أو تدور بها حول (التحدي 139s) حول محوره الشاقولي قبل الوصول عودة للأرض ؟



الشكل 46 – ثلاثة صور متوضعة فوق بعضها لحبة غبار أطلقت من قبل يسروع داخل ورقة ملفوفة

* *

إن أنواعا كثيرة من يساريع العث و الفراش تطلق غبارها – لنكون أكثر (المرجع 63) دقة برازها - بحيث أن رائحتها لا تساعد المفترسات في تحديد موضعها .

قام ستانلي كافيني وفريقه بأخذ صور لهذه العملية . يبين الشكل 46 يسروع (أصفر) من صنف دودة Calpodes ethlius داخل ورقة خضراء ملفوفة قد أمسك في هذه الحالة ، بمعرفة المسافة المسجلة المقاسة هي 1.5 مترا (بالرغم من أنه في أنواع أخرى مثل Eparagyrus clarus (التحدي 140s) ما هي سرعة اللفظ ؟ كيف يمكن لليساريع أن تحققها .

* *

ما هي المسافة الأفقية التي يمكن أن نصل إليها في رمي حجر ، بمعرفة السرعة وزاوية (التحدي 141s) الأفق التي رمي منها الحجر ؟

* *

التحدي 142s / ما هي الأعداد العظمى للكرات التي يمكن رميها / التلاعب بها في نفس الوقت ؟

* *

هل صحيح أن قطرات المطر يمكن أن تقتل إذا لم يكن هناك مقاومة للهواء في الجو ؟ التحدي 143/s ماذا عن البرد ؟

* *

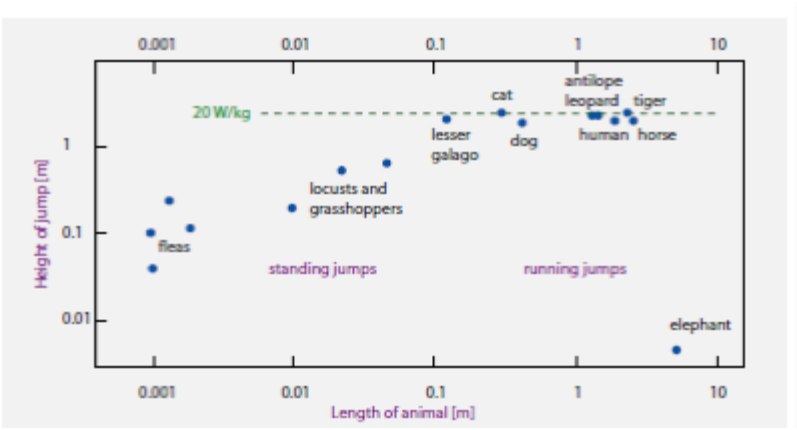
التحدي 144s / هل الطلقات المطلقة في الهواء من مسدس ، خطرة عندما ترتد ساقطة للأسفل ؟

* *

تجد الشرطة جثة شخص ميت في أسفل جرف من ارتفاع ثلاثين مترا على مسافة (التحدي 145s) اثني عشر مترا من الجرف . هل كان انتحارا أم جريمة ؟

* *

المرجع 64 / كل الحيوانات البرية ، بغض النظر عن حجمها ، تحقق ارتفاعات قفز تصل في الأكثر إلى 2.2 مترا (التحدي 164s) كما هو مبين في الشكل 47 . إن تفسير هذه الحقيقة يأخذ مسارين فقط . هل يمكنك إيجادهما .



الشكل 47 – الارتفاع المحقق بواسطة قفز الحيوانات البرية

إن آخر قضيتين يظهران بسبب المعادلة (6) التي تصف السقوط الحر الذي يصح في كل الحالات . مثلا الأوراق أو رقائق البطاطس لا تتبع ذلك . كما عرف جاليليلو للتو هذا نتيجة مقاومة الهواء وسوف نناقش هذا قريبا . بسبب مقاومة الهواء فإن مسار الحجر ليس قطعا مكافئا .

في الحقيقة هناك حالات أخرى حيث مسار الحجر الساقط لا يكون قطعا مكافئا ، (التحدي 147s) حتى بدون مقاومة الهواء . هل يمكن أن نجد واحدا .

الاستماع بالأشعة

الكميات الفيزيائية ذات الاتجاه محدد ، مثل السرعة توصف بثلاثة أعداد أو ثلاثة مركبات و تدعى أشعة . إن تعلم حساب مثل هذه المقادير المتعددة المركبات هو مقدرة مهمة في العديد من العلوم . و هنا ملخص عن ذلك .

الأشعة يمكن تصويرها بواسطة أسهم صغيرة . لاحظ أن الأشعة ليس نقاط محددة التي يمكن أن تبدأ عندها : إن سهمين بنفس الاتجاه و نفس الطول هما نفس الشعاع ، حتى لو بدأا من نقطتين مختلفتين في الفراغ . نظرا لأن الأشعة تتصرف مثل الأسهم فإن الأشعة يمكن جمعها و يمكن ضربها بأعداد . مثلا تمديد شعاع $\mathbf{a}=(a_x, a_y, a_z)$ بعدد c يقابل في مفهوم المركبات ، الشعاع $c\,\mathbf{a}=(ca_x, ca_y, ca_z)$.

بدقة في لغة الرياضيات فإن الشعاع هو عنصر من مجموعة ، تسمى الفضاء الشعاعي التي فيها تصح الخواص لكل الأشعة **a** & **b** و من أجل كل الأعداد : c & d حيث :

$$c(\boldsymbol{a}+\boldsymbol{b}) = c\boldsymbol{a} + c\boldsymbol{b} \quad , \quad (c+d)\boldsymbol{a} = c\boldsymbol{a} + d\boldsymbol{a} \quad , \quad (cd)\boldsymbol{a} = c(d\boldsymbol{a}) \quad \text{and} \quad 1\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a} \,. \quad (9)$$

الأمثلة على الفضاءات الشعاعية هي مجموعة كل المواضع لجسم ، أو مجموعة كل (التحدي 148s) السرعات الممكنة . هل مجموعة كل الدورانات تشكل فضاء شعاعي ؟

كل الفضاءات الشعاعية تسمح بتعريف شعاع صفري وحيد و شعاع سالب وحيد (التحدي 149e) من أجل كل شعاع في أكثر الفضاءات الشعاعية المهمة عند وصف طبيعة مبدأ القيمة المحددة للطول يمكن التعبير عن ذلك بشعاع . وهذا يتم عن طريق خطوة وسيطة وهي إدخال جداء سلمي لشعاعين . يعرف الجداء بالسلمي لأنه يؤدي لقيمة سلمية ، القيمة السلمية هي عدد هو نفسه بالنسبة لكل المراقبين ، مثر هو نفسه بالنسبة للمراقبين ذوي التوجهات المختلفة . الجداء

السلمي بين شعاعين a & b هو عدد يحقق :

$$
\begin{aligned}
\boldsymbol{aa} &\geqslant 0\,, \\
\boldsymbol{ab} &= \boldsymbol{ba}\,, \\
(\boldsymbol{a}+\boldsymbol{a}')\boldsymbol{b} &= \boldsymbol{ab}+\boldsymbol{a}'\boldsymbol{b}\,, \\
\boldsymbol{a}(\boldsymbol{b}+\boldsymbol{b}') &= \boldsymbol{ab}+\boldsymbol{ab}' \text{ and} \\
(c\boldsymbol{a})\boldsymbol{b} &= \boldsymbol{a}(c\boldsymbol{b}) = c(\boldsymbol{ab})\,.
\end{aligned}
\qquad (10)
$$

التعريف للجداء السلمي ليس فريدا ، و لكن هناك جداء سلمي قياسي . في الجملة الديكارتية للإحداثيات الجداء السلمي القياسي يعطى بالشكل :

$$\boldsymbol{ab} = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z\,. \qquad (11)$$

إذا كان الجداء السلمي لشعاعين يتناقص فإن الشعاعين متعامدين ، (التحدي 150s) أي يصنعان زاوية قائمة فيما بينهما . (بين ذلك) و لاحظ أنه يمكن كتابة إما ab أو a.b مع نقطة بينهما .

طول أو طويلة أو ناظم شعاع يمكن بالتالي تعريفها كجذر تربيعي للجداء السلمي لشعاع بنفسه : $a = \sqrt{\boldsymbol{aa}}$. غالبا وأيضا في هذا النص تكتب الأطوال بأحرف مائلة بينما الأشعة تكتب بأحرف ثخينة . الطويلة غالبا تكتب بالشكل : $a = \sqrt{\boldsymbol{a}^2}$ إن الفضاء الشعاعي ذو ذوالجداء السلمي يدعى بالفضاء الشعاعي الإقليدي .

إن الجداء السلمي مفيد بشكل خاص من أجل تحديد الاتجاهات و في الحقيقة الجداء السلمي بين شعاعين يرمز الزاوية بينهما . و يمكنك استنتاج (التحدي 151s) هذه العلاقة المهمة ؟

ما هو السكون ؟ ما هي السرعة ؟

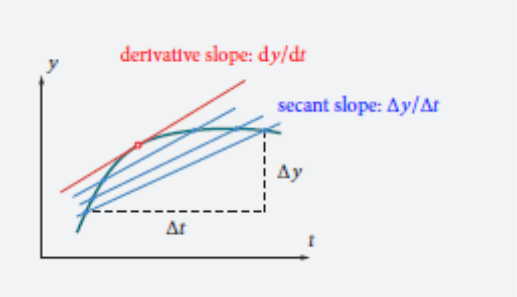
في الوصف الغاليلي للطبيعة ، فإن الحركة و السكون متعاكسان . بمعنى آخر الجسم يكون في السكون عندما موضعه أي إحداثياته لا تتغير مع الزمن . بمعنى آخر (الغاليلي) السكون يعرف بأنه :

$$\boldsymbol{x}(t) = \text{const}\,. \qquad (12)$$

سوف نتذكر أن x(t) هو اختصار لثلاثة إحداثيات (x(t) , y(t) , z(t)) . لاحقا سنرى أن هذا التعريف للسكون ، المعاكس لأول انطباع لا يستخدم بكثرة وسوف يتم تعميمه . على أن أي تعريف للسكون يقتضي أن عدم السكون

---

*سوف نذكر أنه في الرياضيات القيمة السلمية هي عدد و في الفيزياء القيمة السلمية هي عدد ثلاثي المتحولات وهو عدد نفسه من أجل كل الملاحظين . و بنفس الشكل فإن الشعاع هو عنصر في الفضاء الشعاعي يلاحظ و يرصد من قبل مراقبين مختلفين ، و يتغير مثل مركبات السرعة .



الشكل 48 - الاشتقاق في نقطة كحد للقواطع

الأجسام يمكن تمييزها بمقارنة سرعة إزاحتها . و بالتالي يمكننا تعريف السرعة v لجسم بأنها تغير موضعه x مع الزمن t وهذا يبكتب عادة بالشكل :

$$v = \frac{dx}{dt} . \qquad (13)$$

في هذه العلاقة الصالحة من أجل كل إحداثي بشكل منفصل يعني d/dt التغير مع الزمن و يمكننا بالتالي القول أن السرعة هي مشتق الموضع بالنسبة للزمن . السرعة v هي الاسم المعطى لطويلة السرعة v . و بالتالي لدينا $v = \sqrt{vv}$. إن المشتقات تكتب كتوابع من أجل تذكير القارئ أنها مشتقة من فكرة الميل . العلاقة :

$$\frac{ds}{dt} \text{ is meant as an abbreviation of } \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} , \qquad (14)$$

هي مختصر القول أن المشتق عند نقطة لحد / نهاية ميول القاطع في جوار النقطة كما هو مبين في الشكل 48 . و هذا التعريف يقتضي قواعد العمل (التحدي e 152) .

$$\frac{d(s+r)}{dt} = \frac{ds}{dt} + \frac{dr}{dt} \quad , \quad \frac{d(cs)}{dt} = c\frac{ds}{dt} \quad , \quad \frac{d}{dt}\frac{ds}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2} \quad , \quad \frac{d(sr)}{dt} = \frac{ds}{dt}r + s\frac{dr}{dt} , \qquad (15)$$

c هو أي عدد . و هذا كل ما نحتاجه دائما لنعرف عن المشتقات في الفيزياء . المقادير مثل dt & ds في بعض الأحيان تكون مفيدة بنفسها و تعرف بالتفاضلات .

هذه المفاهيم تعود إلى جوتفريد ويلهم ليبتنز . المشتقات تشكل أساس كل الحسابات المستندة إلى استمرار الفضاء و الزمن . و ليبتنز كان الشخص الذي جعل من الممكن وصف و استخدام السرعة في علاقة فيزيائية و بشكل خاص استخدام الفكرة عند نقطة معطاة في الزمن أو الفراغ من أجل الحسابات .

جوتفريد ويلهم ليبتنز (ولد في 1646 و توفي في 1716) و هو محام و فيزيائي و رياضي و فيلسوف و دبلوماسي و مؤرخ . و قد كان واحد من العقول العظيمة في البشرية : وقد اخترع الحساب التفاضلي (قبل نيوتن) و نشر العديد من الكتب المهمة و الناجحة في حقول مختلفة دراسها و من بينها De arte combinaturata , Hypothesis physics nova , Discours de metaphysique , Noveaux



الشكل 49 جوتفريد ويلهم ليبتنز (1646 - 1716)

إن تعريف السرعة يفترض أنها تعطي قيمة و معنى للنهاية $\Delta t \to 0$. بمعنى آخر يفترض أن المجالات الزمنية القصيرة بشكل لا نهائي توجد في الطبيعة . و إن تعريف السرعة بواسطة المشتقات هو ممكن فقط لأن كلا من الفراغ و الزمن موصوفان بواسطة مجموعات التي هي إحداثية أو بلغة الرياضيات ، موصلة و كاملة .

في بقية مسيرتنا سوف لن ننسى أنه من بداية الفيزياء الكلاسيكية فإن اللانهاية توجد في وصف طبيعتها . و إن المقدار الصغير بشكل لا نهائي هو جزء من تعريفنا للسرعة . و بالتالي فإننا نكتشف أن شكل اللانهاية لا يعطي تلقائيا وصف مستحيل أو عدم دقيق . من أجل البقاء متمتعين بالدقة فإن الفيزيائيين يستخدمون فقط أصغر اثنين ممكنين من أنواع المقادير المنتهية الصغر . إن تعريفهم الدقيق (المجلد III ، صفحة 214) و عرض للأنواع الأخرى سيقدم لاحقا .

إن شكل اللانهاية في الوصف المعتاد للحركة تم انتقاده أولا في (المرجع 65) مرجعه ذو المقولات الساخرة من قبل Zeno من Elena (حوالي 445 قبل الميلاد) و هو تلميذ Parmenides . و في ما يعرف بمقولته (حجته) الثالثة يشرح Zeno أنه نظرا في كل لحظة زمنية فإن جسما معينا يشغل جزءا من الفراغ المقابل لحجمه ، فإن مفهوم السرعة عند لحظة زمنية معينة لا يعطي معنى ، و هو يخلص بشكل مستفز أن الحركة بالتالي غير موجودة .

وفي هذه الأيام لا يمكننا أن نسمي هذه مقولة التي تناهض وجود الحركة و لكننا ضد وصفها المعتاد ، بشكل خاص ضد استخدام الفراغ القابل للتقسيم بشكل منتاه في الصغر (التحدي 153e) و الزمن (هل توافق على ذلك ؟) . على أن الوصف الذي انتقد من قبل Zeno في الحقيقة يعمل بشكل جيد تماما في الحياة اليومية . إن السبب هو بسيط و لكنه عميق : في الحياة اليويمة التغيرات في الحقيقة تكون مستمرة .

إن التغيرات الكبيرة تتم من العديد من التغيرات الصغيرة . و هذه الخاصة للطبيعة غير واضحة . مثلا ، نلاحظ أننا (ثانية) قد افترضنا أن مسار جسم ليس فراكتال أو كيان يسلك سبيلا سيئا / فجا . وفي الحياة اليومية هذا صحيح

و في مجالات أخرى من الطبيعة هذا ليس كذلك . و إن شكوك Zeno سيعاد تأهيلها جزئيا لاحقا (المجلد VI ، صفحة64) في مسيرتنا و بشكل متزايد كلما تقدمنا في السير . إن إعادة التأهيل هي فقط جزئية حيث أن الحل النهائي سيكون مختلف عن الذي نعرضه / نتصوره و من ناحية أخرى الشكوك حول فكرة السرعة غي نقطة سيتبين أنها ذات أساس قوي في أن

تغيرات الطبيعة تحدث بانسيابية .

لماذا السرعة مفهوم مهم ؟ من أجل السعي للدقة في وصف الحركة ، فإننا بحاجة لإكمال قائمة من النواحي اللازمة لتحديد حالة جسم . مفهوم السرعة من الواضح أنه في هذه القائمة .

الجدول 13 بعض قيم التسارع المقاسة

القياس	التسارع

ما هي أخفض قيمة يمكنك إيجادها ؟	التحدي
تسارع خلفي للمجرة M82 بواسطة دفعها النابذ	10 fm/s²
تسارع نجم جديد / يافع بواسطة الدفع النابذ	10 fm/s²
تسارع Fathoumi للشمس في مدارها حول درب التبانة	0.2 nm/s²
تباطؤ الأقمار الصناعية الأولية ، بسبب عدم توازن الإشعاع الحراري	0.8 nm/s²
التسارع الطارد المركزي في خط الاستواء بسبب دوران الأرض	33 nm/s²
تسارع الإلكترون في أسلاك المهرباء المنزلية بسبب التيار المتناوب	50 nm/s²
تسارع القطار تحت الأرض السريع	1.3 m/s²
تسارع الجاذبية على القمر	1.6m/s²
لتباطؤ الأصغري لسيارة ، وفق القانون ، على أسفلت جاف جديد	5.5m/s²
تسارع الجاذبية في سطح الأرض ، تبعا للموقع	9.8 ± 0.3 m/s²
تسارع الجاذبية القياسي	9.80665m/s²
أعلى تسارع لسيارة أو دراجة نارية ذات دواليب مقادة بمحرك	15 m/s²
إقلاع صواريخ الفضاء	20-90 m/s²
تسارع الفهد	32m/s²
تسارع الجاذبية على سطح المشتري	25m/s²
الذبابة الطائرة (Musca domestica)	100m/s² تقريبا
تسارع الحجر المرمي	120m/s² تقريبا
التسارع الذي يفتح بالون الحماية في السيارات	360m/s²
أسرع تسارع بواسطة الأقدام (من قبل اليسروع الضفدعي)	4km/s²
كرة تنس أمام الجدار	0.1Mm/s²
تسارع الطلقة في البندقية	2Mm/s²
أسرع طرد مركزي	0.1Gm/s²
تسارع البروتونات في المسرع الكبير	90Tm/s²
تسارع البروتونات داخل النواة	10^{31} m/s²
أعلى تسارع ممكن في الطبيعة	10^{52} m/s²

التسارع

الاستمرار على نفس الخط ، ندعوه بالتسارع a لجسم بواسطة تغير السرعة vمع الزمن أو

$$\boldsymbol{a} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{x}}{\mathrm{d}t^2}. \qquad (16)$$

التسارع هو ما نشعر به عندما ترتعش الأرض / تهتز ، أو تقلع الطائرة ، أو تدور الدراجة حول زاوية . المزيد من الأمثلة معطاة في الجدول 13 . التسارع هو المشتق الزمني للسرعة . و مثل السرعة فإن التسارع له مطال و اتجاه . و باختصار التسارع مثل السرعة هو شعاع و كالمعتاد هذه الخاصة مبينة باستخدام حرف ثخين لاختصاره .

الجدول 14 بعض حساسات التسارع

القياس	الحساس	المجال
اتجاه الجاذبية في النباتات (الجذور ، الجذع ، الأغضان ، الأوراق)	خلايا Statoliiths	0-10 m/s^2
اتجاه وقمية التسارعات في الثدييات	الأغشية في كل قناة نصف دائرية ، و القريبات و الكييسات في الأذن الداخلية	0-20 m/s^2
اتجاه وقيمة التسارع في العدادات الخطوية الحديثة لمتسلقي الجبال	حساسات كهرانضغاطية	0-20 m/s^2
اتجاه وقيمة التسارع في اصطدام السيارات	حساس كيس الهواء باستخدام سيراميك كهرانضغاطي	0-2000 m/s^2

في السيارة العادية ، أو في الدراجة النارية ، فإننا نشعر بأنها تتسارع (هذه التسارعات هي أقل من 1g و بالتالي غير ضارة) و نحن نشعر بالتسارع لأن جزءا ما داخلنا يخبرنا بأننا تحركنا بالنسبة لجزء آخر ما : التسارع يشوهنا . مثل هذا الجزء المتحرك يمكن أن يكون مثلا جزء ما داخل أذننا ، أو معدتنا داخل الأحشاء أو ببساطة أطرفنا مقابل جذعنا . كل حساسات التسارع ، التي تتضمن تلك الواردة في الجدول 14 أو تلك المبينة في الشكل 50 سواء كانت حيوية أو فنية تعمل بهذا الشكل .

يتم الإحساس بالتسارع . و جسمنا يتشوه و الحساسات في جسمنا تكشفه . مثلا في حدائق اللعب . التسارعات الأعلى يمكن أن يكون لها تأثيرات أقوى . مثلاعندما يتسارع شخص يجلس في اتجاه الرأس عند مرة أو مرتين من قيمة تسارع الجاذبية المعتاد ، تتوقف العينان و النظر يغيب ، لأن الدم لا يمكنه الوصول للعين . و بين 5 g & 3 من التسارع المستمر (المرجع 66) أو عند تسارع 7-9 g لفترة قصيرة يتم فقدان الوعي ، لأن الدماغ لا يتلقى كفاية من الدم و الدم يمكن أن يتسرب من الأقدام أو السيقان . و إن التسارع العالي في اتجاه الأقدام لشخص جالس يمكن أن يؤدي إلى صدمات نزفية

في الدماغ . و الناس الذين هم في خطر أكبر للإصابة بذلك هم طيارو الطائرات النفاثة ،حيث لديهم ملابس خاصة التي ترسل الهواء المضغوط إلى أجسام الطيارين لتجنب تراكم الدم في أماكن خاطئة .

التحدي 155s / هل يمكنك التفكير بحالة تتسارع فيها ولكنك لا تشعر بها ؟

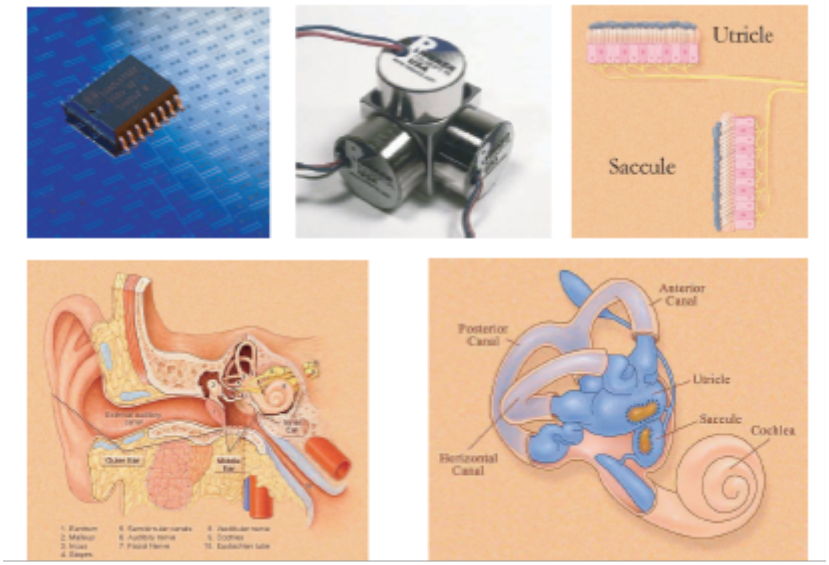
السرعة هي المشتق الزمني للموضع بالنسبة للزمن . و التسارع هو المشتق الثاني للموضع بالنسبة للزمن . المشتقات الأعلى من التسارع يمكن أيضا تعريفها بنفس الشكل .

التحدي 156s / وهي تضيف القليل لوصف الطبيغة لأنه – كما سنبين بعد قليل – لا يمكن لأي من هذه المشتقات الأعلى و لا للتسارع نفسه أن يكون مفيدا من أجل وصف حالة الحركة لجملة .

من الأجسام إلى الجزيئات النقطية

" إذا علمت شيئا ، فإنني أيضا أعلم إمكانيات حدوثه / وجوده في حقائق ذرية "

لودفيج فيتنجشتاين



الشكل 50 ثلاثة مقاييس تسارع : حساس كيس هواء أحادي المحور كهرانضغاطي ، و حساس تسارع ثلاثي المحاور سعوي و القراب و الكييسات داخل القنوات الثلاث شبه الدائرية داخل الأذن البشرية .

أحد أهداف دراسة الحركة هي إيجاد الوصف الكامل و الدقيق لكل من الحالات و الأجسام . و بمساعدة مفهوم الفراغ ، فإن وصف الأجسام يمكن أن يدقق بشكل مقبول . بشكل خاص نحن نعلم من الخبرة أن كل الأجسام المرئية في الحياة (التحدي 157e) اليومية لها خاصة مهمة : و هي يمكن تقسيمها إلى جزئين . غالبا القياس يعبر عنه بالقول أن كل الأشياء أو الأجسام لهاخاصتين . أولا هي مكونة من المادة ، المعرفة بأنها ذلك الجانب من الجسم المسؤول عن عدم الاختراق / النفوذ أي الخاصة التي تمنع جسمين من أن يكونا في نفس المكان . ثانيا الأجسام لها شكل معين أو مظهر يعرف بأنه الطريقة الدقيقة التي توزع فيها عدم قابلية الاختراق في الفضاء / الفراغ .

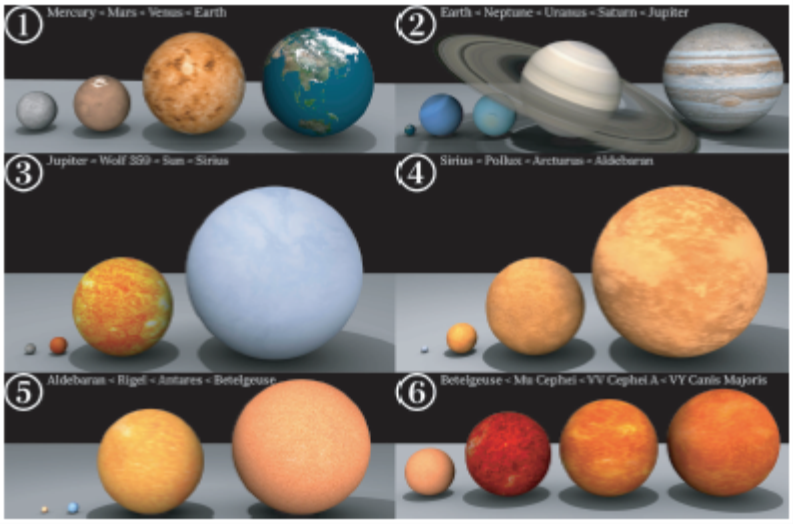
من أجل وصف الحركة بالدقة الممكنة / من الملائم البدء بتلك الأجسام البسيطة قدر الإمكان . بشكل عام ، كلما كان الجسم أصغر كلما كانأبسط . و الجسم الصغير جدا بحيث أن مكوناته لا تعود بحاجة لأن تؤخذ بالحسبان يدعى جزيئة (المصطلح

الأقدم هو كبسولة الذي لم يعد يستخدم) و الجزيئات / الجسيمات بالتالي عبارة عن أحجار صغيرة مثالية . الحالة القصوى ، جسيم / جزيئة حجمه مهمل مقارنة مع أبعاد حركته بحيث أن موضعه يوصف كليا بثلاثية وحيدة من الإحداثيات و يدعى بالجسيم النقطي (النقطة المادية) أو الكتلة النقطية أو نقطة الكتلة . وبشكل معادلة (6) الحجر افترض أنه كنقطة مادية .

المرجع 67 : المادة كلمة مشتقة من اللاتينية materia التي كانت أصر تعني الخشب و اشتقت عن طريق خطوات وسيطة من كلمة mater التي تعني الأم .

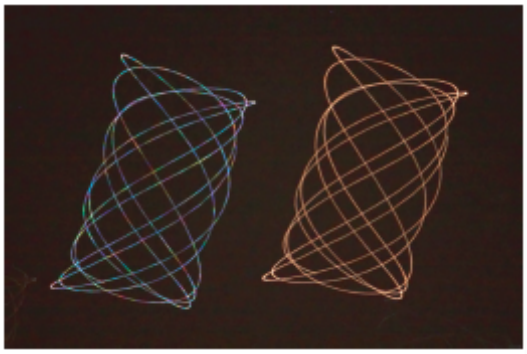


FIGURE 51 Orion in natural colours (© Matthew Spinelli) and Betelgeuse (ESA, NASA).



الشكل 52 مقارنة لأحجام النجوم

هل الأجسام النقطية مثل الأجسام ألأصغر من أي شيء يمكن للمرء أن يقيسه موجودة في الحياة الحقيقية ؟ نعم و لا . الأمثلة الأكثر بروزا هي النجوم . في الوقت الحالي الأحجام الزاوية التي تبلغ في صغرها 2 µrad يمكن قياسها ، وهذا حد معطة بواسطة التذبذبات للهواء فيالغلاف الجوي . وفي الفضاء مثل التلسكوب هبل الذي يدور حول الأرض فإن الحد الزاوي ناتج عن قطر التلسكوب و هو من مر تبة 10 nrad . عمليا كل النجوم التي ترى من الأرض هي أصغر من ذلك و بالتالي بعمليا هي مثل النقطة ، حتى عندما ترى بواسطة أقوى المناظير .



الشكل 53 كوكبي Regulus و المريخ ، صور ملتقطة بزمن تعريض 10 ثانية في 4 حزيران 2010 بواسطة كاميرا متأرجحة تبين الفرق بين الكوكب النقطي الذي يومض و الكوكب الممتد الذي لا يومض .

الاستثناء للقاعدة العامة هو حجم بعض النجوم الأكبر أو النجوم القريبة و أكثرها من النوع الأحمر العملاق يمكن قياسه بواسطة أجهزة قياس خاصة . إن Betelgeuse أعلى كتفين في أوريون مبين في الشكل 51 . إن Mira في Cetus ، Antares في Scorpio ، Aldebaran في Taurus و Sirius في Canis Major هي أمثلة على كواكب التي تم قياس حجمها (المرجع 68) وهي كلها تبعد بأقل من ألفي سنة ضوئية عن الأرض . من أجل مقارنة الأبعاد أنظر الشكل 52 . بالطبع مثل الشمس أيضا كل النجوم الأخرى لها حجم منتهي / محدد و لكن (التحدي 158s) لا يمكن إثبات هذا بقياس أبعادها في الصور (صحيح ؟) .

الفرق بين النقطة المادية و المصادر ذات الحجم النهائي يمكن أن يرى بالعين (التحدي 159e) المجردة ،ليلا بوميض الكواكب و لكن الكواكب لا تفعل ذلك . (تأكد من ذلك !) إن المنظر الجميل مبين في الشكل 53 .هذا الأثر ناتج عن دوامة الهواء . الدوامة لها تأثير على أكثر الكواكب التي مثل النقطة المادية لأنها تحرف أشعة الضوء بمقادير صغيرة . و من ناحية أخرى ، فإن دوامة الهواء تكون ضعيفة جدا بحيث تؤدي لوميض مصادر ذات حجم زاوية أكبر ، مثل الكواكب أو الأقمار الصناعية ** لأن الانحراف يكون متوسط في مثل هذه الحالة .

إن الجسم مثل النقطة المادية بالنسبة للعين المجردة إذا كان حجمه الزاوي أصغر من حوالي (التحدي 160s) 0.6 =2' mrad . هل يمكنك تقدير حجم ذرة غبار بحجم نقطة مادية ؟ بالمناسبة فإن الجسم يكون غير مرئي للعين المجردة إذا كان مثل النقطة المادية و إذا كانت إضاءته أي شدة الضوء من الجسم التي تصل للعين هي أدنى من قيمة حرجة . يمكنك تقدير فيما إذا كان هناك أي أجسام من صنع البشر مرئية من القمر ، أو من (التحدي 161s) مكوك الفضاء ؟

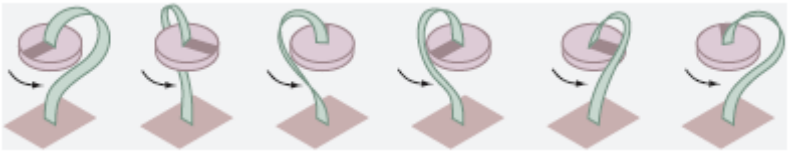
إن التعريف السابق للنقطة المادية في الحياة اليومية مضلل بشكل واضح هل الجسيمات المناسبة الحقيقية موجودة ؟ في الحقيقة كل ما هو ممكن هو بيان أن الجزئية لها حجم متلاش ؟ بنفس الشكل فإننا بحاجة لأن نسأل و نتأكد فيما إذا كانت النقاط في الفراغ هي موجودة .

---

*الموقع stars.astro.illinois.edu/sowlist.html يعطي مقدمة من قبل KENNETH R. LANG&

vagabands de l'espace-Exploration et decouverts dans le systeme ، CHARLES A. WHITNEY solaire , Springer Verlag , 1993 . إن الصور الجميلة بشكل مذهل للنجوم يمكن أن توجد في DAVID MALIAN , A View of the universe , Sky Publishing and Cambridge Univesity Press 1993 .

**إن القمر الصناعي هو جسم يدور حول كوكب ، مثل القمر و القمر الصناعي هو نظام يوضع في المدار من قبل البشر مثل Sputniks .



الشكل 54 دوران مشرشر : كيف يدور جسم باستمرار دون أن يضطرب باتصاله مع جسم ثان .

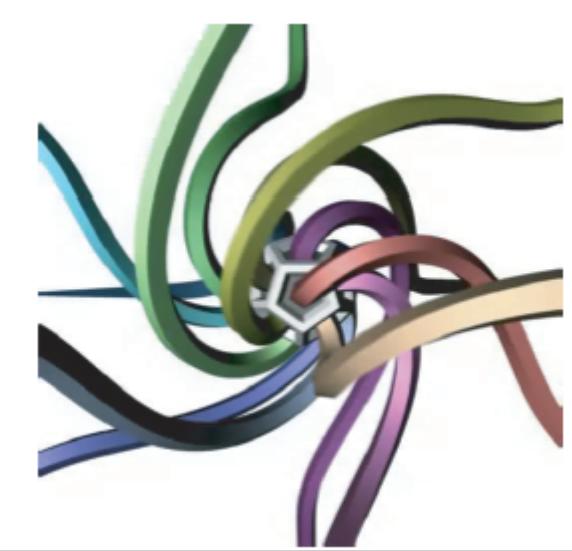
إن مسيرتنا ستؤدي بنا إلى نتيجة مدهشة أن كل الإجابات على هذه (التحدي 162 s) الأسئلة هي بالنفي . هل تتخيل لماذا ؟ لا يخيب أملك إذا وجدت هذه القضية صعبة ، العديد من العقول اللامعة لديها نفس المشكلة . لكن العديد من الجسيمات ، مثل الإلكترونات ، الكواركات أو البروتونات هي تشبة النقطة لكل الأغراض العملية . حالما نتعلم كيف تصف حركة نقاط مادية ، يمكننا عندها أيضا أن نصف حركة الأجسام الكبيرة ، الصلبة أو المشوهة و نفترض أنها مكونة من أجزاء . وهذه هي نفس الطريقة التي نصف بها حركة حيوان ككل بواسطة جمع حركات أجزاء جسمه المختلفة . و أبسط وصف هو التقريب المستمر ، الذي يصف الأجسام الكبيرة كمجموعة لا نهائية من النقاط الجسيمية . و يسمح لنا بفهم و توقع حركة الحليب و العسل وحركة الهواء في إعصار و العطر في الغرف . إن حركة النار و كل الأجسام الغازية الأخرى ، و انحناء القصب في الريح ، وتغيرات الشكل (المرجع 69) للعلكة و نمو النباتات و الحيوانات يمكن أيضا وصفها بهذه الطريقة

كل القياسات / الملاحظات حتى الآن أكدت أن حركة الأجسام الكبيرة يمكن وصفها بدقة كاملة نتيجة لحركة أجزائها . كل الآلات التي بناها البشر تستند لهذه الفكرة . إن الوصف الذي هو أكثر دقة حتى من (المجلد IV ، صفحة 15) التقريب المستمر معطاة لاحقا . إن وصف حركة الجسم بواسطة حركة أجزاء الجسم ستقودنا عبر أول مجلداتنا الخمسة من صعودنا للجبل مثلا سوف نفهم الحياة بهذا الشكل . فقط في المجلد النهائي سنكتشف أنه على نطاق أساسي هذا التفكيك / التحليل مستحيل .

السيقان و العجلات

إن أجزاء الجسم تحدد شكله . الشكل هو ناحية مهمة من الأجسام : من بين أشياء أخرى فهو يخبرنا كيفية دراسته . و بشكل خاص الأحياء دائما مكونين من جسم وحيد . و هذه ليست عبارة فارغة : من هذه الحقيقة يمكننا استنتاج أن الحيوانات لا يمكنها أن يكون لها عجلات كبيرة أو دوافع كبيرة . ولكن لديها فقط أرجل ، زغانف أو أجنحة . لماذا ؟الأحياء لديهم فقط سطح واحد ، ببساطة لديهم قطعة واحدة من الجلد (المجلد V ، صفحة 365) ميكانيكيا فإن الحيوانات متصلة . هذا غالبا يفترض أنه واضح (المرجع 70 و هذا غالبا يذكر بأن التغذية الدموية ، الأعصاب و التوصيلات اللمفاوية إلى الجزء الدوار الذي سيتحرك . لكن هذه المقولة ليست بسيطة كما يبين الشكل 54 .

يثبت الشكل أنه في الحقيقة من الممكن تدوير جسم باستمرار مقابل جسم ثان بدون اضطراب الوصلات / تغييرها . و الأبعاد الثلاثة للفراغ تسمح بالدوران الخطوي . هل يمكنك إيجاد أمثلة من هذا النوع من الحركة ، التي غالبا تعرف (التحدي 163s) بالدوران الخطوي في جسمك ؟ . هل أنت قادر على رؤية كم عدد الكابلات الموصولة إلى (التحدي 164 s) جسم دوار في الشكل بدون إعاقة الدوران ؟



الشكل 55 دوران خطوي : دوران مستمر لجسم مرتبط ببيئته

بالرغم من إمكانية امتلاك الحيوانات لأجزاء متحركة فإن طريقة الشكل 54 أو الشكل 55 ما يزال لا يمكن استخدامه لصنع عجلة عملية أو دافع . هل يمكنك أن ترى لماذا ؟

التحدي 165s / بالتالي التطور ليس له خيار : يجب تجنب الحيوانات ذات الأجزاء الدوارة (الكبيرة) حول المحاور ، و هذا التقييد لا يعني أن الأجسام الحية تتحرك بالدوران ككل : المرجع 71 / العشب المتطاير ، البذور من أشجار مختلفة و بعض الحشرات و العديد من العناكب و بعض الحيوانات الأطفال و الراقصين في بعض الأحيان يتحركون بالتدحرج أو الدوران ككل .

الأجسام الوحيدة الكبيرة و بالتالي كل الكائنات الحية الكبيرة يمكن لها أن تتحرك فقط عبر (المرجع 72) تشويه أشكالها : بالتايل فهي محدودة بالمشي ،الجري ، القفز ، التدحرج ، الانزلاق ، الزحف ، تحريك الزعانف ، أو الضرب بالأجنحة . إن تحريك الساق هو طريقة شائعة لتشويه جسم .

المرجع 73 / الأمثلة الصارخة على استخدام الرجل في الطبيعة مبينة في الشكل 57 & 56 و أكثر مثال تطرفا هو العناكب المتحرجة / المتقلبة – هناك العديد من أنواعها – وهي Cebrennus villosus (المرجع 74) وتعيش في الرمل في المغرب . و هي تستخدم أرجلها لتسريع التدحرج ، و يمكنها أن تقود و توجه اتجاه التدحرج و يمكن أن تتدحرج من أعلى تلة بميل 30% - وهذا عمل لا يمكن للبشر أن يقوموا به . إن أفلام الحركة المتدحرجة يمكن أن توجد في www.bionik.tu-berlin.de (المجلد V ، صفحة 281) المشي على الماء مبين في الشكل 127 صفحة 170 و الأمثلة على الأجنحة معطاة (المجلد V ، صفحة 281) لاحقا ، حيث أن هذه هي الأنواع المختلفة من التشوه الذي يسمح بالسباحة في الماء .

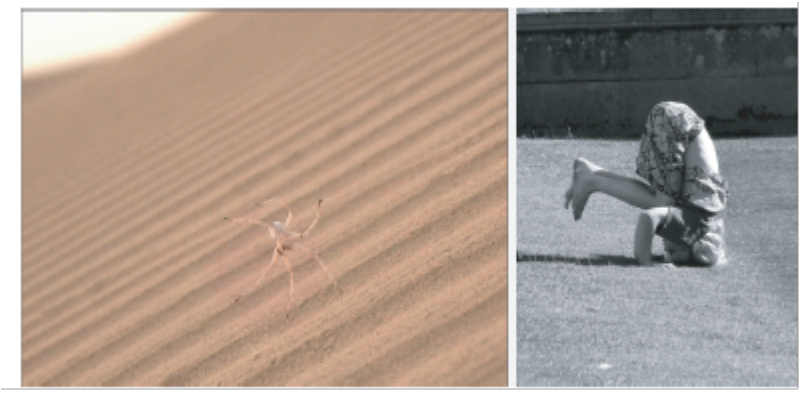
على العكس فإن الجمل المكونة من عدة أجسام مثل الدراجات الهوائية ، القوارب ذات البدالات أو الآلات الأخرى يمكن أن تتحرك بدون أي تغيير في شكل عناصرها ، وبالتالي تمكّن من استخدام المحاور ذات العجلات ، الدوافع و أجهزة الدوران الأخرى .

--

التدحرج أيضا معروف في العناكب الدولابية النامبية من جنس Carparachne و أفلام حركتها يمكن أن توجد في الإنترنت .



الشكل 56 الأرجل و العجلات في الكائنات الحية ، الدودة الألفية Aphistogoniulus erythrocephalus (طول جسمها 15 سم) أبو بريص على لوح زجاجي (طول جسمه 15 سم) ، أميبة Amoeba proteus (حجمها ميليمتر واحد) ، القريدس المتدحرج Nannsoquilla decemspinosa (طول جسمه سنتمتران و بقوم بدورة ونصف بالثانية حتى 2 cm يمكن حتى أن يتدحرج بشكل طفيف من أعلى تل مائل) و اليسروع المتحرج Pleurotza ruralis (يمكنه فقط أن يتحرج من أعلى تل كي ينجو من المفترسات)



الشكل 57 اثنين من أشكال الحياة النادرة قادرة على التدحرج من أعلى تل ذات ميل شديد الانحدار : عنكبوت الصحراء Cebrennus villous و الإنسان المنتصب Homo sapiens

باختصار عندما نلاحظ بنية التي فيها جزء ما يدور باستمرار (وبدون توصيل الشكل 54) فإننا نعلم فورا أن هذا منظر خادع :

إنه آلة و ليس جسما حيا (و لكنه مبني من قبل شيء واحد) . لكن مثل العديد من العبارات حول المخلوقات الحية ، فإن هذا الشيء الواحد له استثناءات .

إن التمييز بين الجسم الواحد و الجسمين معرف بشكل ضعيف إذا كانت كل الجملة مكونة من فقط بضع جزيئات . هذا يحدث في شكل أكثر وضوحا داخل البكتريا . الأحياء مثل الإيشريكية القولونية ، وهي جرثومة معروفة جيدا توجد في

أمعاء البشر ، أو الجراثيم من عائلة السالمونيلة ، كلها تسبح باستخدام السياط . السياط هي خيوط رفيعة مشابهة للأشعار الدقيقة التي تلتصق بأغشية الخلية . و في 1970s تبين أن كل سوط مكون من واحد أو بضع جزيئات طويلة ذات قطر يبلغ بضع عشرات من النانومترات (المجلد V ، صفحة 282) وهذه في الحقيقة تدور حول محورها .

البكتريا قادرة على تدوير سياطها في كل من اتجاه مع عقارب الساعة و عكسها ويمكنها تحقيق أكثر من ألف دورة بالثانية ، ويمكن أن تدور كل سياطها بتزامن (المرجع 75) تام . وهذه العجلات هي دقيقة جدا بحيث لا تحتاج لربط / وصل (المرجع 76) ميكانيكي ، الشكل 58 يبين عدد من نماذج المحركات التي توجد في البكتريا . و الحركة و بنية هذه البنى المتحركة مبينة بشكل أكثر تفصيلا في الأفلام ، الشكل 60 & 59 .

باختصار فإن العجلات في الحقيقة توجد في الكائنات الحية ، بالرغم من كونها دقيقة . و إن نمو الحركة لهذه العجلات هي من عجائب الطبيعة . و العجلات الماكروسكوبية غير ممكنة بالرغم من أن الحركة التدحرجية ممكنة .

الفضول و التحديات حول الكينماتيك

التحدي 167s / ما هو أكبر دولاب صنع قط ؟

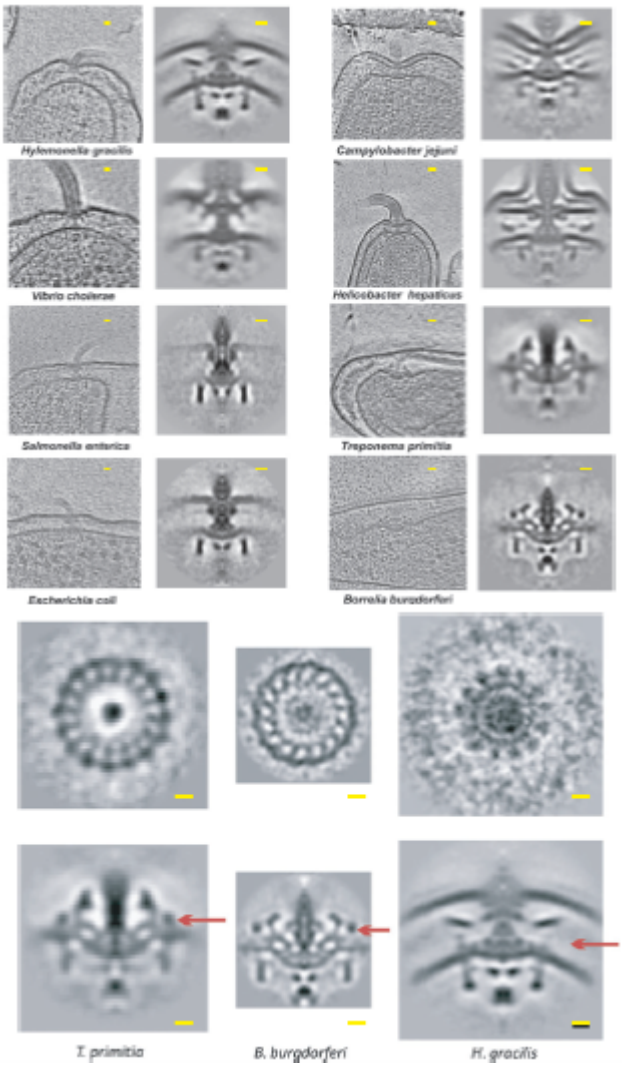
* *

تطلق كرة قدم بواسطة حارس مرمى بسرعة حوالي 30 m/s . استخدم فيديو لحساب المسافة التي ستقطعها الكرة وقارنها مع المسافات المحققة في مباراة كرة قدم . من أين (التحدي 186s) يأتي الفرق ؟

* *

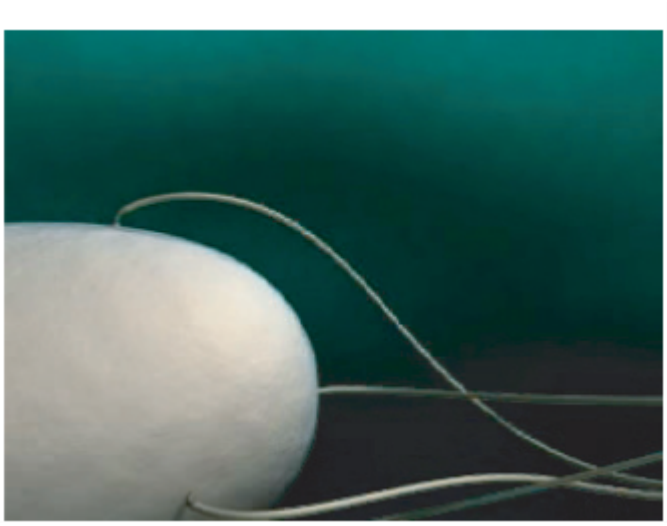
ينطلق قطار في رحلته بسرعة ثابتة تبلغ 10 m/s بين مدينتين A & B ، المسافة بينهما 36km سيستغرق القطار ساعة واحدة لقطع رحلته .في نفس الوقت تبدأ يمامة سريعة في الطيران بين A & B بسرعة 20 m/s . و كونها أسرع من القطار تصل اليمامة إلى B أولا و تعود بعدها عائدة إلى A ، وعندما تلاقي القطار ستعود ثانية للمدينة B . و هي تطير باستمرار جيئة وذهابا حتى يصل القطار إلى B . ما هي المسافة (التحدي 169 s) التي تغطيها اليمامة .

بالرغم من مساوئ عدم كوننا قادرين على استخدام أجزاء دوارة و كوننا مقيدين بجسد من قطعة واحدة فقط فإن البنى المتحركة في الطبيعة ، عادة تدعى حيوانات ، غالبا تتفوق على الآلات المبنية من قبل البشر . كمثال قارن حجم أصغر نظام طيار بني من قبل التطور مع ذلك الذي بني من قبل البشر . (أنظر مثلا pixelito.reference.de) . هناك سببين من أجل هذا التفاوت . أولا الأنظمة الطبيعية لها أنظمة إصلاح وصيانة مدمجة فيها . ثانيا الطبيعة يمكن أن تبني بنى كبيرة داخل حاويات ذات فتحات صغيرة وفي الحقيقة ، الطبيعة جيدة جدا فيما يفعله الناس عندما يبنون سفن إبحار داخل (التحدي 166s) القناني الزجاجية . الجسم البشري مليء بمثل هذه الأمثلة هل تستطيع تسمية البعض منها ؟



الشكل 58 بعض أنواع المحركات ذات السياط التي توجد في الطبيعة ، الصور مأخوذة بواسطة الكريموتوغرافي

كل قضبان المقياس الصفراء هي بطول 10 nm .



الشكل 59 الحركة الدورانية لسوط جرثومة و مجالها

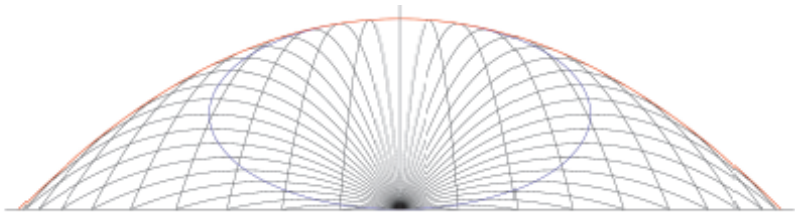


الشكل 60 نمو سوط جرثومة يبين التجميع الجزيئي

يوضح الشكل 62 أن حول مدفع يوجد خط خارجه لا يمكن الضرب .وقد بيّن إيفانجيلستا تورتشيلي في القرن السابع عشر ، بدون جبر ، أن (التحدي e 170) الخط هو قطع مكافئ و يسمى القطع المكافئ للسلامة . ها يمكنك أن تبين هذا أيضا ؟ هل يمكنك تأكيد أن أعلى نقاط لكل المقذوفات تقع على شكل إهليلجي ؟ القطع المكافئ للسلامة أيضا تظهر في نوافير المياه.



الشكل 61هل المذنبات مثل مذنب ماكنوت الجميل الذي شوهد في عام 2007 هي صور أو أجسام ؟ كيف يمكن أن تبينها ؟ (ولماذا يكون الذيل منحنيا ؟)



الشكل 62 القطع المكافئ للسلامة حول مدفع ، مبين بالأحمر . أعلى النقاط لكل المقذوفات تشكل شكل إهليلجي مبين باللون الأزرق .

* *

وازن قلم الرصاص شاقوليا (الرأس للأعلى) على قطعة من ورق قرب حافة طاولة (التحدي e 171) هل يمكنك أن تسحب الورقة بدون جعل قلم الرصاص يقع ؟

* *

هل رحلة العودة لطائرة – من النقطة A إلى النقطة B و عودة إلى A هو أسرع إذا كانت (التحدي E 172) الريح تهب أو لا ؟



الشكل 63 قياس التألق الصوتي بواسطة تجربة بسيطة التي تركز الأمواج فوق الصوتية في الماء

إن مستوى التسارع الذي يمكن أن ينجو فيه البشر يعتمد على الفترة التي يخضع لها المرء لذلك التسارع . من أجل عشر الثانية فإن 30 g =300 m/s² كما تتولد بواسطة لافظ المقعد في طائرة و يكون هذا مقبولا . (يبدو أن الرقم القياسي المسجل للتسارع لبشر نجا فيه هو حوالي 80 g =800 m/s²) لكن كقاعدة أساسية يقال بأن التسارع المساوي إلىg 15 أو أكثر هو قاتل . =150 m/s²

* *

إن أعلى تسارعات مجهرية تقاس في اصطدام الجزيئات حيث تصل القيم إلى 10^{35} m/s . و أعلى تسارعات عيانية هي ربما التي توجد في تقويض داخل المستعر الأعظم ، التي تفجر النجوم ، التي يمكن أن تكون لامعة جدا بحيث تكون مرئية في السماء حتى خلال النهار . إن المرشح على الأرض هو داخل الفقاعات المتقوضة في السوائل ، وهي عملية تعرف بالتكهف . التكهف غالبا ينتج ضوء ، و هو أثر مكشتف من قبل فرينتسل و شولترس في عام 1934 و يسمى التألق الصوتي (أنظر الشكل 63) ويظهر بشكل أكثر بروزا عندما فقاعات الهواء تتمدد و تتقلص بواسطة سماعات تحت الماء بتردد تقريبا 30 Hz و يسمح بالقياسات الدقيقة لحركة الفقاعة . و عند شدة عتبة معينة فإن نصف قطر الفقاعة يتغير عند 1500 m/s بمقدار قليل يصل إلى (المرجع 78) بضعة ميكرونات مما يعطي تسارع يبلغ عدة 10^{11} m/s .

الأرجل هي سهلة البناء . الطبيعة حتى أنتجت آلاف الأرجل ، مثل الكائن المسمى Illacme plenipes التي لها 750 رجلا . الحيوان هذا بطول 4-3 سنتمترا و عرضه تقريبا 0.5 ميلي متر .هذا يبدو أنه أعلى رقم حتى الآن . على عكس اسمها فإن ذات الألف رجل لا تملك فعلا ألف رجل .

ملخص الحركة

إن وصف الحركة اليومية للنقاط المادية بواسطة ثلاثة إحداثيات مثل (x(t) , y(t) , z(t)) هو بسيط ودقيقة و كامل . هذا الوصف للمسارات هو أساس علم الحركة . و بالنتيجة الفراغ يوصف بفراغ إقليدي ثلاثي الأبعاد و السرعة و التسارع هي أشعة إقليدية .

إن وصف الحركة بواسطة مسارات يفترض أن حركة الأجسام يمكن متابعتها على طول مساراتها . و بالتالي الوصف غالبا لا يعمل من أجل حالة مهمة : حركة الصور

الفصل الرابع

من الأجسام إلى الصور إلى الانحفاظ

عند المشي عبر الغابة نلاحظ شكلين آخرين مختلفين للحركة :

نرى النسيم يتخلل الأوراق ، و في نفس الوقت ، على الأرض (المرجع 79) نرى الظلال تتحرك . الظلال هي نوع بسيط من الصور . إن كلا من الأجسام والصور قادرة على الحركة ، وكلاهما يغيران موضعهما مع الزمن . إن النمور الراكضة ، ندف الثلج الساقطة ، و المواد الملفوظة من قبل البراكين و لكن أيضا الظل الذي يتابع جسمنا ، و حزمة الضوء التي تدور حول برج المنارة في ليلة ضبابية ، و قوس قزح الذي يبقى باستمرار على نفس المسافة الظاهرة عنا هي أمثلة عن الحركة .

إن كلا من الأجسام و الصور / الخيالات تختلف عن بيئتها في أن لها حدودا تعرف الحجم و الشكل . و لكن كل شخص الذي نظر قط إلى فيلم صور متحركة يعرف أن الصور يمكن أن تتحرك بطرق أكثر إدهاشا من الأجسام . الصور يمكن أن تغير حجمها و شكلها و هي يمكن حتى أن تغير لونها ، وهذا شيء يمكن لقلة من الأجسام أن تفعله . ** الصور يمكن أن تظهر و تختفي بدون ترك أثر ، و تتضاعف ، و تتداخل مع بعضها ، و تعود للخلف في الزمن و تخالف الجاذبية أو أي قوة أخرى . و الصور ، حتى الظلال العادية يمكن أن تتحرك بشكل أسرع من الضوء . الصور يمكن أن تطفو في الفضاء و تحافظ على نفس المسافة من الأجسام المقتربة منها (المرجع 81) . و الأجسام لا يمكن أن تقوم بأي من هذا .وبشكل عام فإن قوانين فيزياء الرسوم المتحركة لا تتبع أي قواعد ، على عكس حركة الأجسام . و نحن نشعر بالحاجة لمعايير دقيقة التي تسمح بتمييز الحالتين .

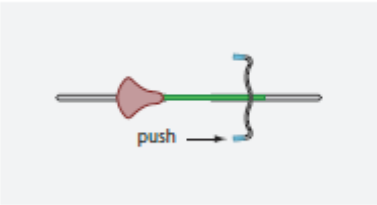
إن تحقيق تمييز واضح بين الصور و الأجسام يتم باستخدام نفس الطريقة التي يستخدمها الأطفال أو الحيوانات عندما يقفون أمام مرآة لأول مرة : حيث أنهم يحاولون لمس ما يرونه . و في الحقيقة

- إذا كنا قادرين على لمس ماتراه – أو بشكل أكثر دقة إذا كنا قادرين على تحريكه بواسة صدمة – نسمي هذا جسما و إلا فإنه صورة .***

** باستثناء التغيرات البطيئة جدا مثل التغير في لون الأوراق في الخريف ، فإنه في الطبيعة فقط بلورات معينة ، الأخطبوط و رأسيات الأرجل ، و الحرباء وقلة من الحيوانات الأخرى تستطيع فعل ذلك . و من الأشياء الصنعية ، التلفاز ، شاشات الحاسب ، و الأجسام المسخنة و ليزرات معينة يمكنها القايم بذلك . هل تعرف أمثلة أخرى (تحدي 173s) ؟

إن المصدر الممتاز للمعلوزمات عن موضوع اللون هو كتاب بقلم K. NASSAU ، فيزياء و كيمياء اللون – خمسة عشر سببا للون ، نشر J. Wiley & Sons , 1983 . و في مجال العلم الشائع فإن الكتاب الأكثر جمالا هو الكتاب الكلاسيكي بقلم رائد الفضاء الفلمنكي MARCEL G.J. MINNAERT ، الضوء و اللون في الخارج ، Springer , 1993 و النسخة المحدّثة منه المستندة لسلسلة الكتب الرائعة De naturkunde vanät vrije veid Thieme & Cle, 1937 . وقراءة هذا الكتاب لا بد منه لكل علماء الطبيعة . و على شبكة الإنترنت هناك موقع أبسط و لكنه ممتاز webexhibits.org/causeofcolor (المرجع 80).

***يمكن للمرء أن يقترح تضمين شرط أنه يمكن تدوير الأجسام ، لكن هذا الشرط بشكل مدهش يعطي صعوبات في حال الذرات ، كما هو مشروح في الصفحة 84 في المجلد IV .



الشكل 64 في أي اتجاه تدور الدراجة ؟

مجلد رقم IV ، صفحة 138 : الصور لا يمكن لمسها , لكن يمكن لمس الأجسام , الصور لا يمكن أن تضرب بعضها البعض ولكن يمكن للأجسام ذلك .و كل شخص يعلم أن لمس شيء ما يعني الشعور بأنه يقاوم الحركة .

الأجسام المعينة مثل الفراشات ، تشكل مقاومة قليلة و تتحرك بسهولة ، و الأشياء الأخرى مثل السفن تقاوم أكثر و تتحرك بصعوبة أكبر .

- المقاومة للحركة – بشكل أكثر دقة التغير في الحركة – تعرف بالعطالة و الصعوبة التي يمكن أن يحرك بها الجسم بها كتلته (عطاليا) .

الصور ليس لها لا عطالة و لا كتلة .

بالمختصر ، من أجل وصف الحركة علينا أن نميز الأجسام ، التي يمكن أن تلمس و غير القابلة للاختراق عن الصور التي لا يمكنها ذلك و قابلة للاختراق . كل شيء مرئي (التحدي 174 s) هو إما جسم أو صورة ، وليس هناك احتمال ثالث . (هل توافق على ذلك ؟) . إذا كان الجسم بعيدا لا يمكن لمسه مثل النجم أو المذنب ، و سيكون من الصعب أن نقرر فيما إذا كان المرء يتعامل مع جسم أو صورة وسوف نواجه هذه الصعوبة بشكل متكرر . مثلا ، كيف يمكن أن تبين أن المذنبات – مثل المبينة في المثال الجميل في الشكل 61 - هي أجسام و ليست صور كما ادعى غاليليو (خطأ) ؟

التحدي (175 s) .

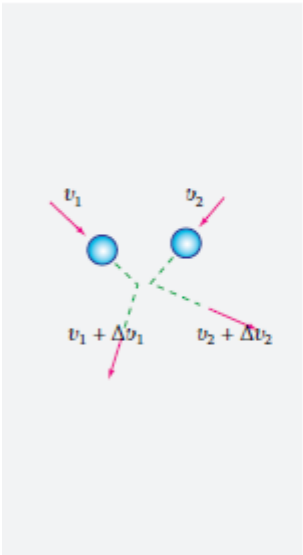
بنفس الشكل الأجسام المصنوعة من مادة ، الصور مصنوعة من الإشعاع . و الصور (المرجع 82) هي مجال مسرح الظل ، السينما ، التلفاز ، رسوميات الحاسب ، أنظمة الاعتقاد و خبراء العقاقير . الصور ، الصور المتحركة ، الأشباح ، الملائكة ، الأحلام و العديد من الهلوسات هي صور (في بعض الأحيان ترتبط بخلل في عمل الدماغ) . و لفهم الصور فإننا بحاجة لدراسة الإشعاع (إضافة للعين و الدماغ) . لكن بسبب أهمية الأجسام – فبعد كل شيء نحن أنفسنا أجسام - فإننا سندرس الأخير أولا .

الحركة و التماس

" يؤكد ديموكريتوس أن هناك فقط نوع واحد من الحركة : التي تبدأ من الصدم . إيتيوس ، آراء "

المرجع 83 .

عندما يركب طفل دراجة فإنه يستخدم قاعدة عامة في عالمنا : الجسم المؤثر على جسم آخر بحركه . و في الحقيقة في حوالي ست ساعات ، أي شخص يمكن أن يتعلم ركوب الدراجة و يستمتع بها . و كما في كل مسرات الحياة ، مثل الألعاب ، الحيوانات ، النساء ، الآلات ، الأطفال ، الرجال ، البحر ن الريح ، السينما ، الخداع ، التسكع و الحب هي شيء يدفع شيئا آخر . وبالتالي أول تحدي هو وصف انتقال الحركة بسبب التماس – و الصدم - بشكل أكثر دقة.



الشكل 65 الصدمات تعرف الكتلة



الشكل 66 الكيلوغرام القياسي

التماس ليس فقط الطريقة الوحيدة لتحريك شيء ، المثال المعاكس هو تفاحة تسقط من شجرة أو مغناطيس يسحب آخر . التأثيرات عديمة التماس هي أكثر روعة : لا شيء مخفي ، ولكن يحدث شيء ما غامض . حركة التماس تبدو أسهل الفهم ، وهذا يبين لماذا أن المرء يبدأ عادة بها . لكن بالرغم من هذا الاختيار ، فإن التأثيرات المتبادلة غير التماسية لا يمكن تجنبها . إن اختيارنا في البدء بالتماس سيقودنا إلى خبرة مشابهة لتلك العائدة لركوب الدراجة . (أنظر الشكل 64) .

إذا ركبنا دراجة بسرعة مقيدة و حاولنا الانعطاف لليسار بدفع قضيب التوجيه الأيمن ، فسوف ندور لليمين . وبهذه الطريقة ، هذا التأثير المدهش ، أيضا معروف لراكبي الدراجات النارية يعمل بوضوح فقط أعلى من سرعة دنيا . هل يمكنك تحديد ما هذه السرعة ؟ (التحدي 176s) انتبه ! إن دفعة قوية جدا ستجعلك تسقط .

إن شيئا مشابها سيحدث لنا أيضا ، بالرغم من اختيارنا الحركة التماسية ، فإن بقية مسيرتنا ستجبرنا بسرعة على دراسة التأثيرات المتبادلة غير التماسية .

ما هي الكتلة ؟

" أعطنى مكانا لأقف عليه وسأحرك الأرض – أرخميدس "

عندما ندفع شيئا ما نجهله ، مثل عندما نركل جسما في الشارع ، فإننا تلقائيا ننتبه لنفس الناحية التي يستكشف بها الأطفال عندما يقفون أمام مرآة لأول مرة ، أو عندما يرون بقعة ليزر حمراء لأول مرة .

" أعطنى مكانا لأقف عليه وسأحرك الأرض – أرخميدس " (212-283) عالم إغريقي ومهندس .

مرجع 84 هذه العبارة تنسب له من قبل بابوس . لقد علم أرخميدس أن التمييز المستخدم من قبل واضعي القوانين بين الأجسام القابلة للتحريك و غير القابلة للتحريك لا معنى له .



الشكل 67 أنطوان لافوازييه (1743-1794) و زوجته

فهم يتأكدون فيما إذا كان الشيء المجهول يمكن دفعه أو إمساكه و ينتبهون لكيفية حركة الجسم المجهول تحت تأثيرهم

كل هذه هي تجارب صدمية . و الشكل عالي الدقة لأي تجربة اصطدام موضحة في الشكل 65 . و تكرار مثل هذه التجارب بأزواج متعددة من الأجسام ، نجد :

- الكمية الثابتة m_i يمكن تخصيصها لكل جسم i محددة بالعلاقة :

$$\frac{m_2}{m_1} = -\frac{\Delta v_1}{\Delta v_2} \qquad (17)$$

حيث Δv هي تغير السرعة الناتج عن الصدم . و العدد m_i يعرف بكتلة الجسم i .

كلما كان من الصعوبة أكثر تحريك جسم ، كلما كان هذا الرقم أكبر . من أجل أن يكون لدينا قيم كتلة الشائعة لكل شخص ، فإن قيمة الكتلة لجسم معين مختار يجب أن تثبت مسبقا . و الجسم الخاص هذا ، المبين في الشكل 66 يعرف بالكيلوغرام القياسي و هو محفوظ بعناية شديدة في متحف سيفر قرب باريس . و الكيلوغرام القياسي يلمس مرة واحدة فقط كل عدة سنوات بسبب أن الغبار ، الرطوبة ، أو الخدوش يمكن أن تغير كتلته . بالمناسبة فإن الكيلوغرام القياسي لا يبقى تحت الخلاء ، لأن هذا سيؤدي إلى خروج الغاز و بالتالي تغيرات في كتلته .

يحدد الكيلوغرام القياسي قيمة كتلة كل جسم آخر في العالم . و الكتلة بالتالي تقيس صعوبة تحريك شيء ما . و الكتل العالية هي أصعب تحريكا من الكتل المنخفضة . و من الواضح أن فقط الأجسام لها كتلة و لكن الصور ليس لها كتلة . (بالمناسبة ، المرجع 67 ، كلمة كتلة مشتقة من اللاتينية و تعني خبز - أو بالعبرية ماسا – الخبز غير المختمر و هذا تغير كبير في المعنى) .

التجارب على الأجسام اليومية أيضا تبين أنه في أي اصطدام فإن مجموع كل الكتل يكون منحفظا .

$$\sum_i m_i = \text{const} . \qquad (18)$$



الشكل 68 كريستيان هويغنيز (1629-1695)

إن مبدأ انحفاظ الكتلة صيغ لأول مرة من قبل أنطوان لوران لافوازييه .*

إن انحفاظ الكتلة أيضا يقتضي أن كتلة جملة مركبة هي مجموع كتل عناصرها . باختصار ، الكتلة أيضا هي مقياس لكمية المادة .

في تجربة شهيرة في القرن السادس عشر ، ولعدة أسابيع قام سانتوريو سانتوريو (سانكتوريوس) (1561-1636) ، وهو صديق غاليليو ، الذي عاش مع كل طعامه وشاربه و أيضا مرحاضه على ميزان كبير . أراد أن يختبر انحفاظ الكتلة . كيف قاس التغير في الوزن مع الزمن ؟ (التحدي 177 s) .

إن العديد من قادة التنظيمات الدينية ادعوا و ما يزالو يدعون أنه باستطاعتهم إنتاج المادة من لا شيء . و هذا سيكون مقال على عدم انحفاظ المادة . كيف يمكن أن تبين أن كل هؤلاء القادة هم حمقى ؟ (التحدي 178s) .

كمية الحركة و الكتلة

تعريف الكتلة يمكن أن يعطى بشكل آخر . يمكننا تخصيص العدد m_i لكل جسم i بحيث أنه من أجل التداخل الخارجي بلا صدمات يكون المجموع التالي ثابت خلال الصدم :

$$\sum_i m_i \boldsymbol{v}_i = \text{const} . \qquad (19)$$

جداء السرعة v_i و الكتلة m_i يعرف بكمية الحركة (الخطية) للجسم . والمجموع ، أو كمية الحركة الكلية للجملة ، هي نفسها قبل و بعد الصدم ، و بالتالي كمية الحركة هي مقدار مصون .

- انحفاظ / مصونية كمية الحركة تعرف الكتلة

مبدئي الانحفاظ / المصونية (18) و (19) صيغا لأول مرة بهذا الشكل من قبل الفيزيائي المهم كريستيان هويغنيز :*

أنطوان لوران لافوازييه (ولد في عام 1743 في باريس و توفي في 1794 في باريس ، وهو كيميائي و عبقري . لافوازييه كان أول من فهم أن الاحتراق هو تفاعل مع الأكسجين ، وقد اكتشف مكونات الماء و أدخل قياسات الكتلة في الكيمياء . و القصة الشهيرة حول شخصيته : عندما حكم عليه (ظلما) بالإعدام بالمقصلة خلال الثورة الفرنسية قرر أن يستفيد من الأوضاع من أجل إجراء تجربة علمية . و قد أعلن أنه سيحاول أن يطرف عينيه بأكبر عدد من المرات بعد أن يقطع رأسه من أجل أن يبين للآخرين كم يستغرق الأمر كي يفقد الإنسان وعيه . وقد استطاع لافوازييه أن يطرف عينيه أحد عشرة مرة . و من غير الواضح إذا كانت هذه القصة صحيحة أم لا .و لكن من المعلوم أنه يمكن هذا أن يكون صحيحا حيث بعد قطع الرأس بدون ألم أو صدمة ، يمكن للشخص أن يبقى واعيا لمدة تصل إلى نصف دقيقة .



الشكل 69 هل هذا خطير ؟

كمية الحركة و الكتلة مصونتان في الحركة اليومية للأجسام . و بشكل خاص لا يمكن تعريف أي من هاتين الكميتين من أجل حركة الصور .

بعض قيم كميات الحركة النوعية معطاة في الجدول 15 .

تستدعي مصونية كمية الحركة أنه عندما تضرب كرة متحركة كرة ثابتة بنفس الكتلة و بدون فقد للطاقة فإن هناك قاعدة بسيطة لتحديد الزاوية بين اتجاهي (التحدي 179 s) الكرتين بعد الصدم . خل تستطيع إيجاد هذه القاعدة ؟ و هذا من المفيد بشكل خاص عند لعب البلياردو . سوف نجد لاحقا أن القاعدة ليست مقبولة من أجل السرعات قرب سرعة الضوء (المجلد VII ، صفحة 55) .

النتيجة الأخرى لمصونية كمية الحركة مبينة في الشكل 69 : حيث يستلقي رجل على سرير من المسامير ذو قطعة كبيرة من البيتون على معدته . ورجل آخر يضرب البيتون بمهدة ثقيلة . حيث أن الصدم يمتص في أغلبه من قبل البيتون (التحدي 180 s) لا يتعرض الشخص لأي ألم و لا لأي خطر – ما لم تكون الضربة خارج البيتون . لماذا ؟

التعريف السابق (17) للكتلة تم تعميمه من قبل الفيزيائي و الفيلسوف لإرنست ماك ** بحيث أنه يكون صحيح حتى إذا كان الجسمين يتبادلان التأثير مع بعضهما دون تماس طالما أنهما يفعلان ذلك على طول خط واصل بين موضعيهما .

- نسبة الكتلة بين الجسمين تعرف بأنها مقلوب نسبة التسارع السلبي وبالتالي :

$$\frac{m_2}{m_1} = -\frac{a_1}{a_2}\,, \qquad (20)$$

حيث a تسارع كل جسم خلال تبادل التأثير .

هذا التعريف للكتلة تم دراسته بكثير من التفصيل من قبل علماء الفيزياء ، بشكل أساسي في القرن التاسع عشر .

---

*كريستيان هويغنيز (ولد في 1629 في جرافينهاجه ، توفي في 1695 في هوفويك) كان واحد من الفيزيائيين البارزين و الرياضيين في زمانه . و قد شرح هويغنيز مبادئ الميكانيك ، وقد كان أول من بيّن أن الضوء هو موجة . وقد كتب كتبا قيمة حول نظرية الاحتمال ، آليات الساعة ، البصريات و الفلك .

من بين إنجازاته الأخرى ، بيّن هويغنيز أن Orion Neubla (كوكبة جبار الجوزاء) مكونة من نجوم ، وقد اكتشف النجم الجبار ، قمر زحل ، وبيّن أن حلقات زحل مكونة من صخر (هذا مخالف لزحل نفسه الذي كثافته أخفض من الماء)

**إرنست ماك (1838كراليس - 1916 فيترشتيتن) ، فيزيائي نمساوي وفيلسوف . وحدة الماك لسرعة الطائرات كمضاعف لسرعة الصوت في الهواء (حوالي 0.3 km/s) سميت باسمه . و أيضا درس أساس الميكانيك . و أفكاره حول الكتلة و العطالة كان لها أثر في تطوير النسبية العامة و أدت إلى مبدأ ماك و الذي سيظهر لاحقا . وقد كان أيضا فخورا بأنه آخر عالم ينكر – بشكل فكاهي و مناف لكل الأدلة – وجود الذرات .

الجدول 15 بعض قيم كميات الحركة المقاسة

القياس	كمية الحركة
الصور	0
كمية حركة فوتون أخضر	Ns 10^{-27}. 1.2
كمية الحركة المتوسطة لجزئية أكسجين في الهواء	Ns 10^{-26}
كمية حركة فوتون الأشعة السينية	Ns 10^{-23}
كمية حركة فوتون أشعة غاما	Ns 10^{-17}
أعلى كمية حركة في المسرعات	fNs 1
أعلى كمية حركة ممكنة لجزيئة أولية وحيدة – كمية حركة بلانك	Ns 6.5
كرة بلياردو سريعة	Ns 3
رصاصة بندقية طائرة	Ns 10
لكمة اليد	15-50Ns
إنسان يمشي بارتياح	Ns 80

ضربة مخلب الأسد	kNs
لطمة ذيل الحوت	kNs
سيارة على طريق سريع	kNs 40
ضربة الحجر النيزكي بقطر 2 km	TNs 100
كمية حركة مجرة في اصدام مجري	حتى 10^{46} Ns

وبعض النقاط التي تلخص النتائج :

- تعريف الكتلة يقتضي مصونية كمية الحركة الكلية $\sum mv$. مصونية كمية الحركة ليست مبدا منفصلا . مصونية كمية الحركة لا يمكن أن تؤكد تجريبيا لأن الكتلة تعرف بحيث أنه تصح مصونية كمية الحركة .

- إن تعريف الكتلة يقتضي التراجح m_1a_1 و m_2a_2 - . بحيث أن الجدائين يعرفان بالقوة و تساوي قوى الفعل و رد الفعل ليس مبدا منفصلا حيث أن الكتلة تعرف بشكل يصح فيه المبدأ .

- تعريف الكتلة مستقل عن فيما إذا التماس موجود أو لا ، وفيما إذا كانت التسارعات ناتجة عن الكهرباء ، الجاذبية أو تبادلات تأثير أخرى * . ونظرا لأن تبادل التأثير لا يدخل في تعريف الكتلة ، فإن قيم الكتلة المعرفة بمساعدة تبادل التاثير الكهربائي ، النووي أو الجاذبي كلها متفقية مع بعضها ، طالما أن كمية الحركة مصونة . كل التأثيرات المتبادلة المعروفة تحقق مصونية كمية الحركة . من أجل بعض الأسباب التاريخية غير المواتية فإن قيمة الكتلة المقاسة بواسطة التأثيرات المتبادلة الكهربائية أو النووية سميت بالكتلة العطالية و الكتلة المقاسة باستخدام الجاذبية / الثقالة تعرف بالكتلة الثقالية .و كما تبين فإن هذا التمييز المفروض ليس له معنى ، وهذا يصبح واضحا بشكل خاص عندما نأخذ نقطة القياس بعيدة عن كل الأجسام المعنية .

---

*كما ذكرنا أعلاه فإن القوى المركزية فقط تخضع للعلاقة (20) المستخدمة لتعريف الكتلة . القوى المركزية تؤثر بين (صفحة 117) مركز كتلة الأجسام . و سنعطي تعريفا دقيقا لاحقا . لكن نظرا لأن كل القوى الأساسية هي مركزية ، فإن هذا ليس قيدا . و يبدو أن هناك استثناء واحد : المغناطيسية . هل تعريف الكتلة (تحدي 181 s) صالح في هذه الحالة.

الجدول 16 بعض قيم الكتلة المقاسة

القياس	الكتلة
أخف جسم معروف : النيوترينو	تقريبا $2. 10^{-36}$ kg
تزايد الكتلة بسبب امتصاص فوتون أخضر واحد	$4.1. 10^{-36}$ kg
أخف جسم مشحون معروف : الإلكترون	$9.10938188(72). 10^{-31}$ kg
ذرة الأرغون	u = 66. (3) 123 39.962383 3591(1)yg
أخف جسم تم وزنه قط (جزيئة ذهب)	0.39 ag
الإنسان في عمر مبكر (بيضة ملقحة)	10^{-8} g
الماء الممتص على وزن كيلوغرام من المعدن	10^{-5} g
كتلة بلانك	$2.2 .10^{-5}$ g

بصمة الإصبع	10^{-4} g
النملة النموذجية / العادية	10^{-4} g
قطيرة الماء	1 mg
نحل العسل ، Apis mellifera	0.1 g
قطعة اليورو المعدنية	7.5 g
الحوت الأزرق ، Balaenoptera musculus	180 Mg
أثقل الأشياء الحية ، مثل الفطر المسلح fungus Armillaria ostoyae أو Sequota Sequotadendron giganteum الكبير	10^6 kg
أثقل قطار معروف	10^6. 99.7 kg
أكبر سفينة تمخر المحيط	400.10^6 kg
أكبر جسم تم تحريكه من قبل الإنسان (حلقة غاز ترول Troll gas ring)	10^6 . 687.5 kg
جبل جليدي قطبي كبير	10^{15} kg
الماء على الأرض	10^{21} kg
كتلة الأرض	10^{24}. 5.98 kg
الكتلة الشمسية	10^{30} . 2.0 kg
الكتلة المرئية لمجرتنا	10^{41} .3 kg
الكتلة الكلية المقدرة لمجرتنا	10^{42} .2 kg
العنقود النجمي الهائل لبرج العذراء / السنبلة	10^{46} .2 kg
الكتلة الكلية المرئية في الكون	10^{54} kg

- إن تعريف الكتلة يتطلب ملاحظين / مراقبين في السكون أو في حركة عطالية .

بقياس كتل الأجسام حولنا يمكننا أن نستكشف العلم و فن التجارب . إن مراجعة أجهزة قياس الكتلة معطى في الجدول 18 و الشكل 71 .

بعض نتائج القياسات واردة في الجدول 16 .

بقياس الكتلة حولنا فإننا نؤكد الخواص الأساسية للكتلة . قبل كل شيء ، الكتلة هي إضافية / تجميعية في الحياة اليومية ، حيث أن كتلة جسمين مجتمعين تساوي مجموع كتلتي كل منهما منفصلين . أيضا الكتلة مستمرة حيث يمكن أن تأخذ افتراضيا أي قيمة إيجابية . أخيرا الكتلة مصونة في الحياة اليومية ، كتلة جملة ، تعرف بأنها مجموع كتل كل مكوناتها و لا تتغير مع الزمن إذا أبقيت الجملة معزولة عن بقية العالم . الكتلة ليست فقط مصونة في الصدمات بل أيضا خلال الانصهار ، التبخر ، التفكك و كل العمليات الاعتيادية .

الجدول 17 خواص الكتلة في الحياة اليومية

الكتل	الخاصة الفيزيائية	الاسم الرياضي	التعريف
يمكن تمييزها	قابلية التمييز	عنصر مجموعة	المجلد III ، صفحة 212
يمكن ترتيبها	تتابع / تتالي	الترتيب	المجلد IV ، صفحة 223
يمكن مقارنتها	قابلية القياس	القياس	المجلد IV ، صفحة 235

يمكن تغييرها تدريجيا	الاستمرارية	الكمال	المجلد V ، صفحة 364
يمكن جمعها	كمية المادة	التجميع	صفحة 80
تتجاوز أي حد / نهاية	اللانهائية	عدم المحدودية ، الانفتاح	المجلد III ، صفحة 213
لا تتغير	المصونية	عدم التغير	m = const
لا تختفي	عدم الاختراق	الإيجابية	m≥0

كل الخواص للكتلة الاعتيادية ملخصة في الجدول 17 . لاحقا سنجد أن العديد من الخواص هي فقط تقريبية . إن التجارب عالية الدقة تبين وجود انحرافات *. و لكن تعريف الكتلة يبقى بدون تغيير في كل مغامرتنا .

إن تعريف الكتلة عن طريق مصونية كمية الحركة يقتضي أنه عندما يسقط جسم ، فإن الأرض تتسارع للأعلى بمقدار صغير . إذا تمكنا من قياس هذا المقدار الصغير يمكننا تحديد كتلة الأرض . لسوء الحظ هذا القياس مستحيل (تحدي 182s) . هل يمكنك إيجاد طريقة أفضل للسماح بتحديد كتلة الأرض ؟

تعريف الكتلة و كمية الحركة يسمح بالإجابة على سؤال الشكل 70 . الطوبة المعلقة في السقف / المتدلية منه : ويتدلى خيط

آخر من الطوبة ، و يمكنك سحبه (تحدي 183 e) . هل يمكنك موائمة طريقة سحبك لتجعل الخيط العلي ينقطع ؟ و الخيط السفلي ؟

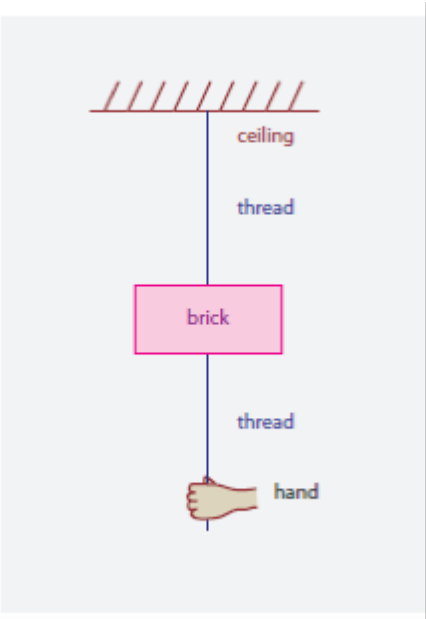
في التلخيص الجدول 17 ، كتلة جسم بالتالي توصف بشكل أكثر دقة بعدد حقيقي موجب غالبا يختصر بالحرف m أو M .

هذا نتيجة مباشرة لعدم قابلية اختراق / نفوذ المادة . في الواقع الكتلة السالبة (العطالية) ستعني ن مثل هذا الجسم ستحرك بالاتجاه المعاكس لاتجاه أي قوة أو تسارع مطبق عليه . مثل هذا الجسم لا يمكن وضعه في صندوق ، سوف يخترق أي جدار يحاول أن يوقفه . من الغريب كفاية أن الأجسام ذات الكتلة السالبة ما تزال تسقط للأسفل في حقل الكتلة الموجبة الكبيرة (بالرغم من أن هذا يحدث بشكل أبطأ من الكتلة الموجبة المكافئة) (تحدي 184 e) . هل تستطيع تأكيد ذلك ؟ لكن الجسم ذو الكتلة الموجبة الصغيرة سيعوم و يطفو بعيدا عن الجسم ذو الكتلة السالبة الكبيرة ، كما يمكن أن تستنتج بسهولة بمقارنة التسارعات العديدة الموجودة . الكتلة الموجبة و السالبة ذات نفس القيمة ستبقى على مسافة ثابتة و تتسارع تلقائيا بعيدا على طول الخط الواصل بين الكتلتين (التحدي 185 e) . لاحظ أن كلا من الطاقة و كمية الحركة مصونتين في كل هذه الحالات ** (المجلد II ، صفحة 59) . الأجسام ذات الكتلة السالبة لم يتم أبدا قياسها .

---

*مثلا من جل تعريف كتلة يجب أن نكون قادرين على تمييز الأجسام . هذا يبدو شرط عادي و لكننا نكتشف أن هذا ليس ممكنا بشكل دائم في الطبيعة .

**لمزيد من الإطلاع ، أنظر R.H.PRICE ، الكتلة السالبة يمكن أن تكون طريفة بشكل إيجابي ، المجلة الأمريكية للفيزياء 61 ، صفحة 217-216 عام 1993 . الجزيئات ذات الكتلة السالبة في صندوق تسخن صندوق مصنوع من كتلة موجبة بينما تعبر جداره ، و تتسارع أي تفقد الطاقة في نفس الوقت . (صفحة 109) . و هي تسمح للكرء ببناء حركة سرمدية من النوع الثاني ، أي جهاز يتحايل على المبدأ الثاني في الترموديناميك (تحدي 186 e) . أيضا مثل هذه الجملة لن يحدث فيها اتزان ترموديناميكي لأن طاقتها ستتناقص للأبد . و كلما فكر المرء بالكتلة السالبة كلما وجد خواص قياس غريبة متناقضة .



الشكل 70 تبعا للطريقة التي تسحب بها ، إما الخيط العلوي أو السفلي ينقطع . ما هي الخيارات ؟

الجدول 18 بعض حساسات الكتلة

القياس	الحساس	المجال
الموازين الدقيقة	ميزان ، نواس ، أو نابض	pg – 10^3 kg 1
صدم الجزيئات	السرعة	أقل من 1 mg
حساس اللمس	الخلايا الحساسة للضغط	mg – 500 kg 1
تأثير دوبلر للضوء المنعكس عن جسم	مقياس التداخل	mg-100 g 1
جهاز قياس كتلة الجسم الكوني	تواتر النابض	حوالي 70 kg
موازين السيارات / القبابين	ميزان هيدروليكي	kg 10^3 . 60 – 10^3
وزن السفن	قياس حجم الماء	حتى 10^6 . 500

المجلد IV ، صفحة 191 المادة المضادة التي ستناقش لاحقا لها أيضا كتلة موجبة .

هل الحركة خالدة / سرمدية ؟ - مصونية كمية الحركة

" كل جسم يستمر في حالة السكون أو الحركة المنتظمة في خط مستقيم ما عدا إذا لم يفعل ذلك – آرثر إيدنغتون "

تحدي 187 s : بالمناسبة ما هو مجال قيم الكتلة الممكنة للتاكيونات (هي أجسام افتراضية كتلتها أقل من الذرة و سرعتها أكبر من سرعة الضوء) ؟

آرثر إيدنغتون (1882-1944) : عالم فيزياء فلكية بريطاني

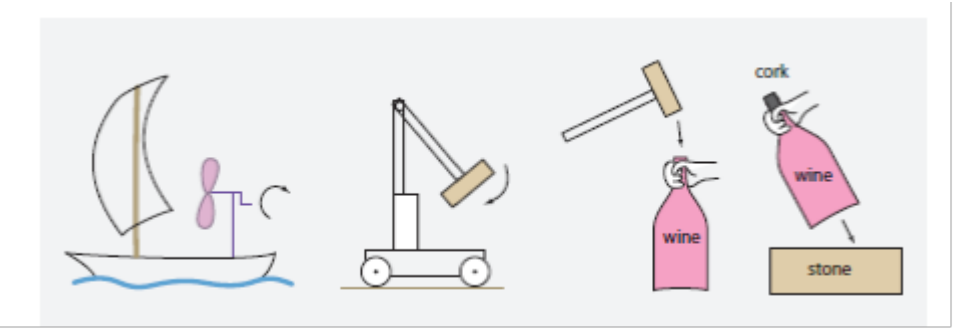


الشكل 71 أجهزة قياس الكتلة : ميزان خلاء مستخدم في عام 1890 من قبل ديمتري إيفانتوفيتش مندلييف ، ميزان مخبري حديث ، جهاز قياس الكتلة للأجسام الكونية في الفضاء و موازين السيارات .

إن الجداء $\boldsymbol{p} = mv$ للكتلة و السرعة يعرف بكمية الحركة لجزيئة ، وهو يصف ميل الجسم للمحافظة على حركته خلال الاصطدامات . و كلما كان كبيرا كلما كان من الأصعب إيقافه . و مثل السرعة فإن كمية الحركة لها قيمة و اتجاه و هي شعاع . في الفرنسية ، كمية الحركة تسمى مقدار الحركة ، وهو مصطلح أكثر ملائمة . و في الأيام الخوالي مصطلح الحركة كان يستخدم بدلا من كمية الحركة مثلا من قبل نيوتن . و إن علاقة قياس كمية الحركة (19) يعبر بالتالي عن مصونية الحركة خلال التأثيرات المتبادلة .

كمية الحركة هي كمية شاملة. هذا يعني أنه يمكن القول أنها تتدفق من جسم لآخر ، و انها يمكن أن تتراكم في الأجسام ، بنفس الشكل الذي يتدفق به الماء في الحاويات . إن تخيل كمية الحركة على أنها شيء يمكن تبادله بين الأجسام في الاصدامات هو دائما مفيد عند التفكير في وصف الأجسام المتحركة . (المرجع 86) .

كمية الحركة مصونة و هذا يفسر الحدود التي يمكن أن تعايشها عند تكون على سطح مثالي عديم الاحتكاك مثل الجليد أو السطح المصقول ، الرخام المغطى بالزيت ، حيث لا يمكن أن تدفع بنفسك قدما للأمام بتربيت ظهرك (هل حاولت قط وضع قطة على مثل هذا السطح الرخامي ؟ فهي لن تستطيع حتى الوقوف على أرجلها الأربعة . و لا حتى البشر يستطيعون ذلك .(التحدي 188 s)



الشكل 72 ما الذي يحدث في هذه الوضعيات الأربع ؟

تحدي 189 s

هل يمكن أن تتخيل لماذا ؟) مصونية كمية الحركة هي أيضا حل لأحجيات الشكل 72 .

إن مصونية كمية الحركة و الكتلة أيضا تعني أن السفر عبر الزمن هو مستحيل في الطبيعة . هل تستطيع أن تشرح هذا لشخص غير فيزيائي ؟ (تحدي 190s) .

تستدعي مصونية كمية الحركة أن كمية الحركة يمكن تصور أنها مثل السائل غير المرئي . في تأثير متبادل ، السائل غير المرئي ينتقل من جسم لآخر . و في مثل هذه الانتقالات ، كمية السائل تكون دائما ثابتة .

مصونية كمية الحركة تستدعي أن الحركة لا يمكن أبدا أن تتوقف و هي فقط تتبادل . و من ناحية أخرى فإن الحركة غالبا تختفي في بيئتنا كما في حال حجر سقط على الأرض أو كرة تركت تتحرج على العشب في الحياة اليومية غالبا نلاحظ تكوين الحركة ، مثل في كل مرة نفتح بها يدنا . كيف تطابق هذه الأمثلة مصونية كمية الحركة ؟

ينتج أن اختفاء كمية الحركة الظاهرية هي ناتجة عن النواحي الميكروسكوبية للجمل القائمة . و عن العضلة يمكن أن تحول فقط نوع من الحركة و هي الإلكترونيات الموجودة في مركبات كيماوية معينة * إلى نوع آخر ، فتحرك الأصابع .

إن عمل العضلات مشابه لعمل محرك السيارة الذي يحول إلكترونات الوقود إلى حركة العجلات . و كلا الجملتين بحاجة لوقود و تسخين في أثناء العمل . علينا دراسة السلوك الميكروسكوبي عندما تتدحرج كرة على العشب حتى تتوقف .

الاخفاء الظاهر للحركة يدعى الاحتكاك . بدراسة الحالة بعناية ، نجد أن العشب و الكرة يسخنان خلال هذه العملية . وخلال الاحتكاك فإن الحركة المرئية تحول إلى حرارة . الملاحظة الجديرة لهذا التأثير هي لدراجة مبينة في الشكل 273(صفحة 382) . لاحقا عندما نكتشف بنية المادة فسوف يصبح من الواضح أن الحرارة هي الحركة غير المنظمة للمكونات المجهرية لكل مادة . عندما تتحرك المكونات المجهرية كلها في نفس الاتجاه فإن الجسم كله يتحرك وعندما تتذبذب بشكل عشوائي فإن الجسم يكون في وضعية السكون و لكنه دافئ . الحرارة هي شكل من الحركة . الاحتكاك بالتالي يبدو أنه اختفاء الحركة ، في الحقيقة هو تحويل من الحركة المنتظمة إلى غير المنتظمة .

صفحة 393 . بالرغم من قياس كمية الحركة ، فإن الحركة السرمدية الماكروسكوبية غير موجودة نظرا لأن الاحتكاك لا يمكن إزالته كليا .** الحركة هي أبدية فقط عند المستوى المجهري .

المرجع 87 * الوقود في أكثر العمليات في الحيوانات عادة هو الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP)

** بعض الأمثلة الطريفة عند المحاولات في الماضي لبناء آلة دائمة الحركة وصفت من قبل STANISLAV MICHEL ، الحركة الأبدية ، مطبعة VDI عام 1976 . من المهم معرفة أن فكرة الحركة الدائمة أتت إلى أوربا من الهند عن طريق العالم الإسلامي حوالي عام 1200 وأصبح شائعا حيث يخالف الرأي القياسي بأن كل الحركات على الأرض تختفي مع الزمن . أنظر أيضا موقع الإنترنت web.archives.org/web/20040812085618/http://www.geocities.com/mercutio78_99/pmm.html و مواقع الإنترنت www.lhup.edu/-dsimanek/museum/unwork.htm . إن الخطأ المبدئي الذي ارتكب من قبل غريبي الأطوار و استغل من قبل المخادعين هو دائما نفسه : أمل التغلب على الاحتكاك (في الحقيقة هذا ينطبق فقط على آلات الحركة الدائمة من النوع الثاني ، و تلك التي من النوع الأول – التي حتى تعارض أكثر الملاحظة – حتى تحاول توليد الطاقة من لا شيء .)

إذا كانت الآلة مبنية جيدا أي ذات احتكاك قليل ، فإنها تستهلك القليل من الطاقة التي تحتاجها من أجل تأمين ديمومة حركتها من تأثيرات البيئة البسيطة . مثلا في متحف فيكتوريا و ألبرت في لندن يمكن للمرء أن يعجب للساعة التي تعمل بواسطة تغيرات ضغط الهواء مع الزمن (المرجع 88).

إن الاحتكاك المنخفض يعني أن الحركة تستغرق وقتا طويلا كي تتوقف . و يمكن للمرء مباشرة ان يفكر بحركة الكواكب . في الحقيقة هناك احتكاك بين الأرض و الشمي (هل يمكن أن تخمن أحد الآليات ؟)

التحدي 191 s : لكن قيمة الاحتكاك صغيرة جدا بحيث أن الأرض تدور حول الشمس لآلاف ملايين السنين ، و ستسمر في أكثر من ذلك لزمن.

بمعنى آخر ، الاختفاء و أيضا الظهور التلقائي للحركة في الحياة اليومية هو وهم ناتج عن محدودية الحواس . مثلا الحركة الخاصة بكل كائ حي موجودة قبل ولادته و تبقى بعد موته . نفس الشيء يحدث مع طاقته . هذه النتيجة ربما الأقرب التي يمكن أن تقترب من فكرة الحياة المستمرة من الدليل المتحصل من الملاحظة . و ربما هذا أقل من مصادفة أن الطاقة المستخدمة ستسمى أو قوة الحياة من قبل لايبتنيز و الكثير من الآخرين .

نظرا لأن الحركة مصونة ، فإنه ليس لها أصل و بالتالي عند هذه المرحلة من سميرتنا لا يمكننا الألإجابة على الأسئلة الأساسية : لماذا توجد الحركة ؟ ما هو أصلها ؟ و نهاية مغامرتنا هي قريبة من هنا.

مزيد من المصونية – الطاقة

عندما تدرس الاصطدمات بالتفصيل ، فإنه تظهر كمية مصونة أخرى . تبين التجارب أنه في حال الصدم المثالي او المرن - الصدم بلا احتكاك – فإن الكمية التالية التي تعرف بالطاقة الحركية T للجملة تكون أيضا مصونة :

$$T = \sum_i \tfrac{1}{2} m_i v_i^2 = \sum_i \tfrac{1}{2} m_i v_i^2 = \text{const} . \qquad (21)$$

الطاقة الحركية هي المقدرة التي يمتلكها الجسم لعمل تغير في الأجسام التي يضربها . الطاقة الحركية بالتالي تعتمد على الكتلة و على مربع سرعة الجسم v . و الاسم الكامل الطاقة الحركية طرح من قبل غوستاف غاسبر كوريوليس * وبعض قيم الطاقة الحركية المقاسة معطاة في الجدول 19 .

التجارب و الأفكار المذكورة حتى الآن يمكن تلخيصها بالتعريف التالي :

- الطاقة (الفيزيائية) هي قياس المقدرة على توليد الحركة .

--

*غوستاف – غاسبر كوريوليس (ولد في 1792 باريس و توفي 1843 باريس) كان مهندسا ورياضيا وقد أدخل المفاهيم الحديثة للعمل و الطاقة الحركية و درس تأثير كوريوليس المكتشف من قبل لابلاس (صفحة 138) . أيضا طرح كوريوليس مفهوم العامل 1/2 في الطاقة الحركية T من أجل أن تتحقق العلاقة dT/dv=p (لماذا؟) (تحدي 192s).



الشكل 73 روبرت ماير (1814-1878)

الجسم الذي يملك الكثير من الحركة يملك القدرة على تحريك العديد من الأجسام الأخرى . الطاقة هي عدد ، الطاقة على عكس كمية الحركة ليس لها اتجاه و كمية الحركة الكلية لكتلتين متساويتين بسرعتين متعاكستين هي صفر و لكن الطاقة الكلية ليست كذلك ، و تزداد مع السرعة . الطاقة بالتالي أيضا تقيس الحركة و لكن بشكل مختلف عن كمية الحركة . الطاقة تقيس الحركة بشكل أعم .

التعريف المكافئ هو التالي :

- الطاقة هي المقدرة على تنفيذ العمل

و هنا المفهوم الفيزيائي للعمل الذي هو مجرد شكل دقيق لما نعنيه بالعمل في الحياة اليومية . كما هو معتاد فإن العمل الفيزيائي هو جداء القوة بالمسافة في اتجاه القوة . بمعنى آخر هو الجداء السلمي للقوة و المسافة . العمل الفيزيائي هو كمية تصف مجهود الدفع لجسم على طول مسافة . بالنتيجة العلم هو شكل من الطاقة .

التعريف المكافئ الآخر للطاقة سيصبح واضحا قريبا :

- الطاقة يمكن تحويلها إلى حرارة .

الطاقة هي كلمة مأخوذة من الإغريقية و قد استخدمت أصلا لوصف الشخصية و تعني الذكي أو الرفيع الأخلاق

وقد استعيرت للفيزياء من قبل توماس يونج (1773-1829) في عام 1807 لأن معناها الحرفي هو القوة الداخلية (الأحرف A, W , E و العديد من الأحرف الأخرى أيضا تستخدم لترمز للطاقة) .

إن كلا من الطاقة و كمية الحركة تقيس مقدار تغير النظام . كمية الحركة تخبرنا كيف يتغير النظام مع المسافة : كمية الحركة هي فعل (أو تغير) مقسم على المسافة . و كمية الحركة لازمة لمقارنة الحركة هنا و هناك .

الطاقة تخبرنا كيف / كم يتغير النظام مع الزمن : الطاقة هي فعل (أو تغير) مقسم على الزمن . و الطاقة لازمة لمقارنة الحركة الآن و لاحقا .

لا تستغرب إذا لم تفهم الفرق بين كمية الحركة و الطاقة مباشرة : الفيزيائيون استغرقوا حوالي قرن لفهم ذلك ! لذا فإنه يحق لك أن تأخذ بعض الوقت لتعتاد عليها . في الواقع أصر الفيزيائيون البريطانيون لعدة عقود على استخدام نفس المصطلح لكلا المفهومين . هذا كان ناتجا عن إصرار نيوتن – جديا – بأن وجود الله يقتضي أن الطاقة هي نفس كمية الحركة . و بدلا من ذلك فإن ليبنيتز علم أن الطاقة تزداد مع مربع السرعة و أثبت أن نيوتن كان على خطأ .

في عام 1722 فيلم جاكوب غرافيسانده بيّن الفرق بين الطاقة و كمية الحركة تجريبيا (المرجع 89) . و قد جعل كرات من المعدن ذات كتل مختلفة تسقط في الوحل من ارتفاعات مختلفة و بمقارنة حجم الطبعات أكد أن نيوتن كان على خطأ في كل من بياناته الفيزيائية و الاعتقادات الدينية .

الجدول 19 بعض قيم الطاقة المقاسة

القياس	الطاقة
الطاقة الحركية المتوسطة لجزئية أكسجين في الهواء	6 Zj
طاقة الفوتون الأخضر	0.37 aJ
طاقة فوتون الأشعة السينية	1 fJ

طاقة فوتون أشعة غاما	1 pJ
طاقة أعلى جزئية في المسرعات	0.1 µJ
الطاقة الحركية لبعوضة طائرة	0.2 µJ
الإنسان الذي يمشي براحة	20 J
السهم الطائر	50 J
اللكمة اليمنى في الملاكمة	50 J
الطاقة في بطارية المصباح اليدوي	1 k J
الطاقة في متفجرة TNT وزنها غرام واحد	4.1 k J
طاقة كيلو كالوري واحد	4.18 k J
طاقة طلقة بندقية	10 k J
غرام واحد من الدسم	38 k J
غرام واحد من الغازولين	44 k J
هضم تفاحة	0.2 M J
السيارة على الطريق السريع	1 -0.3 M J
طاقة نبضة أعلى ليزر	1.8 M J
إضاءة الفلاش	حتى 1GJ
طاقة بلانك	2.0 GJ
قنبلة نووية صغيرة (20 كيلو طن)	84 TJ
زلزال بدرجة 7	2 PJ
أكبر قنبلة نووية (50 ميغا طن)	210 PJ
صدم حجر نيزكي بقطر 2 km	1EJ
استخدام الطاقة السنوي لآلة	420 EJ
طاقة دوران الأرض	$2.\ 10^{29}$ J
انفجار المستعر الأعظم (السوبرنوفا)	10^{44} J
قذفة أشعة غاما	حتى 10^{47} J
محتوى الطاقة لكتلة الشمس $E = mc^2$	$1.8\ .\ 10^{47}$ J
محتوى الطاقة لثقب أسود مركزي للمجرة	$4.\ 10^{53}$ J

إحدى الطرق لدراسة الفرق بين الطاقة و كمية الحركة هي التفكير بالتحديات التالية . هل من الأكثر صعوبة التوقف عن الجري لرجل ذو كتلة m و سرعة v أو ذو كتلة m/2 و سرعة 2v أو ذو كتلة m/2 و سرعة $\sqrt{2}v$ ؟ (تحدي 193 e) . يمكنك سؤال صديق يلعب الرغبي لتأكيد ذلك .

التمييز الآخر بين الطاقة و كمية الحركة يتضح بواسطة الرياضيين : الرقم القياسي العالمي في القفز الطويل هو تقريبا عشرة أمتار ، وما يزال يحمله رياضي في بداية القرن العشرين ذو وزنين في يديه و بعدها يرمي الأوزان خلفه في لحظة القفز .

هل يمكن أن أن تشرح هذا العمل البارع ؟ (تحدي 194s) .

عند تحرك السيارة بسرعة 100 m/s تتواجه مع سيارة أخرى مركونة من نفس النوع و الماركة أي سيارة يصيبها ضرر أكبر ؟ (تحدي 195s) . ما هي التغيرات إذا كانت السيارة المركونة كان مكابحها تعمل ؟

للحصول على شعور أفضل بالطاقة ، هنا ناحية إضافية . استهلاك العالم من الطاقة من قبل الآلات البشرية (الآتية من الشمس ، الطاقة الجيوحرارية ، الكتلة الحيوية ، الريح ، الطاقة النووية ، المائية ، الغاز ، النفط أو المصادر الحيوانية) في عام 2000 كان 420 EJ * من أجل عدد سكان العالم البالغ 6000 مليون نسمة (المرجع 90) .

لرؤية ماذا يعني استهلاك الطاقة ، نترجم هذا إلى استهلاك الطاقة الشخصي ، فنحصل على حوالي 2.2 kW . إن الوات هو وحدة الاستطاعة و تعرف ببساطة بأنها 1 W = 1 J/s وهذا يعكس تعريف الاستطاعة (الفيزيائي) بأنه الطاقة المستخدمة في وحدة الزمن . إن التعريف الدقيق هو : الاستطاعة هي الطاقة المتدفقة بالزمن عبر سطح مغلق محدد .

أنظر الجدول 20 لمعرفة بعض قيم الاستطاعة التي توجد في الطبيعة و الجدول 21 لبعض أجهزة القياس .

نظرا لأن الشخص العامل يمكن أن ينتج عملا ميكانيكيا حوالي 100 W فإن استهلاك الطاقة المتوسطة للإنسان يقابل 22 شخصا يعمل لمدة 24 ساعة في اليوم . و بشكل خاص إذا نظرنا لاستهلاك الطاقة في أولى بلاد العالم فإن المواطن المتوسط هناك لديه آلات تعمل له التي تكافئ عدة مئات من الخدم (تحدي 196s) الالات تقدم الكثير من الفائدة . هل يمكن أن تشير لبعض هذه الآلات ؟

الطاقة الحركية هي بالتالي مصونة في الحياة اليومية . مثلا في الصدم غير المرن ، مثل العلكة التي تضرب جدارا يتم فقد الطاقة الحركية . الاحتكاك يدمر الطاقة الحركية . بنفس الوقت ، الاحتكاك ينتج حرارة . و كانت إحدى الاكتشافات للمفاهيم المهمة في الفيزياء أن الطاقة الكلية مصونة إذا أدخل الإنسان اكتشاف أن الحرارة هي شكل من الطاقة . و الاحتكاك بالتالي هو عملية تحويل الطاقة الحركية أي الطاقة المتصلة بحركة جسم إلى حرارة . على المستوى الميكروسكوبي الطاقة دائما مصونة .

أي مثال عن عدم مصونية الطاقة هو ظاهري فقط ** و في الواقع بدون مصونية الطاقة فإن مفهوم الزمن لا يمكن تحديده و سوف نبين هذا الارتباط المهم قريبا .

في الملخص ، بالإضافة للكتلة و كمية الحركة ، فإن الحركة الخطية اليومية أيضا تصون الطاقة . لاكتشاف آخر كمية مصونة ندرس نوع آخر من الحركة : الدوران .

الجداء البيني أو الجداء الشعاعي

إن مناقشة الدوران تكون أسهل إذا طرحنا طريقة إضافية لضرب الأشعة . هذا الجداء الجديدي لشعاعين a & b يعرف بالجداء البيني أو الجداء الشعاعي a x b .

صفحة 449 :* لشرح الاختصار E أنظر الملحق B

** في الحقيقة مصونية الطاقة تم بيانها بشكلها العام الكامل للجمهور فقط في عام 1842 من قبل يوليوس روبرت ماير . وقد كان طبيبا بالتدريب ، و رفضت مجلة حوليات الفيزياء نشر بحثه حيث افترض أنه يحوي أخطاء كبيرة . إن ما سماه المحرر أخطاء كانت في الحقيقة في الأكثر – ليس فقط ذلك – تناقضات لأحكامه المسبقة . لاحقا أقر هيلمهولتز ، تومسون – كيلفن ، جول و الكثير من العلماء الآخرين بعبقرية ماير . و لكن أول من بين مصونية الطاقة في شكلها الحديث كان الفيزيائي الفرنسي سادي كارنو (1832-1796) في عام 1820 . و بالنسبة له كانت القضية واضحة جدا بحيث لم ينشر النتيجة . في الحقيقة مضى و اكتشف القانون الثاني في الترموديناميك . و اليوم مصونية الطاقة أيضا تعرف بقانون الترموديناميك و هي إحدى ركائز علم الفيزياء حيث أنها صالحة في كل مجالات هذا العلم .

الجدول 20 بعض قيم الاستطاعة المقاسة

القياس	الاستطاعة
إشارة الراديو من مجس الفضاء غاليليو المرسل من المشتري	10 zW

استطاعة المحرك السوطي في البكتريا	pW 0.1
الاستطاعة المستهلكة من قبل خلية نوعية	pW 1
استطاعة الصوت في الأذن عند عتبة السمع	pW 2.5
ليزر CR-R بطول موجة 780 nm	mW 40-80
خرج الصوت من بيانو يعزف على مستوى الشدة الكبرى	W 0.4
معدل الاستقلاب الأساسي ليمامة (وزنها 0.16 kg)	W 0.97
معدل الاستقلاب الأساسي لجرذ (وزنه 0.26 kg)	W 1.45
معدل الاستقلاب الأساسي لحمامة (وزنها 0.30 kg)	W 1.55
معدل الاستقلاب الأساسي لدجاجة (وزنها 2.0 kg)	W 4.8
خرج الضوء لمصباح متوهج	W 1-5
معدل الاستقلاب الأساسي لكلب (وزنه 16 kg)	W 20
معدل الاستقلاب الأساسي لنعجة (وزنها 45 kg)	W 50
معدل الاستقلاب الأساسي لامرأة (وزنها 60 kg)	W 68
معدل الاستقلاب الأساسي لرجل (وزنه 70 kg)	W 87
الاستهلاك الكهربائي لمصباح ضئي متوهج	W 25-100
إنسان يقوم بوردية عمل واحدة مدتها ثماني ساعات	W 100
معدل الاستقلاب الأساسي لبقرة (وزنها 400 kg)	W 266
حصان واحد لوردية واحدة ثماني ساعات	W 300
معدل الاستقلاب الأساسي لثور صغير (وزنه 680 kg)	W 411
Eddy Merckx الدراج الرياضي العظيم ، خلال ساعة واحدة	W 500
وحدة استطاعة حصانية مترية (75 kg . 9.81 m/s² . 1m/s)	735.5 W
وحدة الاستطاعة الحصانية البريطانية	W 745.7
الدراجة النارية الكبيرة	kW 100
خرج محطة كهربائية	GW 6 – 0.1
إنتاج الاستطاعة الكهربائية العالمي في عام 2000 ، المرجع 90	GW 450
الاستطاعة المستخدمة من قبل دينامو جيولوجي	GW 500- 200
حد إنتاج طاقة الرياح المرجع 91	TW 18-68
الدخل على سطح الأرض : الإشعاع الشمسي للأرض المرجع 92	EW 0.17
الدخل على سطح الأرض : الطاقة الحرارية من داخل الأرض	TW 32
الدخل على سطح الأرض : الطاقة الحرارية من المد و الجزر (أي من دوران الأرض)	TW 3
الدخل على سطح الأرض : الاستطاعة المولدة من قبل الإنسان من الوقود الأحفوري	TW 8-11
الضياع من سطح الأرض : الاستطاعة المخزنة من قبل التركيب الضوئي للنباتات	40TW
القيمة القياسية العالمية لاستطاعة الليزر	1PW
خرج سطح الأرض : ضوء الشمس المنعكس للفضاء	EW 0.06

خرج سطح الأرض : الاستطاعة المشعة للفضاء عند 287 K	EW 0.11
الاستطاعة العظمى لأكبر قنبلة نووية	5YW
خرج الشمس	YW 384.6
الاستطاعة العظمى في الطبيعة ، $c^5/4G$	W 10^{51}. 9.1

الجدول 21 بعض حساسات الاستطاعة

القياس	الحساس	المجال
ضربة القلب كمقياس استطاعة	تشوه الحساس و الساعة	W 2000 – 75
مقياس استطاعة اللياقة	حساس كهرانضغاطي	W 2000 – 75
مقياس الكهرباء في المنزل	قرص الألمنيوم الدوار	W 10000 – 20
مقياس الاستطاعة لمحرك السيارة	كابح كهرطيسي	حتى 1 MW
مقياس استطاعة ليزر	التأثير الكهرضوئي في نصف الناقل	حتى 10 GW
مقياس الحريرات للتفاعلات الكيماوية	حساس درجة الحرارة	حتى 1 MW
مقياس الحريرات للجزيئات	حساس ضوئي	حتى بضع µJ/ns



الشكل 74 بعض أجهزة قياس الاستطاعة : مقياس استطاعة الدراجة ، مقاييس استطاعة الليزر و مقياس الاستطاعة الكهربائية

نتيجة الجداء الشعاعي هي شعاع آخر و بالتالي يختلف عن الجداء السلمي الذي نتيجته سلمية أي عدد . و نتيجة الجداء الشعاعي هذ ذلك الشعاع

- المتعامد مع كلا الشعاعين المضروبين
- الذي اتجاهه معطى بقاعدة اليد اليمنى و
- طوله يعطى بمساحة سطح متوازي الأضلاع الممسوح من قبل الشعاعين أي $ab \sin \sphericalangle(a,b)$

التعريف يقتضي أن الجداء البيني يزول فقط و إذا فقط كان الشعاعين متوازيين . من التعريف يمكن ايضا أن تبين أن الجداء الشعاعي له الخواص التالية (التحدي 197 e) .

$$
\begin{aligned}
&\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b} = -\boldsymbol{b}\times\boldsymbol{a}\,, \quad \boldsymbol{a}\times(\boldsymbol{b}+\boldsymbol{c}) = \boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b}+\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{c}\,,\\
&\lambda\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b} = \lambda(\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b}) = \boldsymbol{a}\times\lambda\boldsymbol{b}\,, \quad \boldsymbol{a}\times\boldsymbol{a} = \boldsymbol{0}\,,\\
&\boldsymbol{a}(\boldsymbol{b}\times\boldsymbol{c}) = \boldsymbol{b}(\boldsymbol{c}\times\boldsymbol{a}) = \boldsymbol{c}(\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b})\,, \quad \boldsymbol{a}\times(\boldsymbol{b}\times\boldsymbol{c}) = (\boldsymbol{ac})\boldsymbol{b}-(\boldsymbol{ab})\boldsymbol{c}\,,\\
&(\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b})(\boldsymbol{c}\times\boldsymbol{d}) = \boldsymbol{a}(\boldsymbol{b}\times(\boldsymbol{c}\times\boldsymbol{d})) = (\boldsymbol{ac})(\boldsymbol{bd})-(\boldsymbol{bc})(\boldsymbol{ad})\,,\\
&(\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b})\times(\boldsymbol{c}\times\boldsymbol{d}) = ((\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b})\boldsymbol{d})\boldsymbol{c}-((\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b})\boldsymbol{c})\boldsymbol{d}\,,\\
&\boldsymbol{a}\times(\boldsymbol{b}\times\boldsymbol{c})+\boldsymbol{b}\times(\boldsymbol{c}\times\boldsymbol{a})+\boldsymbol{c}\times(\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b}) = \boldsymbol{0}\,. \qquad (22)
\end{aligned}
$$

الجداء الشعاعي يوجد فقط في الفضاءات الشعاعية ذات الثلاثة أبعاد . وسوف ندرس بمزيد من التفصيل هذا الأمر لاحقا (المجلد IV ، صفحة 233) .

الجداء الشعاعي مفيد لوصف الأنظمة التي تدور – و بالتالي أيضا الجمل التي لها قوى مغناطيسية . حركة جسم يدور في مدار دائما تكون متعامدة على كل من المحور و الخط الذي يصل الجسم بالمحور . و في الدوران فإن المحور ، نصف القطر و السرعة تشكل مجموعة يمنى من الأشعة المتعامدة بشكل متبادل . و هذا الارتباط يكمن في المبدأ / الأصل للجداء الشعاعي .

التحدي 198e أكد أن أفضل طريقة لحساب الجداء الشعاعي a x b مركبة بعد أخرى يعطى بالمعين الرمزي

$$
\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b} = \begin{vmatrix} \boldsymbol{e}_x & a_x & b_x \\ \boldsymbol{e}_y & a_y & b_y \\ \boldsymbol{e}_z & a_z & b_z \end{vmatrix} \quad \text{or, sloppily} \quad \boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b} = \begin{vmatrix} + & - & + \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix}\,. \qquad (23)
$$

هذه المعينات الرمزية سهلة التذكر و سهلة التنفيذ في كل من الأحرف و القيم العددية (هنا e_x هي شعاع الواحدة الأساسي في الاتجاه x) و بالكتابة فإن المعينات الرمزية مكافئة للدوران

$$
\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b} = (a_y b_z - b_y a_z, b_x a_z - a_x b_z, a_x b_y - b_x a_y) \qquad (24)
$$

الذي هو أصعب في التذكر .

التحدي 199 e : بيّن أن متوازي السطوح الممسوح بالأشعة الاختيارية a , b & c له الحجم V= c (a x b) وبيّن أن الهرك أو رباعي السطوح المشكل بواسطة نفس الأشعة الثلاث حجمه سدس ذلك الحجم (التحدي 200e) .

الدوران و كمية الحركة الزاوية

الدوران يبقينا أحياء . بدون تغير في الليل و النهار فإننا سنشوى أو نتجمد حتى الموت تبعا لموضعنا على كوكبنا .و لكن الدوران يظهر في حالات عديدة أخرى كما يبين الشكل 22 . إن الاستعراض القصير للدوران هو بالتالي مناسب .

كل الأجسام لديها مقدرة على الدوران . و نحن رأينا سابقا أن الجسم يوصف بمقاومته للحركة ، التي تعرف بالكتلة ، بشكل مشابه الجسم أيضا له مقاومة للدوران .

هذه الكمية تعرف بعزم العطالة و غالبا يرمز لها بالرمز Θ و سرعة أو معدل الدوران تعرف بالسرعة الزاوية و عادة يرمز لها بالرمز ω و بعض القيم الموجودة في الطبيعة معطاة في الجدول 22 .

إن الأشياء القابلة للملاحظة / القياس التي تصف الدوران مشابهة لتلك التي تصف الحركة الخطية ، كما هو مبين في الجدول 24 . مثل الكتلة فإن عزم العطالة يعرف بحيث أن مجموعة العزوم الزاوية L – جداء عزم العطالة بالسرعة الزاوية – يكون مصونا في الأنظمة التي لا تتبادل التأثير مع العالم الخارجي :

$$\sum_i \Theta_i \omega_i = \sum_i L_i = \text{const} . \qquad (25)$$

بنفس الشكل فإن مصونية العزم الزاوي تعرف الكتلة ، موصنية العزم الزتوي تعرف عزم العطالة . العزم الزاوي هو مفهوم طرح في 1730s و 1740s من قبل ليونهارد أويلر و دانييل برنولي .

الجدول 22 بعض الترددات الدورانية المقاسة

القياس	السرعة الزاوية $\omega = 2\pi/T$
دوران المجرات	$2\pi . 0.14 .10^{-15}$ /s = 2π / (220.10^6 a)
دوران الشمس الوسطي حول محورها	$2\pi . 3.8 .10^{-7}$ /s = 2π / 30d
المنارة النوعية	$2\pi . 0.08$ /s
راقصة الباليه الدوارة	$2\pi . 3$ /s
محرك الديزل للسفن	$2\pi . 5$ /s
الغسالة	$2\pi . 20$ /s حتى
سوط البكتريا	$2\pi . 100$ /s
مسجل الأقراص المدمجة السريع	$2\pi . 458$ /s حتى
محرك سيارة السباق	$2\pi . 600$ /s حتى
أسرع عنفة تم صنعها	$2\pi . 10^3$ /s
أسرع البلسارات (النجوم الدوارة)	$2\pi . 716$ /s حتى على الأقل
الطرد المركزي بالأمواج فوق الصوتية	$2\pi . 3. 10^3$ /s <
مثقب الأسنان	$2\pi . 13 .10^3$ /s حتى
المسجل التقني	$2\pi . 333. 10^3$ /s
دوران البروتون	$2\pi . 10^{20}$ /s
أعلى سرعة زاوية ممكنة لبلانك	$2\pi . 10^{35}$ /s

إن عزم العطالة يمكن أن يرتبط بالكتلة و شكل الجسم . و إذا اعتبر الجسم مكون من أجزاء صغيرة أو عناصر كتلة فإن العلاقة الناتجة هي :

$$\Theta = \sum_n m_n r_n^2 , \qquad (26)$$

حيث r_n المسافة عن عنصر الكتلة m_n إلى محور الدوران . هل يمكنك إثبات العلاقة ؟ (تحدي e 201) بالتالي عزم العطالة لجسم يعتمد على المحور المختار للدوران (تحدي s 202) . هل يمكنك إثبات أن هذا صحيح بالنسبة لطوبة ؟

على عكس حالة الكتلة ، ليس هناك مصونية لعزم العطالة . في الحقيقة ، قيمة عزم العطالة تعتمد على كل من الاتجاه و على موضع المحور المستخدم لتعريفه . و من أجل كل محور اتجاه يمكن للمرء أن يميز عزم خاص / ذاتي للعطالة عندما يمر المحور عبر مركز كتلة الجسم ، و من عزم العطالة اللاذاتي (الخارجي / العرضي) عندما لا يمر .* و بنفس الشكل نميز العزم الزاوي الذاتي / الداخلي و الخارجي . (بالمناسبة إن مركز كتلة جسم هي تلك النقطة التخيلية التي تتحرك بشكل مستقيم خلال السقوط الشاقولي حتى إذا كان الجسم يدور . هل يمكنك إيجاد طريقة لتحديد موضعها من أجل جسم خاص ؟) (تحدي s 204) .

نعرف الطاقة الدورانية بالشكل :

$$E_{\text{rot}} = \tfrac{1}{2}\,\Theta\,\omega^2 = \frac{L^2}{2\Theta} . \qquad (28)$$

عزم العطالة الذاتي و الخارجي مرتبطان بالشكل :

$$\Theta_{\text{ext}} = \Theta_{\text{int}} + md^2 , \qquad (27)$$

حيثd المسافة بين مركز الكتلة و محور الدوران الخارجي . و هذه العلاقة تدعى نظرية محور شتاينر المتوازي . هل تستطيع استنتاجها ؟ (تحدي 203s) .

الجدول 23 بعض قيم العزم الزاوي المقاسة

القياس	العزم الزاوي
أصغر قيمة مقاسة في الطبيعة ، h/2 في جزيئات المادة الأولية (الفرميونات)	$0.53 \cdot 10^{-34}$ Js
سطح البرام	$5 \cdot 10^{-6}$ Js
تشغيل الأسطوانة المدمجة CD	تقريبا 0.029 Js
الإنسان الماشي (حول محور جسمه)	تقريبا 4 Js

راقص يدور	5 Js
عجلة سيارة نوعية بسرعة 30 m/s	10 Js
مولد رياح نوعي بسرعة 12 m/s (6 Beaufort)	10^4 Js
الغلاف الجوي للأرض	10^{26}. 1-2 Js
محيطات الأرض	10^{24}. 5 Js
الأرض حول محورها	10^{33}. 7.1 Js
القمر حول الأرض	10^{34}. 2.9 Js
الأرض حول الشمس	10^{40}. 2.7 Js
الشمس حول محورها	10^{42}. 1.1 Js
المشتري حول الشمس	10^{43}. 1.9 Js
المجموعة الشمسية حول الشمس	10^{43}. 3.2 Js
درب التبانة	10^{68} Js
كل الكتل في الكون	0 (ضمن خطأ القياس)

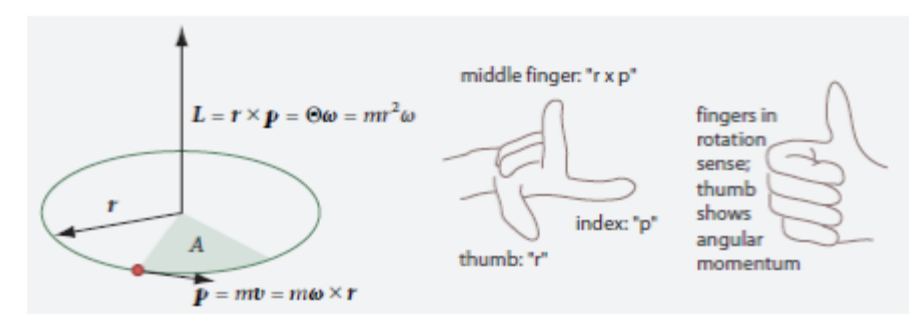
الجدول 24 التقابل بين الحركة الخطية و الدورانية

الكمية	الحركة الخطية	الحركة الدورانية
الحالة	الزمن t	الزمن t
	الموضع x	الزاوية φ
	كمية الحركة $p=mv$	العزم الزاوي $L=\Theta\omega$
	الطاقة $mv^2/2$	الطاقة $\Theta\omega^2/2$
الحركة	السرعة v	السرعة الزاوية ω
	التسارع a	التسارع الزاوي α
المقاومة للحركة	الكتلة m	عزم العطالة Θ
تغير الحركة	القوة ma	العزم Θα

إن العلاقة المشابهة لعلاقة الطاقة الحركية لجزيئة . من أجل الأجسام الدوارة ذات الشكل الثابت ، فإن الطاقة الدورانية تكون مصونة .

هل يمكن أن تخمن كم هي أكبر الطاقة الدورانية للأرض مقارنة مع استخدام الطاقة الكهربائية السنوي للبشرية ؟ (تحدي 205s) . في الحقيقة إذا كنت ستجد طريقة لتسخير الطاقة الدورانية للأرض يمكن أن تصبح مشهورا .

كل جسم له توجه أيضا له عزم زاوي ذاتي . (ماذا عن الكرة ؟) تحدي 206s . بالتالي الجزيئات النقطية ليس لها عزم زاوي ذاتي – على الأقل في الفيزياء الكلاسيكية . (هذه العبارة ستتغير في نظرية الكم) .



الشكل 75 العزم الزاوي و الكميات الأخرى لجسيم نقطي في حركة دائرية و الشكلين لقاعدة اليد اليمنى





الشكل 77 كيف يدور الثعبان نفسه حول محوره الشكل 67 هل يمكن للقرد أن يصل للموزة ؟

العزم الزاوي الخارجي L لجسيم نقطي يعرف بالشكل :

$$L = r \times p \qquad (29)$$

حيث p كمية حركة الجزيئة و r شعاع الموضع . العزم الزاوي بالتالي يشير على طول محور الدوران الذي يتبع قاعدة اليد اليمنى كما هو مبين في الشكل 75 . إن بعض القيم المقاسة في الطبيعة معطاة في الجدول 23 . و التعريف يقتضي أن العزم الزاوي يمكن أيضا تحديده باستخدام العلاقة (تحدي e 207) :

$$L = \frac{2A(t)m}{t}, \qquad (30)$$

حيث A (t) هي المساحة الممسوحة بشعاع الموضع r للجزيئة خلال الزمن t , مثلا بتحديد المساحة الممسوحة بمساعدة منظاره قام يوهانس كيبلر باكتشاف في عام 1609 أن كل كوكب يدور حول الشمس له قيمة عزم زاوي ثابتة مع الزمن

الجسم المادي يمكن أن يدور بنفس الوقت حول عدة محاور . والفيلم في الشكل 108 (صفحة 148) يبين مثالا على ذلك

السطح يدور حول محور جسمه وحول الشاقول في نفس الوقت . إن البحث التفصيلي يبين أن الدوران الدقيق للسطح يعطى بالشعاع الممثل لمجموع هذين الدورانين (تحدي e 208) . و لإيجاد ذلك قم بتثبيت / تجميد محور الدوران المتغير عند زمن معين (صفحة 161) . الدورانات بالتالي هي نوع من الأشعة .

كما في حالة الحركة ، فإن الطاقة الدورانية و العزم الزاوي لا تكون دائما مصونة في العالم الماكروسكوبي : الطاقة الدورانية يمكن أن تتغير بسبب الاحتكاك و العزم الزاوي يمكن أن يتغير بسبب القوى الخارجية (العزوم) . و لكن من أجل الجمل المغلقة (غير الموزعة) فإن كلا من العزم الزاوي و الطاقة الدورانية تكون مصونة . و بشكل خاص على المستوى الميكروسكوبي فإن أكثر الأجسام تكون غير موزعة بحيث أن مصونية الطاقة الدورانية و العزم الزاوي عادة تتحقق على المستوى الميكروسكوبي .

إن العزم الزاوي مصون . هذه العبارة صحيحة من أجل أي محور للجملة المادية ، شريطة أن القوى الخارجية

(العزوم) لا تلعب دورا . و لبيان هذه النقطة ، فقد صاغ جان – ما رك ، ليفي - لوبلون مسألة الشكل 76 (المرجع 2).

هل يمكن للقرد أن يصل للموزة بدون أن يترك الصفيحة ، بافتراض أن الصفيحة التي يقف عليها القرد تدور حول المحور بدون أي احتكاك ؟ (تحدي 209s) .

نلاحظ أن العديد من التأثيرات للدورات هي نفسها التي للتسارع : كل من التسارع و الدوران لسيارة يدفعان بنا في مقعدنا .

بالتالي ، العديد من حساسات الدوران هي نفس حساسات التسارع التي درسناها أعلاه . (صفحة 85) . لكن القليل من حساسات الدوران هي جديدة بشكل أساسي . بشكل خاص سوف نلتقي بالجيروسكوب قريبا (صفحة 141) .

في سطح عديم الاحتكاك ، كما يقرب بواسطة الجليد الأملس أو بواسطة أرضية الرخام المغطاة بطبقة من الزيت ، من الممكن التحرك للأمام . ومن أجل التحرك فإننا بحاجة للدفع مقابل شيء ما . هل هذه هي ايضا حالة التسارع ؟

من المدهش أنه من الممكن الدوران حتى بدون الدفع مقابل شيء ما . يمكنك أن تتأكد من هذا في كرسي مكتب دوار مزيت جدا : دور ببساطة الذراع / مسند الذراع أعلى الرأس . وبعد كل دورة لليد ، فإن توضع الكرسي يتغير بمقدار صغير .

في الواقع مصونية العزم الزاوي و الطاقة الدورانية لا تمنع الأجسام من تغيير توضعها / وجهتها . و القطط تتعلم هذا في صغرها . و بعد أن تتعلم الخدعة ، إذا سقطت القطة و رجليها مقلوبة / للأعلى ، يمكنها أن تدور نفسها بحيث أن قدميها تتصل للأرض أولا . الثعابين أيضا تعلم كيف تدور نفسها ، كما يبين الشكل 77 . أيضا البشر لديهم المقدرة على ذلك : خلال الألعاب الأولمبية يمكنك أن تشاهد غواصي الألواح و الجمبازيين يقومون بخدع مشابهة . الدوران بالتالي يختلف عن الانتقال في هذه الناحية المهمة ، لماذا ؟ (تحدي 210 d) .

الدواليب الدوارة

الدوران هو ظاهرة مميزة في العديد من الطرق . إن الدولاب الدوار لا يدور حول محوره و لكن حول نقطة تماسه . لنبين هذا .

إن دولابا ذو نصف قطر R يدور إذا كانت سرعة المحور v_{axis} مرتبطة بالسرعة الزاوية ω بالشكل :

$$\omega = \frac{v_{axis}}{R} . \qquad (31)$$



الشكل 79 صورة محاكاة لدولاب دوار ذو أسياخ الشكل 78 أشعة السرعة و الواحدة لدولاب دوار

من أجل أي نقطة P على الدولاب ، بمسافة r عن المحور ، فإن السرعة v_P هي المجموع لحركة المحور والحركة حول المحور . الشكل 78 يبين أن v_P متعامد مع d المسافة بين النقطة P و نقطة تماس الدولاب .

تحدي e 211 : الشكل أيضا يبين أن نسبة الطول بين v_P و d هي نفسها بين v_{axis} و R . بالنتيجة يمكننا كتابة :

$$\boldsymbol{v}_P = \boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{d} \,, \qquad (32)$$

الذي يبين أن الدولاب الدوار لا يدور في الحقيقة حول نقطة التماس مع الأرض .

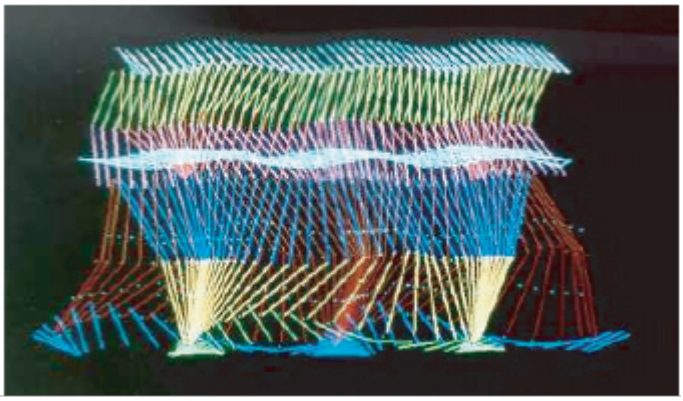
من المدهش أنه عندما يدور دولاب ، فإن بعض النقاط عليه تتحرك باتجاه محور الدولاب و بعضها تبقى على مسافة ثابتة و بعضها الآخر تتحرك بعيدا عنه . هل يمكنك تحديد أين تتوضع هذه النقاط ؟ (تحدي s 212) . و هي معا تؤدي إلى نموذج مثير عندما يكون للدولاب الدار أسياخ (المرجع 94) مثل دولاب الدراجة و الذي يصور كما هو مبين في الشكل 79 . وبواسطة هذه النتائج يمكنك التغلب على التحدي الجميل التالي (المرجع 95) . عندما تقع عجلة الدراجة المنعطفة على سطح زلق ، فإنها ستنزلق ككل ، و بالتالي تنزلق و تدور / تتحرج ، و في النهاية تتدحرج فقط . كم السرعة النهائية تعتمد على السرعة الابتدائية عند الاحتكاك ؟ (تحدي d 213) .

كيف يمكننا الجري ؟

" الجولف هو مشي مشوه . آلينز "

لماذا نحرك ذراعينا عند المشي أو الجري ؟ لتوفير الطاقة أم لنكون كيسيين ؟ في الحقيقة متى نفذت حركة الجسم بأصغر قدر ممكن من الطاقة ، فإن هذا طبيعي و كيّس . هذا التوافق يمكن في الحقيقة أن يؤخذ كتعريف فعلي للكياسة . إن الارتباط بين المعرفة الشائعة في عالم الرقص هو ايضا ناحية مركزية (المرجع20) من الطرق المستخدمة من قبل الممثلين لتعلم كيفية تحريك أجسامهم بكشل جميل قدر الإمكان .

لإقناع نفسك بتوفير الطاقة ، حالة المشي أو الجري و ذراعيك ثابتتان في الاتجاه المعاكس للاتجاه المعتاد : الجهد المطلوب هو أكبر بكثير .



الشكل 30 الحركة المقاسة لإنسان يمشي

في الحقيقة عندما تحرك الساق فإنها تنتج عزما حول محور الجسم الذي يجب أن يقوم بموازنتها عكسيا . و الطريقة التي تستخدم أقل طاقة هي أرجحة الذراعين ، كما هو مبين في الشكل 80 . نظرا لأن الذراعين أعلى من الساقين ، فإنهما يجب أن يتحركا أكثر / ابعد من محور الجسم لتعويض كمية الحركة ، و التطور بالتالي حرك ارتباط الذراعين ، الكتفين ، بشكل أبعد من ذلك العائد للساقين ، و الوركين / الفخذين . الحيوانات التي لها ساقين ولكن ليس لها ذراعين مثل البطريق أو الحمام لديها صعوبة أكبر في المشي : حيث عليها أن تحرك كل جذعها مع كل خطوة تخطوها .

المرجع 96 :

القياسات تبين أن الحيوانات في مشيها تتبع العلاقة :

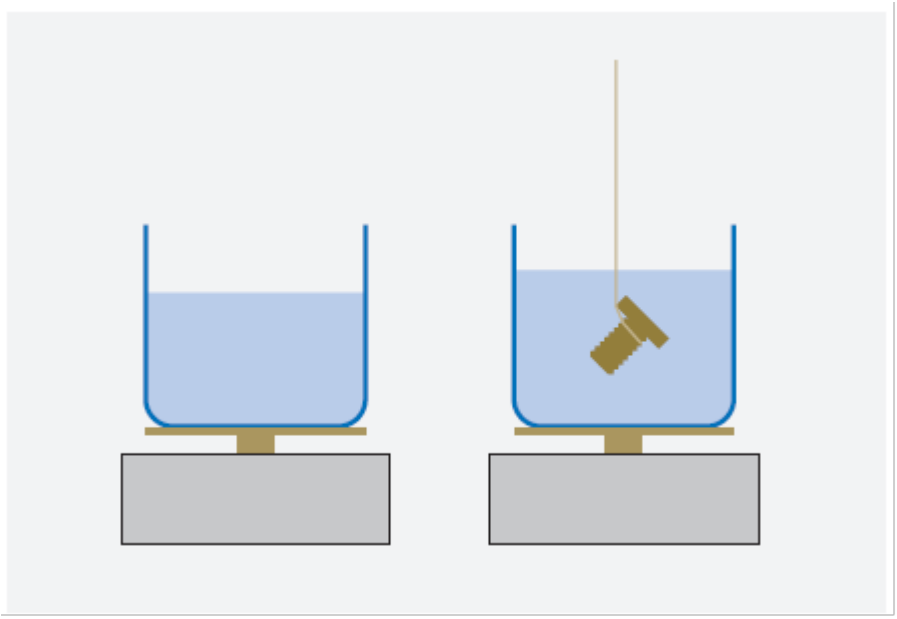
$$v_{\text{max walking}} = (2.2 \pm 0.2\,\text{m/s})\,\sqrt{l/\text{m}}\,. \qquad (33)$$

في الحقيقة المشي ، و تحريك ساق بعد الأخرى يمكن أن يوصف بسلسلة تتابع تارجحات النواس (المقلوبة) . طول النواس يعطي بطول الساق l . و المقياس الزمني النوعي للنواس هو $t \sim \sqrt{l/g}$. السرعة القصوى للمشي بالتالي تصبح $v \sim l/t \sim \sqrt{gl}$ التي هي ، حتى عامل ثابت ، النتيجة المقاسة .

أي العضلات تقوم بأكثر العمل عند المشي ، الحركة التي يسميها الخبراء المشية ؟

المرجع 97 : في عام 1980 وجد سيرج غراكوفتسكي أنه في مشية البشر فإن جزءا كبيرا من الاستطاعة يأتي من العضلات على طول العامود الفقري ، وليس من الساقين . (في الواقع الناس بدون سيقان أيضا قادرين على المشي . لكن عدد من العضلات في الساقين يجب أن تعمل من أجل المشي الطبيعي .) و عندما تخطو خطوة ، فإن العضلات القطنية تشد العامود الفقري و هذا يجعلم تلقائيا تدور قليلا للجانب ، بحيث أن الركبة في الساق في ذلك الجانب تنتقل للأمام آليا .

عندما تحرك القدم فإن العضلات القطنية يمكن أن تسترخي و بالتالي تشد / تقوم ثانية الخطوة التالية . و في الحقيقة يمكن للمرء أن يعاني من زيادة في الشد / التوتر في عضرت الظهر عند المشي بدون تحريك الذراعين ، و بالتالي هذا يؤكد أين يقع المحرك البشري ، حيث يتوضع ما يعرف بالمحرك الفقاري (تحدي e 214) .



الشكل 81 : كيف يتغير الوزن الظاهر عندما يتعلق الجسم في الماء ؟

سيقان البشر تختلف عن سيقان القرود في ناحية أساسية : البشر قادرين على الدوران . و في الحقيقة كل الجسم البشري تم تصميمه مثاليا للجري ، و هي مقدرة لا تمتلكها الأوليات الأخرى . و الجسم البشري جمع أكثر شعره لتحقيق تبريد أفضل و تطور لتحقيق إمكانية الجري بإبقاء الرأس مستقرا وقد طور الطول الأيمن من الذراعين من أجل التوازن المناسب عند الجري حتى لو كان رباط خاص في الظهر الذي يعمل كماص صدمات أثناء الجري . بمعنى آخر ، الجري هو الأكثر بشرية في أشكال الحركة .

الفضول و تحديات مرحة حول الكتلة ، المصونية و الدوران

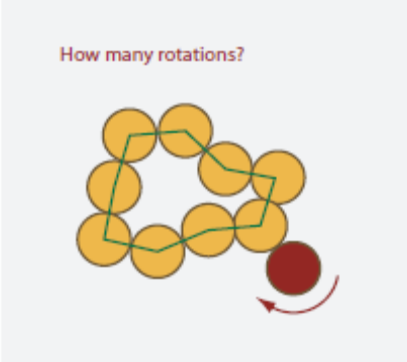
" إنها حقيقة رياضية أن رمي هذه الحصوة من يدي يغير جاذبية الكون . توماس كاريل – سارتور ريسارتوس الثالث "

إن كأسا من الماء موضوع على ميزان كما هو مبين في الشكل 81 . كيف تنتج الكتلة تغيرا إذا جعلنا قطعة من المعدن متصلة بخيط تعلق في الماء ؟ (تحدي e 216) .

خذ عشر قطع نقدية ذات نفس القيمة . ضع تسعة منها على طاولة و شكل حلقة مغلقة منها بأي شكل تريده ، كما هو مبين في الشكل 82 (القطع النقدية التسع تبدو مثل اختيار عقد من اللؤلؤ حيث اللألئ تلامس بعضها البعض .) الآن خذ القطعة النقدية العاشرة و اجعلها تدور حول الحلقة و باتلتالي بدون أن تدخل فيها ابدا . كم عدد الدورات التي تقوم بها هذه القطعة النقدية الأخيرة خلال فتلة واحدة ؟ (تحدي e 217) .

--

تحدي s 215 : توماس كارليل (1797 -1881) كاتب اسكتلندي . عل توافق على هذه المقولة .



الشكل 82 كم عدد الدورات التي تقوم بها القطعة النقدية العاشرة في جولة / فتلة واحدة .



الشكل 83 سلسلة الكرات أو المهد المخترع من قبل ماريوت يسمح بدراسة مصونية كمية الحركة ، مصونية الطاقة و المصاعب في التصنيع الدقيق .

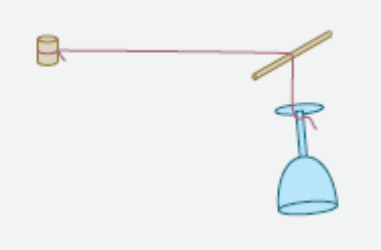
مصونية كمية الحركة تدرس بشكل أفضل باللعب و دراسة لعبة البلياردو ، السنوكر أو البول (نوع من البلياردو) . أفضل مقدمة هي أفلام الخدع التي توجد في الإنترنت . هل تستيطع استخدام مصونية كمية الحركة لاتسنتاج طرق تحسن ألعابك في البلياردو ؟ (تحدي 218 e) .

الطريقة الأخرى لدراسة مصونية كمية الحركة هي دراسة سلسلة الكرات ، أو نواس الصدم للكرات الذي اخترع من قبل إديم ماريوت . وبعد عقود من ذلك ، ادعى نيوتن أنه هو من اخترعه ، كما كان يفعل دائما مع النتائج التي يتوصل إليها الآخرون . إن اللعب بالألعاب هو مرح – و إن شرح سلوكه هو أمر حتى مرح أكثر . و في الواقع إذا رفعت و تركت ثلاث كرات من طرف واحد ، فإنك سترى الكرات تتصادم ببعضها البعض من أجل شرح هذا السلوك فإن مصونية كمية الحركة و الطاقة ليست كافية ، كما يجب أن تستنتج . (تحدي 219 d) . هل تستطيع بناء سلسلة كرات عالية الدقة ؟

* *

تحدي 220 s : هناك طريقة معلومة لمعايشة 81 شروق للشمس في فقط 80 يوما ، كيف ؟

* *



الشكل 84 هل من الآمن جعل الفلينة تمشي ؟

المشي هو مصدر للعديد من مسائل الفيزياء . عند تسلق جبل أكثر الطرق فعالية من حيث الطاقة هي ليست دائما اتباع الميل الأقل ، في الحقيقة من أجل المنحدرات الوعرة ، الزيج زاج (المشي بخط منكسر) هو أكثر فعالية من حيث الطاقة . لماذا ؟ (تحدي 221 s) . وهل يمكنك تقدير زاوية الميل التي ستحدث ؟

* *

استريكس و أصدقاؤه من مجموعة التوافق الكوميدية ، يخافون شيءا واحدا فقط : أن تسقط السماء عليهم . هل السماء شيء / جسم ؟ صورة ؟ (تحدي 222 e) .

* *

الموت هو عملية مادية / فيزيائية وبالتالي يمكن دراسته . بشكل عام تملك الحيوانات مدى عمر T الذي يتناسب مع الجذرالرابع لكتلتها M . بشكل آخر ، $T = M^{1/4}$. هذا صحيح من البكتريا إلى الحيتان الزرق . الحيوانات أيضا تملك استهلاك استطاعة نسبة لكتلتها أو معدل استقلاب نسبة للكتلة يتناسب عكسا مع الجذر من المرتبة الرابعة . نخلص إلى أن الموت يحدث لكل الحيوانات عندما يتحقق استهلاك الطاقة الثابت المعين نسبة للكتلة . وهذه هي الحال في الواقع ، يحدث الموت لأكثر الحيوانات عندما تستهلك حوالي 1 GJ/kg (ولكن بشكل متأخر أكثر بالنسبة للبشر) . وهذه النتيجة البسيطة بشكل مدهش صالحة ، في المتوسط من أجل كل الحيوانات المعروفة (المرجع 99).

لاحظ أن الطرح هذا صالح فقط عندما تقارن الأنواع المختلفة . و التبعية للكتلة ليست صالحة عندما يتم مقارنة نفس الأنواع (لا يمكنك أن تعيش أطول بتناول طعام أقل .)

باختصار ، الحيوانات تموت بعد أن تستقلب 1 GJ/kg . بمعنى آخر حالما تأكل كل الحريرات / السعرات التي صممت لها فإنك تموت .

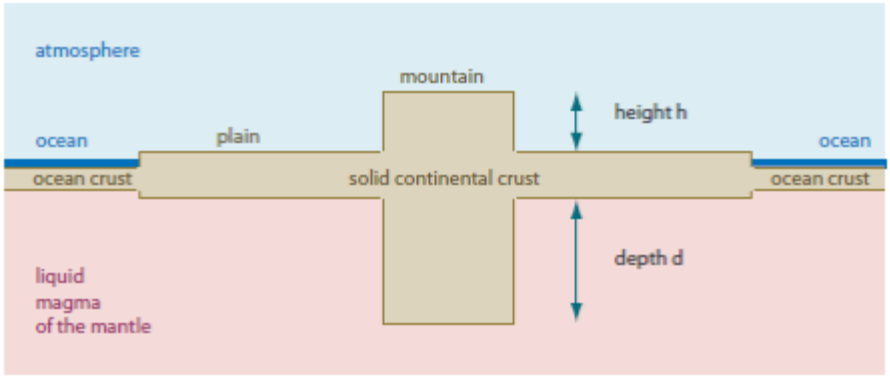
* *

سيارة ذات سرعة معينة تستخدم 7 لتر من الوقود لكل 100 km . ما هي مقاومة الهواء و السير مجتمعة ؟ (تحدي 223 s) (افترض أن المحرك لديه مردود 25%) .

* *

الفلينة المتصلة بخيط رفيع بطول متر . الخيط يمر فوق قضيب طويل مثبت أفقيا و كاس ماء متصل في النهاية الأخرى فإذا تركت الفلينة في الشكل 84 ، لا يتحطم أي شيء . لماذا ؟ (تحدي 224 s) . و ما الذي يحدث بالضبط ؟

* *



الشكل 85 موديل بسيط للقارات و الجبال .

في عام 1907 قاس دونكن ماكدوجلاس وهو طبيب ، وزن الناس الميتين ، (المرجع 100) ليرى فيما إذا

كانت كتلة الميت تتغير . وقد وجد تناقص مفاجئ بين 20 g & 10 لحظة الوفاة . وقد نسب هذا إلى وجود الروح في الجسد.

هل يمكنك إيجاد تفسير أكثر إقناعا ؟ (تحدي 225 s) .

* *

إنه من المعروف جيدا أن وزن طفل بعمر سنة واحدة يعتمد على إذا ما كان يريد أن يحمل أو يريد الوصول للأرض . هل هذا يتعارض مع مصونية الكتلة ؟ (تحدي 226 e) .

* *

إن قشرة الأرض أقل كثافة (2.7 kg/l) من باطنها (3.1 kg/l) و تطفو على سطحها . بالنتيجة القشرة الأخف أسفل حافة الجبل يجب أن تكون أعمق بكثير مما هي اسفل السهل . إذا ارتفع الجبل 1 km أعلى من السهل ، كم عمق القشرة أسفله ؟ (التحدي 227 s) . إن نموذج الكتلة البسيط مبين في الشكل 85 و الذي يشرح بشكل جيد لماذا القياسات قرب الجبال لانحراف السقوط الحر عن الشاقول يؤدي لقيم أخفض بكثير من تلك المتوقعةب دون القشرة العميقة . لاحقا ، قياسات الصوت أكدت مباشرة أن القشرة القارية في الواقع أثخن مما هي عليه اسفل الجبال .

* *

كل الأسطوانات المتجانسة تدور على مستوي مائل بنفس الشكل . صح أم خطأ ؟

ماذا عن الكرات ؟ هل يمكنك أن تبين أن الكرات تدور أسرع من الأسطوانات ؟ (تحدي 228 e)

* *

من يدور أسرع : علبة صودا مملوءة بسائل أم علبة صودا مملودءة بالجليد ؟ (و ماذا تفعل لملء علبة بالجليد ؟) تحدي 229s .

* *

خذ علبتين بنفس الحجم ، واحدة مملزءة بشكل كامل بالريفيولي وواحدة مملوءة كليا بالبازلاء . أي منهما تدور بشكل أسرع على مستوي مائل ؟ (تحدي 230 e) .

* *

الفرق الآخر بين المادة و الصورة : المادة لها رائحة . في الحقيقة الأنف هو حساس للمادة . نفس الشيء يمكن قوله عن اللسان وإحساسه بالذوق .

* *

خذ مجموعة من القطع النقدية . يمكنك دفع القطع الندية بدءا من التي في الأسفل بإطلاق قطعة نقدية أخرى فوق سطح الطاولة . الطريقة أيضا تساعد في إثبات مصونية كمية الحركة البعدية (تحدي e 231) .

* *

في أوائل 2004 ، ربح رجلان و امرأة مبلغ 1.2 مليون جنيه في أمسية واحدة في كازينو لندن . وقد فعلوا ذلك بتطبيق علاقة ميكانيك غاليليو . وقد استخدموا طريقة اكتشفت من قبل العديد من الفيزيائيين في 1950s الذين بنوا حاسبات صغيرة متعددة التي يمكن أن تتوقع نتيجة كرة الروليت من سرعة ابتدائية ناتجة عن مدير اللعبة (المرجع 101) . و في حالة بريطانيا ، أضافت المجموعة ماسح ليزري إلى هاتف ذكي الذي قاس مسار كرة الروليت و توقع الأرقام التي ستنتج .

بهذا الشكل ، فقد زادوا حالات الإصابة من 1 في 37 إلى 1 في 6 . بعد ستة أشهر من التحريات استنتجت اسكتلنديارد أنه يحق لهم الاحتفاظ بالمال الذي كسبوه .

في الحقيقة قريبا من نفس الوقت ، بعض الناس كسبوا حوالي 000 400 يورو خلال بضعة أصابيع باستخدام نفس الطريقة في ألمانيا و لكن بدون حاسب على الإطلاق . في بعض الكازينوهات الآلات هي التي ترمي كرة الروليت

وبقياس موضع الصفر إلى الكرة الواردة بالعين المجردة ، هؤلاء المقامرين كانوا قادرين على زيادة فرص الربح للمحاولات التي لعبوها خلال آخر ثواني مسموحة وب التالي حصلوا على مبالغ كبيرة فقط عن طريق رد الفعل السريع

* *

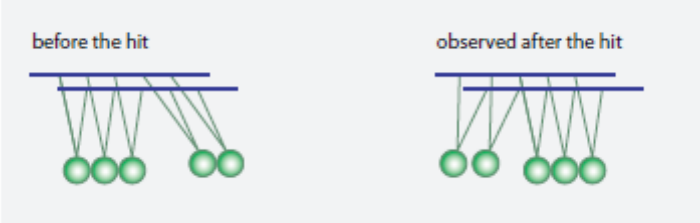
هل الكون يدور ؟ (تحدي s 232)

* *

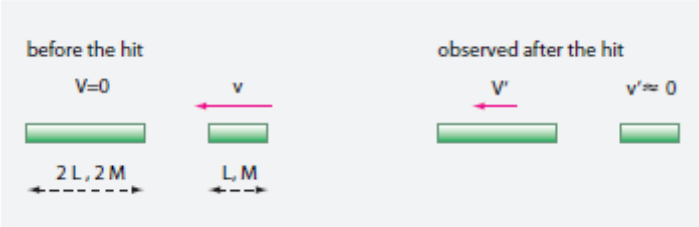
إن اللعبة في الشكل 86 تبين سلوكا مثيرا : عندما ترفع و تسقط عدد من الكرات لضرب الكرات الباقية ، فإن نفس العدد من الكرات ينفصل على الطرف الآخر ، بينما الكرات التي تم إسقاطها سابقا تبقى بلا حركة . و في النظرة الأولى كل هذا يبدو أنه ينتج من مصونية الطاقة و كمية الحركة . لكن مصونية الطاقة و كمية الحركة تعطي فقط معادلتين ، اللتان هما غير كافيتين لشرح أو تحديد سلوك خمس كرات . لماذا بالتالي تتصرف الكرات بهذا الشكل . و لماذا لا تتأرجح كلها عندما يمر وقت أطول ؟ (تحدي d 233) .

* *

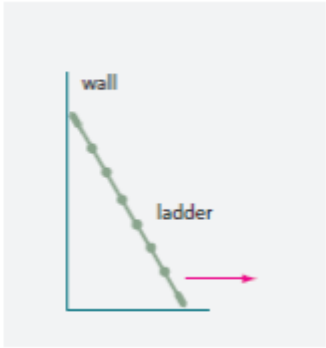
إن التأثير المدهش يستخدم في الأدوات المنزلية مثل المثاقب المطرقية . و نحن نتذكر أنه عندما تضرب كرة صغيرة بشكل مرن كرة كبيرة ساكنة ، فإن كلا الكرتين تتحركان بعد الضرب و الكرة الصغيرة تتحرك بشكل أسرع من الكبيرة (المرجع 102) . و بالرغم من هذه النتيجة فإنه عندما تصرب أسطوانة صغيرة اسطوانة كبيرة بنفس القطر و المادة و لكن بطول يبلغ مضاعف صحيح ما من القصيرة ، شيء غريب يحدث . بعد الضربة ، تبقى الأسطوانة الصغيرة ساكنة تقريبا ،بينما الكبيرة تتحرك كما هو مبين في الشكل 87 .



الشكل 86 لعبة معروفة



الشكل 87 صدم مرن يبدو أنه لا يخضع لمصونية الطاقة



الشكل 89 كيف يسقط السلم ؟



الشكل 88 هل هذا ممكن ؟

حتى بالرغم من أن الصدم مرن ، فإن مصونية الطاقة يبدو أنها محققة في هذه الحالة . (في الحقيقة السبب هو أن عروض الصدم المرن في المدارس دائما يتم بواسطة الكرات) . ما الذي يحدث للطاقة ؟ (تحدي 234 d) .

* *

هل البنية المبينة في الشكل 88 ممكنة ؟

* *

هل الجدار يخضع لصدمة أقوى عندما يضرب بكرة ترتد عنه أو عندما يضرب بكرة تبقى عالقة به ؟ (تحدي 235 s)

* *



الشكل 90 هل هذه وضعية ممكنة أو صورة مزيفة ؟

كيف تستخرج ربات البيوت السدادة من زجاجة النبيذ باستخدام خرقة أو حذاء . هل يمكنك تخيل كيف يتم ذلك ؟ هن أيضا يعرفن كيفية استخراج السدادة بواسطة قماشة إذا سقطت السدادة داخل الزجاجة . كيف ؟ (تحدي 236 s).

* *

إن مسألة السلم المنزلق المبين تخطيطيا في الشكل 89 ، اسأل عن الحركة التفصيلية للسلم مع الزمن . المسألة أكثر صعوبة

مما تبدو عليه حتى لو إذا لم يؤخذ الاحتكاك بالحسبان . هل يمكنك أن تقول فيما إذا كانت النهاية السفلة تلامس الأرض أو إذا رفعت في الهواء لفترة زمنية قصيرة ؟ (تحدي 237 s) .

* *

إن السلم المتجانس بطول خمسة أمتار وكتلة خمسين كيلوغرام يستند على جدار . الزاوية هي ثلاثون درجة و الاحتكاك الساكن على الجدار مهمل ، و على الأرض هو 0.3 . إن الشخص الذي يزن ستون كيلو غراما يتسلق السلم . ما هو الطول الأعظمي للشخص الذي يمكن أن ستلق السلم قبل أن يبدأ السلم بالانزلاق ؟ هذه و العديد من الألغاز الأخرى حول السلالم يمكن أن توجد في www.mathematische-bastelein.de/leiter.htm

* *

المرجع 103 : دفة السفينة البالغ وزنها ثلاثون ألف طن بطول مئة متر يميل بمقدار أقل من قطر ذرة واحدة . و اليوم المسافات بهذا الصغر تقاس بسهولة . هل يمكنك التفكير على الأقل بطريقتين ، واحدة منهما يجب ألا تكلف أكثر من ألفي يورو ؟ (تحدي 238 s) .

* *

هل صورة سطح ثلاثة برامات مكدسة فوق بعضها المبين في الشكل 90 وهي صورة حقيقية ، تبين قياسا حقيقيا ، أو هي نتيجة تركيب رقمي ، يبين وضعا مستحيلا ؟ التحدي 239 ny

* *

تحدي 240 s : كيف تقارن الطقاة الحركية لطلقة بندقية مع الرجل الذي يجري ؟

* *

تحدي 241 s : ما الذي يحدث لحجم بيضة عندما توضع في جرة خل لبضعة أيام ؟

* *

تحدي s 242 : ما هو مطال نواس يتذبذب بحيث أن القيمة المطلقة لتسارعه تكون في أخفض نقطة عند نقطة العودة تكون متساوية ؟

* *

تحدي d 243 : هل يمكنك تأكيد أن قيمة تسارع قطرة ماء تسقط عبر المطر هي g/7 ؟

* *

تحدي s 244 : لديك كرتين مجوفتين : ولهما نفس الوزن ، و نفس الحجم و مطليتان بنفس اللون . واحدة من النحاس و الأخرى من الألمنيوم . من الواضح أنهما تسقطان بنفس السرعة والتسارع . ما الذي يحدث إذا دحرجتا لأسفل مستوي مائل؟

* *

تحدي s 245 : ما هو شكل حبل عند النط على الحبل ؟

* *

تحدي s 246 : كيف يمكن تحديد سرعة طلقة بندقية بواسطة فقط مقياس و عصا بطول متر واحد ؟

* *

تحدي e 247 لماذا يعمل الكمسدس ثقبا في باب و لكن لا يمكنه دفعه لفتحه ، تماما على عكس الإصبع التي تقوم بذلك ؟

* *

تحدي s 248 ما هو المنحين الموصوف ببنقة وسط سلم ينزلف من على جدار ؟

* *

تحدي 249s : شركة عالية التقنية www.enocean.com تبيع مفاتيح كهربائي لأضواء الغرف التي ليس لها كابلات و لا بطارية . يمكنك لصق المفتاح على زجاج النافذة . كيف هذا ممكن ؟

* *

تحدي 250s : لأكثر من خمسين عاما ، فإن صانع ساعات سويسرية شهير يبيع ساعات الطاولة ذات النواس الدوار التي لاتحتاج لبطارية و لا برم يدوي حيث أنها تستمد الطاقة من البيئة . العينة مبينة في الشكل 91 هل يمكنك تخيل كيف تعلم هذه الساعة ؟

* *

تحدي s 251 : روافع السفن مثل المبينة في الشكل 92 هي آلات مثيرة . كيف يمكن لوزن الرافعة أن يتغير عندما تدخل السفينة؟

* *

تحدي e 252 : كيق تقيس كتلة سفينة ؟

* *



الشكل 91 ساعة تجارية لا تحتاج لمصدر طاقة خاص لأنها تأخذ طاقتها من البيئة

كل الكتل تقاس بمقارنتها مباشرة أو بشكل غير مباشر مع الكيلو غرام القياسي في سيفر قرب باريس . منذ بضع سنوات ، كان هناك شك كبير أن الكيلو غرام القياسي يفقد من وزنه عن طريق إصدار الغاز ، بمعدل قدر بحوالي 0.5 µg/a وهذه حالة مزعجة و كان هناك مجهود واسع على مستوى العالم لإيجاد تعريف أفضل للكيلوغرام . مثل هذا التعريق المحسن يجب أن يكون بسيطا ، دقيقا ما يجعل الذهاب إلى سيفر غير ضروري . ولم يتم تعريف مثل هذا البديل بعد .

* *

أي محرك هو أكثر فعايلة : الممسحة أو إنسان على دراجة ؟

* *

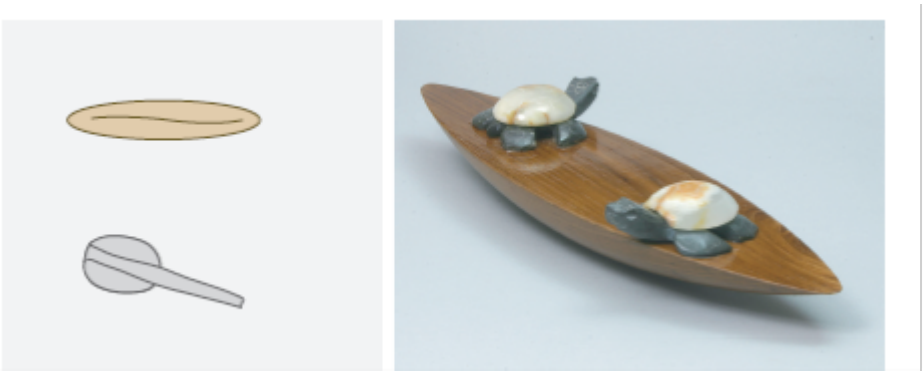
تحدي e 253 : كل من الكتلة و عزم العطالة يمكن تعريفها وقياسها مع أو بدون تماس . هل يمكنك القيام بذلك ؟

* *

الشكل 93 يبين ما يعرف بحجر التذبذب السلتي ، أيضا يعرف بـ anagyre أو rattleback وهو حجر الذي يبدأ الدوران على سطح مستوي عندما يوضع في تذبذب لأعلى و أسفل . و الحجم يمكن أن يختلف بين بضع سنتمترات و بضع أمتار . بالانحناء البسيط لملعقة يمكن للمرء تحقيق شكل أولي من هذا الجهاز الغريب . إذا لم يكن الانحناء متناظر بشكل كامل .



الشكل 92 رافعة السفن الرائعة في سترييبي – ثيو في بلجيكا . ما هي استطاعة المحرك اللازمة لرفع السفينة إذا كان الرافع الأيمن و الأيسر موصلين بحبال أو نظام هيدروليكي .



الشكل 93 حجر التذبذب السلتي الشهير – الأعلى و اليمين – وشكل مصنوع بحني ملعقة – أسفل اليسار

الدوران يكون دائما في نفس الاتجاه . إذا دور الحجر في الاتجاه الخطأ بعد فترة فإنه يتوقف و يبدأ في الدوران في الاتجاه المعاكس ! هل يمكنك أن تشرح الأثر الذي يبدو أنه يناقض مصونيية العزم الزاوي ؟ (تحدي 254 d) .

* *

التأثير الجميل لنافورة سلسلية اكتشف في عام 2013 من قبل ستيف مولد . و إن سلاسل معينة التي تتدفق من حاوية ، تطلق أولا في الهواء . أنظر الفيديو في www.youtube.com/embed/_dQJBBklpQQ و قصة الاكتشاف في stevemould.com . هل يمكنك أن تشرح التأثير هذا لجدتك ؟ (تحدي 255 ny) .

ملخص حول المصونية في الحركة

" الآلهة بليست غنية كما يمكن أن يفكر المرء : إن ما تعطيه لواحد تأخذه من الآخر . قول قديم "

لقد صادفنا أربعة مبادئ مصونية الصالحة من أجل حركة كل الجمل المغلقة في الحياة اليومية :

- مصونية كمية الحركة الخطية الكلية
- مصونية كمية الحركة الزاوية الكلية
- مصونية الطاقة الكلية
- مصونية الكتلة الكلية

و لا واحد من مبادء المصونية هذه يطبق على حركة الصور . هذه المبادئ بالتالي تسمح لنا بالتمييز بين الأجسام و الصور .

و مبادئ المصونية هي بين النتائج الأعظم في العلم . و هي تحد من المفاجئات التي يمكن أن تعطيها الطبيعة : المصونية تعني أن كمية الحركة الخطية ، كمية الحركة الزاوية و الكتلة – الطاقة لا يمكن أن تخلق من عدم و لا يمكن أن تفنى إلى لا شيء . تحد المصونية من الإبداع . و المقولة أسفل هذه الفقرة تعبر عن هذه الفكرة .

صفحة 279 لاحقا سوف نجد أن النتائج التي تم التوصل من ثلاثة قياسات بسيطة : الجمل المغلقة تتصرف بنفس الشكل بشكل مستقل عما هي عليه ، في أي اتجاه تم توجيهها و في الزمن الذي وجدت فيه . في شكل أكثر تجريدا ، الفيزيائيون يرغبون بالقول أن كل مبادئ المصونية هي نتائج للثبات أو التناظر في الطبيعة .

لاحقا فإن نظرية النسبية الخاصة ستبين أن الطاقة و الكتلة مصونة فقط عندما تؤخذان معا . و العديد من المغامرات ما تزال تنتظرنا .

الفصل 5

من دوران الأرض إلى نسبية الحركة

"ومع ذلك فهي تتحرك " شخص مجهول

هل الأرض تدور ؟ إن البحث عن إجابات محددة لهذا السؤال يعطي مقطعا عرضيا ممتعا في تاريخ الفيزياء الكلاسيكية

قريبا من عام 265 قبل الميلاد في ساموس كان المفكر الإغريقي أريستاركوس أول من ثبت أن الأرض تدور . وقد قاس اختلاف منظر القمر (اليوم يعرف أنه يصل إلى 0.95 درجة) والشمس (اليوم يعرف بأنه '8.8).*** إن اختلاف المطالع هو تأثير مهم وهو الزاوية التي تصف الفرق بين جسم في السماء عندما يرى من قبل مراقب على سطح الأرض و عندما يرى من قبل مراقب افتراضي في مركز الأرض (أنظر الشكل 94) . لاحظ أريستاركوس أن القمر و الشمس تتذبذبان عبر السماء و بالتالي هذا التذبذب دوره 24 ساعة . وقد خلص إلى أن الأرض تدور . و يبدو أن أريستاركوس تلقى تهديدات بالموت بسبب نتيجته هذه .

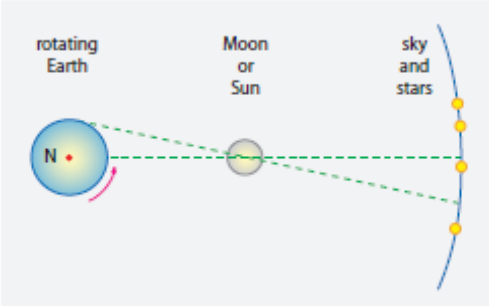
اعطى قياس أريستاركوس مقولة حتى أكثر قوة من آثار النجوم المبينة في الشكل 95 . هل يمكنك أن تشرح لماذا؟ (تحدي 256e) (وكيف يبدو الأثر في الأماكن المأهولة أكثر ما يكون على الأرض ؟) (تحدي 257 s) ؟

إن معايشة الشكل 95 يمكن أن يكون أحد الأسباب التي جعلت الناس يحلمون وما يزالون يحلمون بالوصول للقطبين . لأن الدوران وحركة الأرض تجعل القطبين مكانين باردين جدا ، ومغامرة الوصول إليهما ليست سهلة . العديد حاول ذلك بلا نجاح . (المرجع 135) . إن مخادعا شهيرا ، روبرت بيري ، ادعى أنه وصل للقطب الشمالي في عام 1909 (في الحقيقة رونالد أموندسين وصل للقطب الجنوبي و القطب الشمالي أولا) . من بين الآخرين ، ادعى بيري أنه أخذ صورة هناك ، ولكن تلك الصورة التي تم تداولها حول العالم تبين أنها أولى الأدلة أنه لم يذهب لهناك . هل تتخيل لماذا ؟ (تحدي 258s) .

إذا كانت الأرض تدور بدلا من كونها ساكنة ، قال الشخص غير المقتنع أن السرعة عند خط الاستواء هي القيمة الأساسية 0.46 km/s . كيف شرح غاليليو لم لا تشعر أو لا نلاحظ هذه الحركة ؟ (تحدي 259 e) .

** "ومع ذلك فهي تتحرك "هذا القول الذي ينسب ، في الأغلب بشكل غير صحيح ، لغاليليو منذ 1640s و لكن من الصحيح أن محاكمته التي أجبر أن تكون علنية تراجع فيها عن عبارة حركة الأرض لينقذ حياته . لمزيد من التفاصيل عن هذه القصة الشهيرة ، أنظر الفقرة في الصفحة 333 .

*** لتعريف مفهوم الزاوية أنظر الصفحة 67 ، و من أجل تعريف واحدات القياس للزاوية أنظر الملحق B .



الشكل 94 اختلاف المنظر / المطالع – غير مرسوم وفق مقياس

المجلد II صفحة 17 : قياسات الحيود / الزيف للضوء تبين دوران الأرض ، يمكن أن تكشف بواسطة منظار أثناء النظر للنجوم . الزيغ هو تغير في اتجاه الضوء المتوقع ، الذي سيناقش قريبا . عند خط الاستواء ، دوران الأرض يضيف انحرافا زاويا يبلغ '0.32 الذي يغير إشارته كل 12 ساعة بسبب الزيغ الناتج عن حركة الأرض حول الشمس بحوالي '20.5 و في

الأزمنة الحديثة ، فإن الفلكيين وجدوا عدد من الأدلة الإضافية على دوران الأرض و لكن ليس أي منها قابل للفهم من قبل الشخص البسيط .

أيضا تبين القياسات أن الأرض ليست كرة ، ولكنها مسطحة عند القطبين وهذا أكد دوران الأرض . الشكل 96 يوضح الوضع . لكن مرة ثانية هذا القياس الذي أجري في القرن الثامن عشر من قبل ماوبريتويس * ليس ممكن التوصل إليه في الملاحظة اليومية .

وبالتالي في السنوات من 1790 إلى 1792 في بولونيا ، قام جيوفاني باتيستا جوليلميني (1817- 1736) بالنجاح أخيرا في قياس ما توقع نيوتن و غاليليو أنه أبسط دليل على دوران الأرض . على الأرض التي تدور فإن الأجسام لا تسقط شاقوليا

ولكنها تنحرف بشكل طفيف للشرق . و هذا الانحراف يظهر بسبب أن الجسم يحافظ على السرعة الأفقية الأكبر التي يملكها عند الارتفاع الذي بدأ منه السقوط ، كما هو مبين في الشكل 97 .

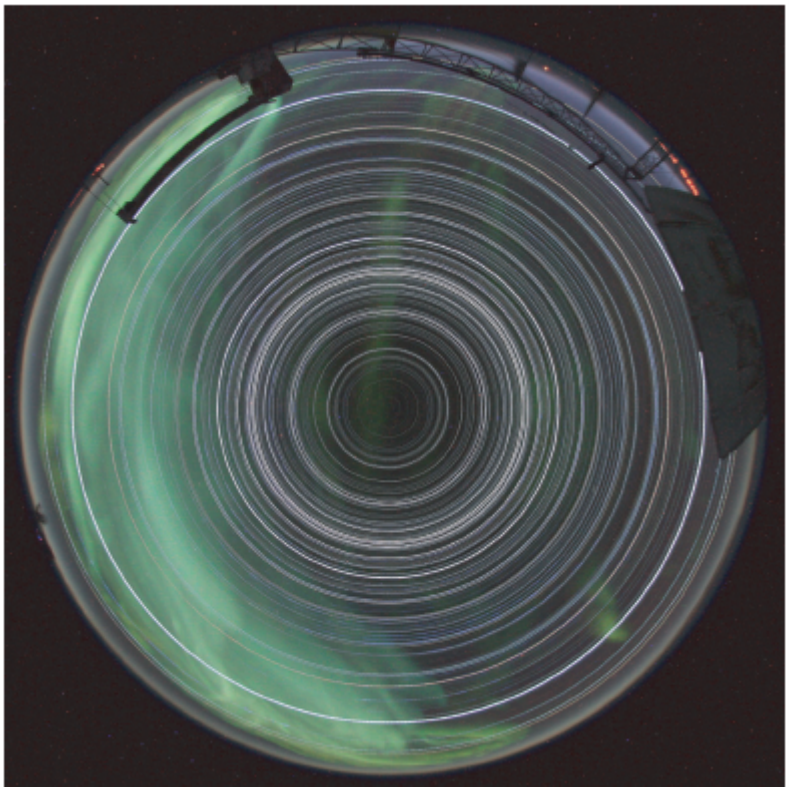
إن نتيجة جوليلميني كانت أول إثبات غير فلكي لدوران الأرض . إن التجارب كررت في عام 1802 من قبل يوهان فيريدريك بنتسينبيرغ (1846- 1777) . باستخدام كرات معدنية التي أسقطت من برج ميكائليس في هامبورغ – بارتفاع 76 متر – وجد بنتسينبيرغ أن الانحراف إلى الشرق كان 9.6 mm . هل يمكن أن تؤكد أن القيمة المقاسة من قبل بنتسينبيرغ تقريبا تتفق مع افتراض أن الأرض تدور كل 24 ساعة ؟ و هناك أيضا انحراف أصغر باتجاه خط الاستواء لم يتم قياسه من قبل جوليلميني ، بنتسينبيرغ أو أي شخص آخر بعدهما حتى اليوم لكن هذا يكمل قائمة التأثيرات في السقوط الحر بواسطة دوران الأرض .

إن كلا الانحرافين عن السقوط الشاقولي يتم فهمهما بسهولة إذا استخدمنا النتيجة (المبينة أدناه) أن الأجسام الساقطة تصف قطعا ناقصا حول مركز دوران الأرض . (الصفحة 192) .

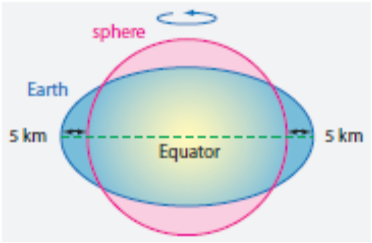
إن الشكل القطعي يبين أن مسار الحجر المرمي لا يقع على مستوي بالنسبة لمراقب يقف على الأرض ، من أجل مثل هذا المراقب فإن المسار الدقيق لحجر بالتالي لا يمكن أن يرسم على قطعة مسطحة من الورق .

---

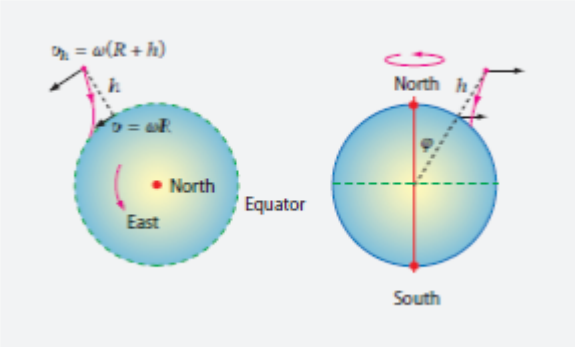
*بيير لويس مورو دو ماوبريتويس (1759 – 1698) ، فيزيائي و رياضي كان أول الأشخاص الأساسيين في بحث ووضع مبدأ الفعل الأقل الذي سماه هو بهذا الاسم وقد كان ايضا الرئيس المؤسس لأكاديمية برلين للعلوم . اعتقد ماوبريتويس أن المبدأ عكس تعظيم القدر الإلهي في الكون . وهذه الفكرة تم السخرية منها من قبل فولتير في كتابه تاريخ طبيب أكاتا و مواطنه سان مالو ، 1753 (اقرأها في www.voltaire-integral.com/Html/23/OSDIAL.htm) إن ماوبريتويس أجرى قياسه للأرض للتمييز بين نظرية الجاذبية لنيوتن و تلك التي وضعها ديكارت الذي توقع أن الأرض متطاولة عند القطبين بدلا من كونها مسطحة .



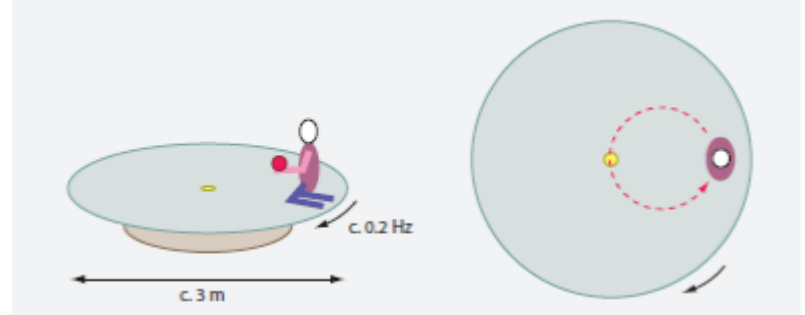
الشكل 95 حركة النجوم خلال الليل التي لوحظت في الأول من أيار 2012 من القطب الجنوبي مع الضوء الأخضر لظاهرة الهالة القطبية aurora australis .



الشكل 96 انحارف الأرض عن الشكل الكروي بسبب دورانها



الشكل 97 انحرافات السقوط الحر باتجاه الشرق و باتجاه خط الاستواء بسبب دوران الأرض

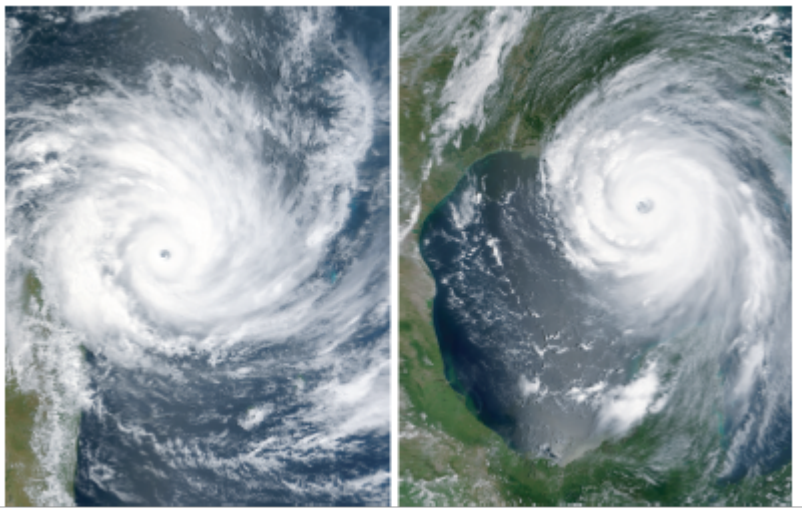


الشكل 98 دوارة نوعية تسمح بمراقبة تأثير كوريوليس قي شكل أكثر تعبيرا : إذا جعل الشخص الكرة تتدحرج بسرعة واتجاه مناسب ، فإن الكرة تنحرف بقوة بحيث تعود له .

المرجع 105 : في عام 1798 شرح بيير سيمون لابلاس كيف أن الأجسام تتحرك على الأرض الدوارة و بيّن أنها تحس بقوة ظاهرية . وفي عام 1835 أعاد غوستاف – جاسبر كوريوليس الوصف و بسطه . تخيل كرة تتدحرج فوق طاولة . بالنسبة لشخص على الأرض الكرة تتدحرج في خط مستقيم . الآن تخيل أن الطاولة تدور . بالنسبة للشخص الذي على الأرض الكرة ما تزال تتدحرج في خط مستقيم . ولكن بالنسبة لشخص على الطاولة الدوارة ، الكرة تتبع مسارا منحنيا . باختصار أي جسم يتحرك في خلفية تدور يخضع لتسارع عرضاني . التسارع المكتشف من قبل لابلاس ، الآن يعرف بتسارع كوريوليس أو أثر كوريوليس .

--

بيير سيمون لابلاس (ولد في 1749 في بومون أن أوج ، توفي في 1827 في باريس) رياضي مهم . إن بحثه / رسالته الشهير : راسلة في ميكانيك النجوم ، تتكون من خمسة مجلدات بين عامي 1798 و 1825 .وقد كان أول من اقترح أن النظام الشمسي مشكل من غيمة غازية تدور ، و أحد أول الناس الذين تخيلوا و بحثوا في الثقوب السوداء .



الشكل 99 الأعاصير ذات المركز منخفض الضغط تختلف في جهة الدوران بين نصف الكرة الجنوبي و الشمالي هنا إعصار لاري في عام 2006 و نصف الكرة الشمالي ، هنا إعصار كاترينا في عام 2005

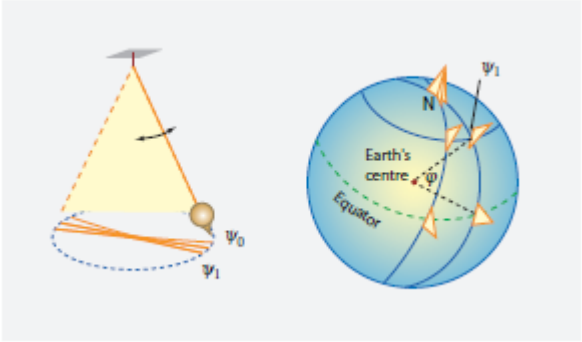
على الخلفيات الدوارة ، الأجسام المتحركة تنحرف عن الخط المستقيم و أفضل طريقة لفهم أثر كوريوليس هو أن تختبره بنفسك وهذا يمكن أن يتم على دوار / دوامة كما هو مبين في الشكل 89 . إن مشاهدة افلام على الإنترنت حول الموضوع أيضا مفيد (المرجع 106) . سوف تلاحظ أنه على دوامة دوارة فإنه ليس من السهل إصابة الهدف برمي أو دحرجة كرة .

أيضا الأرض هي خلفية تدور . في نصف الكرة الجنوبي الدوران بعكس عقارب الساعة . بالنتيجة أي جسم متحرك ينحرف بشكل طفيف للمين (بينما مقدار سرعته يبقى ثابتا) . و على الأرض مثل كل الخلفيات الدوارة ، تسارع كوريوليس a_C ينتج عن تغير المسافة مع محور الدوران . هل يمكنك استنتاج العلاقة التحليلية لأثر كوريوليس وهي $a_C = - 2\omega \times v$

على الأرض فإن تسارع كوريوليس يملك عموما قيمة صغيرة . و بالتالي يلاحظ بشكل أفضل إما في ظاهرة واسعة النطاق أو عالية السرعة . في الواقع تسارع كوريوليس يحدد اتجاه العديد من الظواهر واسعة النطاق بواسطة شكل حلزوني مثل اتجاهات الأعاصير و مضادات الأعاصير في الرصد الجوي – كما هو مبين في الشكل 99 - نماذج الرياح العامة على الأرض و انعطاف التيارات في المحيط و المد و الجزر . و هذه الظواهر لها اتجاه في نصفي الكرة الشمالي و الجنوبي

بشكل أكثر جمالا فإن تسارع كوريوليس يشرح لماذا لا تتبع الجبال الجليدية اتجاه الريح حيث تنحرف بعيدا عن القلنسوتين القطبيتين (المرجع 107) أيضا يلعب تسارع كوريوليس دورا في طيران كرات المدفع (التي كانت أولى اهتمامات كوريوليس) وفي إطلاق الاقكار الصناعية (المرجع 108) و في حركة البقع الشمسية و حتى في حركة الإلكترونات في الجزيئات .

كل هذه الستارعات لكوريوليس هي بإشارة معاكسة على نصفي الكرة الشمالي و الجنوبي و تثبت دوران الأرض . مثلا في الحرب العالمية الأولى العديد من المدافع البحرية أخطأت أهدافها في نصف الكرة الجنوبي بسبب أن المهندسين عوضوا عن توجيهها بسبب أثر كوريوليس كما في نصف الكرة الشمالي .



الشكل 100 حرجة الدوران لنواس يبين دوران الأرض

المرجع 109 : فقط في عام 1962 بعد العديد من المحاولات الأولى من قبل باحثين آخرين . كان آشير شابيرو اول من تحقق من أن أثر كوريوليس له تأثير بسيط على اتجاه القمة المشكل من الماء المتدفق من صنبور الحمام . و بدلا من صنبور حمام عادي ، كان عليه أن يستخدم تجربة مصممة بدقة بسبب أنه على عكس الـأكيد الذي يطرح غالبا فإنه لا يرى مثل هذا الأثر في صنبور حمام عادي . وقد نجح فقط في إزالة بدقة كل الاضطرابات من النظام ، مثلا انتظر 24 ساعة بعد ملء الحوض (و لم يدخل أو يخرج منه قط) من أجل تجنب أي حركة متبقية للماء الذي ستؤدي لاضطراب في الأثر و ينى آلية فتح مصممة بعناية و دورانية بشكل متناظر كاملا . و قد كرر الآخرون التجربة في نصف الكرة الجنوبي (المرجع 109) ووجدوا دورانا معاكسا في الاتجاه و بالتالي تأكدوا من النتيجة . و بمعنى آخر ، إن اتجاه قمة / سطح صنبور / حوض الماء العادي لا ينتج عن دورات الأرض و لكن ينتج عن الطريقة التي يبدأ بها الماء بالتدفق , (عدد من المخادعين في كويتو ، و هي مدينة واقعة على خط الاستواء بينوا للسياح السذج أن القمة في حوض يتغير عند عبور خط الاستواء المرسوم على الطريق) ولكن لنمضي في القصة حول دوران الأرض .

في عام 1851 الطبيب الذي تحول إلى فيزيائي جان بيرنارد ليون فوكو (ولد في باريس 1819 و توفي في باريس 1868) أجرى تجربة التي أزالت كل الشكوك و جعلته أشهر عالم عملي على مستوى العالم خلال عشية وضحاها . وقد علق نواس بطول 67 مترا * في بانثيون باريس و بيّن للجمهور المندهش أن اتجاه تأرجحه تغير مع الزمن ، حيث يدور ببطء . و بالنسبة للجميع بعد بضع دقائق من الانتظار لمراقبة تغير الاتجاه ، أثبتت التجربة أن الأرض تدور . إذا لم تكن الأرض تدور فن تأرجح النواس سيكون دائما في نفس الاتجاه . وعلى الأرض التي تدور في باريس فإن الاتجاه يتغير لليمين باتجاه عقارب الساعة كما هو مبين في الشكل 100 . و اتجاه الدورات لا يتغير إذا كان النواس واقعا في خط الاستواء و يتغير لليسار في نصف الكرة الجنوبي **.

---

*لماذا مثل هذا النواس الطويل ضروري ؟ (تحدي 262 d) . فهم الأسباب يسمح للمرء أن يكرر التجربة في المنزل (المرجع 110) باستخدام نواس قصير طوله 70 cm بمساعدة بضع خدع . لملاحظة اثر فوكو بواسكة تجربة بسيطة ، وصل نواسا إلى كرسي مكتبك ودور الكرسي ببطء . العديد من الرسوم المتحركة للنواسات التي ستوضح الانحراف توجد في commons.wikimedia.org/wiki/Focault_pendelum

**الاكتشاف أيضا يبين كيف تكون الدقة و العبقرية معا . في الحقيقة أول شخص لاحظ الأثر كان فيشينتسو فيفاني ، تلميذ غاليليو في عام 1661 . وفوكو الذي قرأ حول عمل فيفاني في منشورات أكاديمية لينتشي . لكن الأمر احتاج لعبقرية فوكو ليربط الثر إلى دوران ارض و هذا أمر لم يفعله أي شخص قبله .

إن الشكل الحديث من النواس يمكن أن يلاحظ عن طريق كاميرا الإنترنت أتى من pendelcam.kip.uni-heidelberg.de حيث الأفلام عالية السرعة لحركة النواس خلال النهار يمكن أيضا تنزيلها من pendelcam.kip.uni-heidelberg.de/oeffwiss/pendel/zeitraffer/

الزمن الذي تقوم به نوسة النواس دورة كاملة - زمن التقدم – يمكن حسابه . ادرس نواسا يبدأ في التأرجح في اتجاه نصف الكرة الجنوبي وسوف تجد أو زمن التقدم $T_{Foucault}$ يعطى بالشكل :

$$T_{Foucault} = \frac{23\,h\,56\,min}{\sin\varphi} \qquad (34)$$

حيث φ خط عرض موقع النواس ، مثلا صفر درجة عند خط الاستواء و تسعون درجة في القطب الشمالي . و هذه العلاقة هي إحدى النتائج الأجمل للحركة الغاليلية *

أيضا كان فوكو مخترع و مسمي الجيروسكوب ، و قد بنى أول جهاز مبين في الشكل 101 و الشكل 102 . في عام 1852 بعد سنة من اختراعه لنواسه .

وبواسطته أظهر مرة أخرى دوران الأرض . حالما يبدأ الجيروسكوب في الدوران فإن محوره يبقى ثابتا في الفراغ – ولكن فقط عندما يرى على مسافة من نجوم بعيدة أو المجرات . (بالمناسبة ، هذا ليس ما يكون عند الحديث عن الفضاء المطلق ، لماذا ؟ تحدي 264 s) .

بالنسةب لمراقب على الأرض فإن محور الدوران يتغير بانتظام بدور يبلغ 24 ساعة . و الجيروسكوبات تستخدم الآن بشكل روتيني في الطائرات لتعطي اتجاه الشمال لأنها أكثر دقة و أكثر وثوقية من البوصلة المغناطيسي . أول الشكال الحديث منها تستخدم ضوء ليزري يدور في دوائر بدلا من كتل دوراة **

في عام 1909 قاس رونالد فون أوتفوس أثرا صغيرا و لكن ممتعا : بسبب دوران الأرض فإن وزن جسم يعتمد على الاتجاه الذي يتحرك به . بالنتية التوازن في الدوران حول محور شاقولي لا يبقى أفقيا بشكل تام :الميزان في الدوران حول المحور الشاقولي لا يبقى أفقيا بشكل تام : يبدأ الميزان في التذبذب بشكل طفيف . هل يمكنك شرح أصل هذا الأثر ؟ (تحدي 266 s).

المرجع 111 : في عام 1910 نشر جون هاجين نتائج تجربة أبسط من هذه ، اقترحت من قبل لويس بوانسو في عام 1851

حيث توضع كتلتان على قضيب أفقي الذي يمكن أن يدور حول محور شاقولي ، فيما يعرف بالإيزوتوموغراف . إن كتلته الكلية كانت 260 kg . إذا حركت الكتلتان بشكل بطيء باتجاه المسند / الحامل كما هو مبين في الشكل 103 و إذا أبقي الاحتكاك منخفضا كفاية ، فإن القضيب يدور . من الواضح أن هذا لن يحدث إذا لم تكن الأرض تدور .

تحدي 267 s : هل يمكنك شرح الملاحظة ؟ هذا الأثر المعروف بشكل قليل أيضا مفيد من أجل ربح المراهنات بين الفيزيائيين .

في عام 1913 بيّن آرثر كومبتون أن الأنبوب المغلق المملوء بالماء و بعض الجزيئات العائمة (المرجع 112) (أو الفقاعات) يمكن أن يستخدم لبيان دوران الأرض . و الجهاز يعرف بأنبوب كمبتون أو دولاب كومبتون . وقد بيّن كومبتون أنه عندما يملأ أنبوب أفقي بالماء ويدور بزاوية ° 180 فإن شيءا ما يحدث الذي يسمح للمرء بإثبات أن الأرض تدور . التجربة المبين في الشكل 104 تسمح بقياس خط العرض للنقطة التي تتم بها التجربة (تحدي 168 d) . هل يمكنك أن تخمن ما الذي يحدث ؟

---

*حساب دور نواس فوكو يفترض أن معدل التقدم ثابت خلال الدوران . وهذا فقط تقريب (بالرغم من أنه جيد)

** هل يمكنك أن تخمن كيق يكشف الدوران في هذه الحالة ؟ (تحدي 265 s)

***جورج ساناك (ولد في بيريجز 1869 و توفي في ميدون بيلفو 1928) كان فيزيائيا في ليل و باريس وصديق آل كوري ، لانجفين ، بيران و بوريل . ساناك أيضا استنتج من تجربته أن سرعة الضوء كانت مستقلة عن منبعه و بالتالي أكد توقع النسبية الخاصة .



الشكل 101 الجيروسكوب : النظام الأصلي الذي صنع من قبل فوكو بسطحه الدوار الذي يتحرك بحرية ، الجهاز الميكانيكي الذي يوصله لسرعته ، هو جهاز ضوئي لكشف حركته ، مبد البنية العامة و جيروسكوب حلقة الليزر (المثلثي) الحديث يستند إلى تغير لون ضوء الليزر بدلا من تغيرات الزاوية للكتل الدوارة .

الطريقة الأخرى لكشف دوران الأرض باستخدام الضوء تمت في عام 1913 حيث استخدم جورج ساناك *** مقياس تداخل لإنتاج أهداب مضيئة و عاتمة للضوء بواسطة حزمتين ضوئيتين ، واحدة تدور في اتجاه عقارب الساعة و الثانية بعكس اتجاه عقارب الساعة . (المجلد IV ، صفحة 56) . أهداب التداخل تزاح عندما كل الجملة تدور (المرجع 113)

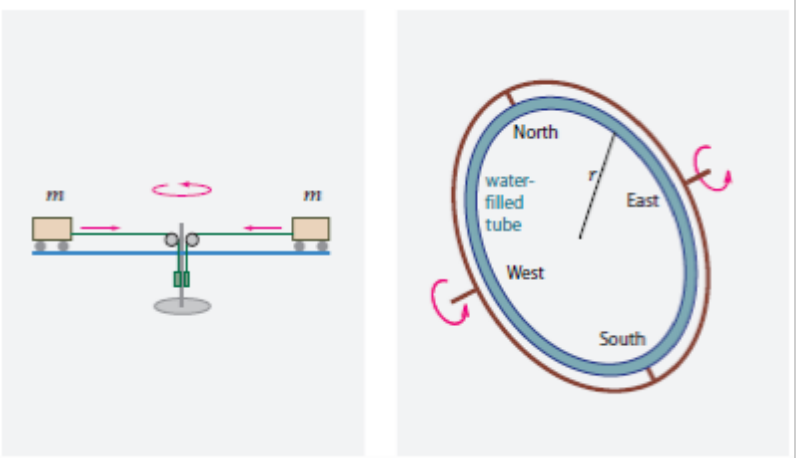
و كلما كانت سرعة دورانها أكبر كلما كان الانحراف أكبر . إن الشكل الحديث عالي الدقة من التجربة ، الذي يستخدم ليزرات بدلا من المصابيح مبين في الشكل 105 (مزيد من التفاصيل حول التداخل و الأهداب يوجد في المجلد III ، صفحة 84) . أيضا حدد ساناك العلاقة بين انزياح الهدب و تفاصيل التجربة . دوران كامل مقياس التداخل الحلقي ذو التردد الزاوي (شعاع) Ω ينتج انزياح الهدب ذو الطور الزاوي Δφ المعطى بالشكل :

$$\Delta\varphi = \frac{8\pi\,\Omega\,a}{c\,\lambda} \qquad (35)$$

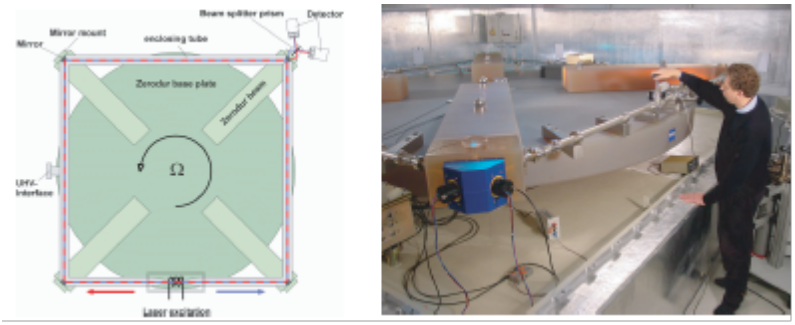
حيث a المساحة (شعاع) المحاط بشعاعي الضوء المتداخلين ، و λ طول الموجة و c سرعة الضوء . و الأثر يعرف بأثر ساناك نسبة لمكتشفه .



الشكل 102 نموذج ثلاثي الأبعاد لجيروكسوب فوكو الأصلي : في نسخة pdf من هذا النص النموذج يمكن أن يدور و يغير حجمه بتدوير المشيرة حوله .



الشكل 104 إظهار دوران الأرض بالماء الشكل 103 بيان دوران الأرض عن طريق دوران محور



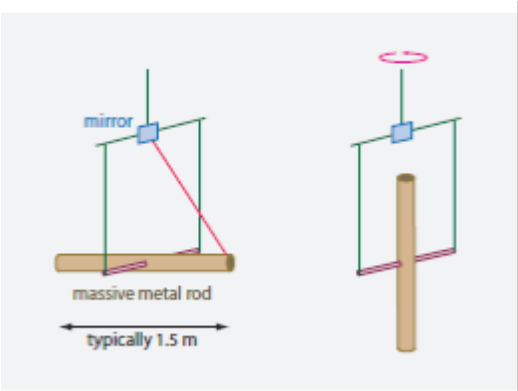
الشكل 105 مقياس التداخل الليزري الدقيق الحديث

لقد تم توقع ذلك قبل عشرين عاما من قبلل أوليفر لودج .* (المرجع 114) اليوم مقاييس التداخل هي جزء أساسي من الجيروسكوبات الليزرية – المبينة في الشكل 101 – و هي توجد في كل طائرة ركاب ، صاروخ و غواصة من أجل قياس تغيرات حركتها و بالتالي تحديد موضعها الفعلي .

إن جزءا من انزياح الهدب هو ناتج عن دوران الأرض . و مقاييس التداخل الحديثة عالية الدقة لساناك تستخدم ليزرات حلقية ذات مساحة بضعة أمتار كما هو مبين في الشكل 105 .

--

أوليفر لودج (ولد في ستوك 1851 و توفي في ويلتشاير 1940) كان فيزيائيا الذي درس الأمواج الكهرطيسية و حاول الاتصال مع الموتى . و هذا الشخص الغريب و لكنه ناجح ، غالبا يستشهد بأفكاره عندما يراد التفكه حول الفيزيائيين و قد كان أحد الفيزيائيين(النادرين) الذين اعتقدوا أنه في نهاية القرن التاسع عشر ستكتمل الفيزياء .



الشكل 106 مراقبة دوران الأرض في ثانيتن

مثل هذه المقاييس التداخلية الليزرية قادرة على قياس التغيرات في معدلات الدوران للأرض بأقل من جزء من مليون .وفي الحقيقة خلال سنة ، طول اليوم يختلف بشكل غير منتظم بمقدار بضعة ميلي ثانية وهذا في الأغلب ناتج عن تأثيرات من الشمس أو القمر ، بسبب تغيرات الطقس و بسبب تدفقات الصهارة في عمق باطن الأرض *(المرجع 115) .

ولكن أيضا الزلازل ، أثر النينو في الطقس ، و ملء السدود الكبيرة بالماء له تأثيرات على دورات الأرض .

كل هذه التأثيرات يمكن دراستها بواسطة مقاييس التداخل عالية الدقة ، ويمكن أيضا استخدامها من أجل البحث في حركة التربة بسبب المد و الجزر القمري أو الزلازل و حتى من أجل التأكد من النسبية الخاصة .

أخيرا في عام 1948 ، طور هانس بوكا أبسط تجربة حتى ذلك الوقت لبيان دوران الأرض (المرجع 116). إن القضيب المعدني يسمح لأي شخص بكشف دوران الأرض بعد فقط بضع ثواني من الملاحظة باستخدام الجملة المبينة في الشكل 106 . يمكن تنفيذ التجربة بسهولة في الصف .هل يمكنك أن تحزر كيف تعمل ؟ (تحدي 270s) .

باختصار : كل القياسات تبين أن سطح الأرض يدور بسرعة تبلغ 464 m/s عند خط الاستواء و هي قيمة أكبر من سرعة الصوت في الهواء ، التي هي حوالي 340 m/s في الشروط العادية . و دوران الأرض أيضا يقتضي وجود تسارع عند خط الاستواء يساوي $0.034\ m/s^2$ و بالتالي فإننا ندور و نندفع في الفضاء .

كيف تدور الأرض ؟

هل دوران الأرض ،طول اليوم ، ثابت غير العصور الجيولوجية ؟

هذا سؤال صعب . إذا وجدت طريقة تؤدي للجواب قم بنشرها (نفس الشيء صحيح بالنسبة لسؤال فيما إذا كان طول السنة ثابتة) . المرجع 117 .

يوجد فقط بضع طرق معروفة كما سنجد قريبا . و إن دوران الأرض ليس حتى ثابتا خلال فترة حياة الإنسان وهو يتغير ببضع اجزاء من 10^8 . بشكل خاص على مقياس الزمن الدنيوي فإن طول اليوم ازداد بمقدار 1-2 ms في القرن الواحد و بشكل أساسي بسبب الاحتكاك من قبل القمر و انصهار جليد القلنسوة القطبية . و هذا استنتج بدراسة الملاحظات / القياسات الفلكية التاريخية للفلكيين البابليين القدماء والعرب (المرجع 118) .

---

*نمو الأوراق على الشجر و التغير الناتج في عزم عطالة الأرض قد تم التفكير به في عام 1916 من قبل هارولد جيفري ، وهو صغير جدا ليشاهد حيث تخفيه التأثيرات الأكبر .

إن التغيرات الإضافية التي تحدث خلال العقود لها مطال يبلغ 4 -5 ms وهي ناتجة عن حركة الجزء السائل في قلب الأرض . (مركز قلب الأرض صلب وهذا اكتشف في 1936 من قبل أخصائية الزلازل الدانماركية إنجه ليمان (1888-1993) واكتشافها أكد بشكل أكثر روعة من قبل أخصائيي زلازل بريطانيين في عام 2008 اللذين كشفا أمواج قص للقلب الداخلي و بالتالي يؤكد نتيجة ليمان . و هناك سائل يحيط بالقلب الصلب .

إن التغيرات الفصلية و السنوية الثنائية لطول اليوم – بقيمة تبلغ 0.4 ms كل ستة أشهر و 0.5 ms أخرى خلال السنة و 0.08 ms خلال أكثر من 26- 24 شهرا – هي ناتجة بشكل أساسي عن تأثيرات الغلاف الجوي . في 1950s فإن توفر القياسات الدقيقة بيّن أن هناك فترة 28 & 14 يوما بقيمة 0.2 ms بسبب القمر . وفي 1970s عندما تذبذبات الريح بمقياس طول حوالي 50 يوما تم اكتشافها وجد أيضا أنها تغير طول اليوم بقيمة حوالي 0.25 ms . لكن هذه التغيرات ألأخيرة هي غير منتظمة تماما .

أيضا المحيطات تؤثر على دوران الأرض بسبب المد و الجزر ، و تيارات المحيط ، قوة الرياح و قوة الضغط الجوي (المرجع 119) .

و التأثيرات الأخرى الناتجة عن تغيرات صفائح الجليد و بسبب تبخر الماء و هطول المطر . و أخيرا و ليس آخرا ، التدفقات في داخل الأرض ، الزلازل ، حركة الصفائح التكتونية ، انحسار ما بعد ذوبان الجليد ، و الثورانات البركانية كلها تؤثر على الدوران .

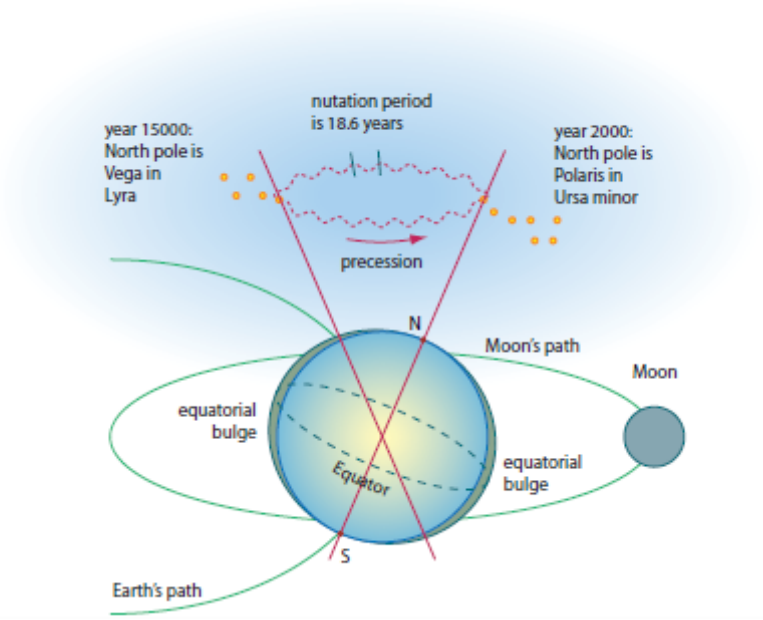
لكن لماذا تدور الأرض بعد كل ذلك ؟ الدوران ناشيء عن غيمة الغاز الدوارة في مبدأ / أصل /منشأ النظام الشمسي . وهذا الارتباط يفسر أن الشمس و كل الكواكب ما عدا اثنين تدور حول محورها في نفس الاتجاه و انها أيضا تدور حول الشمس في نفس الاتجاه . (المرجع 120) . و لكن القصة الكاملة هي خارج مجال هذا الكتاب .

إن الدوران حول محورها هي ليست الحركة الوحيدة للأرض و هي تقوم بحركات أخرى أيضا و هذا معروف منذ زمن طويل . في عام 128 BCE اكتشف الفلكي الإغريقي هيباركوس ما يعرف اليوم بالتقدم (الاعتدالي/ الاستوائي) وقد قارن القياس الذي أجراه بنفسه مع قياس آخر تم منذ 169 سنة سابقا . و قد وجد هيباركوس أن محور الأرض يشير لنجوم مختلفة في أزمنة مختلفة . وقد خلص إلى أن السماء كانت تتحرك . و اليوم نفضل القول أن محور الأرض يتحرك (لماذا ؟) (تحدي e 271) . خلال فترة 800 25 سنة فإن المحور رسم قلب ذو زاوية مفتوحة تبلغ ° 23.5 وهذه الحركة المبينة في الشكل 107 تتولد عن قوى المد و الجزر للقمر و الشمس على نتوء خط الاستواء للأرض الذي ينتج من تسطحها

و الشمس و القمر يحاولان مراصفة محور الأرض بزاوية قائمة على مسار الأرض و هذا العزم يؤدي إلى تقدم محور الأرض .

التقدم هو حركة مشتركة لكل الجمل الدوارة و هو يظهر في الكواكب ، الأسطح البرامة ، و الذرات (التقدم أيضا على أساس المفاجئة المرتبطة بالدولاب المعلق المبين في الصفحة 243) . و التقدم يرى بشكل أكثر سهولة في الأسطح البرامة سواء كانت معلقة أو لا . و المثال على ذلك مبين في الشكل 108 من أجل نوى الذرات أو الكواكب . فقط تخيل أن السلك المعلق غير موجود و أن الجسم الدوار أقل تسطحا . على الأرض التقدم يؤدي إلى تفجر الماء العميق في المحيط الأطلسي الاستوائي و يغير بانتظام بيئة العوالق .

بالإضافة لذلك إن محور الأرض ليس ثابتا حتى بالنسبة لسطح الأرض . في عام 1884 بقياس الزاوية الدقيقة أعلى الأفق لنجم القطب الشمالي ، وجد فريدريك كوستنر (1936 -1856) أن محور الأرض يتحرك بالنسبة لقشرة الأرض كما اقترح بيسل منذ اربعين عاما خلت . و بنتيجة اكتشاف كوستنر ، فإنه تم إنشاء خدمة خطوط العرض الدولية .



الشكل 107 التقدم و تغير محور الأرض

و الحركة القطبية التي اكتشفها كوستنر تبين أنها مكونة من مركبات : انجراف خطي صغير – ما يزال غير مفهوم – و حركة إهليلجية (قطع ناقصية) بسبب تغيرات الفصول لكتل الهواء و الماء ،وحركة دائرية * ذات دور حوالي 1.2 عام بسبب التذبذبات في الضغط في قعر المحيطات . و عمليا فإن القطب الشمالي يتحرك بقيمة تبلغ 15 m (المرجع 121) حول الموضع المركزي المتوسط كما هو مبين في الشكل 109 . التغيرات قصيرة الأمد في موضع القطب الشمالي ناتجة عن تغيرات في الضغط الجوي و تغير الطقس (المرجع 122) و المد الجزر أيضا تم قياسها . و الدقة العالية لنظام GPS (نظام تحديد المواضع العام) ممكن فقط بمساعدة الموضع الدقيق لمحور الأرض و فقط بهذه المعرفة يمكن توجيه الأقمار الصناعية إلى المريخ أو كواكب أخرى .

إن تفاصيل حركة الأرض قد درست بتفصيل عظيم . الجدول 25 يعطي عرضا شالا للمعرفة و الدقة المتوفرة اليوم

في عام 1912 فإن عالم الرصد الجوي و الجيولوجيا ألفرد فاغنر (1930 – 1880) اكتشف تاثيرا أكبر من ذلك حتى . بعد دراسة أشكال الرفوف القارية و الطبقات الجيولوجية على كلا طرفي المحيط الأطلسي فقد استنتج أن القارات تتحرك و أنها كلها أجزاء من قارة وحيدة انفصلت منذ حوالي مائتي مليون عام . **

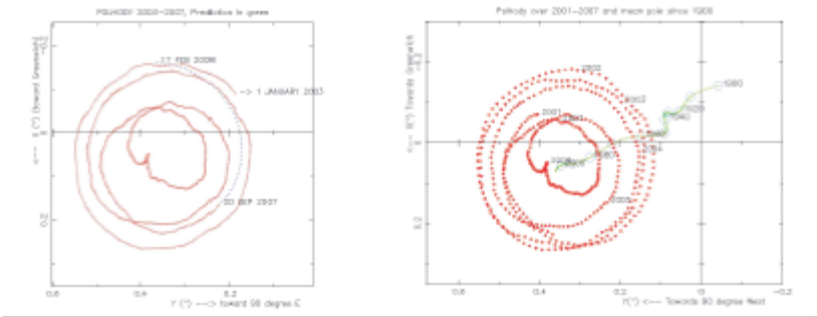
---

*هذه الحركة الدائرية ، متذبذبة ، تم توقعها من قبل رياضي سويسري عظيم ليونارد أويلر (1783 – 1707) وفي قصة طريقة باستخدام توقعات بيسل و أويلر و بيانات كوستنر في عام 1891 ادعى سيت شاندلر أنه مكتشف المكونة الدائرية .

**في هذه القارة القديمة التي تعرف بغوندواند لاند كان هناك نهر ضخم يتدفق غربا من تشاد إلى إلى غوايا كويل في اكوادور . وبعد انشطار القارات ما يزال هذا النهر يتدفق للغرب . و عندما ظهر شعب الإندز تم حبس الماء و بعد ملايين السنين من ذلك عكس تدفقه . اليوم النهر ما يزال يتدفق شرقا و يعرف بنهر الأمازون .

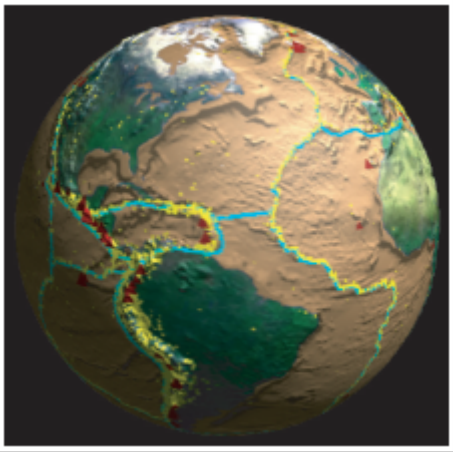


الشكل 108 تقدم سطح برام معلق

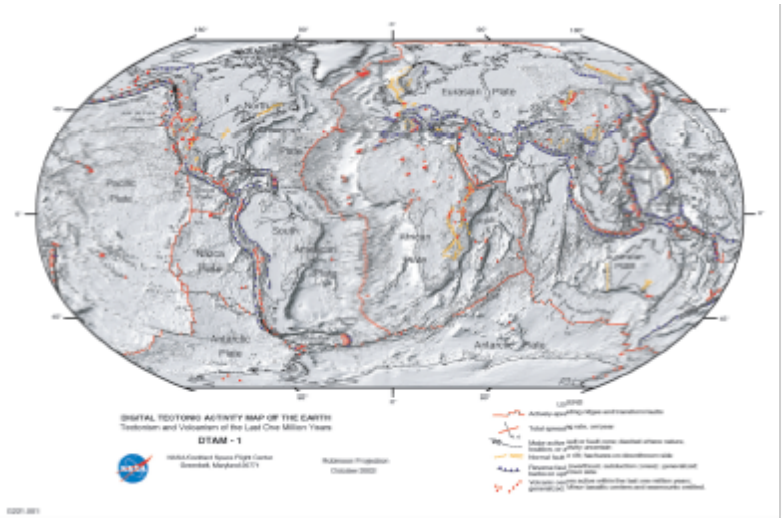


الشكل 109 حركة القطب الشمالي – تقريبا بولهود الأرض الفعال – من 2003 إلى 2007 بما فيها التوقع حتى عام 2008 (يسار) و الموضع المتوسط منذ 1900 (يمين) – بتصاعد 0.1 يبلغ حوالي 3.1 مترا على سطح الأرض – لا يبين التغيرات اليومية و شبه اليومية بجزء من الميلي ثانية من القوس بسبب المد و الجزر

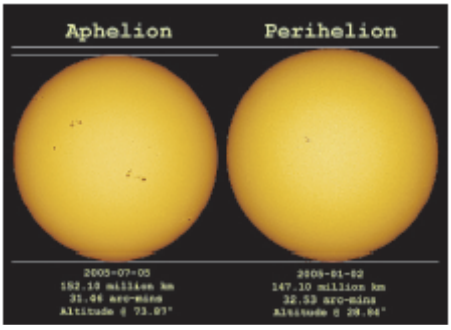
حتى بالرغم من أنه استهزئ به على مستوى العالم فإن اكتشافات فاغنر كانت صحيحة . و إن قياسات الأقمار الصناعية الحديثة المبينة في الشكل 110 تؤكد هذا النموذج . مثلا القارة الأمريكية تتحرك بعيدا عن القارة الأوربية بحوالي 23 mm كل سنة كما هو مبين في الشكل 111 .



الشكل 110 الصفائح القارية هي أجسام ذات حركة تكتونية



الشكل 111 الصفائح التكتونية للأرض مع السرعات النسبية عند الحدود



الشكل 112 الحجم الزاوي لتغيرات الشمس بسبب الحركة الإهليلجية للأرض



الشكل 113 فريدريك فيلهم بيسل (1846- 1784)

هناك أيضا توقعات أن هذه السرع يمكن أن تكون أعلى بكثير خلال فترات معينة في الماضي . و الطريقة للتأكد من هذا هو النظر إلى مغنطة الصخور الرسوبية . في الوقت الحاضر ، ما يزال هذا موضوعا ساخنا للبحث . و وفق الشكل الحديث للنموذج الذي يعرف بالصفائح التكتونية ، فإن القارات (بكثافة تبلغ $27 . 10^3 kg/m^3$) تعوم على سائل الغطاء للأرض (بكثافة $3.1 . 10^3 kg/m^3$) (صفحة 126) مثل قطع الصخر على الماء (المجلد III صفحة 157) و التصعيد الحراري للغطاء يعطي آلية القيادة للحركة (المرجع 123) .

هل الأرض تتحرك ؟

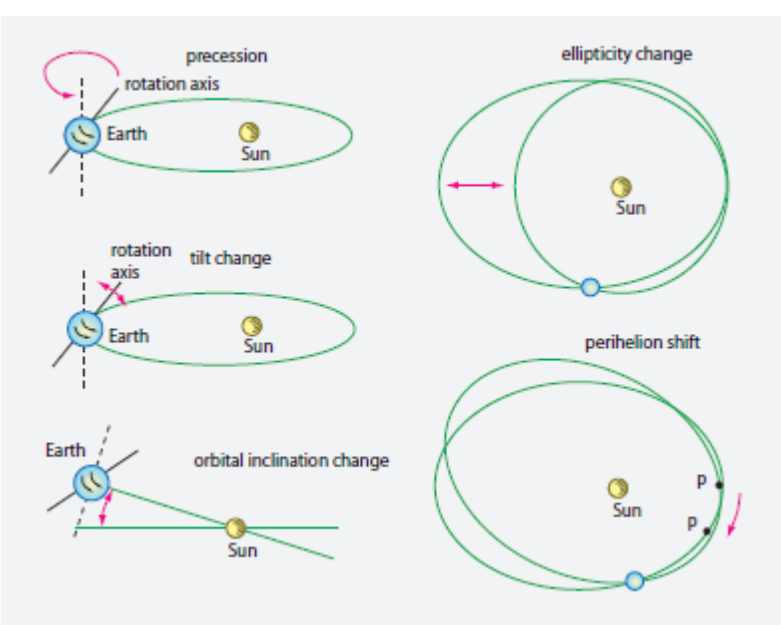
أيضا مركز الأرض ليس ساكنا في الكون . في القرن الثالث قبل الميلاد أريستاركوس من ساموس قال بأن الأرض تدور حول الشمس . و التجارب مثل تلك المبينة في الشكل 112 تؤكد أن المدار هو إهليلجي . لكن الصعوبة الأساسية في النظام الذي مركزه الشمس هو أن النجوم تبدو نفسها خلال كل العام . و لكن كيف يكون هذا ، إذا كانت الأرض تدور حلو الشمس ؟ المساقة بين الأرض و الشمس معروفة منذ القرن السابع عشر و لكن فقط في عام 1837 أصبح فريدريك فيلهم بيسل * أول شخص يلاحظ اختلاف مواضع نجم . و هذا كان نتيجة القياسات الدقيقة جدا و الحسابات المعقدة: حيث اكتشف توابع بيسل من أجل أن يجريها . و قد كان قادرا على إيجاد نجم / 61 Cygni / الذي موضعه الظاهري يتغير مع شهر السنة و قد شوهد في كل السنة و يصف النجم قطعا ناقصا في السماء ذو فتحة "0.588 (هذه قيمة حديثة)

فريدريك فيلهم بيسل (1846- 1784) ، فلكي من ويست فالت الذي ترك عمله الناجح ليخصص حياته للنجوم و أصبح أول فلكي في عصره

الجدول 25 القياسات الحديثة للبيانات حول حركة الأرض (من hpiers.obspm.fr/eop-pc)

القياس	الرمز	القيمة
السرعة الزاوية المتوسطة للأرض	Ω	µrad/s (1)72.921150
السرعة الزاوية الاسمية للأرض (في 1820)	Ω_N	µrad/s 72.921151467064
اليوم الشمسي الوسطي التقليدي (في 1820)	d	86400s
اليوم الفلكي / النجمي التقليدي	d_{sl}	s 86164.090530832
نسبة اليوم الشمسي التقليدي الوسطي إلى اليوم الفلكي / النجمي التقليدي	$k=d/d_{sl}$	1.002737909350795
الفترة التقليدية لليوم الكوكبي	d_{st}	86164.098903691 s
نسبة اليوم الشمسي التقليدي الوسطي إلى اليوم الكوكبي التقليدي	$k'=d/d_{st}$	1.00273781191135448
التقدم العام في خط الطول	p	a/"(2)5.028792
ميل / انحراف الكسوف (دائرة الفلك)	ε_0	"21.4119 '26 23°

دور كوستنر – تشاندلر في الإطار الأرضي	T_{KC}	d(1.7)433.1
عامل الجودة لذروة كوستنر – تشاندلر	Q_{KC}	170
دور انحناء / تذبذب القلب الحر في الإطار النجمي / الكوكبي	T_F	d(3)430.2
عامل الجودة لتذبذب القلب الحر	Q_F	2.10^4
الوحدة الفلكية	AU	km(6)149597870.691
السنة الفلكية (فترة 2000)	a_{sl}	=d 365.256363004 365d 6 h 9 min 9.76 s
السنة المدارية	a_{tr}	=d 365.242190402 365d 5 h 48 min 45.25 s
دور القمر المتوسط	T_M	d(1)27.32166155
نصف قطر الأرض الاستوائي	a	m(1)6378136.6
أول عزم عطالة استوائي	A	kg m^2 10^{37}.(2)8.0101
خط طول محور عزم العطالة الأساسي A	λ_A	°(10)14.9291-
ثاني عزم عطالة استوائي	B	kg m^2 10^{37}.(2)8.0103
عزم العطالة المحوري	C	kg m^2 10^{37}.(2)8.0365
عزم العطالة الإستوائي للغطاء	A_m	kg m^2 $7.0165.10^{37}$
عزم العطالة المحوري للغطاء	C_m	kg m^2 $7.0400.10^{37}$
تسطح الأرض	f	1/298.25642(1)
التسطح الديناميكي للأرض الفلكي	h=(C-A)/C	(1)0.0032737949
التسطح الديناميكي للأرض الجيوفيزيائي	e=(C-A)/A	(1)0.0032844547
تسطح القلب الديناميكي للأرض	e_f	(2)0.002646
الحد من الدرجة الثانية في كمون الجاذبية للأرض	J_2 =-(A+B-2C)/($2MR^2$)	10^{-3}.(1)1.0826359
المعدل الزمني لـ J_2	dJ_2 /dr	a/ 10^{-11}.(3)2.6-
رقم الحب (يقيس شكل التشوه بواسطة المد و الجزر)	k_2	0.3
رقم الحب الزمني	k_s	0.9383
الجاذبية الإستوائية المتوسطة	g_{eq}	m/s^2 (10)9.7803278
الثابت الجيومركزي / الأرضي للجاذبية	GM	m^3/s^2 10^{14}.(8)3.986004418
الثابت الشمسي للجاذبية	$GM_\odot$	m^3/s^2 10^{20}.(50)1.32712442076
نسبة كتلة القمر إلى الأرض	μ	(5)0.012300038



الشكل 114 التغيرات في حركة الأرض حول الشمس ، كما ترى من مراقبين مختلفين خارج المستوي المداري

وبعد الإزالة الدقيقة لكل التفسيرات الأخرى الممكنة فقد استنتج أن التغير في الموضع كان ناتجا عن حركة الأرض حول الشمس ، عندما ترى من نجوم بعيدة . و من حجم الكسوف فقد حدد المسافقة إلى النجم بأنها 105 Pm أو 11.1 سنة ضوئي (تحدي 272s) .

بالتالي عمل بيسل ، لأول مرة ، على قياس مسافة نجم . وبالقيام بذلك فقد أثبت أيضاأن الأرض ليست ثابتة بالنسبة للنجوم في السماء . و إن حركة الأرض لم تكن مفاجئة . وقد أكد نتيجة الحيود المذكورة للضوء المكتشفة في 1728 من قبل جيمس برادلي * و التي ستناقش أدناه (المجلد II ، صفحة 17) .

عندما ترى من السماء فإن الأرض في الواقع تدور حول الشمس .

مع تحسن المناظير ، فقد تم اكتشاف الحركات الأخرى للأرض . في عام 1748 أعلن جيمس برادلي أن هناك تغير منتظم صغير في التقدم ، الذي سمي التأرجح / التذبذب / الميل بدور يساوي 18.6 سنة و مطال زاوي يساوي "19.2

يحدث هذا التذبذب لأن مستوي مدار القمر حول الأرض ليس نفس مستوي مدار الأرض حول الشمس .

--

*جيمس برادلي

(ولد في شيربورن 1693 ، و توفي في تشالفورد 1762) كان فلكيا مهما .وقد كان من أوائل الفلكيين الذين فهموا قيمة القياس الدقيق و حدث بشكل كامل مرصد غرينتش . وقد اكتشف بشكل مستقل عن أوستاكيو مانفريدي حيود الضوء و بيّن بواسطته أن الأرض تتحرك . و بشكل خاص سمح اكتشافه بقياس سرعة الضوء و أكد القيمة 0.3 Gm/s . ولاحقا اكتشف تذبذب محور الأرض (ميله) .

هل تستطيع تأكيد أن هذا الوضع ينتج التذبذب ؟ (تحدي e 273)

أيضا اكتشف الفلكيون أن الميل بزاوية °23.5 - أو الميول – لمحور الأرض و هو الزاوية بين محورها الذاتي و عزم العطالة الزاوي المداري ، يتغير في الواقع من °22.1 إلى °24.5 بدور يبلغ 41000 سنة . هذه الحركة ناتجة عن جذب الشمس و انحرافات الأرض عن الشكل الكروي . و في عام1941 خلال الحرب العالمية الثانية فإن الفلكي الصربي ميلوتين ميلانكوفيتش (1879-1958) انعزل انفراديا و درس النتائج . وفي دراساته أدرك أن الدور البالغ 41000 سنة للتذبذب مع دور وسطي يبلغ 22000 سنة ناتج عن التقدم * وهذا يؤدي لأكثر من 20 عصر جليدي في آخر مليوني سنة .

و هذا يحدث عن طريق الإشعاه الأقوى أو الأضعف للقطبين من قبل الشمس . و إن المقادير المتغيرة من الجليد المنصهر تؤدي بالتالي إلى تغيرات في درجة الحرارة المتوسطة . و آخر عصر جليدي كانت ذروته منذ حوالي 20000 سنة خلت و انتهى منذ حوالي 11800 سنة مضت و العصر التالي ما يزال بعيدا . إن التأكيد الرائع للعلاقة بين الدورات الجليدية و الفلك سمح بمتابعة درجة الحرارة خلال ملايين السنوات الماضية .(المرجع 124) . و يبين الشكل 115 كم تتبع درجة الحرارة بشكل وثيق التغيرات في الإشعاع الشمسي بسبب التغيرات في التذبذب (ميل محور الأرض) و التقدم .

إن مدار الأرض أيضا يغير مركزه غير المشترك مع الزمن من الشكل الدائري كليا إلى البيضوي الطفيف و عودة إلى الشكل الدائري . و لكن هذا يحدث بطرق معقدة جدا ليست منتظمة الدورية و هذا ناتج عن تأثير الكواكب الكبيرة للمجموعة الشمسية على مدار الأرض . و إن المقياس الزمني النوعي هو من 000 100 إلى 000 125 سنة .

بلإضافة لذلك يتغير مدار الأرض بانتظام كل 000 100 عام و في هذه الفترة يتغير الميل من °2.5 + إلى °2.5- ويعود متكررا .

حتى الاتجاه الذي يشير إليه الخسوف يتغير مع الزمن . هذا ما يعرف بالانحراف المحيطي الشمسي و هو ناتج في أكثره عن تأثير الكواكب الأخرى ، و الجزء المتبقي الصغير سيكون مهما في الفصل الذي يبحث النسبية الخاصة . إن الانحراف المحيطي الشمس لعطارد كان أول بيانات تؤكد نظرية أينشتاين .

من الواضح أن ططول السنة أيضا يتغير مع الزمن . التغيرات المقاسة هي من مرتبة بضعة أجزاء في 10^{11}

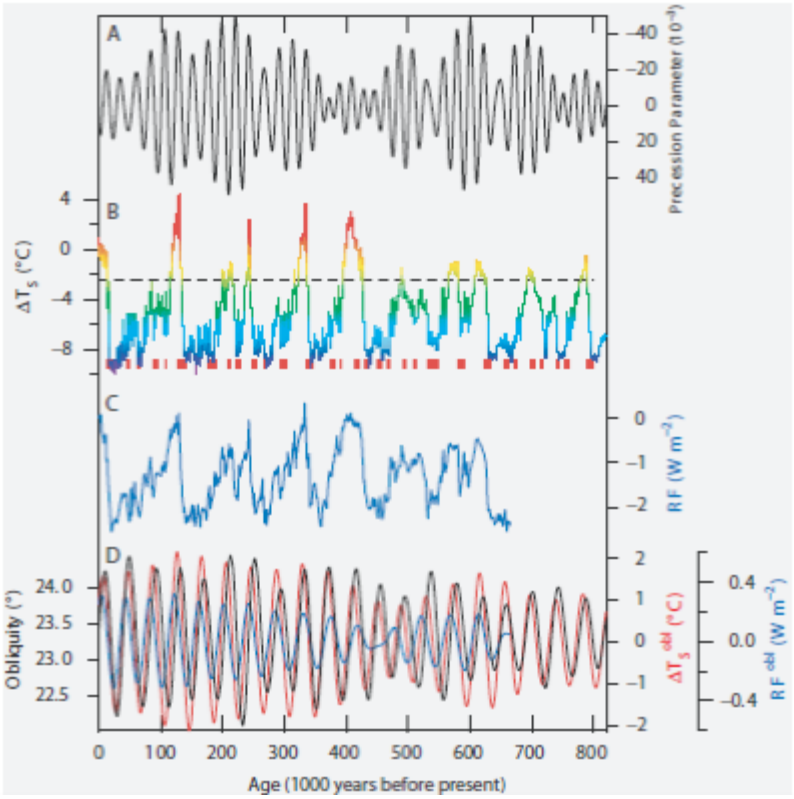
أو حوالي 1 ms بالسنة . و لكن معرفة هذه التغيرات و أصلها هو أقل تفصير بكثير من التغيرات في دوران الأرض .

الخطوة التالية هي سؤال فيما إذا كانت الشمس نفسها تدور . و في الحقيقة هي تدور . موضعيا ، هي تتحرك بسرعة 19.4 km/s باتجاه كوكبة هرقل . وهذا أظهر من قبل ويليام هيرشل في عام 1783 . و لكن إجمالا ، الحركة هي أكثر روعة . إن قطر المجرة هو على الأقل 000 100 سنة ضوئية ولكننا واقعين على بعد 000 26 سنة ضوئية من المركز . (هذا معروف منذ عام 1918 ، حيث أن مركز المجرة يقع في اتجاه كوكبة برج القوس .

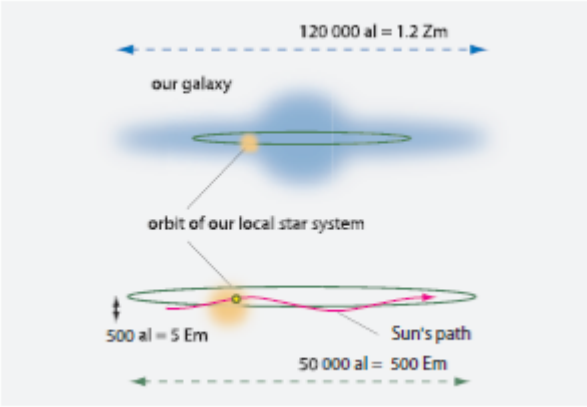
في موضعنا فإن المجرة هي بسماكة 1300 سنة ضوئية ، حاليا ، تحت أعلى من مركز المستوي بـ 68 سنة ضوئية أ المرجع 125) . الشمس مع المجموعة الشمسية تستغرق حوالي 225 مليون سنة لتدور مرة حول مركز المجرة ، و سرعتها المدارية هي تقريبا 220 km/s .و يبدو أن الشمس سيتستمر في الدوران بعيدا عن مستوي المجرة حتى حوالي 250 سنة ضوئية أعلى من المستوي ، و بعدها تعود كما هو مبين في الشكل 116 .

--

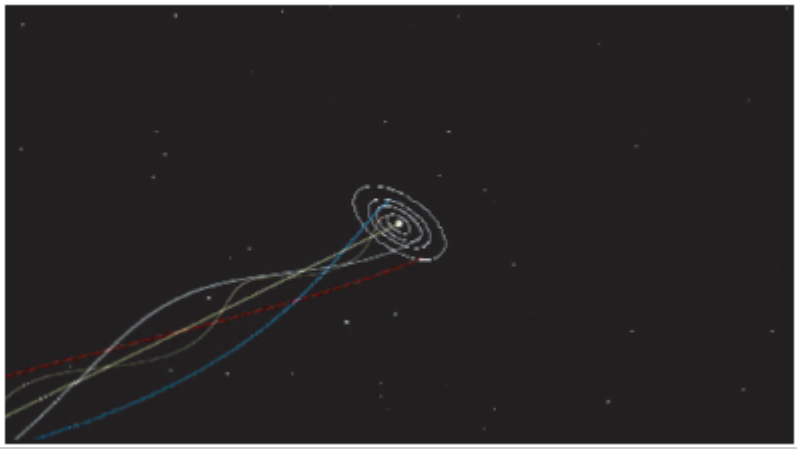
في الحقيقة يؤدي التقدم بمقدار 28500 سنة إلى ثلاثة فترات معزولة تبلغ 19000 & 22400 , 23700 سنة بسبب تبادل التأثير بين التقدم و الانزياح الشمسي المحيطي .



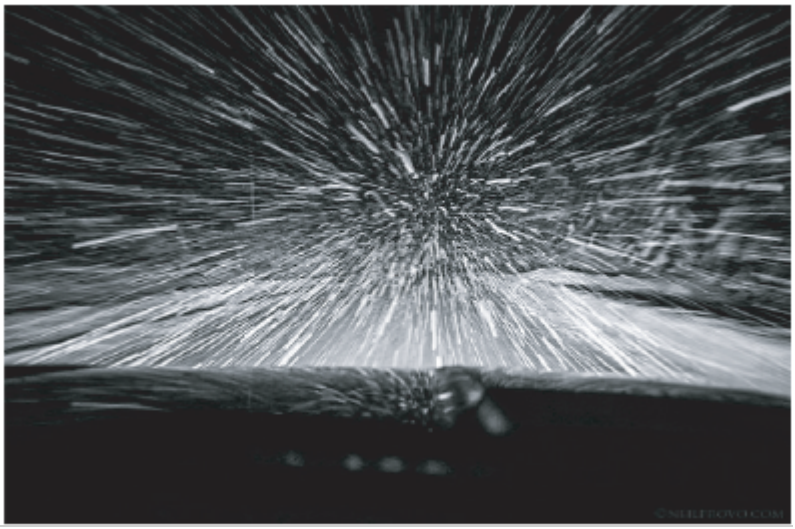
الشكل 115 القياسات الحديثة تبين كيف أن قيمة تقدم الأرض (المنحني الأسود A) و التذبذب (المنحني الأسود C) يؤثران على درجة الحرارة المتوسطة (المنحين الملون B) و تشعيع الأرض (المنحني الأزرق C) خلال السنوات 800 000 الماضية : التذبذب يستنتج بواسطة تحليل فورييه من بيانات التشعيع RF (المنحني الأزرق D) و التذبذب يستنتج من تحليل فورييه لدرجة الحرارة (المنحني الأحمر D) الذي يطابق التذبذب المعروف من البيانات الفلكية (المنحني الأسود D) و أحداث التبريد الحادة تحدث متى ارتفع التذبذب بينما قيمة التقدم كانت تهبط (المعلمة بالأحمر أسفل منحني درجة الحرارة) .



الشكل 116حركة الشمس حول المجرة



الشكل 117 الحركة الحلزونية لأول أربعة كواكب حول المسار الذي تتبعه الشمس خلال حركتها حول مركز درب التبانة .
البني : عطارد ، الأبيض : الزهرة ، الأزرق : الأرض ، الأحمر : المريخ



الشكل 118 القيادة عبر ندف الثلج يبين تأثيرات الحركة التسبية في الأبعاد الثلاثية

(المرجع 205) التأثيرات المشابهة ترى عندما تتسارع الأرض عبر الكون .

دور التذبذب يقدر بأنه حوالي 62 مليون سنة وقد أظهر القياس أن مجرتنا نفسها تدور ؟ (تحدي 274 s)

أخيرا يمكننا أن نسأل فيما إذا كانت مجرتنا تدور . إن حركتها في الواقع يمكن أن تلاحظ لأنه من الممكن أن تعطي قيمة حركة الشمس عبر الكون ، و التي تعرف بأنها الحركة التي تكون مقابل إشعاع الخلفية . و هذه القيمة تم قياسها ووجدت تساوي 370 km/s (المرجع 126) . (سرعة الأرض عبر إشعاع الخلفية بالطبع يعتمد على الفصل) و هذه القيمة هي مجموع حركة الشمس حول مركز المجرة و حركة المجرة نفسها . هذه الحركة الأخيرة ناتجة عن

الجذب الجاذبي / الثقالي للآخر ، و المجرات المجاورة في مجموعة مجراتنا المحلية * .

في الملخص ، فإن الأرض فعلا تتحرك ، و هي تفعل ذلك بطرق معقدة . كما قال هنري بوانكريه إذا كنا في بقعة معنية اليوم ، ليكن البانثيون في باريس وعدنا لنفس المكان غذدا في نفس الوقت ، فإننا في الحقيقة على بعد 31 مليون كيلو متر عن المكان . هذه الحالة من الواقع تجعل السفر عبر الزمن صعبا جدا حتى لو كان ممكنا (و هذا ليس كذلك) متى أردت العودة للماضي فإن عليك أن تصل إلى بقعة قديمة تماما !

هل السرعة مطلقة ؟ - نظرية النسبية اليومية

لماذا لا نشعر بحركة الأرض أبدا ؟ الجزئين من الجواب أعطيا في عام 1632 . قبل كل شيء ، شرح غاليليو أننا لا نشعر بتسارعات الأرض لأن التأثيرات التي تنتجها صغيرة جدها بحيث تعجز حواسنا عن إدراكها . في الواقع العديد من التسارعات المذكورة تحرض تأثيرات قياسات فقط في تجارب ذات دقة عالية مثل الساعات الذرية (المجلد II ، صفحة 135).

لكن النقطة الثانية التي بينها غاليليو هي مهمة بنفس القدر : من المستحيل أن نشعر بالسرعة العالية التي نتحرك بها ز نحن لا نشعر بالحركات الانتقالية غير المتسارعة لأن هذا من حيث المبدا مستحيل . ناقش غاليليو القضية بمقارنة القياسات لمراقبين : واحد على الأرض و آخر على واسطة نقل الأحدث ما يكون غير متسارعة في الزمن ، سفينة ، و تساءل غاليليو فيما إذا كان الرجل على الأرض و رجل في سفينة تتحرك بسرعة ثابتة لا يعاني (أو يشعر) بأي شيء مختلف .

هذا نهاية السلم تقريبا . لاحظ أن تمدد الكون الذي سيدرس لاحقا لا ينتج أي حركة .

استخدم أينشتاين المراقبين في قطار و لاحقا أصبح من الطبيعي استخدام مسافرين في صاروخ (التحدي e 275) (ما الذي سيأتي بعد ذلك ؟) . و شرح غاليليو أن السرعات النسبية فقط بين الأجسام تنتج تأثيرات و ليس القيم المطلقة للسرعات . بالنسبة لحواسنا و بالنسبة لكل القياسات نجد :

- ليس هناك فرق بين الحركة الثابتة غير المضطربة ، و لكن السريعة يمكن أن يكون لها فرق و السكون . و هذا يعرف بمبدأ غاليليو في النسبية .

في الحقيقة في الحياة اليومية فإننا نشعر بالحركة فقط بوسائط النقل التي تجعلنا نرتعش إذا تسارعت – أو نتحرك مقابل الهواء . بالتالي استنتج غاليليو أن مراقبين في حركة مستقيمة و غير مضطربة مقابل بعضهما البعض لا يمكن القول أيهما يتحرك فعلا . مهما كانت سرعتهما النسبية لا يشعر أي منهما بحركة *.

السكون هو مسبي . أو بشكل أكثر وضوحا : السكون هو مفهوم تابع للمراقب . هذه النتيجة في فيزياء غاليليو مهمة جدا بحيث أن بوانكريه طرح تعبير نظرية النسبية و كرر أينشتاين المبدأ صراحة عندما نشر نظريته الشهيرة للنسبية . لكن هذه الأسماء مزعجة . فيزياء غاليليو أيضا هي نظرية نسبية . و نسبية السكون هي مشتركة لكل الفيزياءات ، هي ناحية أساسية في الحركة .

في الملخص ، الحركة غير المضطربة أو المنتظمة ليس لها تأثير قابل للمراقبة و الملاحظة فقط تغير الحركة يملك ذلك . بالنتيجة كل فيزيائي يمكن أن يستنتج شيئا بسيطا حول العبارة التي قالها ويتنجشتاين :

"الشمس ستشرق غدا ، هي فرضية ، و هذا يعمي أننا لا نعلم فيما إذا كانت ستشترق " هذه العبارة المعروفة جيدا توجد في لودفيغ ويتنجشتاين ، تراكتاتوس 6.36311 .

*في عام 1632 ، في كتابه المحاورة ، كتب غاليليو : " أغلق الباب على نفسك مع صديق ما في الكبين الرئيسي أسفل سطح سفينة كبيرة ما ، و اجعلا معكما بعض الذبابات ، و حيوانات أخرى صغيرة طائرة.لتأخذ وعاءا كبيرا من الماء مع بعض السمك فيه: علق زجاجة التي تفرغ قطرة بعد قطرة في وعاء كبير تحتها . وعند كون السفينة ساكنة ، راقب بدقة كيف أن الحيوانات الصغيرة تطير بسرعة متساوية مع كل جوانب الكبين .

السمك يسبح بشكل غير مختلف في كل الاتجاهات ، القطرات تنسكب في الوعاء تحتها ، وعندما ترمي شيئا ما لصديقك ، تحتاج لأن ترميه بنفس القوة في كل الاتجاهات . عندما تراقب كل هذه الأشياء بدقة (بالرغم من أنه ليس هناك شك أنه عندما تكون السفينة ساكنة كل شيء يجب أن يحدث بهذا الشكل) و الآن اجعل السفينة تتحرك بأي سرعة ترتيدها ، بحيث

أنه طالما أن الحركة منتظمة و ليست متذبذبة بشكل أو آخر ، سوف تكتشف أنه ليس التغير الأقل في كل التأثيرات المسماة ، و لا يمكنك أن تقول عن أي منها سواء كانت السفينة تتحرك أو ساكنة .

في القفز يمكنك أن تنتقل على الأرض في نفس الفراعات كما في السابق ، و لن تقوم بقفزات أكبر باتجاه مؤخرة السفينة و لا باتجاه المقدمة حتى بالرغم من أن السفينة تتحرك بسرعة تماما ، بالرغم من حقيقة أنه خلال الزمن الذي تكون فيه في الهواء فإن الأرضية تحتك ستسير في اتجاه معاكس لقفزتك . و في رمي شيء ما لرفيقك ، سوق تحتاج لمزيد من القوة ليصل إليه سواء كان في اتجاه المقدمة أو المؤخرة ، حيث أنك بنفسك متوضع بشكل معاكس . و القطرات سوف تسقط كما في السابق في الوعاء تحتها بدون السقوط باتجاه المقدمة ، بالرغم من أنه بينما القطرات هي في الهواء فإن السفينة تقطع مراحل عديدة . السمك في الماء سيسبح باتجاه الأمام في وعائه بدون تغيير المجهود عند السباحة للخلف وسوف يمضي بنفس السهولة إلى المجموعة الموضوعة في أي مكان حول حواف الوعاء . أخيرا الفراشات و الذبابات ستستمر في طيرانها بشكل غير مختلف باتجاه كل طرف ، و لن يحدث أبدا أنها ستتجمع منفصلة تجاه المؤخرة كما لو أنها حاولت أن تساير حركة السفينة . و إذا كان هناك دخان ناتج عن حرق بعض البخور ، فإنه سيرى ذاهبا بشكل غيمة صغيرة ، و يبقى ثابتا و لا يعود متحركا باتجاه أحد الأطراف أكثر من الآخر . إن سبب كل هذ التأثيرات المتوافقة هي حقيقة أن حركة السفين مشتركة بالنسبة لكل الأشياء المحتواة فيها ، و بالنسبة للهواء أيضا . وهذا يبين لماذا أنا أقول أن عليك أن تكون أسفل السطح ، حيث أن هذا يحدث في الأعلى في الهواء الطلق و الذي لن يتبع مسار المركب ، بشكل فروقات أقل أو أكثر التي يمكن لحظها و سترى في في بعض التأثيرات الملحوظة .

إن هذا القول خاطئ . هل يمكن أن تشرخ كيف أخطأ ويتنجشتاين هنا ، بالرغم من رغبته في ألا يخطئ ؟ (تحدي 276 s).

هل الدوران نسبي ؟

عندنا ندور بسرعة ، ترتفع ذراعانا . لماذا يحدث هذا ؟ كيف يمكن لجسمنا أن يكشف فيما إذا كما ندور أو لا ؟ هناك جوابين ممكنين . الأول يطرحه نيوتن ، و هو أن هناك فراغ كطاق ، عندما ندور مقابل هذا الفراغ ، الجملة تقوم برد الفعل

و الجواب الآخر هو مرحظة أنه متر ارتفع الذراعان ، فإن النجوم أيضا تدور ، و تماما بنفس الشكل . بمعنى آخر ، جسمنا يكشف الدوران لأننا نتحرك مقابل توزع الكتلة المتوسطة في الفراغ .

المناقشة الأكثر اعتبارا لهذا السؤال هي العائدة لتيوتن . بدلا من الذراعين فقد درس الماء في دلو يدور . في الدلو الدوار ، سطح الماء يشكل شكلا مقعرا بينما السطح مسطح / مستوي في الدلو الذي لا يدور . تساءل نيوتن لماذا يحدث هذا . كالمعتاد بالنسبة للقضايا الفلسفية كان جوانب نيوتن مدفوعا بالباطنية التي نتجت عن موت أبيه سابقا . رأى نيوتن الفراغ المطلق كمفهوم باطني و ديني و لم يكن حتى قادرا على تصور بديل . بالتالي راي نيوتن الدوران كنوع مطلق من الحركة

و أكثر العلماء المعاصرين لديهم مشاكل شخصية أقل و مزيد من الحس المشترك عما هو عليه نيوتن و بالنتيجة العرف المعتر اليوم هو أن تأثيرات الدوران هي ناتجة عن توزع الكتلة في الكون .

- الدوران نسبي

إن عددا من التجارب عالية الدقة تؤكد هذه النتيجة و بالتالي هي أيضا جزء من نظرية أينشتاين النسبية .

الفضول و التحديات المرحة حول الدوران و النسبية

عندما تسافر في اقلطار يمكنك اختبار عبارة غاليليلو حول النسبية اليومية للحركة . أغلق عينيك و اطلب من شخص ما أن يدور حولك بضع مرات : عهل تستطيع القول في أي اتجاه يسير القطار . (تحدي 277 e) .

* *

تحدي 278 s : ميزان الحمّام الجيد المستخدم لتحديد وزن الأجسام لا يبين وزنا ثابتا عندما تقف عليه و يبقى بلا حركة . لماذا ذلك ؟

* *

تحدي 279 s : إذا أطلق مسدس موجود على خط الاستواء طلقة شاقوليا أين تسقط الطلقة ؟

* *

تحدي 280 s : لماذا أكثر مواقع إطلاق الصواريخ تكون قريبة قدر الإمكان من خط الاستواء ؟

* *

عند خط الاستواء سرعة الدوران للأرض هي 464 m/s أو تقريبا 1.4 ماك و الرقم الأخير يعني أنها تساوي 1.4 سرعة الصوت . هذه الحركة فوق الصوتية لها نتيجتين مهمتين .

أولا ، سرعة الدوران تحدد حجم الظواهر المناخية النوعية . وهذا الحجم الذي يعرف بنصف قطر روسبي يعطى بسرعة الصوت (أو سرعة نوعية أخرى ما) مقسمة على ضعفي سرعة الدوران الموضعية مضروبة بنصف قطر الأرض .

في خطوط العرض المتوسطة ، نصف قطر روسبي هو حوالي 2000 km . وهذه النسبة القابل للتحجيم لنصف قطر الأرض ، بحيث أن فقط بضع أنظمة طقس كبيرة تكون موجودة على الأرض في أي زمن معين . إذا دارت الأرض بشكل أبطأ فإن الطقس سيحدد بتدفقات موضعية قصيرة الأمد ، و لن يكون هناك انتظام عام . إذا درات الأرض بشكل أسرع فإن الطقس سيكو أكثر عنفا – كما على المشتري – لكن نصف قطر روسبي الصغير يقتضي أن بنى الطقس الكبيرة لها عمر طويل مثل البقعة الحمراء على المشتري ، و التي دامت لعدة قرون و من ناحية ، دورات الأرض له سرعة التي تعطي الطقس الأكثر روعة .

* *

إن النتائج الأخرى لقيمة سرعة دروان الأرض تتعلق بسماكة الغلاف الجوي . إن ماك واحد ، تقريبا ، هي السرعة لاحرارية لجزيئات الهواء . و هذه السرعة غير كافية لجزيئة الهواء لتصل إلى الارتفاع المميز للغلاف الجوي البالغ حوالي ستة كيلومترات . من ناحية أخرى ، سرعة الدوران Ω للأرض تحدد اختلافها h عن الكروية (المرجع 137) : الأرض مسطحة ، كما قلنا أعلاه . تقريبا فإن لدينا $gh=\Omega^2 R^2/2$ ، و حوالي 12 km . (هذا صحيح ضمن 50% من القيمة الفعلية البالغة 21 km) . و بالتالي وجدنا أن سرعة الدوران للأرض تستدعي أن تسطحها مقارن مع سماكة الغلاف الجوي .

* *

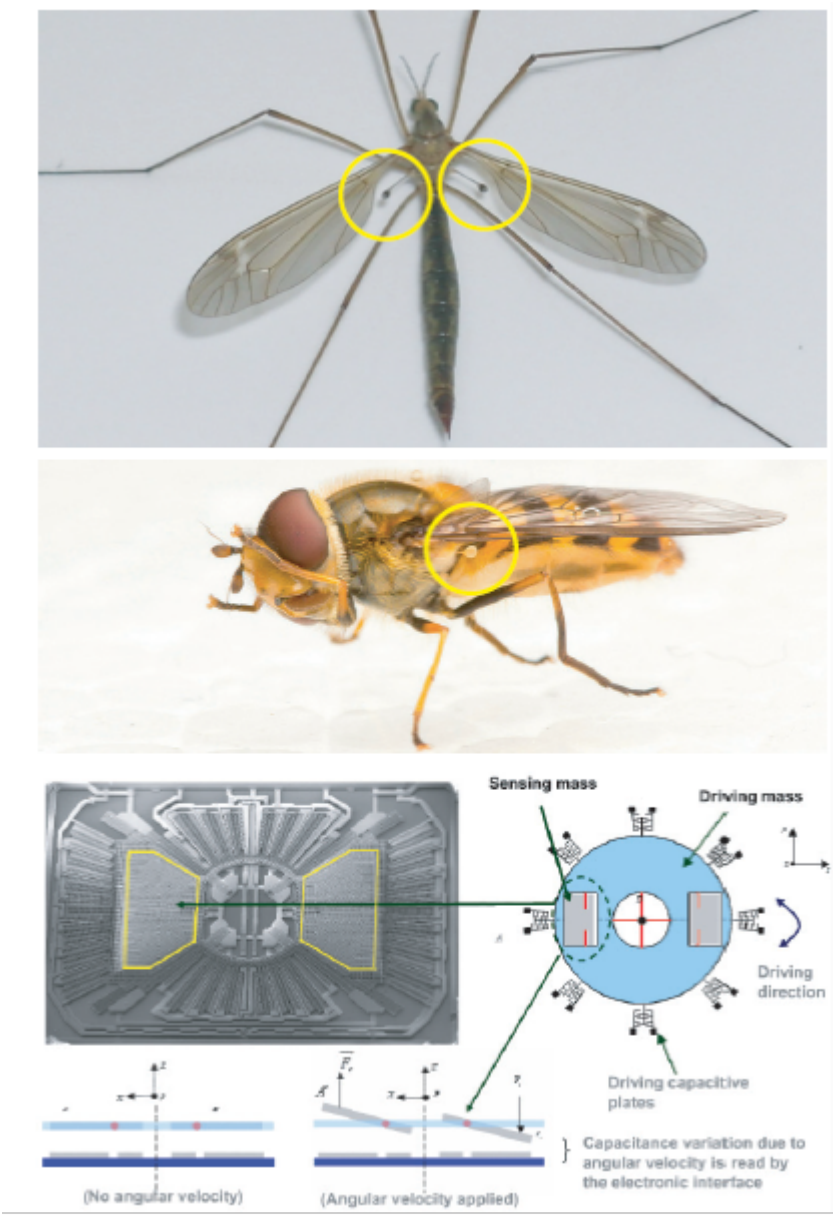
إن أثر كوريوليس يؤثر على الأنهار و شطآنها . هذا الربط المدهش تم في عام 1860 من قبل كارل غرنست فون باير الذي وجد أنه في روسيا العديد من الأنهار تجري من الشمال في الأراضي المنخفضة و لها شاطئ ايمن منحدر و عالي , و شاطئ أيسر منخفض و مسطح (هل يمكنك أن تشرح لماذا ؟) تحدي 283 e . وقد وجد أيضا أن الأنهار في نصف الكرة الجنوبي تبدي تأثير معاكس .

إن أثر كوريوليس ينقذ حياة الناس ويساعدهم . و في الحقيقة له تطبيق مهم من أجل أنظمة الملاحة ، الاستخدامات النوعية مبينة في الشكل 119 . الحشرات تستخدم كتل طنانة لاستقرار توجهها ، و تحديد اتجاه حركتها و إيجاد طريقها

أكثر الحشارت ثنائية الأجنحة تستخدم محافظات اهتزازية للملاحة : بشكل خاص النحل ، ذباب الفرس ، ذباب الزهر و ذباب الرافعة تطير باستخدامها .

الحشرات الأخرى مثل العث ، تستخدم قرون استشعار للملاحة . و السيارات ، الأقمار الصناعية و الهواتف النقالة ، نماذج المرحيات التي يتم التحكم بها عن بعد و ألعاب الحاسوب أيضا تستخدم كتل اهتزازية كحساسات توجيه و ملاحة تماما كما تفعل الحشرات

في كل تطبيقات الملاحة ، واحد أو بضع كتل صغيرة تهتز إذا كانت الجملة المرتبطة معها تدور ، فإن التغير في التوجه يؤدي إلى أثر كوريوليس



الشكل 119 استخدام أثر كوريوليس في الحشرات – هنا ذبابة رافعة و ذباب الزهر و في الأنظمة الكهرميكانيكية الدقيقة (حجما حوالي بضع مليمترات) كلها تعطي إشارات ملاحة للأنظمة المتصلة معها .

إن الأثر يقاس بكشف التغير الحادث في الشكل الهندسي ، التغير و بالتالي في قوة الإشارة ، يعتمد على السرعة الزاوية و اتجاهها . مثل حساسات التوجيه هذه بالتالي تدعى جيروسكوبات كوريوليس المهتزة و إن تطويرها و إنتاجها هو جزء كبير من الشركات عالية التقنية – و التطور الحيوي .

* *

إن زبونا ثريا و متطلبا طلب من مهندسه المعمار أن يصمم و يبني منزلا له أربعة جدران باتجاه الجنوب . كيف يمكن للمعمار أن يحقق هذا الطلب ؟ (تحدي e 282) .

* *

هل يمكن السفر في الفضاء بين الكواكب أن يكون صحي ؟ الناس غالبا يحلمون برحلات طويلة لجوانب الكون وقد بينت التجارب أن الرحلات ذات الفترات الطويلة ، الإشعاع الكوني ، ضعف العظام ، تنكس العضلات ، و المشاكل الفيزيلوجية هي أكبر الأخطار . و العديد من الخبراء الطبيين يتساءلون عن مدى حيوية السفر في الفضاء الذي يدوم أكثر من بضع سنين (سنتين) . الأخطار الأخرى هي حروق الشمس السريعة ، على الأقل قرب الشمس ، و التعرض للخلاء . وحتى الآن تمكن شخص واحد من البقاء في الخلاء بدون حماية . (المرجع 127) . و قد فقط وعيه بعد 14 ثانية و لكنه نجا بدون أي أذية .

* *

تحدي s 283 : في أي اتجاه يميل اللهب داخل جرة على طاولة دوارة تدور ؟

* *

إن مبدا غاليليو في النسبية اليومية ينص على أنه من المستحيل تحديد سرعة مطلقة . أيضا من المستحيل تحديد موضع مطلق ، و زم مطلق و اتجاه مطلق ، هل هذا صحيح ؟ (تحدي s 284) .

* *

هل يوجد تسارع نابذ (القوة الطاردة) ؟ أكثر طلاب الجامعات يصدموا عند لقاء أستاذ الذي يقول أنه لا يوجد و أن هذا مقدار خيالي ، في وجه ما يعايشه المرء يوميا في سيارة تدور حول منعطف . ببساطة اسأل المعلم الذي ينكر هذا ليعرف الوجود . (تعريف الذي يستخدمه الفيزيائيون عادة سيعطى لاحقا) (المجلد III صفحة 250) . و بعدها تأكد فيما إذا كان التعريف يطبق على المصطلح و قم بإقرار ما يرشدك إليه عقلك . (تحدي s 285) .

سواء أحببت مصطلح التسارع النابذ أو تجنتبته باستخدام نقيضه ، فإن ما يعرف بالتسارع المركزي الجذب (الجابذ) ، عليك أن تعرف كيف يحسب . نحن نستخدم خدعة بسيطة . من أجل جسم في حركة دائرية ذات نصف قطر r ، قيمة السرعة v هي $v = dx/dt$ و هي $v = 2\pi r/T$. الشعاع v يسلك مع الزمن مثل موضع الجسم : حيث يدور باستمرار و بالتالي قيمة التسارع النابذ / الجابذ $a = dv/dt$ تعطى بالعلاقة المقابلة وهي $a = 2\pi v/T$.

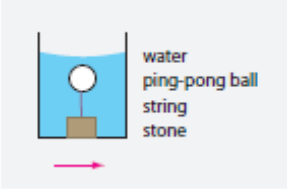
بحذف T نجد أن التسارع النابذ / الجابذ a لجسم يدور بسرعة v بنصف قطر r يعطى بالشكل :

$$a = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r \,. \qquad (36)$$

هذا هو التسارع الذي نشعر به عند الجلوس في سيارة التي تدور في منعطف .

* *

الحركة الدورانية تحتوي مفاجئة صغيةر لكل شخص يدرسها بعناية , كمية الحركة الزاوية هي مقدار ذو قيمة و اتجاه و لكنه ليس شعاع كما تبين أي مرآة .



الشكل 120 كيف تتحرك كرة عندما الجرة تتسارع في اتجاه السهم ؟

إن كمية الحركة الزاوية لجسم يدور في مستوي موازي لمرآة يتصرف بشكل مختلف عن السهم العادي : إن صورته المرآتية لا تنعكس إذا كان يشير باتجاه المرآة (تحدي e 286) . هل يمكنك التأكد من هذا بنفسك ؟

لهذا السبب فإن كمية الحركة الزاوية تعرف بالشعاع الكذاب (هل الدورانات أشعة كاذبة ؟) (تحدي e 287) .

الحقيقة ليس لها نتائج مهمة في الفيزياء الكلاسيكية (صفحة 283) و لكن يجب أن نتذكر هذا من أجل ما سيتقدم عندما ندرس الفيزياء النووية . (المجلد V ، صفحة 245) .

* *

ما هي أفضل طريقة لنقل عدد من فناجين القهوة الممتلئة أو الشاي بينما في نفس الوقت نتجنب انشكاب أي سائل ثمين ؟ (تحدي s 288) .

* *

إن كرة الطاولة المرتبطة بخيط إلى حجر و الكل موضوع تحت الماء في جرة . التجربة مبينة في الشكل 120 . الآن إذا تسارعت الجرة أفقيا ، مثلا في سيارة . في أي اتجاه تتحرك الكرة ؟ ما الذي تستنتجه من أجل جرة ساكنة ؟ (تحدي 289 (s

* *

القمر يتراجع عن الأرض بمسافة 3.8 cm سنويا ، بسبب الاحتكاك . هل يمكنك أن تجد الآلية المسؤولة عن الأثر ؟

(تحدي s 290)

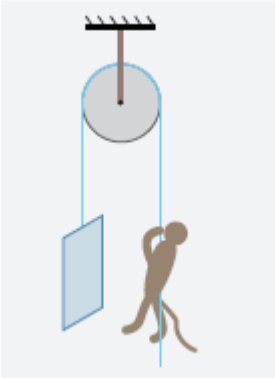
* *

ما هي الزلازل ؟ الزلازل هي أمثلة كبيرة على نفس العملية التي تجعل الباب يصر . الصفائح القارية تقابل الأسطح المعدنية في مفاصل الباب ؟

الزلازل يمكن وصفها كمصادر طاقة . إن مقياس ريختر هو قياس مباشر لهذه الطاقة . إن قيمة ريختر M_s لزلزال ، هي رقم صرف ، يعرف من الطاقة E بالجول بالشكل :

$$M_s = \frac{\log(E/1\,\mathrm{J}) - 4.8}{1.5}\,. \qquad (37)$$

الأرقام الغريبة في العلاقة تم اختيارها لجعل قيم الزلزال قريبة قدر المستطاع من مقياس ميركالي الأقدم النوعي (الآن يعرف بـ EMS98) الذي يصنف شدة الزلازل . لكن هذا ليس ممكنا بشكل كامل ، حيث أن أكثر أدوات القياس حساسية اليوم التي تكشف الزلازل ذات قيمة 3- و أعلى قيمة تم قياسها قط كان قيمة ريختر التي تبلغ 10 في تشيلي عام 196 و القيم الأكبر من 12 ممكنة . هل يمكنك أن تبين لماذا ؟ تحدي s 291 .



الشكل 121 ما الذي يحدث عندما يتسلق القرد ؟

* *

ما هي حركة النقطة على سطح الأرض التي للشمس في سمتها أي عامودية فوقها - عندما ترى على خارطة للأرض خلال يوم واحد ؟ و يوما بعد يوم ؟ تحدي 292 ny .

* *

هل يمكن أن أن صحن قمر اصطناعي للأقمار الصناعية التلفزيونية الثابتة في المدار تركز الشمس على المستقبل ؟ (تحدي 293 s) .

* *

لماذا من الصعب إطلاق صاروخ من طائرة في اتجاه معاكس لحركة الطائرة ؟ (تحدي 294 s) .

* *

قرد يتعلق على حبل . الحبل معلق على دولاب و مربوط بكتلة تساوي الوزن المعلق للسفل من الطرف الآخر ، كما هو مبين في الشكل 121 . الحبل و الدولاب عديمي الكتلة و عديمي الاحتكاك . ما الذي يحدث عندما ستلق القرد الحبل ؟ (تحدي 295 s) .

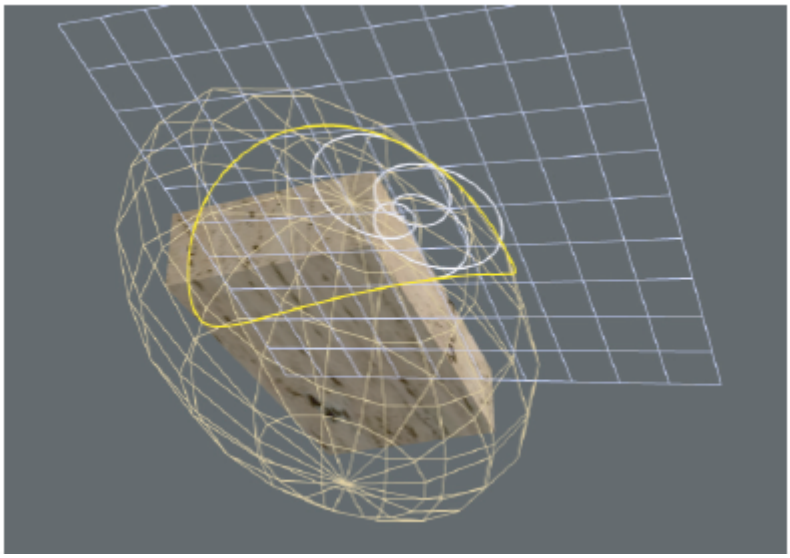
* *

هل يمكن لمتزلج على الماء أن يتحرك بسرعة أعلى من قارب يسحبه ؟ (تحدي 296 s)

* *

ربما تعرف " الدينانبي " و هو جهاز جيروسكوبي يحمل باليد الذي يمكن أن يستارع لسرعة عالية بواسطة حركات معينة باليد . كيف يعمل ؟ (تحدي 297 d) .

* *



الشكل 122 حركة سرعة زاوية لطوبة تهتز . رأس شعاع السرعة الزاوية يتحرك على طول المنحني الأصفر ، polhode وهو يتحرك مع الجسم المهتز ، كما تفعل شبكة إهليلجية تمثل إهليلج الطاقة ، إن herpolhode هو ضمن المنحني الأبيض و يقع في مستوي الأوزرق الناصع عبر النموذج الذي يمثل المستوي غير المتغير (أنظر النص) .

إن الرسم التحريكي خلف المشهد يوضح العبارة المعروفة جيدا : يتحرج polhode بدون انزلاق على herpolhode الذي يقع في المستوي غير المتغير . إن الرسم المتحرك الكامل متوفر على الإنترنت www.iamls.net/sim/3d-rigid-body-simulation/ . أي جسم صلب حر غير منتظم دوار يتبع مثل هذه الحركة . من أجل الأرض ، التي تدور و هي غير منتظمة ، لكن ليست حرة بشكل كامل و لا صلبة ، هذا الوصف فقط تقريب .

من الممكن صنع سطح يبرم بواسطة محبس ورق معدني ؟ حتى من الممكن صنع واحد من هذه السطوح

التي تدور على رأسها عند البرم . هل يمكنك أن تجد كيف ؟ (تحدي 289 s) .

* *

عزم العطالة لجسم يعتمد على شكل الجسم و عادة كمية الحركة الزاوية و السرعة الزاوية لا تشير إلى نفس الاتجاه . هل يمكنك تأكيد هذا بمثال ؟ (تحدي 299 s) .

* *

ما هو عزم عطالة كرة متجانسة ؟ (تحدي 300s)

* *

عزم العطالة الكامل لجسم صلب / جاسئ يحدد بقيم على طول ثلاثة محاور أساسية . هذه القيم كلها متساوية من أجل الكرة و المكعب . هل هذا يعني أنه من الممكن تمييز كرة عن المكعب بسلوكهما العطالي ؟ (تحدي كرة عن المكعب بسلوكهما العطالي ؟ (تحدي 301 s) .

* *

هاهنا بعض المرح الرياضي حول دوران الجسم الصلب الحر . حتى من أجل جسم صلب يدور بحرية ، مثل الطوبة التي تدور في الفضاء الحر ، السرعة الزاوية بشكل عام ليست ثابتة : الطوبة ترتعش بينما تدور . في هذه الحركة ، كل من الطاقة و كمية الحركة الزاوية ثابتة و لكن السرعة الزاوية ليست كذلك , بشكل خاص حتى اتجاه السرعة الزاوية لا يكون ثابت ، بمعنى آخر يتغير القطب الشمالي مع الزمن .

في الحقيقة يتغير القطب الشمالي مع الزمن لكل من مراقب على الجسم و في الفضاء الحر . كيف يتحرك القطب الشمالي و النقطة النهائية لشعاع السرعة الزاوية ؟

الصفحة 275 : عزم العطالة هو تنسور و يمكن تمثيله بواسطة مجسم ناقص (إهليلجي) . بالإضافة لذلك حركة الجسم الصلب الحر توصف في فضاء السرعة الزاوية ، بواسطة مجسم ناقص للطاقة الحركية – لأن طاقة دورانها ثابتة . و عندما يتحرك جسم صلب حر ، فإن مجسم الطاقة الحركية الناقص – وليس المجسم الناقص لعزم عطالته – يتدحرج على مستوي غير متغير المتعامد (و الثابت) على كمية الحركة الزاوية الابتدائية للجسم (تحدي 302 e) .

هذا هو الوصف الرياضي للحركة الارتعاشية . المنحني الذي ترسمه السرعة الزاوية أو القطب الشمالي الممتد للجسم ، على مستوي ثابت يعرف بـ herpolhode . و هو يتضمن منحني الذي ينتج من حركتين مخروطيتين منضافتين

بالنسبة لمراقب على الجسم الدوار ، يكون المنحني الآخر أكثر جمالا . قطب الجسم الدوار يرسم منحني على المجسم الناقص للطاقة – الذي هو نفسه متصل بالجسم . و هذا المنحني يعرف بـ polhode . إن polhode هو منحني مغلق ذو ثلاثة أبعاد ، و herpolhode هو منحني مفتوح مفيد ذو بعدين . و المنحنين سميا على اسم لويس بوانسو و هما مفيدان بشكل خاص لوصف حركة الأجسام الدوارة ذات الشكل غير المنتظم ومن جل عرض كامل أنظر موقع الإنترنت الممتاز www.ialms.net/sim/ed-rigid-body-simulation .

إن polhode هو دائرة فقط إذا كان الجسم الصلب له تناظر دوراني ، و حركة القطب بالتالي تعرف بالتقدم (صفحة 147)

و التي صادفناها أعلاه . و كما هو مبين في الشكل 109 فإن polhode المقاس للأرض ليس بالشكل المتوقع ، هذا التغير ناتج عن عدة تأثيرات ، من بينها عدم صلابة / جسوئية كوكبنا .

حتى بالرغم من أن كمية الحركة الزاوية لطوبة ترتعش ثابتة في الفراغ ، فإنها غير ثابتة في إطار الجسم . هل يمكنك تأكيد هذا ؟ (تحدي e 303) . في إطار الجسم نهاية كمية الحركة الزاوية لطوبة ترتعش يتحرك على طول منحني آخر معطى بتقاطع كرة و مجسم ناقص ، كما أشار لذلك جاك بينيه .

* *

هل من الصحيح أن القمر في الربع الأول في نصف الكرة الشمالي يبدو مثل القمر في آخر ربع في نصف الكرة الجنوبي ؟

(تحدي s 304).

* *

إن التأكيد الجميل بأن الأرض كرة يمكن أن يرى عند الغروب إذا درنا مقابل حالتنا المعتادة ، وكان ظهرنا للشمس . في سماء شرقية يمكننا أن نرى البزوغ الرائع لظل الأرض , و يمكننا أن نعجب بالظل الواسع الذي يظهر فوق كل الأفق ، من الواضح أن له شكل مقطع دائرة ضخمة . يبين الشكل 124 مثالا على ذلك . في الحقيقة إن الدراسات الأكثر دقة تبين أنه ليس ظل الأرض لوحده و لكن ظل الأيونوسفير العائد لها

* *



الشكل 123 التعرضات الطويلة للنجوم في الليل – التي تشاهد عند الاتجاه شمالا أعلى من الجوزاء في مناظير هاواي ، و التي ترى من جبال الألب التي تشمل خط الإستواء السماوي بواسطة أقمار اصطناعية ثابتة المدار عليها .



الشكل 124 ظل الأرض – هنا صورة بانورامية مأخوذة من القطب الشمالي – تبين أن الأرض مدورة

كيف يمكن أن يبدو الشكل 123 إذا أخذ عند خط الاستواء ؟ (تحدي إذا أخذ عند خط الاستواء ؟ (تحدي 305 s)

* *

القياسات الدقيقة تبين أنه ليست كل الكواكب تتحرك تماما في المستوي . المشتري يبدي أكبر انحراف . في الحقيقة ، لا يتحرك أي كوكب تماما في شكل إهليلجي ، ولا حتى في مستوي حول الشمس . تقريبا كل هذه التأثيرات هي صغيرة جدا و معقدة جدا لشرحها هنا .

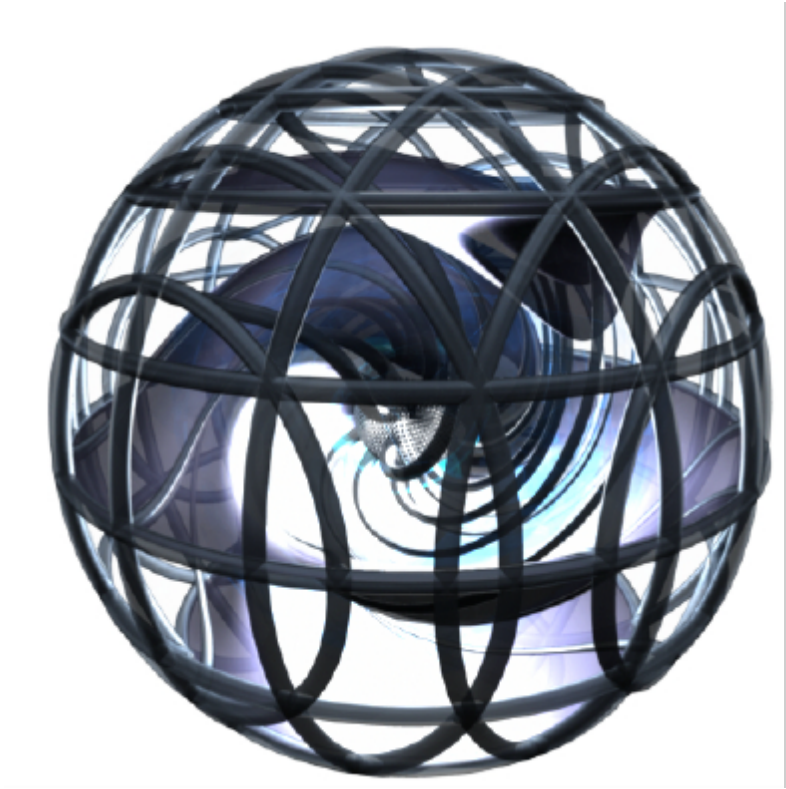
* *

نظرا لأن الأرض مدورة هناك العديد من الطرق للقيادة من نقطة على الأرض لأخرى على طول مقطع دائرة . هذه الحرية للاختيار لها نتائج مهمة من أجل كرات الطائرة و من أجل الرجال الذين يراقبون النساء . لنأخذ كرة طائرة و ننظر عند كدخل الهواء إليها . إذا أردنا تحريك المدخل إلى موضع مختلف بدوران بسيط ، يمكنك اختيار محور الدوران في العديد من الطرق المختلفة . هل يمكنك تأكيد ذلك ؟ (التحدي 306 e) . بمعنى آخر عندما ننظر في اتجاه معين و بعدها نريد أن ننظر باتجاه آخر ، فإن العين يمكن أن تنجز هذا التغير بطرق مختلفة . الخيار المختار من قبل العين البشرية قد تم دراسته من قبل علماء الطب في القرن الثامن عشر . وهو يعرف بقانون الإيراد * وهو ينص أن كل المحاور التي تختارها الطبيعة تقع في مستوي واحد . يمكنك تخيل موضعها في الفضاء / الفراغ؟ العديد من الرجال لديهم اهتمام بأن يتم اتباع هذه الآلية إذا لم يحدث ذلك فإن النظر للنساء على الشاطئ يمكن أن يسبب أن العضلات المحركة لأعينهن تصبح منعقدة / مركبة .

* *

---

*إذا كنت مهتما بتعلم المزيد عن كيف تتلاءم الطبيعة و العين مع تعقيدات ثلاثية الأبعاد ، أنظر الموقعين
schorlab.berkeley.edu/vilis/whatisLI.htm & www.physphar.fmd.uwo.ca/undergrad/llconsequenceswebListings/perceptual.htm



الشكل 125 كرة فولاذية في فراش يمكن أن تدور للأبد

تخيل أن تقص لفتح فراش طري ، الصق كرة فولاذية به والصق الفراش ثانية . الآن تخيل أننا نستخدم حقل مغناطيسي لتدوير الكرة الملصقة بالداخل . بالحدس فإننا نعتقد أت الكرة يمكن تدويرها بزايوة محددة التي قيمتها ستحدد بواسطة مرون الفراش . لكن في الحقيقة ، كرة الفولاذ يمكن أن تدور غالبا بشكل لا نهائي . هذه الإمكانية المدهشة هي نتيجة الدوران المقيد المبين في الشكل 55 & 54 . (صفحة 89) . مثل هذا الدوران المستمر في الفراش مبين في الشكل 125

و بالرغم من روعته إلا أنه لم ينفذ لك ، هل تستطيع ؟ (تحدي و بالرغم من روعته إلا أنه لم ينفذ لك ، هل تستطيع ؟ (تحدي 308 r) .

سيقان أم دواليب ؟ - مرة أخرى

إن تسارع و تباطؤ السيارات القياسية المقادة بعجلات لا يكون أبدا أكبر بكثير من $1g = 9.8\ m/s^2$ وهوتسارع الجاذبية الناتج عن كوكبنا . و إن التسارعات الأعلى يمكن تحقيقها بواسطة الدراجات النارية و سيارات السباق عن طريق استخدام أنظمة تعليق التي تحرف الوزن إلى المحاور و باستخدام الأثقال فإن السيارة تنخفض للأسفل بأكثر من وزنها .



الشكل 126 سحلية بازلية تجري على الماء ذات طول كلي يبلغ 25 cm و تبين كيق أن الساق الدافعة تندفع في الماء

إن الأثقال الحديثة هي كافية جدا بدفع سيارة للأسفل باتجاه المضمار الذي تتسابق فيه السيارات على سطح نفق بدون السقوط للأسفل . و بالرغم من استخدام عجلات خاصة فإن القوى السفلية المنتجة بواسطة التأثيرات الديناميكية للهواء تتحول إلى مقبض ، و إطارات السابق الحديثة تسمح بالتسارعات الأمامية ، الخلفية و الجانبية (اللازمة لزيادة السرعة و من أجل الدوران في الزوايا) بحوالي 1.3 – 1.1 مرة من الحمل . و المهندسون كانوا يعتقدون أن العامل 1 كان الحد النظري و أن هذا الحد ما يزال في بعض الأحيان موجود في الكتب ، و لكن التطور في تكنولوجيا الإطارات في الأغلب بالاستخدام الذكي للتشابك بين الإطار و سطح الطريق كما في آلية المسننات ، التي سمحت للمهندسين بتحقيق هذه القيم الأعلى . و إن أعلى تسارعات البالغة تقريبا 4g قد حققت عندما جزء من الإطار ينصهر و يلتصق بالسطح .

الإطارات الخاصة المصممة لجعل هذا يحدث تستخدم من أجل سيارات السباق و لكن النموذج عالي الأداء المتحكم به لاسلكيا من السيارات أيضا يحقق مثل هذه القيم .

كيف يمكن للعجلات أن تقارن مع السيقان ؟ إن رياضيي القفز العالي يمكن أن يحققوا تسارعات ذروة تبلغ 2-4 g و الفهود تتسارع إلى 3g و الليمور الأفريقي يصل إلى 13 g ، الجراد حوالي 18 g و البراغيث قيس تسارعها فوجد أنه حوالي 135 g (المرجع 128). و التسارع الأعظمي المعروف للحيوانات هو ذلك العائد للخنفساء المقرقعة وهي حشرة صغيرة قادرة على التسارع حتى 200 g = 2000 m/s² مثل طلقة المسدس الهوائي عندما تطلق .

و إن السيقان بالتالي هي أدوات أكثر كفاءة في التسارع من العجلات و إن الفهد يمكن بسهولة أن يسبق أي سيارة أو دراجة و التطور جعل له أرجلا بدلا من عجلات لتحسين فرص الحيوان في الخطر و تحقيق السلامة .

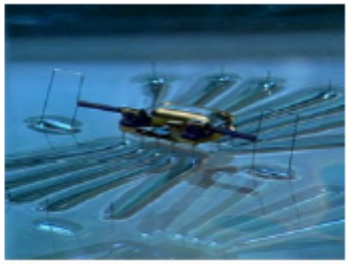
باختصار إن الأرجل تفوق العجلات . و لكن هناك أسباب أخرى لاستخدام الأرجل بدل العجلات (هل يمكن أن تعطي بعضا منها ؟) (تحدي 309s) . مثلا السيقان على خلاف العجلات تسمح بالمشي على الماء . أكثر المشاهير بهذه المسألة هي سحلية باليسك * وهي سحلية تعيش في أمريكا الوسطى و مبينة في الشكل 126 . هذا الزاحف بطول يصل إلى 70 cm و له كتلة حوالي 90 g . و هو يبدو مثل التيرنوصور ريكس صغير و قادر على الجري فوق أسطح الماء على رجليه الخلفيتين .

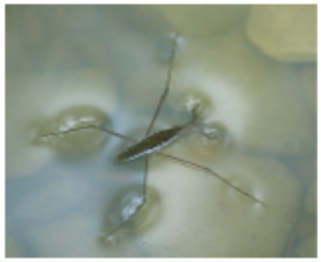
و الحركة تمت دراستها بالتفصيل بواسطة كاميرات عالية السرعة و أجريت القياسات باستخدام نماذج من الألمنيوم لأرجل الحيوان . بينت التجارب أن الأقدام التي تضرب على الماء تعطي فقط 25% من القوة اللازمة للجري فوق الماء و 75% الباقية تقدم بواسطة جيب من الهواء المضغوط الذي تشكله السحالي بين أقدامها و الماء حالما تكون الأقدام داخل الماء

وفي الحقيقة السحالي تسير في الهواء

--

في العصور الوسطى فإن مصطلح بازيلي يشير إلى وحش أسطوري مفترض أنه يظهر بعد وقت قصير من نهاية العالم . اليوم هو زاحف صغير في أمريكا .





الشكل 128 روبوت يمشي على الماء الشكل 127 حشرة مائية الحجم الكلي حوالي 10mm

حجمه الكلي تقريبا 20 mm

(كلا الأثرين المستخدمان من قبل السحالي أيضا توجد في إطلاق المدافع السريعة) (المرجع 130) . وقد حسب أن البشر أيضا قادرين على المشي على الماء شريطة أن تضرب أقدامهم الماء بسرعة 100 km/h باستخدام استطاعة آنية بدنية تساوي خمسة عشر عداءا . وهذا شيء كبير جدا بالنسبة لمن فعل ذلك

هناك طريقة ثانية للمشي و الجري على الماء ، هذه الطريقة الثانية حتى تسمح لمستخدميها بالبقاء ثابتين على سطح الماء .هذا ما تقوم به حشرة / بقة الماء و هي حشرات من عائلة عداءات الماء ذات طول كلي يبلغ 15mm وهي قادرة على القيام بذلك (مع العديد من أنواع العداءات) كما هو مبين في الشكل 127 . مثل كل الحشرات ، فإن عداء الماء يملك ستة أرجل (العناكب لديها ثمانية) و عداء الماء يستخدم الأرجل الخلفية و الأمامية من أجل المشي على السطه يساعده آلاف الأشعار الدقيقة المتصلة بجسمه . و الأشعار مع التوتر السطحي للماء تمنع العداء من التبلل . و إذا وضعت شامبو على الماء فإن عداء الماء يغوص و لا يمكنه الحركة .

تستخدم عداءات الماء أرجلها المتوسطة الكبيرة كمجادف للتقدم فوق السطح و تصل لسرعات 1 m/s للقيام بذلك

باختصار إن عداءات الماء في الواقع تقف فوق الماء و نفس الآلية مستخدمة بواسطة روبوتات صغيرة التي يمكن أن تتحرك فوق الماء و طورت من قبل ميتين سيتي و مجموعته كما هو مبين في الشكل 128 (المرجع 131) .

تصميم الروبوت ما يزال في مهده و لا يوجد روبوت يمكنه المشي أو الجري و لا حتى بسرعة الجهاز الحيواني الذي يحالو تقليده . و إن الربوتات ذات الساقين ، و هي النوع الأكثر صعوبة ، سجلها من حيث السرعة هو 3.5 طول ساقها في الثانية و في الحقيقة هناك سباق جاري في أقسام الروبوتات حيث يحاول كل قسم صناعة أول روبوت أسرع إما بالأمتار بالثانية أو بطول الرجل بالثانية من الحيوانات الأصلية ذات الأربعة ارجل أو البشر ذو الساقين . الصعوبات في تحقيق هدف التطوير تبين كم هو معقد حركة المشي و كيف الطبيعة قد أعطت الأحياء هذه الجملة .

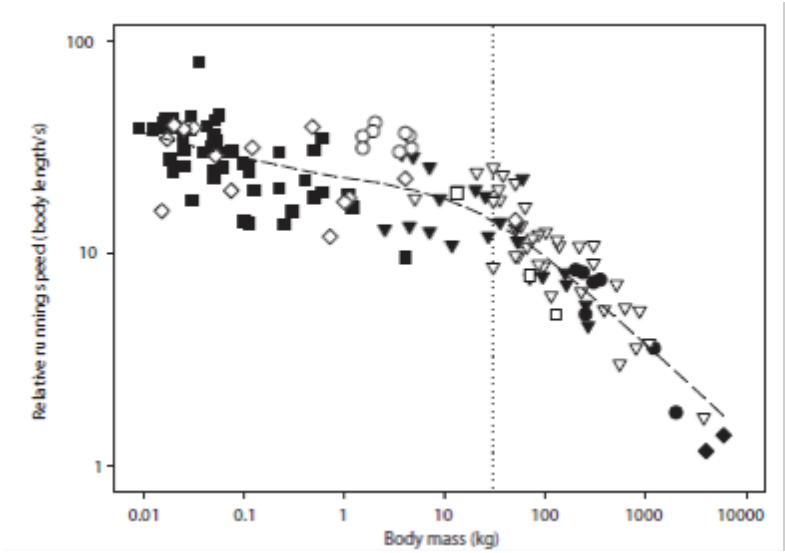
الأرجل تشكل العديد من المسائل المهمة . المهندسون يعلمون أن الدرج هو مريح في الشمي عليه إذا كان طول كل درجة هو l يسايو ضعف الارتفاع h إضافة إلى ثابت : $l + 2h = 0.63 \pm 0.02$ m

هذا ما يعرف بعلاقة الدرج (التحدي 310s) . لماذا هي صحيحة ؟

التحدي (311s) أكثر الحيوانات لها عدد زوجي من الأرجل ، هل تعرف استثناء لذلك ؟ لم لا ؟ في الحقيقة يمكن للمرء أن يقول أنه لا يوجد حيوتن لديه أربعة أرجل ، لماذا هذه هي الحال ؟

من ناحية أخرى ، كل الحيوانات ذات الرجلين تكون أرجل على الجانبين ، بينما أكثر الأنظمة ذات العجلتين تكون وراء بعضها البعض . لماذا لا يكون بشكل آخر ؟ (تحدي 312 e)

الأرجل يمكن أن تكون محركات فعالة جدا . كما يبين الشكل 129 أكثر الحيوانات الصغيرة يمكن أن تجري بمقدار حوالي 25 طول جسم بالثانية .



الشكل 129 المخطط يبين كيف أن سرعة الجري النسبية تتغير مع كتلة الأنواع الثديية الأرضية من أجل 142

نوع مختلف . المخطط أيضا يوضح كيف أن أداء الجري يتغير أعلى من 30 kg . و إن المربعات المطموسة تبين القوارض ، المربعات المفتوحة تبين الرئيسيات ، المعينات المطموسة تبين الجذعيات ، المعينات المفتوحة الجرابيات ، المثلثات المطموسة اللواحم ، المثلات المفتوحة مزدوجات الأصابع و الدوارئ المطموسة مفردات الأصابع و الدوائر المفتوحة الحيوانات المائية .

المرجع 132 : للمقارنة ، لا يوجد أي سيارة تقريبا يمكن أن تحقق مثل هذه السرعة . إن الحيوانات فقط التي تزن أكثر من حوالي 30 kg ، بما فيها البشر ، هي أبطأ .

السيقان أيضا تعطي مساطر مسافة بسيطة : حيث عليك فقط أن تعد الخطوات . في عام 2006 اكتشف أن هذه الطريقة مستخدمة من قبل أنواع معينة من النمل مثل نمل الصحراء . ويمكنها أن تعد على الأقل 25000 خطوة (المرجع 133) كما أظهر ماتياس ويتلينجر و فريقه . و هذه النمل تستخدم المقدرة عل إيجاد أقصر طريق لتعود لبيتها حتى في أرض الصحراء بلا معالم .

المرجع 134 : لماذا يجري عداء 100 m بشكل أسرع من الناس العاديين ؟ إن دراسة شاملة تبين أن سرعة العداء تعطى بالشكل :

$$v = f\,L_{\text{stride}} = f\,L_c\,\frac{F_c}{W}\,, \qquad (38)$$

حيث f التواتر / التردد للساقين ، L_{stride} هو طول الخطوة ، L_c طول التماس وهو الطول الذي يتقدم به العداء خلال الزمن الذي تكون فيه القدم على تماس مع الأرض و W وزن العداء و F_c القوة المتوسطة التي يطبقها العداء على الأرض خلال التماس . و ينتج أن التردد f هو تقريبا نفسه بالنسبة لكل العدائين ، و فقط الطريقة لكي يكون العداء اسرع من منافسيه هي زيادة طول الخطوة L_{stride} . أيضا طول التماس L_c يتغير بين الرياضيين . زيادة طول الخطوة بالتالي يتطلب أن يضرب الرياضي الأرض بضربات قوية . وهذا ما يفعله التدريب الرياضي للعدائين .

ملخص عن النسبية الغاليلية

الأرض تدور . و التسارع هو صغير جدا بحيث أننا لا نشعر به وسرعة الدوران كبيرة و لكننا لا نشعر بها لأنه لا يوجد طريقة لذلك .

إن الحركة غير المضطربة أو العطالية لا يمكن أن يتم الشعور بها أو قياسها . و بالتالي من المستحيل تمييز الحركة عن السكون . و التمييز بين الحركة و السكون يعتمد على المراقب : حركة الأجسام نسبية . هذا يبين لماذا أن التربة في أسفل أقدامنا تبدو مستقر جدا لنا ، حتى بالرغم من أنها تتحرك بسرعة عالية في الكون .

نظرا لأن الحركة نسبية ، فإن قيم السرعة تعتمد على المراقب . لاحقا حول نكتشف أن مثالا من الحركة في الطبيعة له قيمة سرعة غير نسبية : حركة الضوء . و لكننا سنستمر أولا في دراسة الحركة المرسلة عبر مسافة / المنقولة بدون استخدام أي تماس أبدا .

الفصل السادس

الحركة الناتجة عن الجاذبية

" أنا أشعر كما لو أن الأجسام الميتة تتساقط "دانتي في كتابة الجحيم ، صفحة 142 .

أول طريقة و الطريقة الأساسية لتوليد الحركة بدون أي تماس التي اكتشفناها في بيئتنا هي الارتفاع . إن هطول الماء ، الثلج ، المطر ، وكرة لعبتك المفضلة و التفاحات الساقطة كلها تعتمد عليها . إنها أحد الاكتشافات الأساسية في الفيزياء أن الارتفاع يملك هذه الخاصة لأن هناك أثرا متبادلا بين كل جسم و الأرض . الجاذبية تنتج تسارع على طول يصل بين مركزي ثقل الجسم و الأرض . لاحظ أنه من أجل أن تعطي هذا التصريح ، من الضروري أن تدرك أن الأرض هي جسم بنفس الشكل الذي يكون عليه الحجر أو القمر و أن الجسم نهائي و بالتالي يملك مركز و كتلة . اليوم هذه العبارات هي معرفة شائعة ، ولكنها ليست بأي شكل واضحة في الخبرة الشخصية اليومية .

في العديد من الأساطير حول خلق و تنظيم العالم مثل الواردة في الإنجيل أو الأساطير الهندية ، الأرض ليست جمسا و لكنها كيان محدد بشكل دقيق ، مثل جزيرة عائمة أو محاطة بالماء ذات حدود غير واضحة و طريقة غير واضحة للتعليق . هل تستطيع أن تقنع صديقا أن الأرض مدورة و ليست مسطحة ؟ تحدي s 313 . هل يمكنك أن تجد طرحا بعيدا عن استدارة الأرض لظل الأرض المرئي على القمر المبين في الشكل 134 .

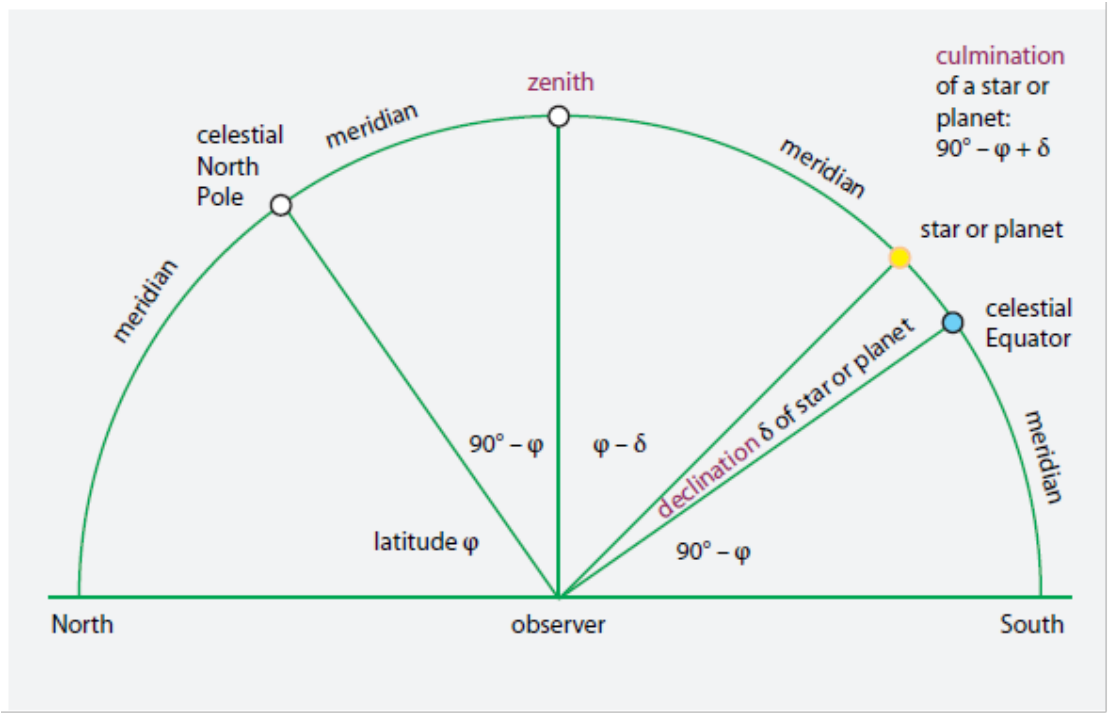
الجاذبية كحد من الحركة المنتظمة

إن ال طريقة الفعالة لتعريف الجذابية أو الجذب باختصار تظهر عندما نلاحظ أنه لا يوجد جسم حولنا يتحرك على طول خط مستقيم . في الطبيعة ، هناك حد للثبات أو الحركة الثابتة :

- الجاذبية تمنع الحركة المنتظمة أي تمنع الحركة الثابتة و المستقيمة .

في الطبيعة ، نحن لا نلاحظ أبدا الأجسام التي تتحرك بسرعة ثابتة على خط مستقيم . بالحديث عن مفردات الحركة : الجاذبية تفرض تسارع من أجل كل جسم مادي . و جاذبية الأجسام في البيئة تحني مسار الجسم ، و تغير سرعته أو كلاهما و هذا الحد له ناحيتين : الأولي الجاذبية تمنع الحركة المنتظمة غير المحدودة :

** " أنا أشعر كما لو أن الأجسام الميتة تتساقط " دانتي أليجيري (1265 فيرنتسه – 1321 رافينا) ، الشاعر الإيطالي القوي .



الشكل 130 بعض المفاهيم المهمة عند مراقبة النجوم ليلا

- الحركة لا يمكن أن تكون مستقيمة للأبد . الحركة ليست بلا حدود .

سوف نتعلم لاحقا ما يعني هذا من أجل الكون ككل . ثانيا ،

- الحركة لا يمكن أن تكون ثابتة و مستقيمة خلال فترات زمنية قصيرة .

بمعنى آخر إذا قسنا بدقة كافية ، سوف نجد دائما انحرافات عن الحركة المنتظمة . (الفيزيائيون ايضا يقولون أن الحركة لا تكون أبدا عطالية) . هذه الحدود تطبق ، بغض النظر عن قوة الحركة و كم الجسم المتحرك هو حر عن التأثير الخارجي . في الطبيعة ، الجذابية تمنع الحركة الثابتة، المنتظمة للذرات ، كرات البليارد ، الكواكب ، النجوم و حتى المجرات .

الجاذبية هي أول تحديد للحركة التي نكتشفها في الطبيعة . وسوف نكتشف حدين إضافيين للحركة لاحقا أثناء مسيرتنا .هناك ثلاثة حدود / قيود أساسية موضحة في الشكل 1 (صفحة 8) . لتحقيق وصف دقيق للحركة نحن بحاجة لأخذ كل حد للحركة في الحسبان . هذا هو هدفنا الأساسي في بقية مغامرتنا .

الجاذبية تؤثر على كل الأجسام ، حتى إذا كانت بعيدة عن بعضها البعض . كم هو تماما أثر الجاذبية على جسمين بعيدن عن بعضهما ؟ نسأل الخبراء لقياس المسافة بين الجسمين : الفلكيين .

الجاذبية في السماء

جاذبية الأرض تجبر القمر على الدوران حولها . جاذبية الشمس تجبر الأرض على الدوران حولها و هي تحدد طول السنة . بشكل مشابه جاذبية الشمس تحدد حركة كل الكواكب الأخرى في السماء .



الشكل 131 الكواكب تعني " الجوالات / المتحركات " . هذه الصورة المركبة تبين الحركة التراجعي لكوكب المريخ في السماء – مجموعة الأطلس النجمية هي في أعلى اليسار – عندما يكون الكوكب في الطرف الآخر من الشمس . الصور أخذت بفاصل أسبوع و تم إضافتها لبعضها . الحركة هي إحدى الأمثلة العديدة التي تشرح كليا بواسطة الجاذبية الكونية

نحن نتصور أننا واقعين في مركز الشمس و بالتالي نقول الكواكب تدور حول الشمس . الشمس بالتالي تمنع الكواكب من الحركة في خطوط مستقيمة و تجبرها على اتخاذ مدارات دائرية تقريبا حولها . هل يمكنك التأكد من هذا ؟

قبل كل شيء ، بالنظر للسماء ليلا ، يمكننا التأكد من أن الكواكب دائما تبقى ضمن دائرة الفلك ، و هي قطاع صغير ضمن السماء (صفحة 221) . الخط المركزي لدائرة الفلك يعطي مسار الشمس و يعرف بدائرة البروج في الفلك ، نظرا لأن القمر يجب أن يقع عليها لينتج الكسوف (صفحة 223) . و هذا يبين أن الكواكب تتحرك (تقريبا) في مستوي وحيد مشترك . *

لتعلم المزيد عن الحركة في السماء ، فقد أجرى الفلكيون العديد من القياسات لحركات القمر و الكواكب . و أكثرها حرفية كانت من قبل تيكو براها ** الذي وضع بحث بمقياس صناعي من أجل الحقائق الفلكية و تم رعايته من قبل ملكه .

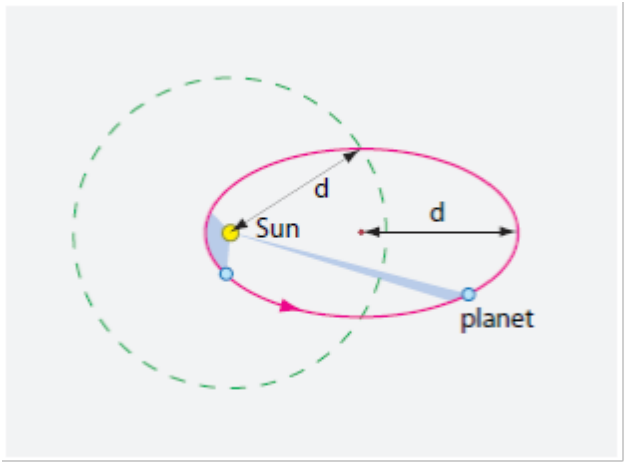
كانت قياساته الأساس للبحث لمساعده الشاب ، الفلكي الألماني من شفابيا يوهانس كيبلر *** الذي وجد أول وصف دقيق لحركة الكواكب (مجلد III ، صفحة 250) .

---

*الارتفاع الظاهري لدائرة الفلك / البروج يتغير مع وقت السنة و هذا هو سبب تغير الفصول ، و بالتالي الفصول هي تأثير للجاذبية أيضا .

**تيكو براها (ولد في 1546 في سكانيا ، توفي في 1601 في براغ) و هو فلكي شهير ، باني أوراني بورج ، وهي قلعة فلكية . وقد صرف تقريبا 10% من الناتج القومي الإجمالي الدانماركي لبحثه ، الذي أنتج أول كاتالوك / دليل نجوم وأول قياسات موضع دقيقة للكواكب

*** يوهانس كيبلر (1571 في فايل دير شتادت - 1630 ريجينسبورج) درس المذهب البروتستانتي و اصبح معلم رياضيات ، فلك و لغة . وقد ساعد أمه في الدفاع عن نفسها بنجاح في محاكمة حيث اتهمت بالسحر . و أول كتاب له في الفلك جعله مشهورا و اصبح مساعد لتيكو براها وبعد موت أستاذه ، الرياضي الإمبراطوري . و قد كان أول من استخدم الرياضيات في وصف القياسات / المراقبات الفلكية و طرح مفهوم و حقل الفيزياء الفلكية / النجمية



الشكل 132 حركة الكوكب حول الشمس ، تبين محورها شبه الرئيسي d الذي هو أيضا متوسط فراغي لمسافته عن الشمس.

هذه ليست مهمة سهلة كما تبين المراقبة للشكل في الشكل 131 . في بحثه المضني حول حركات الكواكب في دائرة الفلك ، اكتشف كيبلر العديد من القوانين ، أي نماذج أو قوانين . حركة لكواكب تتبع نفس القواعد مؤكدا أن الشمس تحدد مداراتها . و القوانين الأساسية الثلاث هي كالتالي :

1. الكواكب تتحرك على مدارات إهليلجية (قطوع ناقصة) حول الشمس التي تقع في أحد البؤر (1906)
2. الكواكب تمسح مساحات متساوية في أزمنة متساوية (1609)
3. كل الكواكب لها نفس النسبة T^2/d^3 بين فترة المدار T و المحور شبه الرئيسي d (1916)

نتائج كيبلر موضحة في الشكل 132 . العمل المذهل لاستنتاج القوانين الثلاثة كان ضخما و لم يكن لدى كيبلر آلات حاسبة . و تقنيات الحساب التي استخدمها كانت اللوغاريتمات التي قد اكتشفت للتو .

أي شخص استخدم جداول اللوغاريتمات لإجراء الحسابات يمكن أن يشعر بقدر العمل وراء هذه الاكتشافات الثلاث .

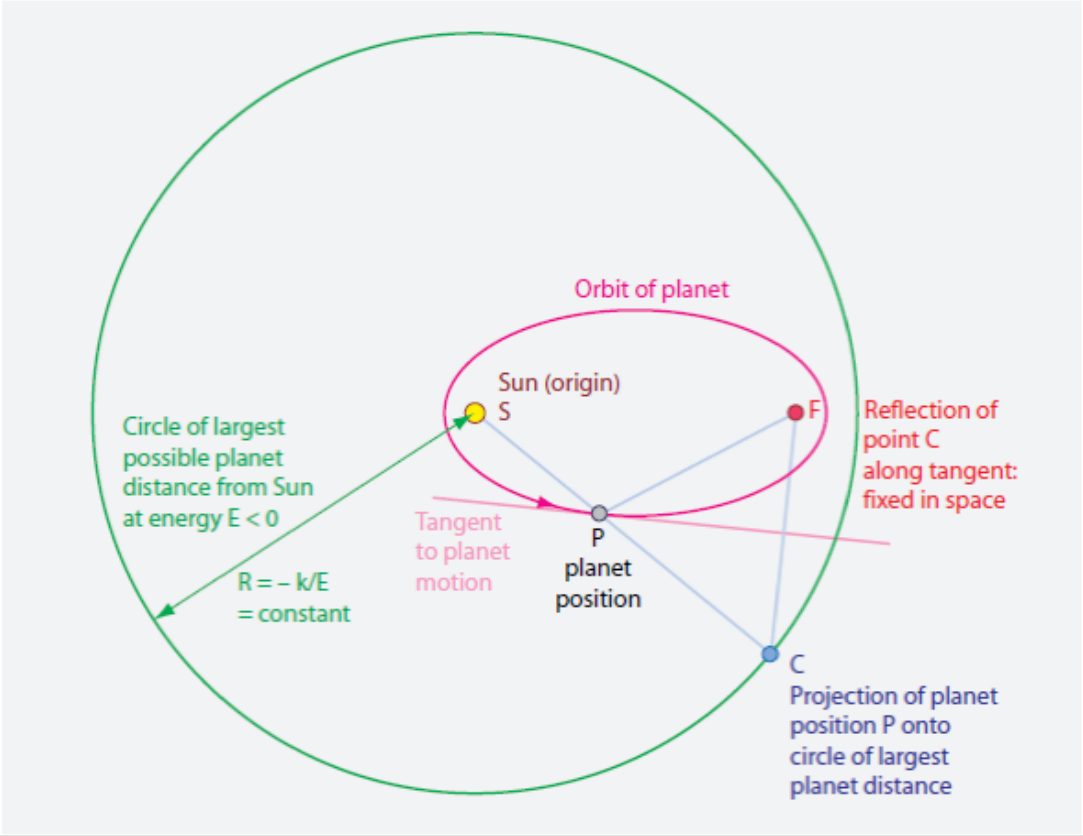
أخيرا في عام 1684 كل المراقبات من قبل كيبلر حول الكواكب و الأحجار كثفت في نتيجة بسيطة بشكل مدهش من قبل الفيزيائي الإنجليزي روبرت هوك و بضع علماء آخرين : *

- كل جسم ذو كتلة M يجذب أي جسم آخر تجاه مركزه بتسارع قيمته a تعطى بالشكل :

$$a = G\frac{M}{r^2} \qquad (39)$$

حيث r المسافة من المركز للمركز للجسمين .

- روبرت هوك (1635 -1703) فيزيائي إنجليزي مهم و سكرتير الجمعية الملكية و بعيدا عن اكتشاف العلاقة التربيعية العكسية و العديد من العلاقات الأخرى ، مثل قانون هوك فقد كتب أيضا كتاب الميكروغرافيا و أوضح بشكل جميل دراسة العالم ذو الأشياء الصغيرة جدا .



الشكل 133 إثبات أن الكوكب يتحرك في قطع ناقص (اللون الأحمر) حول الشمس ، بمعرفة مقلوب مربع المسافة للجاذبية . البرهان – مفصل في النص – يستند إلى العلاقة SP + PF = R و نظرا لأن R ثابت فإن المدار قطع ناقص

هذا يعرف بالجاذبية الكونية أو القانون الكوني للجاذبية ، لأنه صالح في كل من السماء و على الأرض كما سنجد قريبا . و إن ثابت التناسب G يدعى بثابت الجاذبية ، وهو أحد الثوابت الأساسية في الطبيعة ، مثل سرعة الضوء c أو كم الفعل h (صفحة 182) . المزيد حول G سنبينه قريبا .

إن أثر الجاذبية بالتالي يتناقص مع تزايد المسافة ، والأثر يعتمد على مقلوب مربع المسافة للجسيم المعتبرين . إذا كان الجسمين صغيرين مقارنة مع المسافة r ، أو إذا كنا كرويين ، العلاقة (39) تكون صحيحة كما هي ومن أجل الأشكال غير الكروية فإن التسارع يحسب بشكل منفصل من أجل كل جزء من الجسمين و بعدها تجمع القيم معا .

المرجع 146 : لماذا المدار الكوكبي العادي قطع ناقص ؟ أبسط حجة معطاة في الشكل 133 . نحن نعلم أن التسارع الناجم عن الجاذبية يتغير بالشكل $a = G M/r^2$. و نحن نعلم أيضا أن الجسم في المدار ذو الكتلة m له طاقة ثابتة $E < 0$. و بالتالي يمكن أن نرسم ، حول الشمس دائرة ذات نصف قطر $R = - G M m /E$ التي تعطي أكبر مسافة التي يمكن للجسم ذو الطاقة E أن يبعد بها عن الشمس .

الآن نرسم موضع الكوكب P على هذه الدائرة و بالتالي ننشيء الموضع C و بالتالي تعكس C على طول مماس للوصول للموضع F و هذا الموضع الأخير F ثابت في الفضاء / الفارغ و الزمنة ، كما تبين الفرضية البسيطة .

(هل يمكنك إيجاده ؟) (تحدي ؟) (تحدي 314 s) . بالنتيجة الشكل ، مجموع المسافة SP + PF هو ثابت في الزمن و يعطى بنصف القطر $R = - G M m /E$. نظرا لأن مجموع المسافة ثابت فإن المدار هو قطع ناقص لأن القطع الناقص بدقة هو المنحني الذي يظهر عندما يكون هذا المجموع ثابتا . (تذكر أن القطع الناقص يمكن أن يرسم بواسطة قطعة حبل بهذه الطريقة) . النقطة F مثل الشمس هي محرق القطع الناقص . إن الرسم بالتالي يبين أن حركة الكوكب

تعرف محرقين و تتبع مدارا قطعيا ناقصا محددا بمحرقين . و باختصار ، فقد استنتجنا أول قانونين لكيبلر من علاقة الجاذبية العامة.

ثانون كيبلر الثاني ، حول المساحات الممسوحة المتساوية يقتضي أن الكواكب تتحرك بشكل أسرع عندما تكون قرب الشمس . و هي طريقة بسيطة للقول بمصونية كمية الحركة الزاوية . (تحدي e 315) . ما الذي يقوله الثانون الثالث ؟

هل يمكنك تأكيد أيضا القانون الثاني و الثالث لكيبلر الناتجة من علاقة هوك للجاذبية العامة ؟ (تحدي s 316) .

إن نشر هذه النتيجة – التي كانت واضحة لهوك – كانت إحدى إنجازات نيوتن . حاول تكرار هذا الإنجاز ، ستبين لك ليس فقط الصعوبات و لكن أيضا إمكتنيات الفيزياء ، و المتعة التي تعطيها الألغاز .

قام نيوتن بحل هذه الألغاز بواسطة رسوم هندسية – بالرغم أن هذا تم بشكل معقد . و من المعروف جيدا أن نيوتن لم يكن قادرا على كتابة ، بشكل منفصل ، معادلات تفاضلية في وقت نشره لنتائجه حول الجاذبية (المرجع 28) .

في الحقيقة إن مفهوم نيوتن و طرق الحساب كانت ضعيفة . (أضعف مما هو لديك) . و الرياضي الإنجليزي جودفري هاردي * قال بأن الإصرار على استخدام تكامل نيوتن و المفهوم التفاضلي ، بدلا من الطريقة الأولى و الأفضل ما يزال شائعا اليوم بسبب منافسه ليبنيتز – الذي أدى لترك الرياضيات الإنجليزية بمائة عام .

النتيجة ، إن كيبلر ، هوك و نيوتن أصبحوا مشهورين لأنهم وضعوا نظام لوصف الحركة الكوكبية . و قد بينوا أن كل الحركة الناتجة عن الجاذبية تتبع نفس الوصف ، المسافة التربيعية العكسية . و لهذا السبب فإن علاقة مربع المسافة العكسي $a = G M/ r^2$ يعرف بالقانون العام للجاذبية .

و تحقيق هذا التوحيد لوصف الحركة بالرغم من كونه ذو أهمية عملية قليلة ، فقد كان محتفى به بشكل عام واسع

السبب الرئيسي كان الفرضيات المسبقة و الأحكام و الخيالات المرتبطة بعلم الفلك .

في الحقيقة ، علاقة مربع المسافة تشرح العديد من الظواهر الإضافية . و هي تشرح حركة و شكل درب التبانة و المجرات الأخرى ، حركة العديد من ظواهر الطقس ، و تشرح لماذا تملك الأرض جوا / غلافا جويا و لكن لا يمكلك القمر ذلك (هل يمكنك شرح هذا) (تحدي s 317) .

جاذبية الأرض

تبعية المربع العكسي لتسارع الجاذبية غالبا ، و لكن بشكل غير صحيح ، بعرف بقانون نيوتن في الجاذبية . و في الحقيقة إن الساحر و الفيزيائي اسحق نيوتن أثبت بشكل أكثر أناقة من هوك العلاقة المتفق عليها من قبل كل المراقبات الفلكية و الأرضية و لكن قبل كل شيء ، نظم حملة العلاقات العامة الأفضل التي ادعى فيها بشكل زائف أن أصل هذه الفكرة (المرجع 136) .

نشر نيوتن إثباتا بسيطا يبين أن وصف الجاذبية الفلكية أيضا يعطي وصفا صحيحا للأحجار التي ترمى في الهواء ، و تسقط على أرض الإله . و لتحقيق هذا فقد قارن التسارع a_m للقمر مع تسارع الأحجار g و النسبة بين هذين التسارعين ، تتوقع علاقة مربع المسافة قيمة $g/a_m = d^2_m / R^2$ حيث d_m مسافة القمر و R نصف قطر الأرض .

--

*جودفري هارولد هاردي (1877-1947) نظري أعداد مهم ، و مؤلف الكتاب الشهير دفاع رياضي و قد اكتشف ايضا الرياضي الهندس الشهير سيرنيفازا رامونجان و أتي به إلى بريطانيا .



الشكل 134 كيفية مقارنة نصف قطر الأرض مع القمر خلال الكسوف الجوئي القمري

مسافة القمر يمكن قياسها بواسطة العلاقات المثلثية ، و مقارنة موضع القمر مقابل خلفية نجمية من نقطتين مختلفتين على الأرض * . و النتيجة هي أن $d_m / R = 60 \pm 3$ تبعا للموضع المداري للقمر ، بحيث أن متوسط النسبة . $g /a_m = 3.6$ 10^3 و التي تتوقع من الجاذبية العامة . لكن كلا التسارعين بمكن قياسهما مباشرة . على سطح الأرض ـ الأحجار تخضع لتسارع ناتج عن الجاذبية بمقدار $g = 9.8\ m/s^2$ كما هو محدد بقياس الزمن الذي تحتاجه الحجارة لتسقط مسافة معينة.

بالنسبة للقمر ، تعريف التسارع $a = dv/dt$ ، في حال الحركة الدائرية – وهذا صحيح تقريبا هنا – نحصل $a_m = d_m(2\pi/T)^2$ حيث $T = 2.4\ Ms$ هو زمن الذي يستغرقه القمر لدورة واحدة حول الأرض . **

قياس نصف قطر الأرض *** يعطي $R = 6.4\ Mm$ ، بحيث أن مسافة الأرض – القمر المتوسطة هي $d_m = 0.38$ Gm و بالتالي يحصل المرء على $g/a_m = 3.6 . 10^3$ ، و هذا متفق مع التوقع أعلاه .

--

*أول قياس دقيق – لكن ليس الأول – تم في عام 1752 من قبل الفلكي الفرنسي لا لاند و لا كاي اللذين بنفس الوقت قاسا موضع القمر المشاهد من برلين و من لو كاب .

** هذه العلاقة للتسارع الجابذ مستنتجة بملاحظة أنه من أجل جسم في حركة دائرية فإن مقدار السرعة v هو $v = dx/dt$ يعطى بالشكل $v = 2\pi r/T$. إن رسم الشعاع v عبر الزمن يعرف بالهودوغراف (مخطط الحركة) الذي يبين أنه يتصرف تماما مثل موضع الجسم (تحدي (تحدي 318 s) . و بالتالي قيمة التسارع $a = dv/dt$ تعطى بالعلاقى الموافقة وهي $a = 2\pi v/T$.

***هذه أصعب مقدار تقيسه بنفسك . الطريقة الأكثر إدهاشا لتحديد حجم الأرض هي كالتالي (المرجع 137) : راقب غروب الشمس في حديقة المنزل ، بينما تمسك بساعة توقيت في يدك ، شغل الموقت و اركض لأعلى البيت . وهناك ما تزال الشمس مرئية ، اوقف المؤقت عندما يختفي آخر شعاع من الشمس ثانية وسجل الزمن t . قس ارتفاع المسافة h لموضعي العين عند مراقبة الشمس (تحدي 319s). نصف قطر الأرض معطى بالشكل $R = k\ h/\ t^2$ حيث $k=378.10^6$. s^2

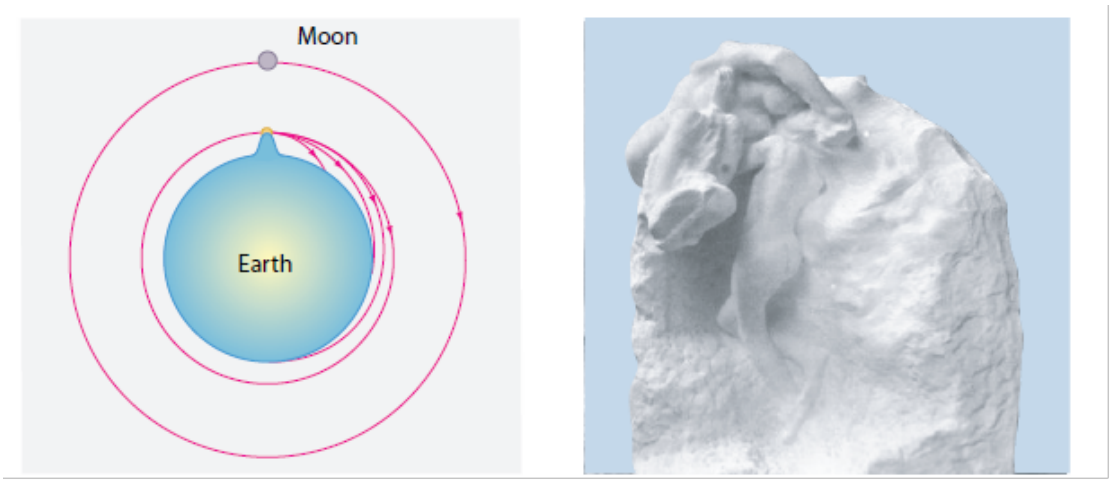
المرجع 138 : هناك أيضا طريقة بسيطة لقياس المسافة إلى القمر ، حالما يكون حجم الأرض معلوما . خذ صورة للقمر عندما يكون في كبد السماء ، و سمها زاوية السمت θ أي زايوته مع الشاقول . و خذ صورة أخرى للقمر بعد بضع ساعات عندما يكون تماما فوق الأفق .

صفحة 69 : في هذه الصورة ، على خلاف الخداع البصري المعروف ، يكون القمر أصغر ، لأنه أبعد . بواسطة رسم يصبح سبب هذا فورا واضحا . إذا كانت q نسبة نصفي القطر الزاويين فإن مسافة الأرض – القمر d_m تعطى بالعلاقة

$d_m^2 = R^2 + (2Rq\cos\theta/(1-q^2))^2$. استمتع بإيجاد استنتاجه من الرسم (تحدي 320 s) .

الإمكانية ألأخرى هي تحديد حجم القمر بمقارنته مع حجم الظل . الأرض ، خلال الكسوف القمري مبينة في الشكل 134

السمافة للقمر تحسب بالتالي من حجمه الزاوي و هي حوالي 0.5° .



الشكل 135 منظر فيزيائي و فني لهبوط القمر : مخطط من قبل كريتسيان هويغنيز (ليس وفق المقياس) و تمثال رخامي من قبل أوغست روبين .

بواسطة هذا الحساب القمري الشهير بينا بالتالي أن خاصة المربع العكسي للجاذبية فعلا تصف حركة القمر و حركة الأحجار . و يمكنك أن تستنتج قيمة الجداء GM للأرض . (تحدي 321 s) .

بالتالي الجاذبية العامة تصف كل الحركة الناتجة عن الجاذبية – كلا من على الأرض و السماء . و هذا كان خطوة مهمة تجاه التوحيد للفيزياء . و قبل هذا الاكتشاف ، من مراقبة أنه على الأرض كل الحركة في النهاية تصبح ساكنة بينما في السماء كل الحركة مخلدة ، و قد استنتج أرسطو والعديد من الآخرين أن الحركة في العالم تحت القمري لها خواص مختلفة عن الحركة عبر العالم القمري . و العديد من المفكرين انتقدوا هذا التمييز بشكل خاص الفيلسوف و عميد جامعة باريس جان بوريدان .* (المرجع 139) . و إن حساب القمر كان كان النتيجة الأكثر أهمية التي تبين أن هذا التمييز خاطئ

هذا هو سبب تسمية علاقة هوك (39) بالجاذبية العامة .

الجاذبية العامة تسمح لنا بالإجابة على سؤال قديم آخر . لماذا لا يقع القمر من السماء ؟ حسنا ، المناقشة السابقة تبين أن السقوط هي حركة ناتجة عن الجاذبية . و بالتالي ، القمر فعلا يسقط ، مع حالة شاذة بدلا من كونه يسقط باتجاه الأرض فإنه يسقط باستمرار حولها . الشكل 135 يوضح الفكرة . القمر يخطئ الأرض باستمرار .**

القمر ليس الجسم اللوحيد الذي يسقط حول الأرض يبين الشكل 137 جسما آخر .

--

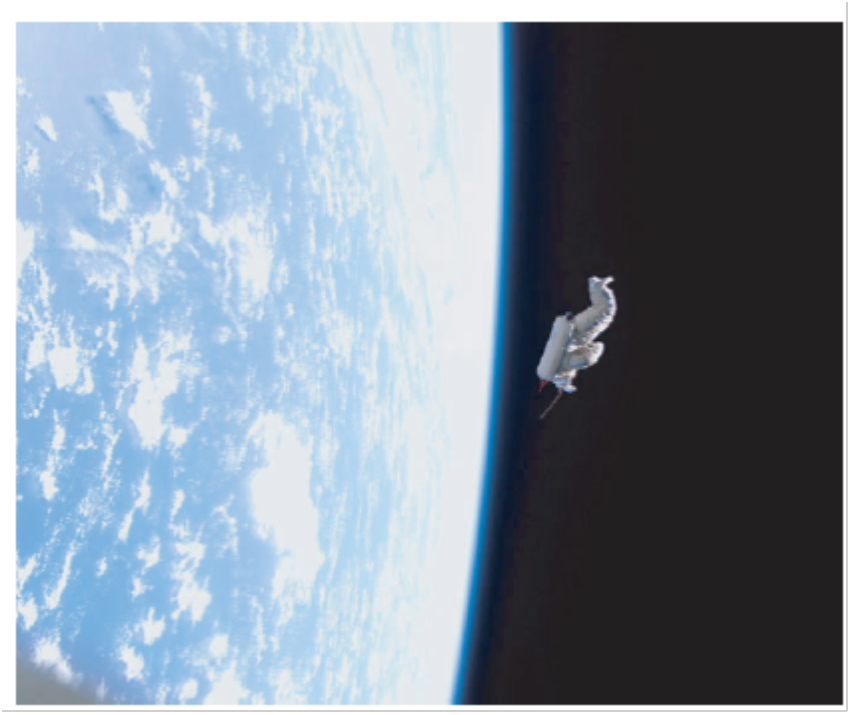
* جان بوريدان (1295-1366) كان أيضا أول المفكرين ناقشوا دوران الأرض حول محورها

**الطريقة الأخرى لبيان ذلك هو استخدام جواب الفيزيائي الهولندي كريستيان هويجنيز (1695-1269)و القمر لا يسقط من السماء بسبب التسارع النابذ . كما هو مشروح في الصفحة 161 هذا الشرح غالبا لا يعترف به في الجامعات .

المرجع 140 : هناك مسألة جميلة متصلة بالطرف الأبسر من الشكل: أي النقاط على سطح الأرض يمكن أن تصاب بإطلاق من جبل ؟ و أي النقاط يمكن أن تصاب بالإطلاق أفقيا ؟



الشكل 136 نواس ثاني دقيق بالتالي طوله 1m ، تقريبا في الطرف العلوي ، حجرة الخلاء التي تعوض التغيرات في الضغط الجوي ، باتجاه النهاية السفلى ، البنية الواسعة التي تعوض تغيرات درجة الحرارة لطول النواس ، عند القعر النهائي ، اللولب الذي يعوض التغيرات الموضعية هي حوالي 1s بالشهر .



الشكل 137 رجل في المدار لا يشعر بوزنه ، الغلاف الجوي الأزرق ، يشعر بذلك

الجدول 26 بعض القيم المقاسة للتسارع الناتجة عن الجاذبية

المكان	القيمة
القطبين	9.83 m/s^2
تروندهايم	9.8215343 m/s^2
هامبورغ	9.8139443 m/s^2
ميونيخ	9.8072914 m/s^2
روما	9.8034755 m/s^2
خط الإستواء	9.78 m/s^2
القمر	1.6 m/s^2
الشمس	273 m/s^2

خواص الجاذبية : G & g

الصفحة 77 : الجاذبية تستدعي أن مسار الحجر ليس قطعا زائدا ، كما بينا سابقا لكن في الواقع قطع ناقص حول مركز الأرض . وهذا يحدث تماما لنفس السبب الذي تتحرك بعه الكواكب في قطع ناقص حول الشمس (صفحة 177). هل تستطيع تأكيد هذه العلاقة ؟

الجاذبية العامة تسمح لنا بفهم قيمة التسارع المحير $g = 9.8\ m/s^2$ التي صادفناها في المعادلة (6) . القيمة ناتجة عن العلاقة :

$$g = GM_{\text{Earth}}/R^2_{\text{Earth}} \ . \qquad (40)$$

العلاقة بمكن استنتاجها من المعادلة (39) ، الجاذبية العامة بأخذ أن الأرض كروية .

إن التسارع اليومي للجاذبية g بالتالي تنتج من حجم الأرض ، كتلتها ، و ثابت الجاذبية العام G . من الواضح أن قيمة g هي تقريبا ثابتة على سطح الأرض ، كما هو مبين في الجدول 26 ، لأن الأرض هي تقريبا كرة . العلاقة (40) أيضا تفسر لماذا g تصبح أصغر عندما يرتفع الإنسان أعلى من الأرض و الانحرافات لشكل الأرض عن الكروية تشرح لماذا تكون g مختلفة عند القطبين و أعلى عند القسم المسطح . (لماذا ستكون قيمة g على القمر ؟ على المريخ ؟ على المشتري ؟)

(تحدي 323s) . بالمناسبة من الممكن إيجاد آلة بسيطة ، غير اليو يو التي تبطئ التسارع الفعال للجاذبية بقدر معلوم ، بحيث أن المرء يمكن أن يقيس قيمتها بشكل أكثر سهولة . هل يمكنك تخيل هذه الآلة ؟ (تحدي هل يمكنك تخيل هذه الآلة ؟ (تحدي 324 s) .

لاحظ أن القيمة 9.8 هي تقريبا π^2 وهذا ليس مصادفة : المتر تم اختياره بحيث يقوم بهذا بشكل صحيح (تقريبا) . إن الدور T لنواس متأرجح أي تأرجح جيئة و ذهابا يعطى بالشكل * (تحدي تأرجح جيئة و ذهابا يعطى بالشكل * (تحدي 325 s)

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \ , \qquad (41)$$

حيث l هو طول النواس و $g = 9.8\ m/s^2$ هو تسارع الجاذبية .

(يفترض أن النواس مكون من كتلة مصغوطة متصلة بخيط ذو كتلة مهملة) . زمن التذبذب لنواس يعتمد فقط على طول الخيط و على g و بالتالي الكوكب واقع عليها .

إذا كان المتر معرفا بحيث أن $T/2 = 1s$ ، فإن قيمة التسارع العادي g كان تماما $\pi^2\ m/s^2 = 9.869\ 604\ 09\ m/s^2$

في الحقيقة ، هذا كان أول مقترح لتعريف المتر ، وقد صنع في عام 1673 من قبل هويجنيز و كررت في 1790 من قبل تاليراند ، ولكن رفضت من قبل المؤتمر الذي عرف المتر بسبب التغيرات في قيمة g مع الموضع الجغرافي ، و تغيرات ناتجة عن درجة الحرارة لطول النواس و حتى تغيرات ضغط الهواء التي أدت لأخطاء التي هي كبيرة جدا لتعطي تعريف بدقة مفيدة . (بدلا من ذلك هذه التأثيرات يجب أن تصحح في ساعات النواس ، كما هو مبين في الشكل 136) .

أخيرا ، وضع المقترح لتعريف المتر بأنه 1/40 000 000 من محيط الأرض عبر القطبين و هذا ما يعرف بالميريديان (الأوج) . هذا المقترح كان تقريبا مطابقا – و لكنه أكثر دقة من – مقترح النواس . تعريف الأوج للمتر تم اعتماده بالتالي من قبل الجمعية الوطنية الفرنسية بتاريخ 26 آذار 1791 ، ببيان أن الأوج يمر تحت أقدام كل كائن بشري ، و كل الأوج متساوية (على أن المسافة من خط الاستواء إلى القطبين ليست 10 Mm تماما ، وهذه قصة غريبة (المرجع 141) .

أحد الجغرافيين اللذين حددا حجم أول مسطرة مترية كان غير نزيه . و البيانات التي أعطاها في قياسه – الطريقة العامة المبينة في الشكل 138 – تم تصنيعها . و بالتالي أول مسطرة متر رسمي كانت أقصر مما يجب أن تكون عليه) .

بالاستمرار في شرحنا لتسارع الجاذبية g يمكننا ما نزال أن نسأل : لماذا يكون للأرض كتلة و حجم الذي لها ؟ و لماذا يكون لـ G قيمة التي هي عليها ؟ أول سؤال يسأل عن تاريخ المجموعة الشمسية ، ما يزال بلا إجابة وهو موضوع بحث والسؤال الثاني مطروح في الملحق B .

إذا كانت الجاذبية فعلا عامة و إذا كانت كل الأجسام فعلا تجذب بعضها البعض و التجاذب ايضا يحدث أيضا بين أي جسمين في الحياة اليومية

الجاذبية يجب أيض أن تعمل يشكل جانبي . و هذا في الواقع هو الحال ، حتى بالرغم من أن التأثيرات صغيرة جدا ز في الواقع التأثيرات تكون صغيرة جدا بحيث تقاس فقط بعد فترة طويلة من توقعها من الجاذبية العامة .من ناحية أخرى قياس هذا الأثر هو الطريقة الوحيدة لتحديد ثابت الجاذبية G . لنرى كيف نقوم بذلك .

---

*العلاقة (41) ذات قيمة بشكل أساسي من أجل كل ما هو مفقود / ناقص . دور النواس لا يعتمد على كتلة الجسم المتأرجح . بالإضافة لذلك دور النواس لا يعتمد على المطال . (هذا صحيح طالما أن زاوية التذبذب هي أصغر من حوالي 15°)

اكتشف غاليليو كطالب عند مراقبة ثريا معلقة بحبل طويل في قبة بيزا . باستخدام نبضات قلبه كساعة وجد حتى أنه بالرغم من أن مطال التأرجح يصغر أكثر و أكثر فإن الزمن من أجل التأرجح بقي نفسه .

الساق تتحرك مثل النواس ، عندما يمشي المرء بشكل طبيعي . لماذا عندما يمشي الناس الأطول قامة بشكل أسرع ؟ هل العلاقة أيضا صحيحة بالنسبة للحيوانات ذات الأحجام المختلفة ؟ (تحدي 326 s) .



الشكل 138 القياسات التي تؤدي لتعريف المتر

نلاحظ أن قياس ثابت الجاذبية G أيضا هو الطريقة الوحيدة لتحديد كتلة الأرض . و أول من فعل ذلك في عام 1798 كان الفيزيائي الإنجليزي هنري كافينديش ، وقد استخدم الآلة ، الأفطار و طريقة جون مايكل الذي توفي عند محاولة إجراء التجربة . سمى مايكل و كافينديش * هدف و نتيجة تجاربهما " وزن الأرض " .

فكرة مايكل كانت تعليق إلى مقبض أفقي ، ذو كتلتين في النهاية و في نهاية سلك معدني طويل . و بعدها وضع كتلتين إضافيتين كبيرتين في نهايتي المقبض مع تجنب أي تيارات هوائية ، و قاس مقدار دوران المقبض .

يبين الشكل 139 كيفية تكرار هذه التجربة في قبو منزلك ، و الشكل 140كيفية إجراءها عندما يكون لديك ميزانية أكبر .

قيمة ثابت الجاذبية G الذي وجد في أشكال أكثر تعقديا من تجربة مايكل – كافينديش هي :

$$G = 6.7 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{Nm^2/kg^2} = 6.7 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{m^3/kg\ s^2}\ . \qquad (42)$$

تجربة كافينديش كانت بالتالي أول ما أكدت أن الجاذبية أيضا تعمل جانبيا . و التجربة أيضا سمحت باستنتاج كتلة الأرض M من نصف قطرها R و العلاقة $g = GM/R^2$ (التحدي (التحدي 328e) بالتالي التجربة أيضا سمحت باستنتاج الكثافة المتوسطة للأرض . أخيرا ، كما سنرى لاحقا ، هذه التجربة تثبت ، إذا أبقينا في ذهننا أن سرعة الضوء منتهية و ثابتة ، فإن الفضاء يكون منحني (المجلد II ، صفحة 122) . كل هذا يتحقق بإعداد بسيط .

هنري كافينديش (ولد في 1731 في نيس ، و توفي 1810 في لندن) كان من أعظم عباقرة الفيزياء و هو شخص غني ، متوحد ، كاره للنساء ، لم يتزوج و عاش في عزلة وقد وجد العديد من قوانين الطبيعة ، ولكنه لم ينشرها أبدا . ولو قام بهذا و لكان اسمه سيعرف أكثر بكثير . جون مايكل (1724-1793) كان قسا في الكنيسة ، جيولوجيا و فلكيا هاويا .

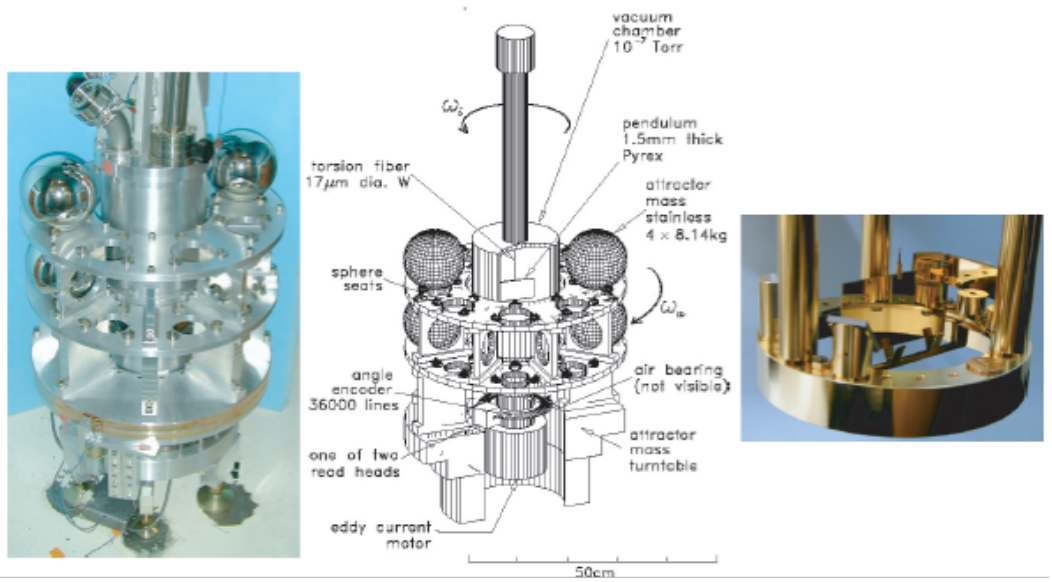


الشكل 139 تجارب منزلية تسمح بتحديد ثابت الجاذبية G ، وزن الأرض و تثبت أن الجاذبية أيضا تعمل بشكل جانبي و تبين أن الجاذبية تحني الفضاء . الصورة العلوية اليسرى و اليمنى ، توازن الشد يتم من الرغوة و القصدير بواسطة كتل كروية ككتل مثبتة ، وسط اليمين ، توازن الشد للخشب و الرصاص ، حيث الأحجار ككتل ثابتة ، تتابع زمني يبين كيف أن الأحجار تجذب الرصاص .

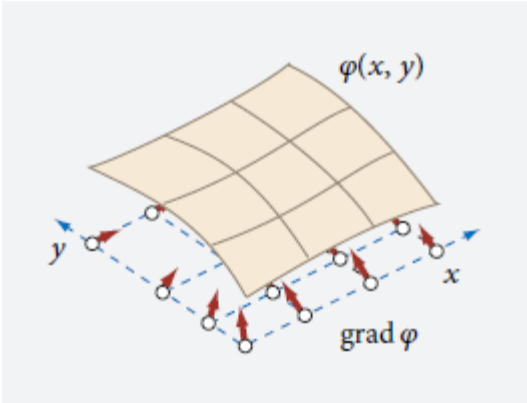
المرجع 142 : وجد كافينديش أن كثافة كتلة الأرض تبلغ 5.5 مرة كثافة الماء . و هذه كانت نتيجة مدهشة لأن الصخر كثافته فقط 2.8 مرة كثافة الماء . ما هو أصل قيمة الكثافة العالية ؟ (تحدي e 329) .

نلاحظ أن G لها قيمة صغيرة . لقد ذكرنا أعلاه أن الجاذبية تحد من الحركة . و في الحقيقة ، يمكننا كتابة علاقة الجاذبية العامة بالشكل التالي :

$$\frac{ar^2}{M} = G > 0 \qquad (43)$$



الشكل 140 تجربة توازن الشد الدقيق الحديثة تقيس ثابت الجاذبية ، المجراة في جامعة واشنطن



الشكل 141 الكمون و التدرج المنظور إليه من أجل بعدين فراغيين

الجاذبية تمنع الحركة المنتظمة . في الحقيقة يمكننا أن نقول المزيد : الجاذبية هي أصغر تأثير ممكن للبيئة على جسم متحرك . كل التأثيرات الأخرى التي تحدث تضاف للجاذبية . لكن ليس من السهل التعبير عن هذا بعلاقة بسيطة . (تحدي 330 d) .

الجاذبية بين الأجسام اليومية هي ضعيفة , مثلا الشخصين المتوسطين المتباعدين مسافة 1m عن بعضهما يشعران بالجاذبية تجاه بعضهما البعض هي اقل مما هو عليه لذبابة شائعة تحط على الجلد (التحدي هي اقل مما هو عليه لذبابة شائعة تحط على الجلد (التحدي 331s) . لذا فإننا عادة لا نلاحظ التجاذب لأناس آخرين . و عندما نلاحظه يكون أقوى بكثير من ذلك . إن قياس G بالتالي يثبت أن الجاذبية لا يمكن أن تكون السبب الحقيقي وراء حب الناس بعضهم البعض وأيضا أن التجاذب العاطفي ليس ذو منشأ جاذبي و لكنه من مصدر مخالف . الأساس الفيزيائي للحب سيدرس لاحقا في مسيرتنا و هو يعرف بالكهرطيسية . (المجلد III ، صفحة 15) .

الكمون الجاذبي / كمون الجاذبية

الجاذبية لها خاصة مهمة : كل تأثيرات الجاذبية أيضا توصف من قبل كمون قابل للملاقبة وهو كمون الجاذبية φ.

وبالتالي علينا إيجاد علاقة بسيطة بحيث أن التسارع يعطى بواسطة تدرج كموني

$$\boldsymbol{a} = -\nabla\varphi \qquad \text{or} \qquad \boldsymbol{a} = -\operatorname{grad}\varphi\,. \tag{44}$$

التدرج هو مجرد مصطلح دال على الميل على طول اتجاه منحدر . التدرج يعرف من أجل أي نقطة على الميل ، و هو كبير من أجل الانحدار و صغير من أجل التسطح . و يشير التدرج إلى اتجاه التسلق / الصعود الأكثر انحدارا كما هو مبين في الشكل 141 . و التدرج يختصر بالرمز ∇ و يلفظ " نابلا " و يعرف رياضيا عن طريق العلاقة :

$\nabla\varphi = (\partial\varphi/\partial x, \partial\varphi/\partial y, \partial\varphi/\partial z) = \operatorname{grad}\varphi$ * . الإشارة السالبة في (44) مضافة اصطلاحا ، من أجل أن يكون هناك قيم كمون أعلى عند ارتفاعات أعلى . و في الحياة اليومية ، عندما الشكل الكروي للأرض يكون مهملا ، فإن كمون الجاذبية يعطى بالشكل :

$$\varphi = gh\,. \tag{45}$$

الكمون φ هو مقدار مهم ، حيث أن عدد وحيد في كل موضع في الفراغ يمكننا أن نصف النواحي الشعاعية لتسارع الجاذبية .و هو يعطي تلقائيا أن الجاذبية في نيوزيلندة تعمل في الاتجاه المعاكس في باريس . و بالإضافة لذلك يطرح الكمون إضافة

ما يعرف بالطاقة الكمونية U بوضع :

$$U = m\varphi \tag{46}$$

و بالتالي يسمح بتحديد التغير في الطاقة الحركية T لجسم ساقط من النقطة 1 إلى النقطة 2 عن طريق :

$$T_1 - T_2 = U_2 - U_1 \qquad \text{or} \qquad \tfrac{1}{2}m_1 v_1^{\,2} - \tfrac{1}{2}m_2 v_2^{\,2} = m\varphi_2 - m\varphi_1\,. \tag{47}$$

بمعنى آخر ، فإن الطاقة الكلية ، المعرفة كمجموع الطاقة الحركية و الكامنة تكون مصونة في الحركة بسبب الجاذبية و هذه خاصة مميزة للجاذبية . الجاذبية تصون الطاقة و كمية الحركة .

الصفحة 110 : ليست كل التسارعات يمكن استنتاجها من الكمون ، الجمل ذات هذه الخاصة تعرف بأنها مصونية . المراقبة تبين أن التسارعات بسبب الاحتكاك ليست مصونة , و لكن التسارعات الناتجة عن الكهرطيسية مصونة .

باختصار ، يمكننا أن نقول إما أن الجاذبية يمكن وصفها بالكمون أو نقول أنها تصون الطاقة و كمية الحركة . إن طاقة الكمون للجسم عند ارتفاع h تعطى بالشكل :

$$U = mgh\,. \qquad (48)$$

للحصول على تقدير لمقدار الطاقة فإن هذا هو جواب على السؤال التالي . السيارة ذات الكتلة 1 Mg التي تسقط من على جرف بارتفاع 100 m . كم مقدار الماء الممكن تسخينه من نقطة التجمد إلى نقطة الغليان بواسطة طاقة السيارة ؟ (تحدي 332 s) .

--

في ميل ذو بعدين أو أكثر يكتب $\partial\varphi/\partial z$ - حيث ∂ تلفظ 'd' لأنه في هذه الحالات العلاقة $\partial\varphi/\partial z$ لها معنى مختلف بشكل طفيف . التفاصيل تقع خارج مجال هذا الكتاب .

شكل الأرض

الجاذبية العامة أيضا تشرح لماذا الأرض و أكثر الكواكب هي (تقريبا) كروية . نظرا لأن الجاذبية تزداد مع تناقص المسافة ، و الجسم السائل في الفراغ سيحاول دائما أن يشكل شكل كروي . و عنما يرى على نطاق كبير ، فإن الأرض في الواقع سائلة . أيضا نحن نعلم أن الأرض تبرد – وهذا يبين كيف تشكلت القشرة في القارات .

إن كروية الأجسام الصلبة الأصغر المصادفة في الفضاء ، مثل القمر ، وبالتالي تعني أنها كانت سائلة في الأزمنة الأقدم .

الأرض بالتالي أسطح بنائين عاليين هو أبعد من قاعدتيهما . (تحدي 333 s) هل يمكن قياس هذا التأثير

الكروية تبسط بشكل كبير وصف الحركة . من أجل الجسم النقطي ذو الكتلة M و الكمون هو φ (تحدي 334 e) .

$$\varphi = -G\frac{M}{r}\,. \qquad (49)$$

إن الكمون يبسط بشكل كبير وصف الحركة ، نظرا لأن الكمون هو تجميعي : بمعرفة أن الكمون جسيم نقطي يمكننا حساب الكمون و بالتالي الحركة حول أي جسم آخر بشكل غير منتظم * و من المهم أن يرمز العدد d لأبعاد الفراغ في الكمون φ لكتلة كروية : إن تبعية φ لنصف القطر r هي في الحقيقة $1/r^{d-2}$ (تحدي 336 s) . الأس d-2 كان قد تم تأكيده تجريبيا بدقة عالية جدا و لم يوجد أي انحراف لـ d عن القيمة 3 ابدا (المرجع 143) .

إن مفهوم الكمون يساعد في فهم شكل الأرض بمزيد من التفصيل .

المرجع 144 : نظرا لأن أكثر الأرض ما تزال سائلة عندما ترى على نطاق واسع ، فإن سطحها دائما يكون أفقيا بالنسبة لاتجاه محدد باجتماع تسارعات الجاذبية و الدوران . باختصار فإن الأرض ليست كرة . إنها مجسم قطعي ناقص

المرجع 145 : الشكل الرياضي المحدد بشرط التوازن يعرف بمجسم الكمثرى . وشكل مجسم الكمثرى الموضح في الشكل 142 يختلف عن المجسم القطعي الناقص المختار بشكل مناسب في الأكثر بمقدار 50 m . هل يمكنك أن تصف المجسم الكمثري رياضيا (تحدي 337 ny) .

إن المجسم الكمثري هو تقريب ممتاز للشكل الفعلي للأرض ، مستوى البحر يختلف عنه بأقل من 20 مترا , و الفروقات يمكن قياسها بواسطة رادار قمر صناعي و هي ذات أهمية كبيرة للجيولوجيين و الجغرافيين . مثلا ينتج أن القطب الشمالي فيه هو أقرب للمستوي الإستوائي من القطب الشمايل بحوالي 30 m .

---

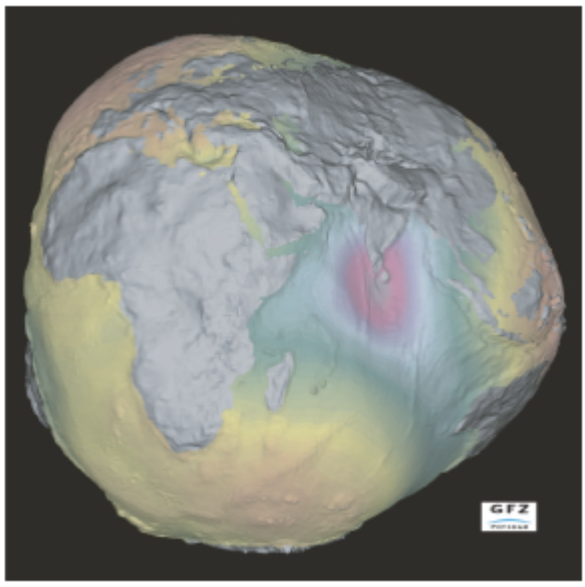
*بشكل بديل من أجل الجسم الممتد العام فإن الكمون يوجد باشتراط أن تباعد تدرجه معطى بكثافة الكتلة (أو الشحنة) مضروبا بثابت تناسب , بشكل أدق لدينا

$$\Delta\varphi = 4\pi G\rho \qquad (50)$$

حيث ρ= ρ (x ,t) هي كثافة الكتلة الحجمية للجسم و هي ماتعرف بمعامل لابلاس Δ ، يلفظ " دلتا" ويعرف بالشكل $\Delta f = \nabla\nabla f = \partial^2 f/\partial x^2 + \partial^2 f/\partial y^2 + \partial^2 f/\partial z^2$. المعادلة (50) تعرف بمعادلة بواسون للكمون φ

وسميت باسم سيمون – دينيس بواسون (1840 -1781) و هو رياضي فرنسي بارز و فيزيائي . المواضع اليت لا تكون عندها ρ تساوي الصفر تعرف بمنابع الكمون . و ما يعرف بحد المنبع Δφ لتابع هو قياس لمقدار اختلاف التابع φ(x) عند النقطة x عن القيمة المتوسطة في منطقة حول تلك النقطة (هل يمكنك أن تبين هذا بإظهار أن $\Delta\varphi \sim \bar{\varphi} - \varphi(x$ ؟) (تحدي e 335) . بمعنى آخر معادلة بواسون (50) تستدعي أن القيمة الفعلية للكمون في نقطة هي نفس القيمة المتوسطة حول النقطة ناقص كثافة الكتلة مضروبة بـ 4Πg . بشكل خاص ، في حالة الفضاء الخالي فإن الكمون عند نقطة يساوي متوسط الكمون حول تلك النقطة .

غالبا مفهوم حقل الجاذبية يطرح و يعرف بالشكل $g = -\nabla\varphi$. ونحن نتجنب هذا في حديثنا لأننا سوف نكتشف أنه ، وفق نظرية النسبية ، أن الجاذبية ليست نتجة عن حقل على الإطلاق في الحقيقة حتى مفهوم كمون الجاذبية سيتبين أنه فقط تقريب .



الشكل 142 شكل الأرض ، بمقياس ارتفاع مبالغ فيه

هذا ربما ناتج هم كتل اليابسة الكبيرة في نصف الكرة الشمالي .

صفحة 137 : لقد رأينا أعلاه أن عطالة المادة ، بالرغم ما يعرف بالقوة النابذة تزيد نصف قطر الأرض عند خط الإستواء بمعنى آخر ، الأرض مسطحة عند القطبين . و خط افستواء له نصف قطر a يبلغ 6.38 Mm بينما المسافة b من القطبين إلى مركز الأرض هو 6.36 Mm . إن التسطح الدقيق هو (a-b)/a) له القيمة 1/298.3=0.0034 (الملحق B) . بالنتيجة سطح جبل مونت كيمبروازو في الإكوادور حتى بالرغم أن ارتفاعه فقط 2676 m فوق سطح البحر ، هو أبعد بمقدار 20 km من مركز الأرض عما هو عليه جبل ساجارماتا* في نيبال ، الذي ارتفاعه فوق سطح البحر 8850 m . سطح جبل مونت كيمبروازو هو في الحقيقة نقطة السطح الأكثر بعدا عن مركز الأرض .

إن شكل الأرض له نتيجة مهمة أخرى . إذا توقفت الأرض عن الدوران (لكن استمرت في المحافظة على شكلها) فإن الماء في المحيطات سوف يتدفق من خط الإستواء إلى القطبين ، و كل أوربا ستغرق ما عدا بضع جبال في الألب التي هي أعلى من 4 km . إن الأجزاء الشمالية من أوربا ستغطى بين 10 km & 6 بالماء . و إن جبل ساجارماتا سيكون أعلى بـ 11 km من سطح البحر . و سوف نمشي بشكل مائل . أيضا إذا أخذنا بالحسبان التغير الناتج في شكل الأرض ، فإن الأعداد ستصبح أصغر بنحو ما . بالإضافة لذلك التغير في الشكل سينتج زلازل قوية جدا و عواصف . طالما أنه لا يوجد أي من هذه الآثار (صفحة 157) فإننا يمكن أن نتأكد أن الشمس ستشرق غدا بالرغم من أن بعض الفلاسفة ينفون ذلك .

الديناميك – كيف تتحرك الأشياء بأبعاد متعددة

إن مفهوم الكمون هو أداة قوية . إذا كان يمكن لجسم أن يتحرك على طول خط مستقيم أو منحني ، فإن مفاهيم الطاقة الحركية و طاقة الكمون كافية لتحديد بشكل كامل الطريقة التي تتحرك بها الأجسام .

--

جبل سارجارماتا يدعى في بعض الأحيان بجبل إيفرست



الشكل 143 التغير في القمر خلال الشهر يبين اهتزازه

في الحقيقة في اتجاه واحد تنتج مباشرة من مصونية الطاقة . من أجل جسم يتحرك على طول منحين معين فإن السرعة عند كل لحظة تعطى بمصونية الطاقة .

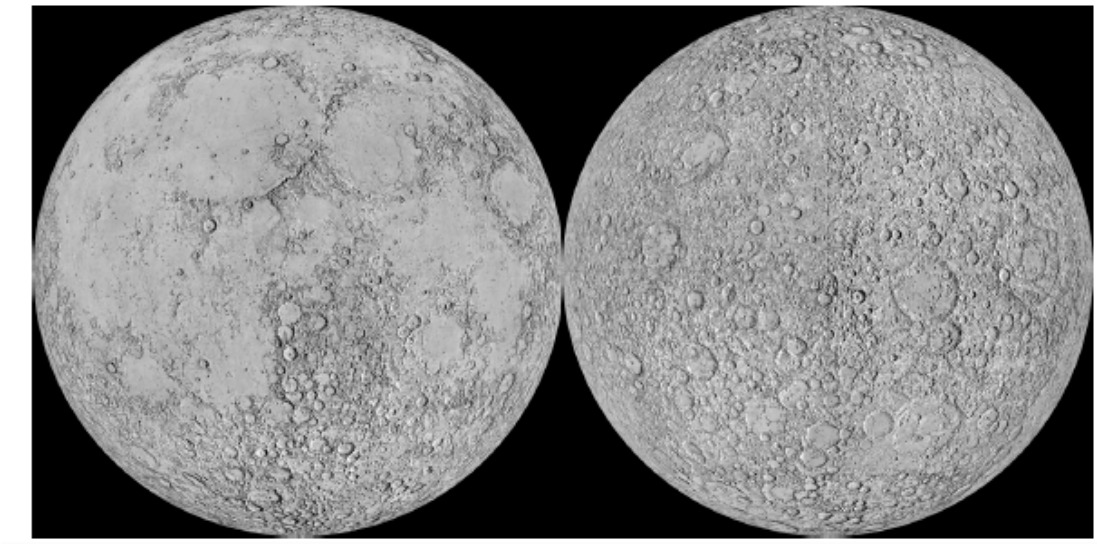
إذا تحرك جسم في اتجاهين – أي على سطح مسطح / منبسط أو منحني – و إذا كانت القوى الموجودة داخلية (هذه هي الحالة دائما نظريا ، و لكن ليس عمليا) فإن مصونية كمية الحركة الزاوية يمكن أن تستخدم . والحركة الكلية في البعدين بالتالي تنتج من مصونية الطاقة و كمية الحركة الزاوية . مثلا كل خواص السقوط الحر تنتج من مصونية الطاقة و كمية الحركة الزاوية . (هل تستطيع بيان هذا ؟) (تحدي s 338) . مرة ثانية الكمون هو أساسي .

في حالة الحركة في الأبعاد الثلاثة فإن القاعدة الأكثر عمومية لتحديد الحركة تكون ضرورية . إذا كان هناك أكثر من بعدين فراغيين فإن المصونية غير كافية لتحديد كيفية حركة الجسم . و ينتج أن الحركة العامة تنتج من مبدأ بسيط : المتوسط الزمني للفرق بين الطاقة الحركية و الكامنة يجب أن يكون صغيرا قدر الإمكان . و هذا يعرف بميدأ أقل الفعل . و سوف نشرح تفاصيل طريقة الحساب هذه لاحقا . و مرة ثانية الكمون هو المكون الأساسي في حساب التغير (صفحة 247) وبالتالي وصف أي مثال للحركة .

من أجل حركات الجاذبية البسيطة ، فإن الحركة تكون ثنائية الأبعاد في المستوي ، و أكثر المسائل ثلاثية الأبعاد هي خارج نطاق هذا الكتاب ، و بعض هذه المسائل صعبة جدا و ما تزال مواضيع بحث .و في المغامرة سندرس الحركة ثلاثية الأبعاد فقط في حالات معينة التي تعطي تصورات مهمة .

القمر

كم طول اليوم على القمر ؟ الجواب هو 29 يوم أرضي . و هذا الزمن الذي يستغرقه مراقب على القمر لرؤية الشمس ثانية في نفس الموضع في السماء .



الشكل 144 خرائط عالية الدقة (ليست صورا) للجابن القريب (الأيسر) و البعيد (الأيمن) للقمر يبين كم يحفظ القمر الأرض من صدمات الرجم

و غالبا يسمع المرء أن القمر دائما يبدي نفس الجانب للأرض . و لكن هذا غير صحيح . كما يمكن للمرء أن يتأكد بالعين المجردة من معلم معين في مركز وجه القمر عند كونه بدرا و ليس في المركز بعد أسبوع لاحقا . إن الحركات المتعددة التي القمر لا يأخذ مدارا دائريا و لكن قطعا ناقصا حول الأرض و لأن محور القمر مائل بشكل طفيف ، مقارنة مع ذلك العائد لدورانه حول الأرض . و بالنتيجة ، فقط حوالي 45% من سطح القمر يخفى بشكل دائم عن الأرض .

أول صور المنطقة المحجوبة من القمر أخذت في 1960s من قبل قمر صناعي سوفيتي ، و الأقمار الصناعية الحديثة تعطي خرائط دقيقة كما هو مبين في الشكل 144.

تحدي e 339 : (فقط قم بتغيير حجم الشكل للمرح) السطح المحجوب هو أكثر تشوها بكثير من الوجه المرئي ، حيث أن السطح المحجوب هو الذي يتقاطع مع أكثر الكويكبات المنجذبة من قبل الأرض . و بالتالي جاذبية القمر تساعد في حرف الكويكبات عن الأرض . و عدد الأنواع الحيوانية المنقرضة بالتالي ينخفض إلى عدد صغير و لكن لا يكون مهملا . و بمعنى آخر التجاذب بفعل الجاذبية للقمر قد أنقذ العنصر البشري من الانقراض عدة مرات حتى الآن * .

إن الرحلات إلى القمر في 1970s أيضا بينت أن القمر نشأ من الأرض نفسها : منذ فترة طويلة فإن جسما ضرب الأرض تقريبا بشكل مماسي و رمى بجزء من مادتها في السماء . وهذه الآلية هي الوحيدة القادرة على تفسير الحجم الكبير للقمر ، و محتواه من الحديد (المرجع 147) و أيضا تركيبه العام من المواد .

المرجع 148 : القمر يتراجع عن الأرض بمقدار 3.8 cm بالعام و هذه النتيجة تؤكد الاستنتاج القديم أن المدر و الجزر يبطئ دوران الأرض . هل يمكن أن تتخيل كيف تم إجراء هذا القياس ؟ (تحدي s 340) .

---

*صفحات الإنترنت www.minorplanetcenter.netiau/lists/Closest.html و InnerPlot.html تعطي تقديرا عن عدد الأجسام التي تقريبا تضرب الأرض كل عام . بدون القمر ، سيكون لدينا العديد من الكوارث الإضافية

نظرا لأن القمر يبطئ الأرض فإن الأرض أيضا يتغير شكلها بسبب هذا التأثير (تذكر أن شكل الأرض يعتمد على سرعة

دورانها) . هذه التغيرات في الشكل تؤثر على النشاط التكتوني للأرض و ربما أيضا تحرف القارات .

إن القمر له العديد من التأثيرات على الحياة الحيوانية . الكمثال الشهير هو ذبابة كلونيو التي تعيش على السواحل عند اشتداد المد و الجزر . (المرجع 149) .و الكلونيو تقضي بين ست و اثني عشر أسبوعا كيرقة ، و بعدها تفقس و تعيش فقط ساعة أو ساعتين كذبابة بالغة تطير ، خلال هذا الزمن تتكاثر . و الذباب فقط يتكاثر إذا فقست اليرقات خلال مرحلة المد المنخفض أو المد الربيعي . و المد الربيعي هو مد قوي خاص خلال كون القمر بدرا و جديدا و عندما تجتمع التأثيرات القمرية و الشمسية و تحدث فقط كل 14.8 يوما . في عام 1995 ، أظهر ديتريش نيومان أن اليرقات لها ساعتين داخليتين ، ساعة شمسية و ساعة قمرية ، اللتان معا تتحكمان بتفقيس لبضع ساعات بشكل دقيق عندها يمكن للحشرة أن تتكاثر

و قد أظهر أن الساعة القمرية متزامنة مع سطوع القمر في الليل ..بمعنى آخر ، اليرقات تراقب القمر في الليل و بعدها تقرر متى تفقس : وهي أصغر عالمة فلك معروفة .

إذا كان يمكن للحشرات أن يكون لها دورات قمرية فإنه من غير المدهش أن النساء أيضا لديهن مثل هذه الدورة ، و في هذه الحالة الأصل الدقيق لطول الدورة ما يزال مجهول و هو موضوع بحث (المرجع 150) .

إن القمر أيضا يساعد على استقرار ميل محور الأرض وإبقائه ثابتا على نحو قليل أو كثير بالنسبة لمستوي الحركة حول الشمس . و بدون القمر فإن المحور سيغير اتجاهه بشكل منتظم و يمكن ألا يكون لدينا إيقاع منتظم لليل و النهار و سوف تحدث تغيرات مناخية شديدة , تطور الحياة سيكون مستحيلا (المرجع 151) . بدون القمر الأرض ستدور أيضا بشكل أسرع بكثير مما سيؤدي إلى طقس أقل اعتدالا (المرجع 152) . و التأثير الباقي للقمر على الأرض هو تقدم محورها المسؤول عن العصور الجليدية .(المرجع 146) .

إن مدار القمر ما يزال موضوع بحث . و ما يزال من غير الواضح لماذا يدور القمر عند زاوية °5 عن الكسوف و كيف يتغير المدار منذ تشكل القمر . ربما الاصطدام الذي أدى إلى تشكل القمر أمال محور الدوران للأرض و القمر الأصلي (المرجع 153) بالتالي خلال آلاف ملايين السنين كلا المحورين تحركا في شكل معقد تجاه دائرة البروج ، واحد أكثر من الآخر .

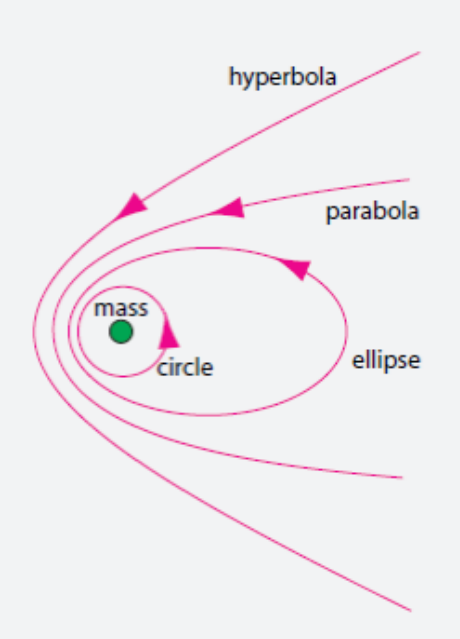
هلال هذا التطور فإن المسافة للقمر مقدر أنها تزداد بعامل يساوي 15 .

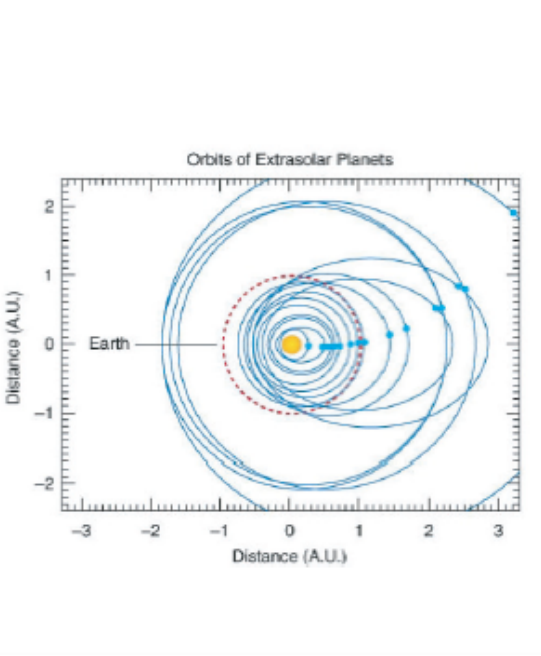
المدارات – المقاطع المخروطية والمزيد

إن مسار جسم يدور باستمرار حول جسم آخر تحت تأثير الجاذبية هو قطع ناقص حيث الجسم المركزي يكون عند أحد المحرقين . و المدار الدائري أيضا ممكن حيث الدائرة هي حالة خاصة من القطع الناقص . و إن الحالات الوحيدة لجسمين يمكن أيضا أن تكون قطع زائد أو قطع مكافئ كما هو مبين في الشكل 145

إن الدوائر ، القطوع الناقصة ، القطوع الزائدة و المكافئة تعرف جميا بالقطوع المخروطية . و في الحقيقة كل من هذه المنحنيات يمكن أن ينتج عن قطع مخروط معلوم بسكين . هل تستطيع تأكيد هذا ؟(تحدي e 341) .

إذا كانت المدارات في الأغلب قطوعا ناقصة ، ينتج أن المذنبات تعود . و الفلكي الإنجليزي إدوار هالي (1656-1742)كان أول من توصل لهذا الاستنتاج و توقع عودة المذنب . و وصل إلى تاريخ متوقع في عام 1756 ، بعد وفاته ، و الآن سمي باسمه . إن دور مذنب هالي هو بين 80 & 74 عاما و أول رؤية مسجلة له كانت منذ 22 قرنا خلت ، و قد شوهد مرة في كل قرنا خلت ، و قد شوهد مرة في كل 30 مرور له منذ آخر وقت في عام 1986 .





الشكل 115 المدارات الممكنة الناتجة عن الجاذبية العامة لكتلة صغيرة حول كتلة كبيرة وحيدة (اليسار) و بضع أمثلة عن المدارات المقاسة (يمين) و هي تلك العائدة لبعض الكواكب خارج الشمس و الأرض و كلها مرسومة حول نجمها المركزي المعين ، بمسافات معطاة بالوحدات الفلكية .

تبعا للطاقة الأولية و كمية الحركة الزاوية الابتدائية للجسم بالنسبة للكوكب المركزي ، المسارات هي إما قطوع ناقصة أو قطوع مكافئة أو زائدة . هل يمكنك تحديد شروط الطاقة و كمية الحركة الزاوية لظهور هذه المسارات ؟ (تحدي s 342)

عمليا المدارات القطعية المكافئة لا توجد في الطبيعة (بعض المذنبات يبدو أنها تقترب من هذه الحالة عند الحركة حول الشمس و لكن تقريبا كل المذنبات تتبع مسارات قطع ناقص طالما أنها بعيدة عن كواكب أخرى) . إن المسارات القطعية الزائدة توجد ، و الأقمار الصناعية تتبعها عندما تطلق تجاه كوكب و عادة بهدف تغيير اتجاه رحلة القمر الصناعي عبر المجموعة الشمسية .

لماذا يؤدي قانون التربيع العكسي إلى مقاطع مخروطية ؟ أولا هناك جسمين ، كمية الحركة الزاوية الكلية L هي ثابتة :

$$L = mr^2\dot{\varphi} = mr^2\left(\frac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{d}t}\right) \qquad (51)$$

بالتالي الحركة تقع في مستوي .و أيضا الطاقة E هي ثابتة

$$E = \tfrac{1}{2}m\left(\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}\right)^2 + \tfrac{1}{2}m\left(r\frac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{d}t}\right)^2 - G\frac{mM}{r}\,. \qquad (52)$$

معا المعادلتين تستدعيان أن (التحدي e 343)

$$r = \frac{L^2}{Gm^2M}\,\frac{1}{1+\sqrt{1+\dfrac{2EL^2}{G^2m^3M^2}}\cos\varphi}\,. \qquad (53)$$

الآن المنحني العام معرف بالعلاقة العامة :

$$r = \frac{C}{1+e\cos\varphi} \quad \text{or} \quad r = \frac{C}{1-e\cos\varphi} \qquad (54)$$

هو قطع ناقص من أجل $0 < e < 1$ ، وقطع مكافئ من أجل $e=1$ و قطع زائد من أجل $e>1$ و يوجد محرق في المبدأ .

إن المقدار e يعرف الاختلاف المركزي ويصف مقدار انهصار المنحني .

بمعنى آخر ، الجسم في المدار حول كتلة مركزية يتبع مقطعا مخروطيا .

في كل المدارات ، أيضا حركات الكتل الثقيلة . في الحقيقة كلا من الجسمين يدوران حول مركز مشترك للكتلة .

كلا الجسمين يتبعان نفس النع من المنحني – القطع الناقص ، القطع المكافئ أو القطع الزائد – لكن حجوم المنحنين تختلف (تحدي e 344) .

إذا تحرك أكثر من جسمين تحت الجاذبية المشتركة ، فإن العديد من الإمكانيات الإضافية للحركات تظهر . إن التصنيف و الحركات هي معقدة تماما . و في الحقيقة هذا ما يعرف بمسألة الأجسام المتعددة و ما يزال موضوع بحث ، عند كل من الفلكيين و الرياضيين . لننظر إلى بضع مراقبات .

عندما تدور عدة كواكب حول نجم فإنها تجذب بعضها البعض . الكواكب بالتالي لا تتحرك في قطوع ناقص تامة . و أكبر انحراف هو انزياح الحضيض الشمسي كما هو مبين في الشكل 114 .

صفحة 152 : هذا يلاحظ بالنسبة للمشتري و بعض الكواكب الأخرى بما فيها الأرض . والانحرافات الأخرى عن المسارات القطعية الناقصة تظهر خلال مدار وحيد . في عام 1846 فإن الانحرافات الملحوظة لحركة كوكب أورانوس عن المسار المتوقع بواسطة الجاذبية العامة استخدم لتوقع وجود كوكب آخر ، نيبتون ، و الذي اكتشف بعد وقت قصير .

صفحة 106 : لقد رأينا أن الكتلة دائما موجبة و أن الجاذبية بالتالي هي دائما تجاذبية و ليس هناك جاذبية مضادة . هل يمكن استخدام الجاذبية من أجل رفع الأجسام باستخدام أكثر من جسمين ؟ نعم هناك مثالين .* الأول هو الأقمار الصناعية الثابتة المدار ، التي تستخدم للبث التلفزيوني الإشارات الأخرى من و إلى الأرض .

إن نقاط الاهتزاز اللاغرانجية هي مثال ثاني . سميت باسم مكتشفها و هذه النقاط في الفراغ قرب جملة من جسمين مثل القمر – الأرض أو الأرض – الشمس التي تملك فيها الأجسام الصغيرة موضع توازن مستقر . و المراجعة لذلك معطاة في الشكل 147 . هل يمكنك أن تجد موضعهما الدقيق ، مع تذكر أخذ الدوران بالحسبان ؟

(تحدي 345 s) هناك ثلاثة نقاط لاغرانجية إضافية على خط الأرض - القمر (أو الشمس – خط الكوكب) . كم منها مستقر ؟ (تحدي 346 d) .

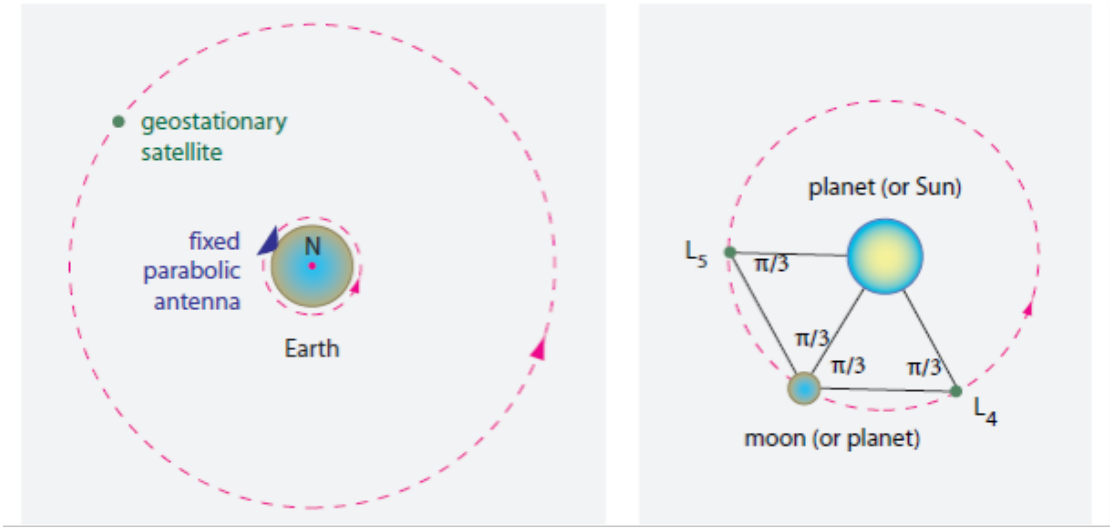
هناك آلافا من الكويكبات تعرف بكوبيات طروادة ، موجودة عند و حول النقاط اللاغرانجية لجملة الشمس – المشتري . في عام 1990 اكتشفت كويكب طراودة لجملة المريخ – الشمس . أخيرا في عام 1997 وجد تقريبا كويكب طروادة الذي يتبع الأرض في طريقها حول الشمس (و هو فقط انتقالي و يتبع مدارا أكثر تعقيدا بعض الشيء) (المرجع 155) و هذا المرافق الثاني للأرض له قطر يبلغ 5 km .

--

* الاهتزاز مناقش بالتفصيل في فقرة التحريك الكهربائي . (المجلد III ، صفحة 159) .



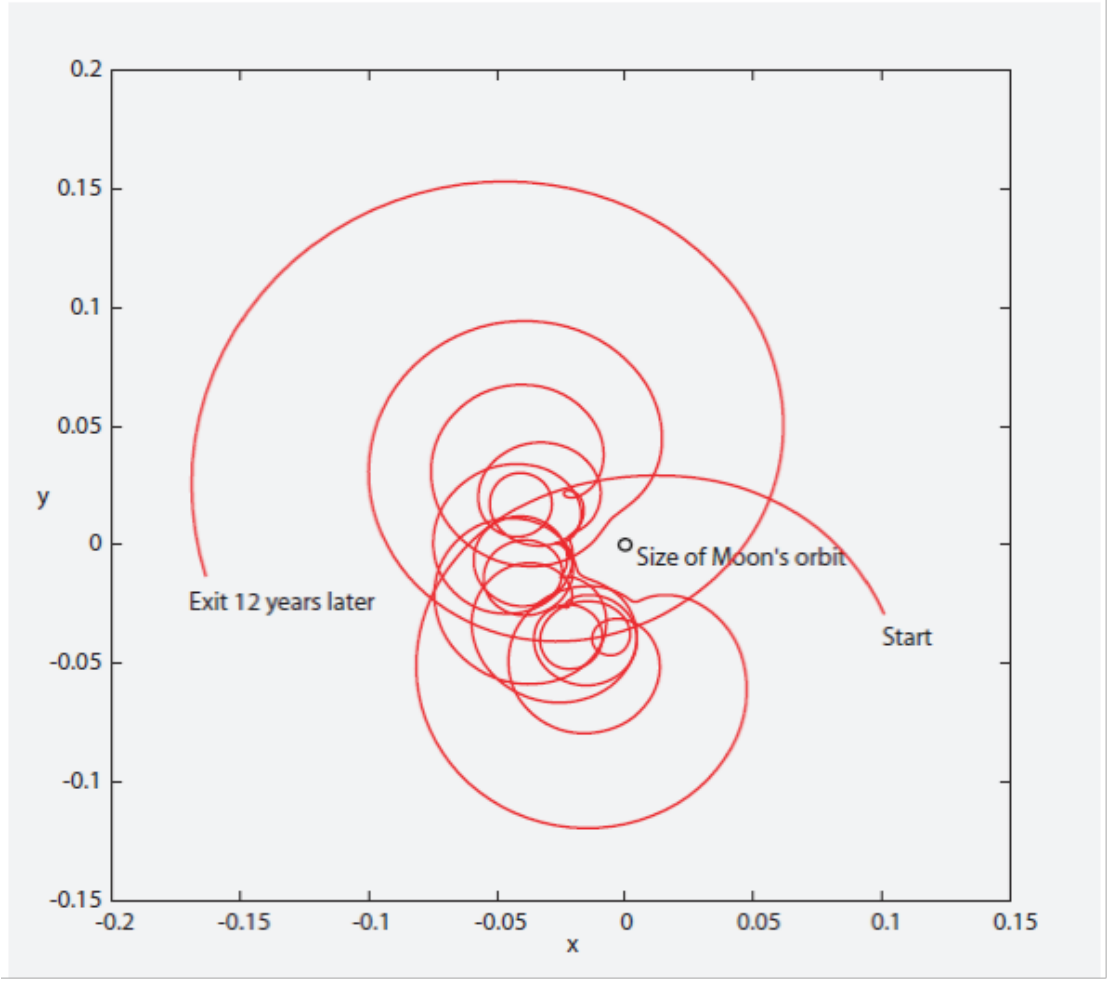
الشكل 146 الأقمار الصناعية الثابتة في المدار ترى هنا في الربع الأيسر العلوي تتحرك مقابل نجوم أخرى و تبين موضع خط الإستواء السماوي .



الشكل 147 الأقمار الصناعية الثابتة في المدار (يسار) و النقاط اللاغرانجية المستقرة الأساسية (يمين)

بشكل مشابه على نقط اللاغرانجيان الأساسية لجملة الأرض – القمر فإن تركيزا عاليا من الغبار قد تم ملاحظته .

يعلم الفلكيون أن العديد من الأجسام الأخرى تتبع مدارات غير منتظمة ، خاصة الكويكبات . (المرجع 154) مثلا الكويكب 2003 NY107 يتبع مدارا غير منتظم المبين في الشكل 148، الذي يرافق الأرض عددا من السنوات .



الشكل 143 مثال عن مدار غير منتظم ، قيس جزئيا و حسب جزئيا ، بسبب تجاذب الجاذبية لعدة كتل : مدار القمر شبه الصناعي الأرضي المؤقت 2003 NY107 في الإحداثيات الأرضية المركزية . هذا الكويكب ذو قطر 20(10) m أصبح محتجزا في المدار قرب خط إستواء الأرض حوالي 1995 و بقي كذلك حتى 2006 . الدائرة السوداء تمثل مدار القمر حول الأرض .

للتجميع ، المعادلة الوحيدة $a = - GMr/r^3$ تصف بشكل صحيح عددا كبيرا من الظواهر في السماء . أول شخص أوضح هذه العلاقة وصف كل شيء يحدث في السماء كان بيير سيمون لابلاس في رسالته الشهيرة رسالة المكيانيك النجمي . عندما أخبره نابليون أنه لم يجد ذكرا للخالق في كتابه ، قال لابلاس عبارته الشهيرة المكونة من جملة واحدة التي تلخص كتابه : إني لست بحاجة لهذه الفرضية . بشكل خاص ، درس لابلاس استقرار المجموعة الشمسية و تباعد المراكز للمدار القمري و تباعد مراكز / اختلافها للمدارات الكوكبية و دائما حصل على اتفاق كامل بين الحسابات و القياس .

وهذه النتائج تعبير جيد عن العلاقة البسيطة للجذابية العامة : هي أيضا تشرح ما يعرف لماذ تعرف بالكونية (العامة) . لكن كم هي دقة العلاقة ؟ منذ أن سمح علم الفلك بأكثر القياسات دقة لحركة الجاذبية ، أيضا أعطى الاختبارات الأكثر صرامة و في عام 1849 استنتج أوربان لو فيرييه بعد دراسة مكثفة أن هناك فقط مثال واحد معلوم للتفاوت بين القياس و الجاذبية العامة وهو قياس / مراقبة كوكب المشتري . (الآن معروف أكثر قليلا من ذلك) .



الشكل 149 مد وجزر سان فاليري أن كو في 20 أيلول 2005

إن نقطة أقصر مسافة إلى الشمس لمدار كوكب المشتري ، وهي الحضيض الشمسي له تدور حول الشمس بمعدل أقل بقليل مما هو متوقع : وقد وجد فرقا قليلا بحوالي "38 في القرن الواحد (المرجع 158) (هذا صحح إلى "43 بالقرن الواحد في عام 1882 من قبل سيمون نيوكومب) . اعتقد لو فيرييه أن الفرق كان ناتجا عن كوكب بين المشتري و الشمس ، و الذي تمت ملاحقته لسنين بدون نجاح . في الواقع فإنه يوجد كوكب اسمه فولكان (المجلد II ، صفحة 143) . التفسير الصحيح لهذا الفرق انتظر حتى قام ألبرت أينشتاين بتقديمه .

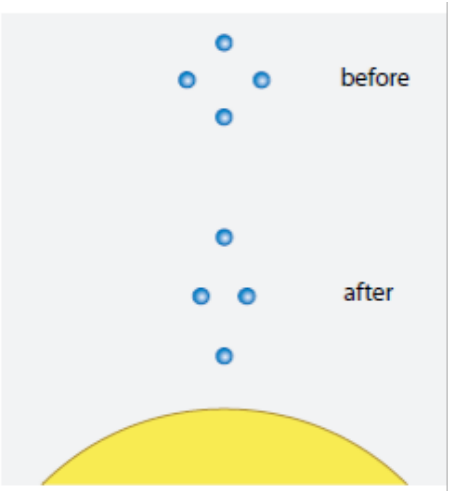
المد و الجزر

المرجع (157) لماذا تتحدث كتب الفيزياء دوما عن المد و الجزر ؟ لأن النسبية العامة ستبين أن المد و الجزر يثبت أن الفضاء منحني . و بالتالي من المفيد دراستها بقليل من التفصيل . يبين الشكل 149 كيف يمكنأن يكون المد و الجزر مذهلا

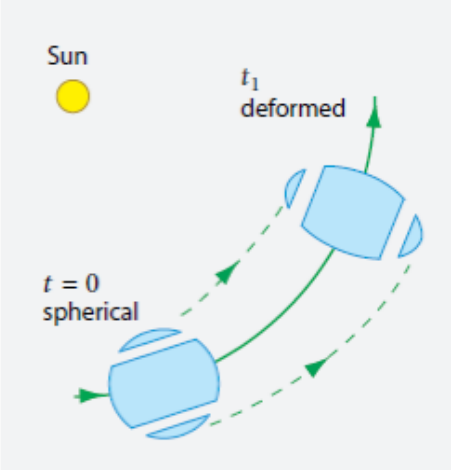
ترى الجاذبية مد وجزر البحر نتيجة التجاذب لمياه المحيط من قبل القمر و الشمس . و المد و الجزر مثيران حتى بالرغم من أن قيمة المد و الجزر هي 0.5 m في البحر المفتوح فإنها يمكن أن تصل إلى 20 m في أماكن خاصة قرب الساحل . هل يمكنك تخيل لماذا ؟ (تحدي 347 s)

إن التربة أيضا ترتفع و تنخفض بواسطة الشمس و القمر (المرجع 56) بمقدار 0.3 m تقريبا ، حيث تظهر قياسات الأقمار الصناعية .حتى الغلاف الجوي يخضع للمد و الجزر و تغيرات الضغط الموافقة يمكن ترشيحها من قياسات ضغط الطقس (المرجع 158) .

المد و الجزر يظهران من أجل أي جسم ممتد يتحرك في حقل الجاذبية لجسم آخر . و لفهم منشأ المد و الجزء تصور جسما في مدار ، مثل الأرض ، و تخيل مكوناته ، مثل الأجزاء في الشكل 150 التي تجمع معا بواسطة نوابض . إن الجاذبية العامة تستدعي أن المدارات هي أبطأ كلما كانت أبعد عن الجسم المركزي . و بالنتيجة الجزء في خارج المدار سيبدو أنه أبطأ من الجزء في المركز لكنه يسحب بواسطة بقية الجسم عن طريق النوابض .



الشكل 151 منشأ المد و الجزر



الشكل 150 تشوهات المدر و الجزر بسبب الجاذبية

على العكس فإن الجزء الداخلي سيرغب في الدوران بشكل أسرع ولكنه يمنع من قبل الأجزاء الأخرى . و كونها تبطأ فإن الأجزاء الداخلية سترغب في السقوط باتجاه الشمس . في النتيجة ، كلا الجزئين سيخضعان لسحب بعيدا عن مركز الجسم ، الذي يحد بواسطة النوابض التي توقف التشوه .

بالتالي الأجسام الممتدة تتشوه في اتجاه عدم تجانس الحقل .

مثلا نتيجة قوى المد و الجزر ، فإن القمر دائما يملك نفس الوجه (تقريبا) بالنسبة للأرض . بالإضافة لذلك ، فإن نصف قطره في اتجاه الأرض هو أكبر بحوالي 5m من نصف القطر المتعامد معه . و إذا كانت النوابض اللداخلية ضعيفة جدا ، فإن الجسم يتمزق إلى أجزاء ، و بهذا الشكل فإن حلقة الأجزاء يمكن أن تتشكل مثل حلقة الكويكب بين المريخ و المشتري أو الحلقات حول زحل .

لنعد إلى الأرض . إذا أحيط الجسم بماء فإنه سوف ينتفخ باتجاه حقل الجاذبية المطبق . من أجل قياس و مقارنة قوة المد و الجزر من الشمس و القمر نخفض تأثيرات المد و الجزء إلى قيمتها الدنيا .

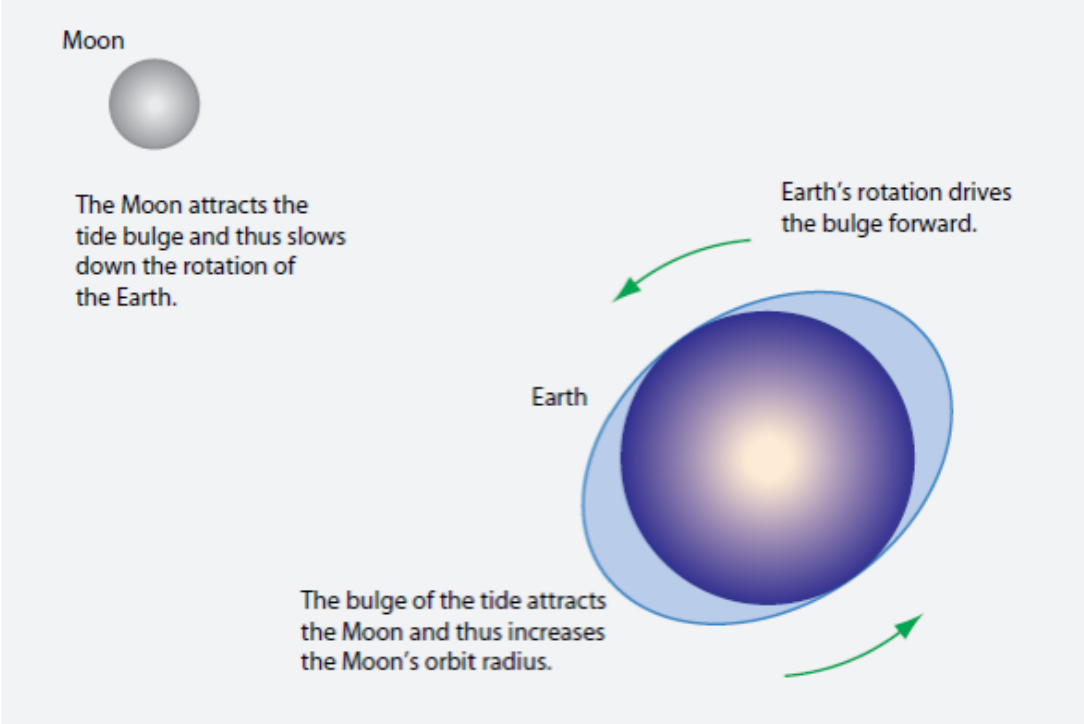
كما هو مبين في الشكل 151 يمكننا دراسة تشوه الجسم الناتج عن الجاذبية بدراسة ترتيب أربعة أجسام . يمكننا دراسة حال السقوط الحر ، لأن الحركة المدارية و السقوط الحر متكافئين .

الآن تأخذ الجاذبية بعض الأجزاء لتقربها من بعضها و بعضها الآخر تباعدها ، تبعا لمواضعها النسبية . و الشكل يوضح أن مقاومة التشوه - الماء ليس فيه نوابض داخلية – تعتمد على تغير تسارع الجذابية مع المسافة ، بمعنى آخر التسارع النسبي الذي يؤدي إلى المد و الجزر متناسب مع مشتق تسارع الجاذبية .

صفحة 499 : باستخدام الأعداد من الملحق B ، فإن تسارعات الجاذبية للشمس و القمر المقاسة من الأرض هي :

$$a_{\text{Sun}} = \frac{GM_{\text{Sun}}}{d_{\text{Sun}}^2} = 5.9\,\text{mm/s}^2$$
$$a_{\text{Moon}} = \frac{GM_{\text{Moon}}}{d_{\text{Moon}}^2} = 0.033\,\text{mm/s}^2 \qquad (55)$$

و بالتالي التجاذب من القمر هو أضعف بحوالي 178 مرة من ذلك العائد للشمس .



الشكل 152 الأرض ، القمر و تأثيرات الاحتكاك للمد و الجزر

عندما يسقط جسمان قريبان من كتلة كبيرة ، فإن التسارع النسبي يكون متناسب مع مسافتهما ، و ينتج أن (da/dr) = da dr . عامل التناسب $da/dr = \nabla a$ يسمى تسارع المد و الجزر (تدرج) و هو القياس الحقيقي لتأثيرات المد و الجزر .

تحدي e 384 : قرب كتلة كروية كبيرة تعطى M بالشكل :

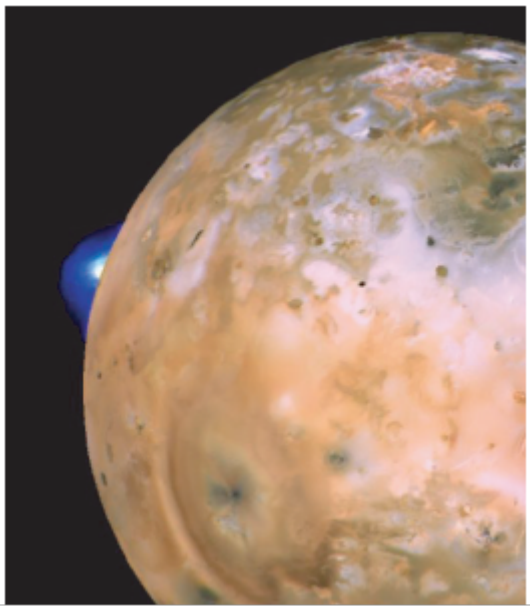
$$\frac{da}{dr} = -\frac{2GM}{r^3} \qquad (56)$$

الذي يعطي القيم

$$\frac{da_{\text{Sun}}}{dr} = -\frac{2GM_{\text{Sun}}}{d_{\text{Sun}}^3} = -0.8 \cdot 10^{-13}\ /\text{s}^2$$
$$\frac{da_{\text{Moon}}}{dr} = -\frac{2GM_{\text{Moon}}}{d_{\text{Moon}}^3} = -1.7 \cdot 10^{-13}\ /\text{s}^2\ . \qquad (57)$$

بمعنى آخر ، بالرغم من السحب الأضعف بكثير للقمر ، فإن مده و جزره يتوقع أن يكون قويا بضعف مد و جزر الشمس و هذا يلاحظ فعلا و عندما الشمس و القمر و الأرض تكون على خط واحد ، فإن المدين و الجزرين يجمعان لبعضهما البعض و هذا ما يدعى بالمد و الجزر الربيعي و هو قوي خاصة و يحدث كل 14.8 يوما عندما يكون القمر بدرا و جديدا .

يؤدي المد و الجزر إلى لغز جميل . مد و جزر القمر هو اقوى بكثير من مد و جزر الشمس ، وهذا يقتضي أن القمر أكثر كثافة بكثير من الشمس لماذا ؟ (تحدي 349 s) .



الشكل 153 نتيجة رائعة للمد و الجزر : البركانية على لو (ناسا)

المد و الجزر أيضا ينتجان احتكاكا ، كما هو مبين في الشكل 152 . يؤدي الاحتكاك إلى تباطؤ دوران الأرض . و في هذه الأيام التباطؤ يقاس بساعات دقيقة (حتى التغيرات الزمنية القصيرة جدا الناتجة عن تأثيرات أخرى مثل الطقس ، تكون غالبا أكبر) . (المرجع 115) .

إن النتائج تطابق جيدا نتائج الأحفوريات التي تبين أنه منذ) .

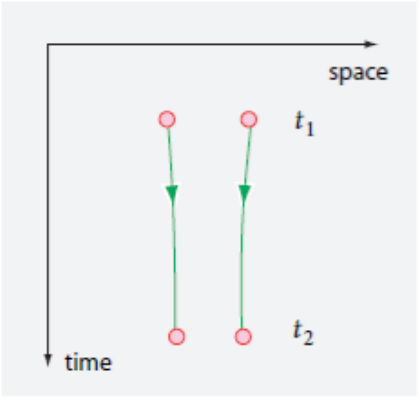
إن النتائج تطابق جيدا نتائج الأحفوريات التي تبين أنه منذ400 مليون سنة خلت في العصر الديفوني ، حيث كانت السنة طولها 400 يوما و اليوم حوالي 22 ساعة . (المجلد II ، صفحة 194) .

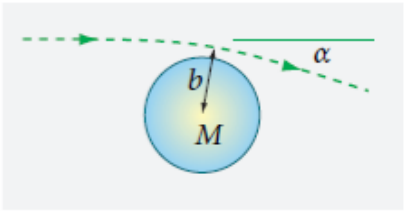
ويقدر أيضا أنه منذ 900 مليون سنة مضت كل من السنوات ذات 481 يوما كان اليوم بطول 18.2 ساعة . الاحتكاك في اساس هذا التباطؤ أيضا يؤدي إلى زيادة في مسافة القمر عن الأرض بحوالي إلى زيادة في مسافة القمر عن الأرض بحوالي 3.8 cm كل عام . هل تستيطع شرح لماذا ؟ (تحدي 350 s) .

كما ذكرنا أعلاه فإن حركة المد و الجزر للتربة مسؤولة أيضا عن بدء الزلازل . و بالتالي يمكن أن يكون للقمر تأثيرات خطيرة على الأرض . (لسوء الحظ معرفة الآلية لا تسمح بتوقع الزلازل) . المثال الأروع لتاثيرات المد و الجزر ترى على تابع المشتري لو . و إن مده وجزره يكون قويا جدا بحيث يحرض نشاطا بركانيا كما هو مبين في الشكل 153مع ثورانات بارتفاع يصل إلى 500 km . إذا كان المد و لجزر حتى أقوى فإنها يمكن أن تدمر الجسم كله ، كما يحدث في الجسم بين المريخ و المشتري الذي شكل مجسمات كوكبية أو (ربما) الأقمار التي أدت لحلقات زحل .

في الملخص ، فإن المد و الجزر ناتجة عن التسارعات النسبية لنقاط الكتلة القريبة , و هذه نتيجة مهمة (مجلد II ، صفحة 118) . في الفصل حول النسبية العامة سوف نجد أن الزمن مضروبا بسرعة الضوء يلعب نفس الدور الذي للطول . و الزمن بالتالي يصبح بعدا إضافيا كما هو مبين في الشكل 154 . باستخدام هذا التشابه ، فإن الجزيئتين الحرتين المتحركتين في نفس الاتجاه توافقان خطوطا متوازية في الفراغ – الزمن . و الجزيئتين اللتين تسقطان جنبا إلى جنب أيضا توافقان لخطوط متوازية . و المد و الجزر يبين أن مثل هذه الجزيئات تقترب من بعضها البعض .

(مجلد II ، صفحة164) بمعنى آخر المد و الجزر يقتضيان أن الخطوط المتوازية تقترب من بعضها البعض ، و لكن الخطوط المتوازية لا تتقارب من بعضها إلا فقط إذا كان الفراغ – الزمن منحنيا . باختصار المد و الجزر يقتضيان أن الفراغ – الزمن المنحني و الفضاء . و هذا التفسير البسيط يمكن أن يكون قد تم في القرن الثامن عشر ، و لكن استغرق 200 سنة كي يكشف عنه العبقري ألبرت أينشتاين .





الشكل 154 الجزيئات تسقط جنبا لجنب و تتقارب مع الزمن

الشكل 155 الكتل تحني الضوء

هل يمكن للضوء السقوط ؟

" إن عظمة أن يفكر المرء دائما بنفسه هو التنور "

إيمانويل كانت

باتجاه القرن السابع عشر ، اكتشف الناس أن الضوء له سرعة منتهية – وهي قصة سنقصها بالتفصيل لاحقا (المجلد II صفحة 15) . إن الشيءالذي يتحرك بسرعة منتهية لا يمكن أن يتأثر بالجاذبية حيث أنه لا يكون هناك وقت لإحداث التأثير . لكن الشيء ذو السرعة المنتهية سيخضع للجاذبية وبالتالي سيسقط .

هل السرعة تزداد عندما يصل الضوء إلى سطح الأرض ؟ لأكثر من ثلاثة عقود اعتقد الناس أنه لا يوجد أي وسيلة لكشف هذا الأمر ، وهكذا لم يتم البحث عن هذه القضية . و بعدها في عام 1801 كان الفلكي البروسي يوهان سولدنر (1776- 1833) أول من صاغ هذه القضية بشكل آخر . لكونه فلكيا ، فقد اعتاد على قياس النجوم و زوايا مراقبتها .

وقد أدرك أن الضوء الذي يمر قرب جسم ضخم سينحرف بسبب الجاذبية .

درس سولدنر جسما على مسار قطع زائد يتحرك بسرعة c متجاوزا كتلة كروية M على مسافة b (مقاسة من المركز) كما هو مبين في الشكل 155 و قد استنتج سولدنر زاوية الانحراف (تحدي 351 ny)

$$\alpha_{\text{univ. grav.}} = \frac{2}{b}\frac{GM}{c^2} \ . \qquad (58)$$

قيمة الزاوية هي أكبر عندما عندما تحيط محيطة بالكتلة M . و من الضوء المنحرف بواسطة كتلة الشمس ، فإن الزاوية تبين أنها صغيرة جدا 4.3 μrad = "0.88 . و في زمن سولدنر ، هذه الزاوية كانت من الصغر بحيث يصعب قياسها .وب التالي تم نسيان القضية . وعند وضع النسبية العامة التي بدأت كعلم تجريبي ، و ليس كجهد نظري لألبرت أينشتاين ! لماذا؟ (مجلد II ، صفحة 141) كما سنرى . بالملخص الضوء يمكن أن يسقط و لكن القضية تخفي بعض المفاجآت .

القيمة التي تم حسابها كانت مختلفة عن القيمة المقاسة . و أول قياس تم في عام 1919 *8 و وجد أن التبعية الصحيحة للمسافة ، و لكن وجد انحرافا يصل إلى "1.75 تماما ضعف العلاقة (58) . السبب ليس من السهل إيجاده و هو ناتج عن انحناء الفضاء

---

* إن عظمة أن يفكر المرء دائما بنفسه هو التنور

**بالمناسبة كيف يمكنك قياس انحراف الضوء قرب الشمس الساطعة ؟ (تحدي 352 s)

الكتلة : العطالية و الجاذبية

تصف الكتلة كيف يتبادل الجسم التأثير مع الأجسام الأخرى . و في مشينا ، نحن نصادف اثنيتن من هذه النواحي .

الكتلة العطالية ، التي تبقي الأجسام تتحرك و التي تعطي مقاومة للتغير في حركتها . و الكتلة الجاذبية التي هي الخاصة المسؤولة عن تسارع الأجسام القريبة (الناحية الفعالة) أو كونها تتسارع بواسطة الأجسام القريبة (الناحية غير الفعالة) مثلا الناحية الفعالة لكتلة الأرض تحدد التسارع السطحي للأجسام ، و الناحية غير الفعالة للأجسام تسمح لنا بأن نزنها من أجل قياس كتلتها باستخدام المسافات فقط أي على مقياس أو ميزان . الكتلة الجاذبية هي أساس الوزن و هي صعوبة رفع الأشياء *.

هل كتلة الجاذبية لجسم تساوي الكتلة العطالية ؟ الجواب التقريبي عن هذا معطى بخبرة أن الأجسام التي من الصعب

هي من الصعب رفعها . أبسط تجربة هي أخذ جسمين بكتلتين مختلفتين و جعلهما يسقطان . إذا كان التسارع

هو نفسه لكل الأجسام ، فإن الكتلة العطالية مساوية لكتلة الجاذبية (غير الفعالة) ، لأنه في العلاقة $ma = \nabla(GMm/r)$ الطرف الأيسر m في الواقع هي الكتلة العطالية و في الطرف الأيمن m هي كتلة الجاذبية .

لقد قام في القرن السابع عشر غاليليو بطرح مقولة معروفة بشكل واسع وحتى أقدم التي تبين بدون تجربة أن تسارع الجاذبية في الحقيقة نفسه لكل الأجسام . و إذا سقطت أجسام أكبر بسرعة أكبر من الأجسام الأصغر بالتالي يظهر التناقض التالي .

أي جسم يمكن أن يرى مكونا من جزء كبير متصل بجزء أصغر . و إذا سقطت الأجسام الصغيرة فعلا بشكل أقل سرعة فإن الجزء الصغير سيبطئ الجزء الأكبر ، بحيث أن كل الجسم سيسقط بشكل أقل سرعة من الجزء الكبير (أو يتحطم إلى أجزاء) . في نفس الوقت الجسم أكبر من من أجزائه و سيسقط بشكل أسرع من ذلك الجزء ، ومن الواضح أن هذا مستحيل : كل الكتل يجب أن تسقط بنفس التسارع .

العديد من التجارب الدقيقة أجريت منذ مناقشة غاليليو الأصلية . و في كل منها فإن استقلال التسارع للسقوط الحر من تركيب الكتلة و المادة أكد بالدقة التي تسمح بها (المرجع 160). و بمعنى آخر تؤكد التجارب أن :

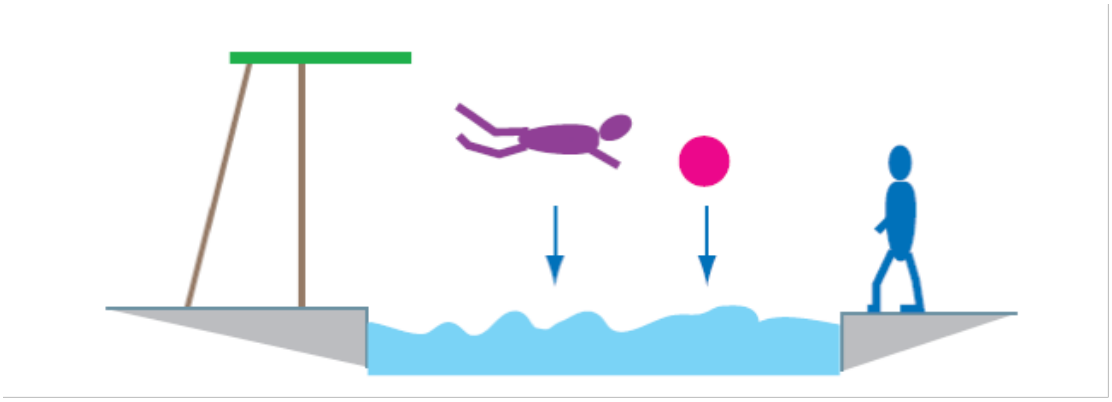
- كتلة الجذابية و الكتلة العطالية ليستا متساويتين

ما هو أصل هذه المقولة الغريبة ؟

إن تساوي الكتلة الجاذبية و العطالة ليس غريبا على الإطلاق . لنهد إلى تعرف الكتلة كنسبة تسارع مقلوبة سالبة (صفحة 100) . و لقد ذكرنا أن الأصل الفيزيائي للتسارعات لم يلعب دورا في التعريف لأن الصل لا يظهر في العلاقة . بمعنى آخر ، قيمة الكتلة بالتعريف مستقلة عن التأثير المتبادل . هذا يعني أن كتلة عطالية معينة ، استنادا إلى و المقاسة بواسطة تبادل التأثير الكهرطيسي ، و كتلة الجاذبية متطابقتين بالتعريف .

إن أفضل برهان على تساوي كتلة العطالة و الجاذبية موضح في الشكل 156 : يبين أن المفهومين يختلفان فقط من وجهة نظر المراقب . و الكتلة العطالية و كتلة الجاذبية تصفان نفس المراقبة / القياس .

تحدي ny 353 : ما هي قيم الوزن المبينة بواسطة ميزان لشخص وزنه 85 kg يقلب ثلاث كرات كل منها بوزن 0.3 kg ؟



الشكل 156 الكرة الساقطة هي حركة عطالية من أجل مراقب يسقط و حركة جاذبية من أجل مراقب على الأرض و بالتالي الكتلة العطالية هي نفس كتلة الجاذبية

لقد لاحظنا أيضا أننا لم نعرف مفهوما منفصلا للكتلة الجاذبية غير الفعالة (هذا المفهوم في بعض الأحيان يوجد في بعض الأوراق البحثية (الكتلة التي تتسارع بالجاذبية هي الكتلة العطالية , و الأسوأ أنه ليس هناك طريقة لتعريف كتلة الجاذبية غير الفعالة . حاول ذلك (تحدي 354 s) . كل الطرق التي تقيس الكتلة الجاذبية غير الفعالة مثل وزن الجسم ، لا يمكن تمييزها عن الطرق التي تحدد الكتلة العطالية من تفاعلها و تسارعها . و في الواقع ، كل هذه الطرق تستخدم نفس الآليات غير الجاذبية ، موازين الحمامات هي أمثلة نوعية على ذلك .

في الواقع كتلة الجاذبية غير الفعالة كانت مختلفة عن الكتلة العطالية و سوف يكون لذلك نتائج غريبة . وليس فقط من الصعب التمييز بين الاثنين في تجربة حيث أن هذه الأجسا التي كانت مختلفة ستحصل لها مشاكل في مصونية الطاقة (التحدي 355 e) .

في الحقيقة أيضا بافتراض أن كتلة الجاذبية الفعالة تختلف عن الكتلة العطالية يوقعنا في مشاكل . كيف يمكن لكتلة الجاذبية أن تختلف عن الكتلة العطالية ؟ هل الفرق سيعتمد على السرعة النسبية ، الزمن ، التركيب أو الكتلة نفسها ؟ لا .

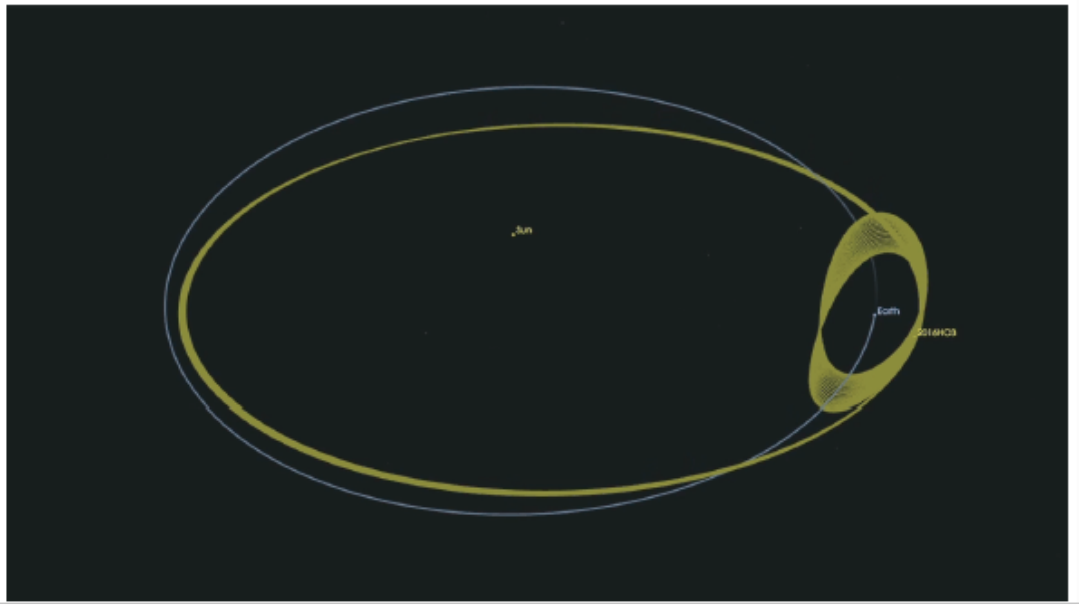
كل من هذه الإمكانيات تناقض سواء مصونية الطاقة أو كمية الحركة . (تحدي 356 s) .

بالملخص ، لا يستغرب أن كل القياسات تؤكد تساوي كل أنواع الكتل : ليس هناك خيار – كما أشار غاليليو لذلك .إن عدم وجود خيارات أخرى هو ناتج عن التكافؤ الأساسي لتعاريف كل الكتل :

- نسب الكتلة هي نسب التسارع

المجلد II ، صفحة 137 : الموضوع عادة يطرح في النسبية العامة بدون نتائج جديدة لأن تعريف الكتلة يبقى نفسه . وتبقى كتلة الجاذبية و الكتلة العطالية متساويتان . باختصار :

- الكتلة هي خاصة فريدة بكل جسم



الشكل 157 المدار المحسوب لتابع شبه صناعي 2016 HO3 و هو مرافق للأرض

القضية الأخرى الأعمق الباقية . ما هو أصل الكتلة ؟ لماذا هي موجودة . هذا السؤال البسيط و لكن العميق لا يمكن الإجابة عليه بالفيزياء الكلاسيكية , سوف نحتاج لبعض الصبر لنوجد ذلك .

الفضول و التحديات الممتعة حول الجاذبية

" السقوط ليس خطرا و لا عارا ، و لكن استمرار الكذب هو كل من ذلك "

كونراد أديناور

جاذبية القمر هي واحد إلى ستة من تلك العائدة للأرض . لماذا هذا يقتضي أن من الصعب السير بسرعة و الجري على القمر (كما يمكن أن يرى في الصور التلفزيونية المسجلة هناك) ؟

افهم و اشرح العبارة التالية : ميزان جائزي يقيس كتلة و ميزان نابضي يقيس الوزن (تحدي e 357)

* *

على الأرض لها توابع أخرى إضافة للقمر و الأقمار الصناعية التي أطلقت في مدارها بواسطة الصواريخ ؟ نعم

الأرض لها عدد من التوابع الصغيرة و عدد كبير من أشباه التوابع . إن شبه التابع الخاص الطويل العمر هو كويكب يسمى 2016 H03 و حجمه حوالي 60 m و قد اكتشف في عام 2016 . و كما هو مبين في الشكل 157 فإنه يدور حول الأرض و يستمر في ذلك لبضع مئات من السنين الأخرى على مسافة من 100-40 مرة من مسافة القمر .

السقوط ليس خطرا و لا عارا الاستمرار في الكذب هو كلاهما . كونراد أديناور (ولد في 1876 في كولونيا ، و توفي في 1967 في روندورف) مستشار ألمانيا الغربية



الشكل 158 صورة مركبة لنيزك / شهاب بيرسايد يبين كيف أنه مرئي في كل سنة في منتصف آب . و في ذلك الشهر ، تعبر الأرض غيمة الحطام الناتج عن مذنب سويفت – توتل ، و مصدر النيازك يبدو أنه يكمن في كوكبة بيرسيوس لأنها في الاتجاه الذي تتحرك به الأرض في منتصف آب . التأثير و الصور بالتالي مشابهة لما يرى في نافذة السيارة أثناء هطول الثلج (صفحة 156) .

* *

بيّن أن كرة ترتد – بدون فقد في الطاقة – على مستوي مائل تضرب المستوي في نقاط التي مسافاتها تزيد بمقدار ثابت في كل ارتدادة .

* *

هل التسارع الناتج عن الجاذبية ثابت مع الزمن ؟ ليس تماما . كل يوم يقدر أن 10^8 kg من المادة تسقط على الأرض من النيازك و الكويكبات (الأمثلة على ذلك يمكن أن ترى من الشكلين 159 & 158) . على أنه من غير المعلوم فيما إذا كانت كتلة الأرض تزداد مع الزمن (بسبب تجميع النيازك و الغبار الكوني) أو تتناقص (بسبب فقد الغاز) . إذا وجدت طريقة لإثبات ذلك ، انشرها .

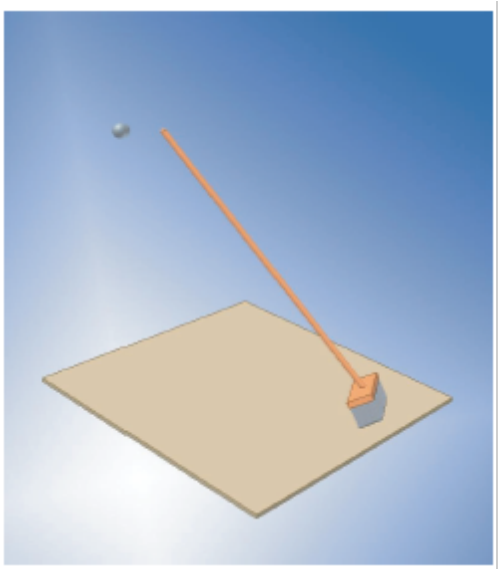
* *

بالمصادفة ، اكتشاف الأجسام التي تضرب الأرض ليس بذلك السهولة . الفلكيون يحبون الإشارة إلى أن كويكبا كبيرا مثل الذي أدى لانقراض الديناصورات يمكن أن يضرب الأرض بدون أن يلاحظ الفلكي مسبقا ، إذا كان الاتجاه غير عادي بشكل طفيف ، مثل الذي يحدث من الجنوب ، حيث توجد بضع تلسكوبات .

* *



الشكل 159 صورتين مأخوذتين بفاصل ثانية واحدة تبينان تحكم نيزك



الشكل 160 المكانس تسقط بشكل أسرع من الأحجار

* *

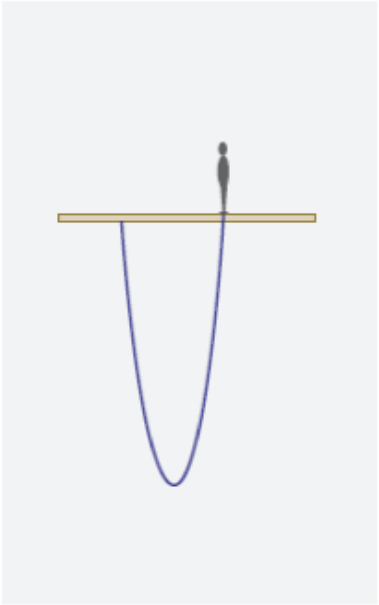
العديد من البشر نجوا من سقوط طائرات لآلاف الأمتار أو أكثر حتى بالرغم من أنه ليس لديهم مظلة . أقلية نجوا بدون أي أذى على الإطلاق . كيف هذا ممكن ؟ (تحدي 358 s) .

* *

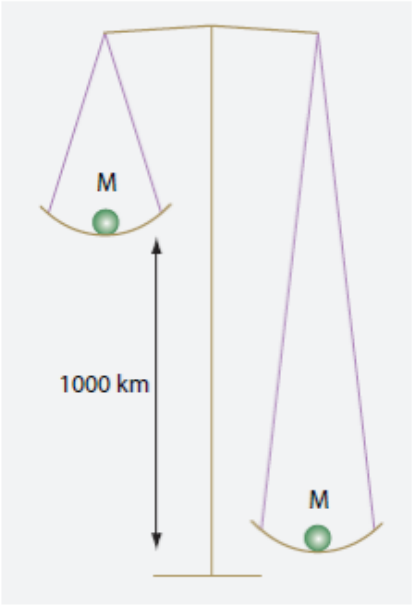
تخيل أن لديك 12 قطعة نقدية ذات شكل مطابق ، من بينها واحدة مزيفة . المزيفة لها كتلة مختلفة عن الأحد عشر قطعة الباقية ، كيف يمكنك أن تعرف أي منها هي المزيفة و فيما إذا كانت أخف أو أثقل ، باستخدام ميزان بسيط ثلاثة مرات فقط ؟(تحدي 359) .

لديك تسع كرات متطابقة من حيث الشكل ، كلها لها نفس الكتلة ما عدا واحدة ، أي منها أثقل . هل يمكنك تحديد أي واحدة منها الأثقل باستخدام الميزان مرتين فقط .

* *



الشكل 161 وضعية البداية لقافز بونجي



الشكل 162 ميزان صحيح ؟

بالنسبة لفيزيائي ، فإن الجاذبية المضادة لا توجد في الطبيعة . على أن مصطلح الجاذبية المضادة يستخدم بشكل خاطئ من قبل العديد من الناس ، كما يبين بحث قصير في الإنترنت , بعض الناس يسمون أي أثر الذي يتغلب على الجاذبية بالجاذبية المضادة . لكن هذا التعريف يقتضي أن الطاولات و الكراسي هي أدوات جاذبية مضادة . فيما يلي تعريف ، لأكثر منتجي الخشب ، الفولاذ و البيتون في أعمال الجاذبية المضادة .تعريف الإنترنت لا يحمل أي معنى مطلقا .

* *

ما هي أرخص طريقة لوقف الجاذبية مدة 25 ثانية ؟ (تحدي ثانية ؟ (تحدي 360 s)

هل كل الأجسام على الأرض تسقط بنفس التسارع $9.8\ m/s^2$ بافتراض أن مقاومة الهواء يمكن إهمالها ؟ لا كل رب منزل يعلم ذلك . يمكنك التأكد من هذا بنفسك . كما هو مبين في الشكل 160 المكنسبة بزاوية $35°$ تضرب الأرض قبل الحجر ، كما يؤكد صوت الضربة . هل تستطيع شرح هذا ؟ (تحدي هل تستطيع شرح هذا ؟ (تحدي 361 s)

* *

أيضا قافزي البونجي يتسارعون بشكل أقوى من g من أجل حبل بونجي ذو كتلة m وقافز ذو كتلة M التسارع الأعظمي a هو :

$$a = g\left(1 + \frac{m}{8M}\left(4 + \frac{m}{M}\right)\right) . \qquad (59)$$

* *

تحدي 362 s : هل يمكنك استنتاج علاقة من الشكل 161 ؟

* *

تحدي 363 s : تخمين : ما هي كتلة كرة من الفلين ذات نصف قطر 1m ؟

* *





الشكل 163 تخفيض مقاومة الهواء يزيد من السرعة النهائية : اليسار الرقم القياسي العالمي في التزلج السريع لعام 2007 يحمله سيمون أوريجون يبلغ 69.83 m/s و اليمين الرقم القياسي العالمي في الدراجات على الثلج لعام 2007 يحمله إريك يارون هو 61.73 m/s .

تحدي 364 s : تخمين : ما هي كتلة ألف كرة فولاذية مجموعة بقطر 1 mm ؟

* *

تحدي 365 s : هل يمكنك أن تستخدم ملاحظاتك التي تتم خلال رحلاتك بواسطة ميزان حمام لتبين أن الأرض ليست مسطحة ؟

* *

إن كلا من الأرض و القمر يجذبان الأجسام . مركز كتلة جملة الأرض –القمر هي بعيدة 4800 km عن مركز الأرض ، وهذا قريب جدا من سطحها . لماذا الأجسام على الأرض ما تزال تقع باتجاه مركز الأرض ؟ (تحدي 366 s) .

* *

هل كل جسم كروي يسقط بنفس التسارع ؟ لا . إذا كانت كتلة الجسم مقارنة مع تلك العائدة للأرض ، فإن المسافة تتناقص بشكل مختلف . هل يمكنك تأكيد هذه العبارة ؟ (تحدي 367 e) . الشكل 162 يبين أحجية مرتبطة بذلك . ما هو بالتالي الشيء الخطأ حول مقولة غاليليلو حول ثبات تسارع السقوط الحر ؟ (صفحة 202) .

* *

ما هي أكبر سرعة التي يمكن للبشر تحقيقها باستخدام تسارع الجاذبية ؟ هناك عدة طرق التي يمكن محاولة هذا بها ، بعض منها مبين في الشكل 163 . السرعة النهائية للسقوط الحر للمظليين يمكن أن تكون أعلى و لكن لا يوجد قيمة مسجلة موثوقة للسرعة . و آخر كلمة لم يتم قولها بعد ، حيث أن كل الأرقام القياسية سيتم تجاوزها في السنوات القادمة . و من المهم اشتراط ارتفاع عادي ، عند الارتفاع الستراتوسفيرية ، قيم السرعات يمكن أن تكون أربعة أضعاف قيم السرعة عند ارتفاعات منخفضة (المجلد II ، صفحة 118) .

* *

من السهل وضع كتلة كيلو غرام على الطاولة . و عشرين كيلو غرام أصعب . و ألف مستحيل . لكن 6.10^{24} سهلة ، لماذا ؟ (تحدي 368 s) .

* *

صفحة 199 : الاحتكاك بين الأرض و القمر يبطئ دوران كليهما . القمر توقف عن الدوران منذ ملايين السنين خلت ، و الأرض في طريقها لذلك أيضا . عندما تتوقف الأرض عن الدوران فإن القمر سيتوقف عن الحركة بعيدا عن الأرض . كم بعد القمر سيكون عن الأرض في ذلك الوقت ؟ و لكن بعد ذلك ، (تحدي 369 ny) حتى أبعد من ذلك في المستقبل ، القمر سيتحرك ثانية باتجاه الأرض بسبب الاحتكاك بين جملة الأرض – القمر و الشمس . حتى بالرغم من أن هذا الأثر سيحدث فقط إذا احترقت الشمس للأبد ، حيث من المعروف أن هذا خطأ ، هل يمكنك تسفيره ؟ (تحدي 370 s) .

* *

عندما تجري باتجاه الشرق ، فإنك تفقد وزنك . هناك سببين مختلفين لهذا : النسارع النابذ يزداد بحيث أن القوة التي تسحب بها للسفل تتلاشى و تظهر قوة كوريوليس ، بنتيجة مشابهة . هل يمكنك تقدير حجم التأثيرين ؟ (تحدي 371 ny) .

* *

تستخدم المخابر الطاردات المركزية عالية السرعة : حيث تعزل الطاردات المركزية عالية السرعة التحضيرية الفيروسات ، العضيات و الجزيئات الحيوية ، بينما الطاردات المركزية عالية السرعة التحليلية تقيس شكل و كتلة الجزيئات الكبيرة . أسرع النماذج المتوفرة تجاريا تحقق 200 000 rpm أو 3.3 kHz أو و تسارع طرد مركزي يبلغ 10^6 g .

* *

ما هي العلاقة بين الزمن الذي يستغرقه حجر في السقوط لمسافة l و زمن تأرجح النواس عبر نصف دائرة قطرها l ؟

(هذه المسألة ناتجة عن غاليليو) (تحدي 372 s) . كم عدد الخانات للعدد π التي يمكن أن يتوقع المرء تحديدها بهذه الطريقة ؟

* *

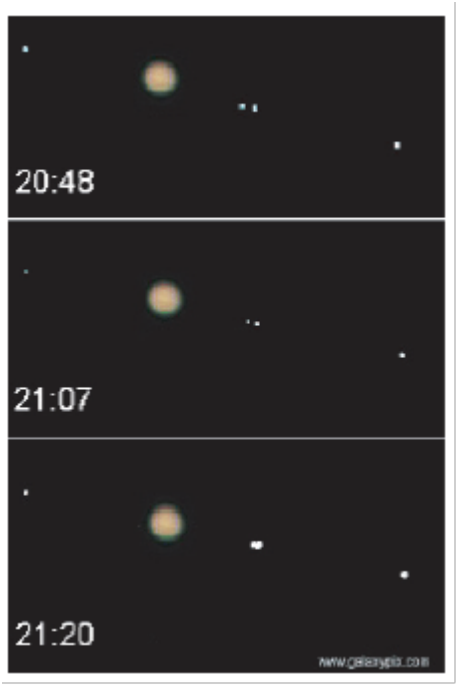
لماذا يمكن لمركبة فضائية أن تتسارع عبر تأثير المقلاع (النقافة) عندما تدور حول كوكب بالرغم من مصونية كمية الحركة ؟ (تحدي 373 s) . يتصور أن نفس التأثير أيضا هو سبب بعض دوران النجوم السريعة التي تراقب في المجرة .

مثلا نجم HE0457-5439 يتحرك بسرعة 720 km/s و الذي هو أكبر بـ 100-200 km/s من أكثر النجوم في درب التبانة . يبدو أن دور مركز التسارع قد أخذ من قبل الثقب الأسود .

* *

إن مدار الكوكب حول الشمس له العديد من الخواص المهمة .(المرجع 162) ما هو مخطط الحركة للمدار ؟ ما هو مخطط الحركة لمدارات بشكل قطع زائد و قطع مكافئ ؟ (تحدي 374 s) .

* *



الشكل 164 التوابع الأربعة للمشتري الملاحظة من قبل غاليليو و حركتها

إن التوابع الغاليلية للمشتري مبينة في الشكل 164 يمكن أن ترى بواسطة تلسكوب هواة صغير . اكتشفها غاليليو في عام 1610 و تسمى توابع مديسية (اليوم تسمى بترتيب زيادة مسافتها عن المشتري بالشكل إيو ، أوربا ، غانيميد و كاليستو) و هي تقريبا أجسام أسطورية . و هي أول أجسام وجدت لا تدور بشكل واضح حول الأرض و بالتالي استخدمها غاليليو لاستنتاج أن الأرض ليست مركز الكون . و التوابع كانت أيضا مرشحة لتكون أول ساعة قياسية ، حيث أن حركتها يمكن توقعها بدقة عالية ، بحيث أن الزمن القياسي يمكن أن يقرأ حسب موضعها . و أخيرا بسبب هذه الدقة ، في عام 1676 فإن سرعة الضوء قيست لأول مرة بمساعدتها ، كما يخبر بذلك الفقرة حول النسبية الخاصة . (مجلد II ، صفحة 16) . إن

* *

إن السؤال البسيط و لكن الصعب : إذا كانت كل الأجسام تجذب بعضها البعض ، لماذا تقع أو لا تقع كل النجوم تجاه بعضها البعض ؟ (تحدي 375 s) . في الواقع علاقة المربع العكسي للجاذبية العامة لها قيد : هي لا تسمح للمرء بأن يعطي عبارات ذات معنى حول المادة في الكون . إن الجاذبية العامة تتوقع أن توزع الكتلة المتجانسة غير مستقرة ، و في الحقيقة

يلاحظ التوزع غير المتجانس . لكن الجاذبية العامة لا تتوقع بكثافة الكتلة المتوسطة ، الظلام في الليل ، السرعات الملحوظة للمجرات البعيدة .. الخ . في الحقيقة ، الجاذبية العامة لا تشرح أو تتوقع خاصة واحدة من الكون وللقيام بذلك نحتاج للنسبية العامة . (المجلد II ، صفحة 184) .

* *

التسارع g الناتج عن الجاذبية بعمق 3000 km هو 10.05 m/s^2 ، أكثر بـ 2% من سطح الأرض ؟ كيف هذا ممكن ؟ (المرجع 163) . أيضا على هضبة التيبت g تتاثر بالمادة أسفلها .



الشكل 163 أي مساري القمر صحيح ؟

* *

عندما يدور القمر حول الشمس هل مساره له مقاطع مقعرة تجاه الشمس ، المبين في يمين الشكل 165 أم لا ، كما هو مبين على اليسار ؟ (بشكل مشتقل عن هذه القضية كلا المسارين في المخطط يخفيان أن مسار القمر لا يقع في نفس المستوي كمسار الأرض حول الشمس .)

* *

يمكنك إثبات أن الأجسام تجذب بعضها البعض (و أنها لا تجذب فقط من قبل الأرض) بتجربة بسيطة التي لم يجربها أحد في البيت ، كما هو موصوف في موقع www.fourmilab.ch/gravitation/foobar .

* *

إنه من المهم حساب سرعة الانفلات عن الأرض أي السرعة التي يجب أن يرمى بها جسم بحيث أنه لا يسقط ثانية . لقد وجد أنها 11 km/s (وهذه تعرف بالسرعة الكونية الثانية في الماضي و السرعة الكونية الأولى أعطيت للسرعة الأخفض للمدار البالغة 7.9 km/s) . القيمة الدقيقة لسرعة الانفلات تعتمد على خط عرض الرامي ، و على اتجاه الرمي (لماذا؟)

(تحدي e 377) . ما هي سرعة الانفلات من المجموعة الشمسية ؟ (كانت تعرف بالسرعة الكونية الثالثة) و بالمناسبة سرعة الانفلات من مجرتنا هي أكثر من 500 km/s . ما الذي سيحدث إذا كان كوكبا أو جملة ثقيلة جدا بحيث أن سرعة الانفلات لها ستكون أكبر من سرعة الضوء ؟ (تحدي s 378) .

* *

ما هو أكبر كويكب يمكن أن ينفلت بالقفز ؟ (تحدي s 379) .

* *

من أجل الأجسام ذات الشكل غير المنتظم فإن مركز الجاذبية للجسم لا يكون نفسه مركز الكتلة . عل تستطيع تأكيد هذا (تحدي 380 s) (ملاحظة : أوجد و استخدم أبسط مثال ممكن) .



الشكل 166 دائرة مواضع الشمس فوق دلهي مأخوذة بين كانون الثاني و كانون الأول 2002

* *

هل يمكن للجاذبية أن تنتج تنافر ؟ ما الذي يحدث لجسم صغير اختباري داخل كتلة كبيرة بشكل حرف C ؟ (تحدي 381 ny) . هل يفع تجاه مركز الكتلة ؟

* *

إن المقولة الجدلية جدا لتساوي الكتلة العطالية و الجاذبية أعطيت من قبل شوبيكالو وفاليف . الطاقة الحركية الكلية T لجسمين يدوران حول مركز كتلتهما المشترك مثل الأرض و القمر ، معطى بالشكل T = GmM/2R حيث المقدارين m & M هما الكتلة الثقالية / الجاذبية للجسمين و R مسافتهما . من هذه العلاقة ، التي لا تظهر فيها الكتل العطالية في الطرف اليمن ، فهي تعطي أن الكتلة العطالية و الجاذبية يجب أن تكونا متناسبتين مع بعضهما البعض . هل يمكن أن ترى كيف ؟ (تحدي 382s) هل التبرير صحيح ؟

* *

المرجع 165 : شكل الأرض ليس كرة . بالنتيجة ، خط الثقل عادة لا يشير لمركز الأرض . ما هو أكبر انحراف بالدرجات ؟(تحدي 383 ny) .

* *

بسبب الشكل المسطح قليلا للأرض ، فإن منبع الميسيسبي يكون أقرب بحوالي 20 km لمركز الأرض من فمه ، و الماء يجري للأعلى . كيف يمكن هذا ؟(تحدي 384 s) .

* *

إذا نظرت في السماء كل يوم عند الساعة 6 a.m ، فإن الموضع يتغير خلال السنة . و نتيجة تصوير الشمس على نفس الفيلم مبين في الشكل 166 . المنحني يعرف بمواضع الشمس ، هو ناتج عن تأثيرين مجتمعين : ميل محور الأرض و الشكل القطعي الناقصي لمدار الأرض حول الشمس . و السطح و نقاط القعر (المخفية) لمواضع الشمس توافق الانقلاب الشمسي في الفلك . كيف تبدو مواضع الشمس إذا صورت كل يوم في الظهيرة المحلية ؟ ماذا إذا لم يكن هناك خط مستقيم يشير تماما للجنوب ؟

* *

إن الكوكبة التي تقف فيها الشمس في الظهيرة (في مركز المنطقة الزمنية) تعرف افتراضيا بإشارة دائرة البروج لذلك اليوم . يقول المنجمون أن اثني عشر منهم و هي اريس ، تاوروس ، جيمني ، كانسر ، ليو ، فيرجو ، ليبرا ، سكوربيوس ، ساجيتاريوس ، كابركورونوس ، أكواريوس ، و بيسيس و التي تأخذ كل منها (بدقة تماما) جزء من اثني عشر جزء من القطع الناقص .أي فحص للمؤقتة يبين في للوقت الحالي أن منتصف المسافة للشمس لا يكون أبدا في إشارة دائرة الفلك خلال الأيام المرتبطة عادة بها . العلاقة أزيحت حوالي شهر منذ تعريفها ، بسبب تقدم محور الأرض (صفحة 152) و الفحص لخارطة نجوم السماء يبين أن الكوكبات الاثني عشر ليس لها نفس الطول و أنه في القطع الناقص يوجد أربعة عشر منها ، ليس اثني عشر . و هناك أوفيوكوس أو سيربينتاريوس و هو الكوكبة الحاملة للأفعى ، بين العقرب و القوس و سيتوس بين الدلو و الحوت . و في الحقيقة لا يوجد عبارة فلكية وحيدة صحيحة حول دائرة البروج (الأفلاك) (في الألمانية كلمة Strolch تعني المشرد / المحتال أو الوغد / النذل و هي مشتقة من كلمة المنجم) .

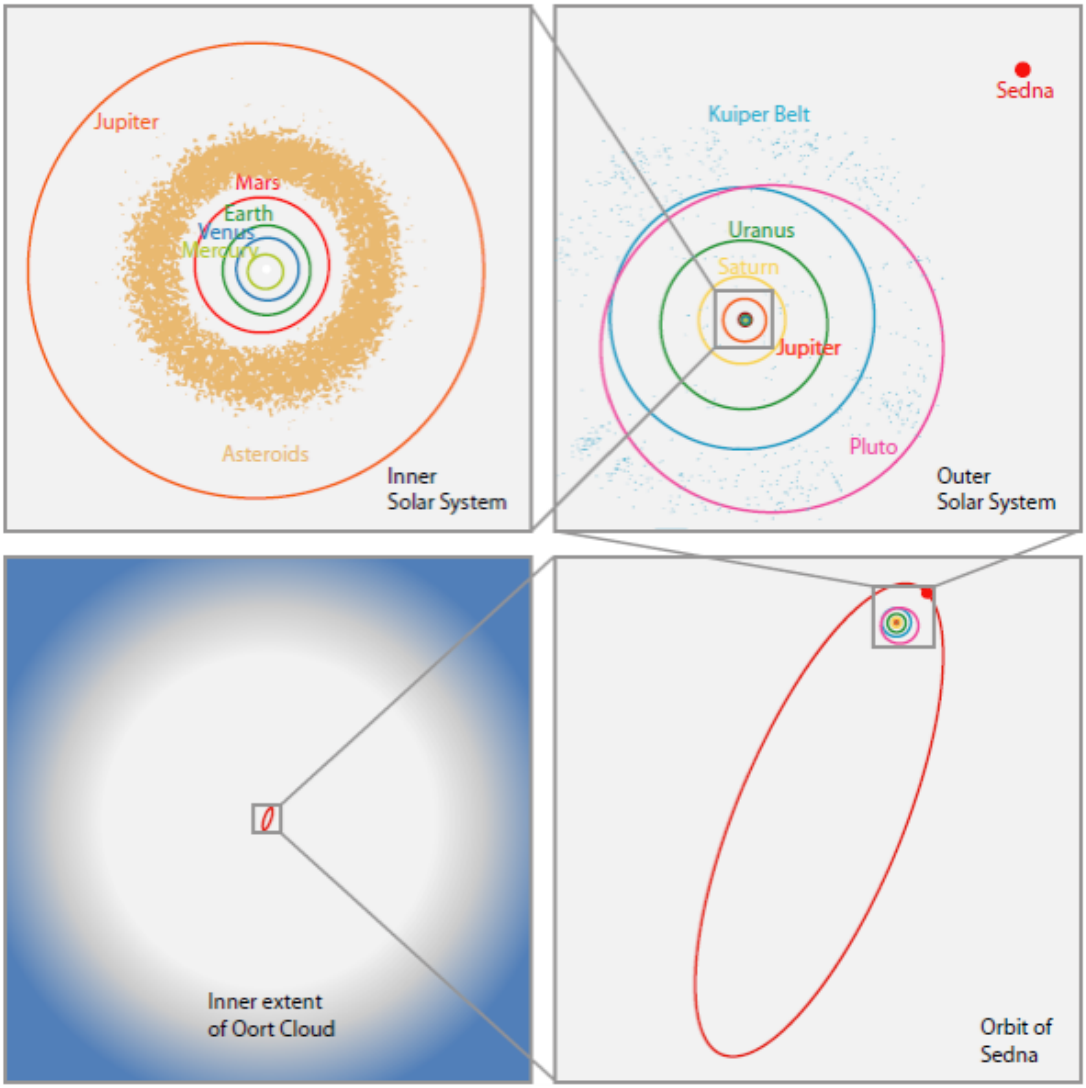
* *

لفترة طويلة كان يعتقد أنه ليس هناك كوكب إضافي في مجموعتنا الشمسية خارج نبتون و بلوتو بسبب أن مداريهما لا يبديان أي اضطرابات من جسم آخر . (المرجع 167) . اليوم تغير هذا الرأي و من المعلوم أن هناك ثمانية كواكب : بلوتو ليس كوكبا ، و لكنه أول مجموعة من أجسام أصغر مما يعرف بحزام كويبر و أجسام حزام كويبر تكتشف بانتظام حيث يعرف أكثر من ألف منها اليوم .

في عام 2003 فإن جسمين من أجسام كويبر الكبيرة تم اكتشافها و احد سمي سدينا ، و هو تقريبا بحجم بلوتو و الآخر إيريس و هو أكبر من بلوتو و له قمر (المرجع 168) . و كلاهما لهما مدار قطع ناقص قوي (أنظر الشكل 167)

نظرا لأن بلوتو و إيريس مثل كويكب سيريس ، نظف مداره من الحطام ، فإن هذه الأجسام الثلاثة الآن مصنفة ككواكب قزمة .

خارج حزام كويبر ، فإن المجموعة الشمسية محاطة بما يعرف بغيمة أورت و على عكس حزام كويبر المسطح ، فإن غيمة أورت ذات شكل كروي و لها نصف قطر يصل إلى 50000 AU ، كما هو مبين في الشكل 168 & 167 . تتألف غيمة أورت من عدد كبير من الأجسام الجليدية مكونة بشكل أساسي من الماء و بدرجة أقل من الميتان و الأمونيا . الأجسام من غيمة أورت التي تدخل المجموعة الشمسية الداخلية تصبح مذنبات وفي الماضي السحيق مثل هذه الأجسام أتت بالماء للأرض .



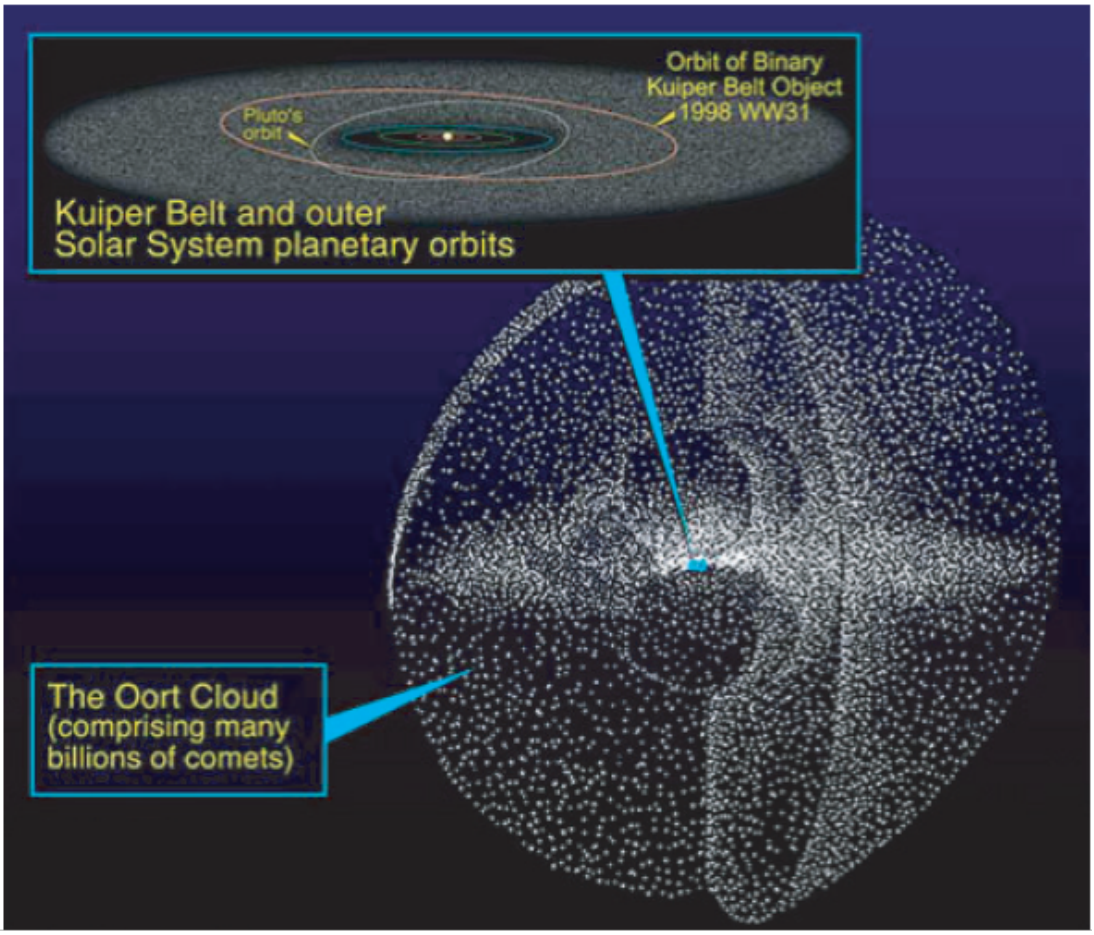
الشكل 167 مدار سيندا بالمقارنة مع مدارات الكواكب في المجموعة الشمسية

* *

في الفلك الأمثلة الجديدة على الحركة تكتشف بانتظام حتى في القرن الحالي . و في بعض الأحيان هناك إنذارات كاذبة . أحد الأمثلة ادعت سقوط مذنبات صغيرة على الأرض . و التي افترض أنها مكونة من عشرات الكيلوغرامات من الجليد التي ضربت الأرض كل بضع ثواني . و من المعروف الآن أن هذا لم يحدث (المرجع 169) .

* *

الجاذبية العامة تسمح فقط بمدارات قطع ناقص ، قطع مكافئ أو زائد . و من المستحيل لجسم صغير الذي يقترب من جسم كبير أن يستحوذ عليه . و في النهاية هذا ما تعلمناه حتى الآن . على أن كل كتب الفلك تخبرنا قصصا عن أسر في مجموعتنا الشمسية ، مثلا العددي من الأقمار لزحل تم أسرها . كيف يمكن أن يحدث هذا ؟ (تحدي كيف يمكن أن يحدث هذا ؟ (تحدي 386s) .



الشكل 168 حزام كويبر ، يحتوي بشكل أساسي كويكبات ، و مدار غيمة أورت تحتوي مذنبات ، حول المجموعة الشمسية

* *

كيف يمكن لنفق أن يشكل من أجل أن حجرا يسقط عبره بدون أن يلامس جدرانه ؟ (افترض كثافة ثابتة) إذا لم تكن الأرض تدور ، فإن النفق سيكون خطا مستقيما عبر مركزها و الحجر سيسقط و يصعد ثانية في حركة تذبذبية . من أجل الأرض الدوارة ، فإن المسألة أكثر صعوبة . ما هو الشكل عندما يبدأ النفق عند خط الاستواء ؟ (تحدي 387s) .

* *

إن محطة الفضاء الدولةي تدور حول الأرض كل 90 دقية بارتفاع يبلغ 380 km تقريبا . يمكنك أن تراها من الموقع www.hevens-above.com و بالمناسبة كنى كانت فوق الأفق ، فإن المحطة تكون ثالث أعلى جسم في سماء الليل يعلوها فقط القمر و الزهرة . أنظر إليها .

* *

هل من الصحيح أن مركز المجموعة الشمسية و مركز ثقلها هو دائما داخل الشمس ؟ (تحدي 389 s)

حتى بالرغم من أن الشمس أو النجم يتحرك قليلا جدا عندما تكون الكواكب حولهما ، فإن هذه الحركة يمكن كشفها بقياسات دقيقة باستخدام أثر دوبلر للضوء أو الأمواج الراديوية (المجلد II صفحة 27) . إن المشتري مثلا ينتج تغير سرعة

تـبلغ13 m/sفـي الـشمس و الأرض 1 m/s و أول الـكواكـب خـارج المجـموعـة الشمسـية ، حـول النجـم الـنابـض PSR1257+12 و حول النجم العادي نوع G المسمى بيجاسي 51 تم اكتشافها بهذه الطريقة ، في عام 1995 & 1992 .
و في الوقت الحالي العديد من آلاف ما يعرف بالكواكب الخارجية تم اكتشافها بواسطة هذه الطريقة و طرق أخرى

بعضها لها كتل مقارنة للأرض . و هذا البحث أيضا بين أن الكواكب الخارجية هي أكثر عددا من النجوم و أن الكواكب التي تشبه الأرض نادرة .



الشكل 169 مراحل القمر و الزهرة كما تلاحظ من أثينا في صيف 2007

* *

ليست كل النقاط على الأرض تتلقى نفس العدد من ساعات النهار خلال العام . و التأثيرات صعبة التحديد بالرغم من ذلك هل يمكنيك إيجاد واحد منها ؟ (تحدي 390 d) .

* *

هل يمكن لطور القمر أن يكون له تأثير قابل للقياس على الجسم البشري ، مثلا عن طريق المد و الجزر ؟ (تحدي 391 s)

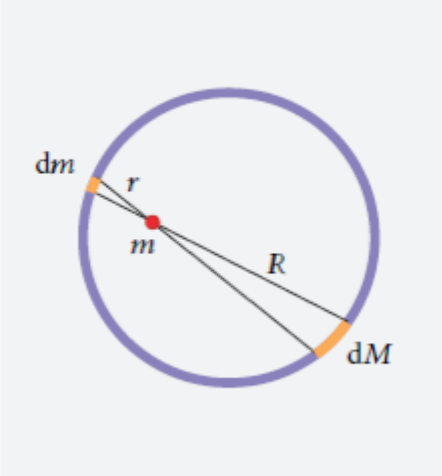
* *

هناك فرق مهم بين النظام المركزي الشمسي و الفكرة القديمة أن كل الكوابك تدور حول الأرض . إن النظام المركزي الشمسي ينص على أن كواكب معينة ، مثل المريخ و الزهرة يمكن أن تكون بين الأرض و الشمس في أوقات معينة و أن

تكون خلف الشمس في أوقات أخرى . على عكس النظام المركزي الأرضي الذي ينص على أنها دائما هي بين الأرض و الشمس . لماذا مثل هذا الفرق المهم لا ينقض مباشرة النظام المركزي الأرضي ؟ و كيف ملاحظة أطوار القمر ، المبية في الشكل 170 & 169 تنقض النظام المركزي الأرضي ؟ (تحدي 392 s) .



الشكل 170 الجاذبية العامة أيضا تشرح مراقبات الزهرة ، نجم الصباح و المساء . بشكل خاص الجاذبية العامة و المدارات بشكل قطع ناقص التي يقتضيها ، و تشرح أطواره و تغير حجمه الزاوي . و الصور المبينة أخذت في 2005 & 2004 و المراقبة يمكن أن تتم بسهولة بواسطة منظار أو تلسكوب صغير .



الشكل 171 قوة الجاذبية المتلاشية داخل غلاف كروي من المادة

* *

أغرب إعادة صياغة لوصف الحركة يعطى بواسطة $ma = \nabla U$ هي المعادلة التي تبدو أكثر سخفا (المرجع 170)

$$\nabla v = dv/ds \qquad (60)$$

حيث s طول مسار الحركة . و يعرف بشكل الشعاع لمعادلة الحركة . هل يمكنك أن تجد مثالا لتطبيقها ؟ (تحدي 393 s)

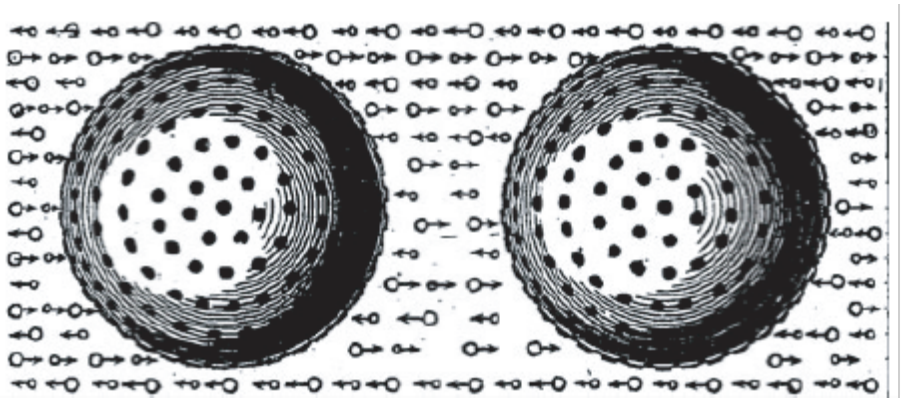
* *

عندما ترى من نيبتون فإن حجم الشمس يكون نفس حجم المشتري الذي يرى من الأرض وقت أقرب تقارب له ، صحيح ؟ (تحدي 394 s)

* *

المرجع 171 : إن تسارع الجاذبية لجزيئة داخل غلاف كروي هو صفر . إن تلاشي الجاذبية في هذه الحالة هو مستقل عن شكل الجزئية و موضعها و مستقل عن سماكة الغلاف . (تحدي 395 s) . هل يمكنك إيجاد حجة باستخدام الشكل 171 ؟ هذا يعمل فقط بسبب تبعية $1/r^2$ للجاذبية . هل يمكن أن تبين أن النتجة لا تصح من أجل الأغلفة غير الكروية ؟ لاحظ أن تلاشي الجاذبية داخل غلاف كروي عادة لا يصح إذا وجدت مادة أخرى خارج الغلاف . كيف يمكن إزالة تأثيرات المادة الخارجية ؟ (تحدي 396 s) ؟ .

* *



الشكل 172 ترسم لو ساج لنموذجه الذي يبين الكثافة الأصغر لأجسام أرضية فائقة بين الأجسام المتجاذبة و الأجسام الأعلى كثافة خارجها

* *

ما هي الجاذبية ؟ هذا السؤال البسيط له تاريخ طويل . في عام 1960 اقترح نيكولاس فاتيو دو دويلييه و في عام 1747 جورج لويس ذو ساج تفسير لتبعية $1/r^2$ (المرجع 172) . و قال لو ساج أن العالم مليء بالجسيمات الصغيرة وسماها بالجسيمات الأرضية الفائقة و التي تطير بشكل عشوائي و تضرب كل الأجسام . و الأجسام الوحيدة لا تتأثر بالضربات نظرا أنها تضرب باستمرار و عشوائيا من كل الاتجاهات . ولكن عندما يكون هناك جسمين قريبين من بعضها البعض فهي تنتج ظلال لجزء الفيض إلى الجسم الآخرمما يؤدي لتجاذب كما هو مبين في الشكل 172 . هل يمكنك بيان أن مثل هذا التجاذب يتبع للعلاقة $1/r^2$ ؟ (تحدي e 397) .

لكن مقترح لو ساج له بعض المشاكل . أولا المقولة تصح فقط إذا كانت الاصطدامات غير مرنة (لماذا ؟) (تحدي تصح فقط إذا كانت الاصطدامات غير مرنة (لماذا ؟) (تحدي 398e) . لكن ماذا يعني أن كل الأجسان ستسخن مع الزمن كما شرج جان مارك ليفي لوبلون (المرجع 2) . ثانيا ، الجسم المتحرك في الفضاء الحر سيضرب بمزيد من الجزيئات أو الجزيئات الأسرع في الأمام أكثر من الخلف ، بالنتيجة الجسم سيتباطأ . أخيرا الجذابية ستعتمد على الحجم و لكن بشكل غريب . بشكل خاص ثلاثة أجسام تقع على خط لا يمكن أن تنتج ظلالا . كما لا يمكن ملاحظة هذه الظلال و لكن النموذج الساذج يتوقع مثل هذه الظلال .

بالرغم من كل الانتقادات فإن فكرة الجذابية الناتجة عن الجزيئات طفت على السطح بانتظام في أبحاث الفيزياء دائما

في الشكل الأحدث لها ، فإن الجزيئات الافتراضية تسمى الغرافيتونات . و من ناحية أخرى لم يتم ملاحظة مثل هذه الجزيئات أبدا . وسوف نفهم أصل الجاذبية في الجزء الأخير من صعود الجبل .

* *

من أجل أي أجسام تتناقص الجاذبية عندما تقترب منها ؟ (التحدي 399 ny)

* *

هل يمكن وضع قمر صناعي في مدار باستخدام مدفع ؟ هل الجواب يعتمد على اتجاه إطلاقه ؟ (تحدي 400s)

* *

يتشارك مستخدمي حاسوب قديمين خبراتهما " لقد رميت من معالجي بنيتوم III & IV من النافذة و قد كان بنيتوم III أسرع

* *

كيف يمكن للأرض أن ترتفع و تنزل عندما تشاهد من القمر ؟ هل الأرض تبدي أطوارا ؟ (تحدي 401 s)

* *

ما هو وزن القمر ؟ كيف يمكن مقارنته مع وزن جبال الألب ؟ (تحدي 402 ny)

* *

إذا كان نجم مكون من مادة عالية الكثافة ، سرعة الكوكب الذي يدور قربه يمكن أن تكون أكبر من سرعة الضوء . كيف تتجنب الطبيعة مثل هذه الإمكانية الغريبة ؟ (تحدي 403 s)

* *

ما الذي يحدث للمجموعة الشمسية في المستقبل ؟ هذا السؤال صعب بشكل مدهش للإجابة عليه . الخبير الرئيسي في هذا الموضوع هو عالم الكواكب الفرنسي جاك لاسكار ، حاكى بضع ملايين من السنين من التطور باستخدام التفاضل و التكامل بمساعدة الحاسب (المرجع 173) وقد وجد أن المدارات الكوكبية مستقرة و لكن هناك دليل واضح عن العشوائية في تطور المجموعة الشمسية ، على مستوى صغير . و الكواكب المختلفة تؤثر على بعضها البعض بطرق قوية و ما تزال مفهومة بشكل ضعيف . و التأثيرات في الماضي درست أيضا مثل تغير الطاقة للمشتري بسبب لفظ الكويكبات الأصغر من المجموعة الشمسية أو كسب الطاقة لنبتون . و ما يزال هناك الكثير من البحث يجب أن يتم في هذا المجال (صفحة 422) .

* *

أحد المسائل المفتوحة في المجموعة الشمسية هي وصف مسافات الكواكب المغطاة في عام 1766 من قبل يوهان دانييل تيتوس (1729-1796) و الذي نشر من قبل يوهان إيلرت يود (1747-1826) و قد اكتشف تيتوس أن المسافات الكوكبية d من الشمس يمكن تقريبها بالشكل :

$$d = a + 2^n b \quad \text{with} \quad a = 0.4\ \text{AU}\ ,\ b = 0.3\ \text{AU} \qquad (61)$$

حيث المسافات تقاس بالوحدات الفلكية و n هو رقم الكواكب .

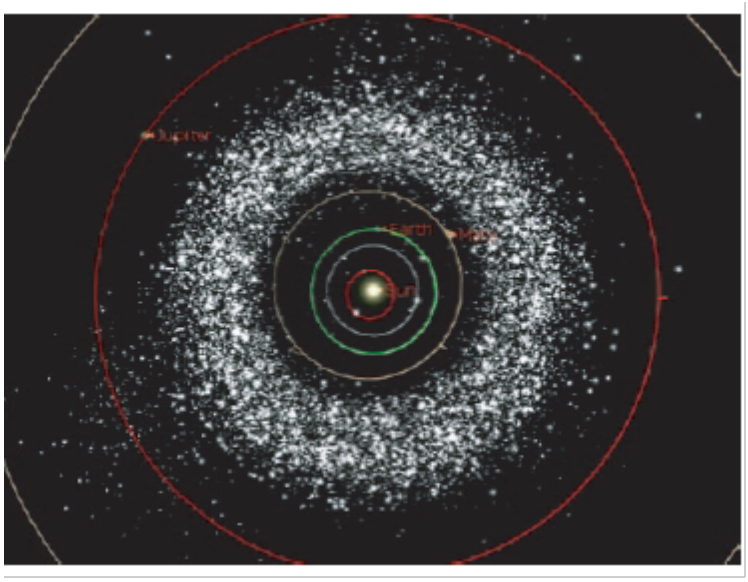
إن التقريب الناتج يقارن مع القياسات في الجدول 27 .

من المثير أن الكواكب الثلاث الأخيرة و ايضا الكويكبات اكتشفت بعد وفاة بود و تيتوس ، و القاعدة توقعت بنجاح مسافة أورانوس و أيضا مسافات الكويكبات . و بالرغم من هذه النجاحات و الفشل بالنسبة للكوكبين الأخيرين لم يجد أحد بعد نموذج لصياغة للكواكب تشرح قاعدة تيتوس . و التوابع الكبيرة للمشتري و أورانوس لها مسافات منتظمة لكن ليس وفق قاعدة تيتوس – بود .

إن شرح أو نقض القاعدة هو أحد التحديات الباقية في الميكانيك الكلاسيكي (المرجع 174) بعض الباحثين يقول أن القاعدة هي نتيجة ثبات المقياس ، و آخرون يقولون أن هذا حادث أو حتى رنكة حمراء (المرجع 175) . و التفسير الأخير أيضا مقترح من قبل سلوك غير مرتبط بتيتوس – بود لكل الكواكب الخارجة عن المجموعة الشمسية عمليا و القضية لم تغلق بعد .

الجدول 27 خاصة غير مشروحة للطبيعة : مسافات الكواكب عن الشمس و القيم الناتجة عن قاعدة تيتوس – بود

الكوكب	n	المسافة المتوقعة	المسافة المقاسة
		مقدرة بـ AU	مقدرة بـ AU
عطارد	∞-	0.4	0.4
الزهرة	0	0.7	0.7
الأرض	1	1.0	1.0
المريخ	2	1.6	1.5
الكويكبات	3	2.8	2.2 – 3.2
المشتري	4	5.2	5.2
زحل	5	10.0	9.5
أورانوس	6	19.6	19.2
نبتون	7	38.8	30.1
بلوتو	8	77.2	39.5



الشكل 173 حركة الكويكبات مقارنة مع تلك العائدة للكواكب

منذ حوالي 3000 سنة سابقة ، قاس البابليون الأزمنة المدارية لسبعة أجسام سماوية التي تتحرك في السماء و رتبوها من الأطول للأقصر وقد سجلوها في الجدول 28 . إن ستة من الأجسام السماوية مرئية في السماء الجميلة الشكل 174

و أيضا طرح البابليون تقسيم الأسبوع و اليوم إلى 24 ساعة . وقد خصصوا لكل واحد 168 ساعة من الأسبوع للجسم السماوي وفق ترتيب الجدول 28 . و قد خصصوا كل اليوم للجسم السماوي الذي يوافق أول ساعة من اليوم . و أول يوم من الأسبوع خصص لزحل ، و الترتيب الحالي للأيام الأخرى للأسبوع تنتج من الجدول 0 28 تحدي e 404) و هذه القصة قصها كاسيوس ديو (230 – 160) (المرجع 176) و في نهاية العصور القديمة فإن الترتيب اعتمد من قبل الإمبراطورية الرومانية . و في اللغات الجرمانية ، بما فيها الإنجليزية و ال



الشكل 174 هذه هي الست أجسام سماوية في الليل المرئية بالعين المجردة و التي مواضعها تتغير عبر السنة و الخط الشاقولي تقريبا الذي يربطها هو قطع ناقص و القطاع السهمي حولها هو دائرة البروج / الفلك . وهي معا و مع الشمس و الأجسام السماوية السبع تستخدم لتسمية أيام الأسبوع

الجدول 28 الأدوار المدارية المعروفة للبابليين

الجسم	الدور
زحل	29a
المشتري	21 a
المريخ	687 d
الشمس	365 d
الزهرة	224d
عطارد	88d
القمر	29d

والأسماء اللاتينية للأجسام السماوية استبدلت بالآلهة الجرمانية المقابلة . و الترتيب هو السبت ، الأحد ، الاثنين ، الثلاثاء ، الأربعاء ، الخميس و الجمعية و بالتالي تتابع كل من القياسات الفلكية و النجمية هو خرافات الأقدمين

* *

في عام 1722 قام الرياضي العظيم ليونارد أويلر بخطأ في حسابه و الذي أدى به إلى استنتاج أنه إذا كان هناك نفق أو بشكل أفضل ثقب عميق من قطب للأرض إلى الآخر ، فإن الحجر الذي يسقط فيه سيصل لمركز الأرض و بالتالي فوررا يدور و يعود ثانية . و قد قام فولتير بالسخرية من هذه النتيجة لعدة سنوات . هل يمكنك تصحيح ما أتى به أويلر و تبين أن الحركة الحقيقية هي تذبذب من قطب لآخر و هل يمكنك حساب زمن السقوط من قطب لقطب (بافتراض كثافة متجانسة 9؟ (تحدي 405 s) .

ما هو زمن التذبذب لنفق مستقيم اختياريا من سطح لسطح بطول 1 و بالتالي لا يمتد من القطب للقطب ؟ (تحدي 406s)

التحديات السابقة تحايلت على تأثيرات دوران الأرض . الموضوع يصبح شائقا أكثر إذا أدخل الدوران (المرجع 177)

ما هو شكل النفق الذي يسقط به حجر بحيث لا يلامس أبدا الجدار ؟ (تحدي 407s) .

* *

يبين الشكل 175 صورة للخسوف الشمسي المأخوذ من محطة الفضاء الروسية مير وصورة مأخوذة من مركز الظل من الأرض . و في الحقيقة المنظر العام لظاهرة يمكن أن يكون مختلف تماما عن المنظر الموضعي . ما هي سرعة الظل ؟ (تحدي 408s)

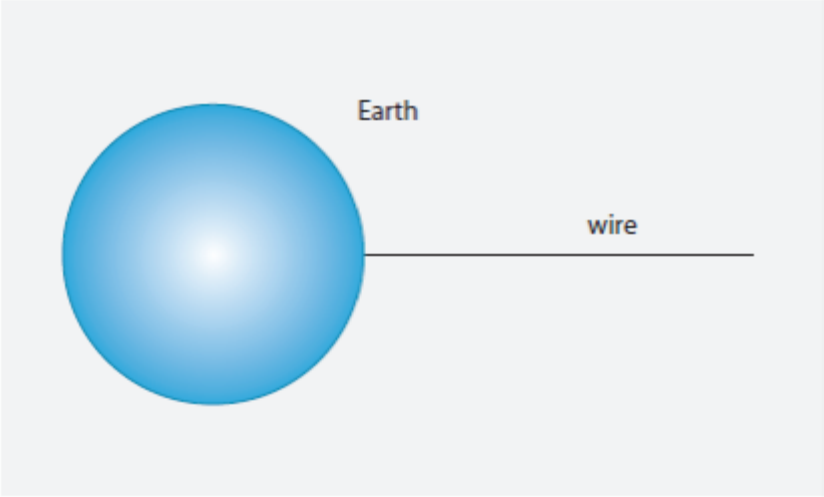
* *

في عام 2005 بينت قياسات الأقمار الصناعية أن الماء في نهر الأمازون يضغط على الأرض بنسبة تصل إلى 75 mm أكبر في الموسم عما هو عليه عندما يكون ممتلئ بالماء في الموسم عندما يكون تقريبا فارغ . (المرجع 178)

* *




الشكل 175 الخسوف الشمسي في 11 آب 1999 ، مصور من قبل جان – بيير – هينير ، عضو طاقم مير 27 و الخسوف الشمسي المحسن في 29 آذار 2006



الشكل 176 سلك مرتبط بخط إستواء الأرض

تخيل أن أسلاك موجودة لا تنقطع . كم طول مثل هذا السلك الذي عندما يربط بخط الإستواء سيكون قائما في الهواء كما هو مبين في الشكل 176 ؟ هل يمكنك بناء مصعد في الفضاء بهذا الشكل ؟ (تحدي 409s)

* *

عادة هناك تقريبا مدين و جزرين في اليوم . و لكن هناك أماكن مثل ساحل فيتنام حيث يحدث مد وجزر واحد في اليوم أنظر www.jason.oceanobs.com/html/applications/marees/marees_m2k1_fr.html ، لماذا ؟ (تحدي 410ny)

* *

من الكافي استخدام مفهوم القوة الناذبة لبيان أن حلقات زحل لا يمكن أن تتكون من مادة متماسكة ، ولكنها مكونة من أجزاء منفصلة . هل يمكنك أن تجد كيف ؟ (تحدي 411s)

* *

لماذا يفقد المريخ جوه لا أحد يعلم . لقد تبين حديثا أن الرياح الشمسية ضعيفة جدا لحدوث هذا . وهذا هو أحد القضايا المفتوحة العديدة للمجموعة الشمسية .

* *

كل الأجسام في المجموعة الشمسية تدور حول الشمس بنفس الاتجاه . كلها . لا ؟

هناك بعض الاستثناءات . أحد الكويكبات المخالفة يدور حول الشمس قرب زحل يدور في الاتجاه الخاطئ و الذي اكتشف في 2015 بحجم بحجم 3km . و من أجل رسم متحرك لهذا المدار الغريب ، المخالف لكل الكويكبات الطروادية أنظر www.astro.uwo.ca/~wiegrt

* *

إن الحركة الملحوظة بسبب الجاذبية يمكن أن نبين أنها أبسط شيء ممكن في المعنى التالي . إذا قسنا تغير جسم ساقط بالعلاقة $mgh\,dt \int mv^2/2 -$ بالتالي فإن ثابت التسارع الناتج عن الجاذبية سيقلل التغير في كل مثال للسقوط (صفحة 252) . هل يمكنك تأكيد هذا ؟ (تحدي 412 e)

* *

الحركة الناتجة عن الجاذبية مثيرة : فكر بالزلاقات المتدحرجة . إذا كنت تريد معرفة المزيد عن كيفة صنعها زر www.vekoma.com

" النظرية العلمية التي أحبها أكثر هي أن حلقات زحل مكونة من أمتعة مفقودة في الطائرات " مارك روسل

ملخص عن الجاذبية

الأجسام الكروبة ذات الكتلة M تجذب الأجسام الأخرى الواقعة على مسافة r منها بتحريض تسارع تجاهها معطى بالشكل $a = GM/r^2$. هذه العلاقة ، الجاذبية العامة ، تصف ألواح التزلج على الثلج ، المتزلجين ، المتسلقين ، الرياضيين ، مدمني التلفاز ، النواسات ، الأحجار ، المدافع ، الصواريخ ، المد و الجزر ، و الخسوف و الكسوف ، أشكال الكواكب ، حركة الكواكب و الكثير أيضا . الجاذبية العامة هي أول مثال عن الوصف الموحد : هي تصف كل شيء يسقط . وبواسطة التسارع الذي تنتجه تحد الجاذبية من ظهور الحركة المنتظمة في الطبيعة .

الفصل السابع

الميكانيك الكلاسيكي ، القوة و قابلية توقع الحركة

كل أنواع الحركة التي فيها الخاصة الدائمة للجسم هي الكتلة تعرف حقل الميكانيك . و الاسم نفسه يطلق أيضا على الخبراء الذين يدرسون هذا المجال . و يمكن أن نفكر بالميكانيك كجزء رياضة من الفيزياء ** وفي كل من الرياضة و المكيانيك تقاس فقط الأطوال ، الأزمنة و الكتل – و هي كل ما هو مهم .

بشكل أكثر تحديدا فإن موضوعنا في الدراسة حتى الآن كان يعرف بالمكيانيك الكلاسيكي لتمييزه عن الميكانيك الكوانتي و الفرق الرئيسي في أن الميكانيك الكلاسيكي يفترض وجود كميات اختيارية صغيرة موجودة بينما ليست هذه هي الحال في الميكانيك الكوانتي

الميكانيك الكلاسيكي أيضا يعرف بفيزياء غاليليو أو فيزياء نيوتن ***

ينص الميكانيك الكلاسيكي على أن الحركة قابلة للتوقع و بالتالي ينص على أنه ليس هناك مفاجئات في الحركة . هل هذا صحيح في كل الحالات ؟ إن قابلية التوقع صالحة بوجود الاحتكاك ؟ الإرادة الحرة ؟ هل ليس هناك فعلا مفاجئات في الطبيعة ؟ هذه القضايا تستحق المناقشة و سوف ترافقنا في بقية مغامرتنا .

نحن نعلم أن هناك مزيد في العالم أكثر من الجاذبية . الملاحظة البسيطة تجلي هذه النقطة : الأراضين و الاحتكاك . لا يمكن لأي منهما أن يكونا ناتجين عن الجاذبية . الأراضي لا تسقط ، و بالتالي لا توصف بالجاذبية ، و الاحتكاك لا يلحظ في السماوات ، حيث الحركة ناجمة حصرا عن الجاذبية ****. أيضا على الأرض ، الاحتكاك غير مرتبط بالجاذبية ، حيث يمكن أن تريد أن تتأكد بنفسك (تحدي e 413) . يجب أن يكون هناك تأثر مسؤول عن الاحتكاك . سوف ندرس هذا في المجلد الثالث . ولكن القضايا تستحق مناقشة مباشرة .

**هذا معاكس لأصل مصطلح " ميكانيك " الذي يعني علم الآلة ، و هو مشتق من الكلمة الإغريقية μηκανή و التي تعني الآلة

و حتى تكمن في أصل الكلمة الإنجليزية " آلة " نفسها . و في بعض الأحيان مصطلح " ميكانيك " بستخدم من أجل دراسة حركة الأجسام الصلبة فقط ، باستثناء مثلا الهيدروديناميك ، وهذا الاستخدام سقط لصالح الفيزياء في القرن العشرين .

*** أساس الميكانيك الكلاسيكي ، وصف الحركة فقط باستخدام الفراغ و الزمن ، ويعرف بالكينماتيك . و المثال على ذلك وصف السقوط الحر بالشكل : $z(t) = z_0 + v_0(t - t_0) - \frac{1}{2}g(t - t_0)^2$. الجزء الرئيسي الآخر من الميكانيك الكلاسيكي هو وصف الحركة كنتيجة للتأثيرات البينية للأجسام و هي تعرف بالديناميك . و المثال على الديناميك هو صيغة الجاذبية العامة . التمييز بين الكينماتيك و الديناميك يمكن أيضا أن يتم في النسبية ، التيرموديناميك و الإلكتروديناميك .

**** (المجلد II ، صفحة 151) هذا غير صحيح بشكل كامل : في 1980s أول حالة من احتكاك الجاذبية تم اكتشافها : هي إصدار أمواج الجاذبية , سنناقشها بالتفصيل في الفصل حول النسبية العامة . لكن الاكتشاف لا يغير النقطة الأساسية .



الشكل 177 القطع المكافئ المشكل بواسطة نوافير الماء التي تبين أن الحركة في الحياة اليومية يمكن توقعها .

الجدول 29 بعض قين القوى في الطبيعة

القياس	القوة
القيمة المقاسة في مجهر قوة الرنين المغناطيسي	820 zN
القوى اللازمة لفصل جزيئة DNA إلى سلسلتيها بالسحب عند نهايتيها	600 pN
القوة العظمى لعضة الإنسان	2.1 kN
قوة الذروة النوعية المطبقة بواسطة مهدة	2 kN
القوة المطبقة من قبل العضلة رباعية الرؤوس	حتى 3 kN
القوة التي يعطيها $1\ cm^2$ من اللاصق الجيد	حتى 10 kN
القوة اللازمة لقطع حبل جيد يستخدم في تسلق الجبال	30 kN
القوة العظمى المقاسة في الطبيعة	$3 . 10^{34}$ N

هل يجب على المرء استخدام القوة ؟ الاستطاعة ؟

"الاستخدام المباشر للقوة البدنية هو حل ضعيف ... أي أنه يستخدم عادة فقط من قبل بعض الأطفال و الأمم العظمى "

ديفيد فريدمان

كل شخص يجب أن يدلي بدلوه في هذه القضية ، حتى طلاب الفيزياء . في الواقع العديد من أنواع القوى تستخدم و تلاحظ في الحياة اليومية . و يتحدث المرء عن قوة العضلات ، الجاذبية ، النفسية ، الجنسية ، الشيطانية ، الخارقة ، الاجتماعية ،

السياسية الاقتصادية و كثير من الأنواع الأخرى . الفيزيائيون يرون الأشياء بطريقة أبسط . هم يسمون الأنواع المختلفة من القوى الملحوظة بين التأثيرات المتبادلة للأجسام . و دراسة تفاصيل كل هذه التأثيرات المتبادلة ستبدين أنه في الحياة اليومية هناك أصل كهربائي أو جاذبي

بالنسبة للفيزيائيين كل التغير هو ناتج عن الحركة . و مصطلح القوة بالتالي أيضا يأخذ تعريفا أكثر تقييدا . القوة (الفيزيائية) تعرف بأنها تغير كمية الحركة مع الزمن أي بالشكل :

$$F = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{p}}{\mathrm{d}t} . \qquad (62)$$

وبعض الأمثلة على القوة واردة في الشكل 29 .

المرجع 86 : يجري حصان بسرعة كبيرة بحيث أن الحوافر تلامس الأرض فقط في 20% من الزمن .

تحدي 414s : ما هو الحمل الذي تحمله الأرجل خلال التماس ؟

القوة هي تغير كمية الحركة و نظرا لأن كمية الحركة مصونة ، فإننا يمكن أيضا أن نقول أن القوة تقيس تدفق كمية الحركة . و كما سنرى قريبا ، متى سارعت قوة جسما ، فإن كمية الحركة تتدفق إليه / فيه . و في الواقع كمية الحركة يمكن تخيلها بأنها مادة غير مرئية و معنوية (المرجع 86) . تقيس القوة مقدار تدفق هذه المادة إلى و من الجسم في وحدة الزمن .

- القوة هي تدفق كمية الحركة

مصونية كمية الحركة هي ناتجة عن مصونية هذا السائل . مثل أي سائل تتدفق كمية الحركة عبر سطح .

باستخدام تعريف غاليليو لكمية الحركة الخطية $p = mv$ ، يمكننا إعادة كتابة تعريف القوة (من أجل كتلة ثابتة) بالشكل :

$$F = ma , \qquad (63)$$

حيث $F = F(t,x)$ هي القوة المؤثرة على جسم ذو كتلة m حيث $a = a(x,t) = dv/dt = d^2x/dt^2$ هو تسارع نفس الجسم أي نقول أنه تغير السرعة *. العلاقة تبين بعبارة دقيقة أن القوة هي ما يغير سرعة الكتل . و المقدار المسمى قوة ، لأنه يقابل في العديد و لكن ليس كل النواحي القوة العضلية اليومية . مثلا كلما كانت القوة المستخدمة أكبر ، كلما تم رمي الحجر مسافة أطول . و بشكل مكافئ يضخ مزيد من كمية الحركة في الحجر مما يعني أنه سيقطع مسافة أطول . و كمثال آخر ، مفهوم الوزن يصف تدفق كمية الحركة بسبب الجاذبية .

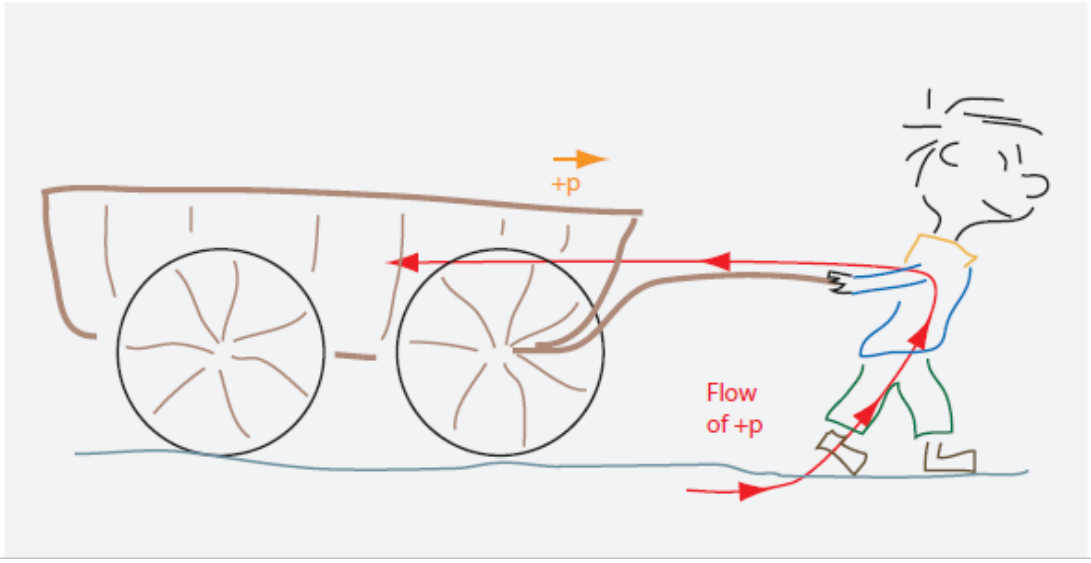
- الجاذبية تضخ باستمرار كمية الحركة في الأجسام الضخمة / ذات الكتلة

الرمل في الساعة الرملية يجري و الساعة الرملية هي مقياس . هل الوزن المبين على الميزان أكبر ، أصغر أو مساوي للوزن عندما يسقط الرمل ؟ (تحدي s 415) .

تقاس القوى بقياس تمدد نابض . قيم القوة الصغيرة من مرتبة 1nN يمكن أن تكشف بقياس انحراف عتلات صغيرة بمساعدة حزمة ليزر منعكسة .

هذه المعادلة كتبت لأول مرة من قبل الرياضي و الفيزيائي ليونارد أويلر (ولد في بازل 1707 و توفي في بيترسبورغ 1783) في عام 1747 بعد عشرين عاما من وفاة نيوتن الذي تنسب له عادة بشكل خطأ . و قد كان أويلر أحد أعظم

الرياضيين في كل الأزمنة (وليس نيوتن) الذي فهم أولا أن هذا التعريف للقوة مفيد في كل حالة للحركة مهما كان شكلها و سواء كانت للأجسام النقطية أو الجسام الكبيرة / الممتدة (المرجع 28) وسواء كانت صلبة / جاسئة أو قابلة للتشوه أو أجسام سائلة . و من المدهش أنه على عكس المقولات الشائعة فإن (63) صحيحة حتى في النسبية (المجلد II ، صفحة 68) .



الشكل 178 الطفل الذي يجر العربة بضخ كمية حركة فيها . في الحقيقة يتدفق بعض كمية الحركة للأرض بسبب الاحتكاك الديناميكي (غير مرسوم)

لكن عندما يستخدم مفهوم القوة ، يجب أن نتذكر أن القوة الفيزيائية مختلفة عن القوة اليومية أو الجهد اليومي . الجهد ربما يقرب بشكل أفضل بمفهوم الاستطاعة (الفيزيائية) عادة يرمز لها بـ P ، و تعرف بأنها (من أجل قوة ثابتة) بالشكل :

$$P = \frac{dW}{dt} = Fv \qquad (64)$$

التي فيها العمل (الفيزيائي) W يعرف بالشكل W = Fs حيث s المسافة على طول محور تأثير القوة . العمل الفيزيائي هو شكل من الطاقة يجب أن يؤخذ بالحسبان عند بحث مصونية الطاقة .

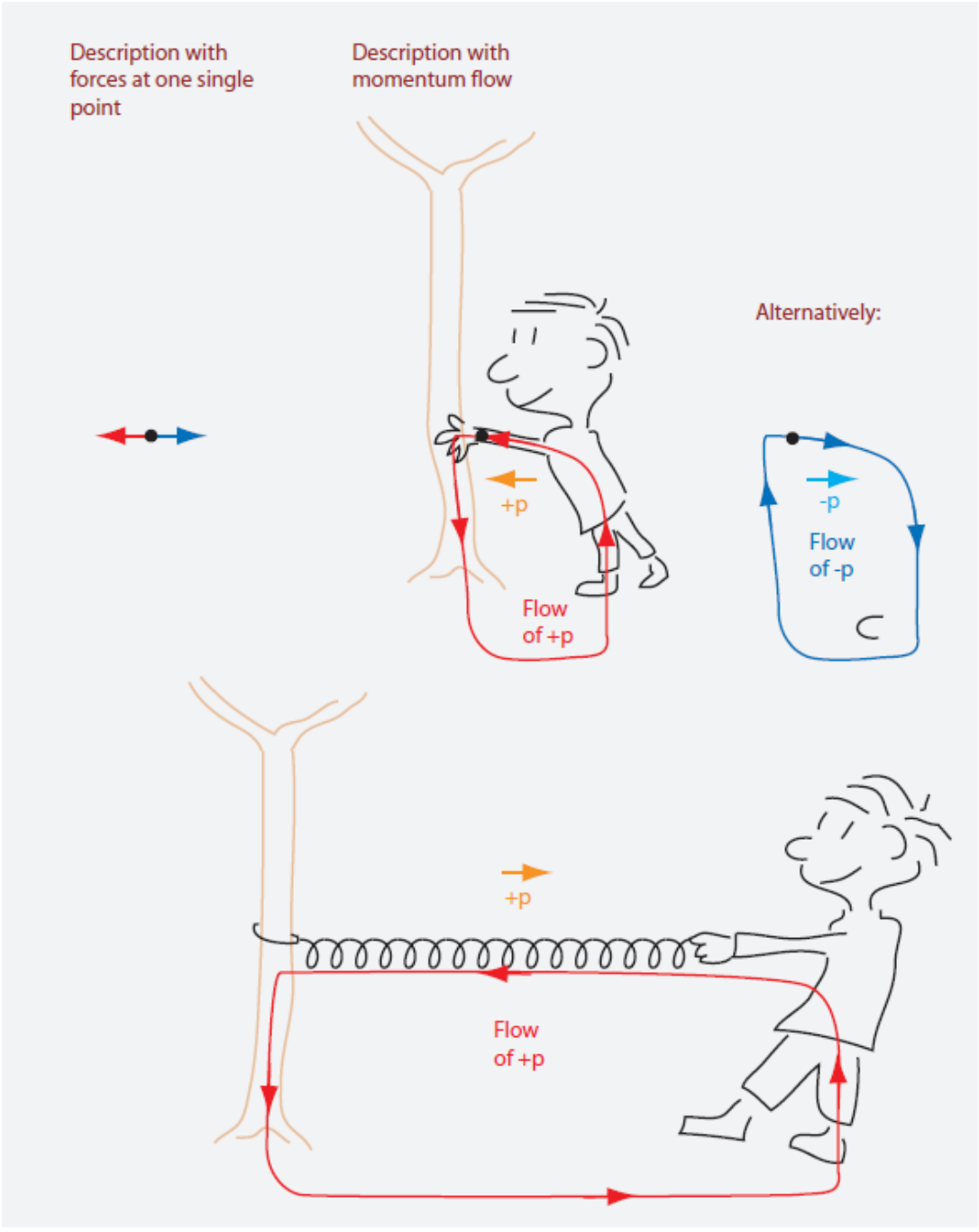
بواسطة تعريف العمل الذي أعطي للتو ، يمكنك حل الألغاز التالية. ما الذي يحدث لاستهلاك الكهرباء لدرج إذا مشيت عليه بدلا من الوقوف ؟ (تحدي 416s) . ما هو تأثير تعريف الاستطاعة لراتب العلماء ؟ (تحدي 417s) . رجل يحمل حقيبة ظهر ثقيلة بالكاد يستطيع فعل أي عمل ، لماذا إذن يتعب ؟ (تحدي 418s) .

عندما الطلاب في الامتحان يقولون أن القوة المؤثرة على حجر مرمي هي أقل عند أعلى نقطة من مسارها (المرجع 179)من المعتاد القول أنهم يستخدمون رأيا غير صحيح وهذا ما يعرف برأي أرسطو ، الذي فيه القوة متناسبة مع السرعة

في بعض الأحيان حتى يقال أنهم يستخدمون مفهوما مختلفا لحالة الحركة . النقاد يضيفون بالتالي ، بلهجة تعالي ، كم هذا كله خطأ . و هذا مثال عن خطأ المعلومات الفكري . كل طالب يعلم من ركوب الدراجة ، من رمي حجر أو من سحب جسم أن زيادة الجهد تؤدي إلى زيادة السرعة . و الطالب على حق ، هؤلاء النظريين الذين يستنتجون أن الطالب لديه مفهوم خطا للقوة هم مخطؤون . في الحقيقة بدلا من المفهوم الفيزيائي للقوة ، الطالب يستخدم الشكل اليومي ، و هو الجهد . و في الواقع الجهد المطبق بواسطة الجاذبية على حجر طائر يكون أقل ما يكون في أعلى نقطة من المسار . و فهم الفرق بين القوة الفيزيائية و الجهد هو العقبة الأساسية في تعلم الميكانيكك * .

--

*حجر الخطوة / السير يكون عاليا جدا بحيث أن العديد من الفيزيائيين المحترفين لا يأخذونه بأنفسهم وهذا مؤكد بواسطة تعليقات لا حصر لها في الأوراق التي تنص على أن القوة الفيزيائية تعرف باستخدام الكتلة و في نفس الوقت ، الكتلة تعرف باستخدام القوة (الجزء الأخير من الجملة هو خطأ أساسي) .



الشكل 179 وصفين متكافئين لوضعيتين بقوة صافية صفرية أي تدفق كمية حركة مغلق . يحدث الانضغاط عندما تدفق كمية الحركة

و نقطة كمية الحركة في اتجاه واحد ، و الشد / التمدد يحدث عندما تدفق كمية الحركة و نقطة كمية الحركة في اتجاهين متعاكسين .

غالبا تدفق كمية الحركة ، المعادلة (62) لا تعتبر كتعريف للقوة . هذا ناتج بشكل أساسي عن الملاحظة اليومية : يبدو أن هناك قوى بدون أي تسارع مرتبط بها أو تغير في كمية الحركة ، مثل الخيط تحت الشد أو في الماء عند ضغط عال .

عندما يدفع المرء شجرة كما هو مبين في الشكل 179 ، لا يكون هناك حركة ومع ذلك تطبق قوة . إذا كانت القوة تدفق كمية الحركة ، أين تذهب كمية الحركة ؟ إنها تتدفق إلى تشوهات طفيفة للذراعين و الشجرة . في الحقيقة عندما يبدأ المرء بالدفع و بالتالي يتشوه ، فإن تغير كمية الحركة المرتبط بالجزيئات ، الذرات أو الإلكترونات للأجسام يمكن ملاحظته / قياسه . بعد حصول التشوه ، فإن تدفق مستمر و متساوي لكمية الحركة يجري في كلا الاتجاهين .

المرجع 68 : لأن القوة ليست تدفق صافي لكمية الحركة ، فإن مفهوم القوة غير لازم حقيقة في وصف الحركة . و لكن في بعض الأحيان المفاهيم تكون عملية . هذه هي حالة الحياة اليومية ، حيث من المفيد في وضعيات حيث قيم كمية الحركة الصافية صغيرة أو مهملة . مثلا من المفيد تعريف الضغط بأنه القوة في وحدة المساحة ، حتى بالرغم من أنه فعلا تدفق كمية حركة لكل وحدة مساحة . وعلى المستوى الميكروسكوبي كمية الحركة لوحدها تكفي لوصف الحركة .

في اختيار عنوان فإننا نسأل عن فائدة القوة و الاستطاعة . قبل أن نجيب بشكل شامل نحن بحاجة لبعض الحجج . بالرغم من تعريفها فإن مفاهيم القوة و الاستطاعة مميزة بوضوح عن الكتلة ، كمية الحركة و الطاقة و عن بعضها البعض . لكن أين تنشأ القوى ؟ بمعنى آخر ، أي التأثيرات في الطبيعة لها إمكانية تسارع الأجسام بواسطة ضخ كمية الحركة في الأجسام ؟ الجدول 30 يعطي عرضا لذلك .

القوى ، الأسطح و المصونية

لقد رأينا أن القوة هي تغير في كمية الحركة , لقد رأينا أيضا أن كمية الحركة مصونة . كيف لهاتين العبارتين أن تتفقا معا ؟ الجواب هو نفسه بالنسبة لكل الكميات المصونة . نحن نتخيل سطحا مغلقا الذي هو حدود حجم في الفراغ . و المصونية تقتضي أن الكمية المصونة المحاطة داخل السطح يمكن فقط أن تتغير بالتدفق عبر ذلك السطح .*

رياضيا ، مصونية الكمية q يعبر عنها بمساعدة كثافة الحجم $\rho = q/V$ ، التيار $I = q/t$ و التدفق أو الفيض $j = \rho v$ بحيث أن $j=q/At$. بالتالي تقتضي المصونية :

$$\frac{dq}{dt} = \int_V \frac{\partial \rho}{\partial t} dV = -\int_{A=\partial V} j dA = -I \qquad (65)$$

أو بشكل مكافئ

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla j = 0 . \qquad (66)$$

هذه هي معادلة الاستمرار للكمية q . كل هذا فقط ينص على أن الكمية المصونة في حجم مغلق V يمكن فقط أن تتغير بالتدفق عبر السطح A. وهذا مثال نوعي على كيفية أن العلاقات الرياضية يمكن أن تبهم المحتوى الفيزيائي البسيط .



الشكل 180 عمليات تستند للاحتكاك

- القوة هي تدفق كمية الحركة عبر سطح

المرجع 298 : هذه النقطة أساسية في فهم القوة الفيزيائية . كل قوة تتطلب سطحا من أجل تعريفها .

لتعريف مفهومك الخاص عن القوة يمكنك البحث عن السطح المعني عندما يسحب حبل عربة (تحدي e 419) أو عندما تدفع الذراعين شجرة ، أو عندما تتسارع سيارة أيضا من المساعد مقارنة تعريف القوة مع تعريف الاستطاعة : كلا المقدارين يتدفقان عبر الأسطح . بالنتيجة يمكننا القول

- المحرك هو مضخة كمية حركة

الاحتكاك و الحركة

كل مثال للحركة ، من الحركة التي تجعلنا نختار اتجاه تحديقنا إلى الحركة التي تحمل الفراشة عبر الطبيعة ، يمكن وضعها في واحد من أحد أقصى العمودين في اليسار من الجدول 30 . فيزيائيا هذين العمودين منفصلين بواسطة المعيار التالي : في أول صنف ، تسارع الجسم يمكن أن يكون في اتجاه مختلف عن سرعته . الصنف الثاني من الأمثلة ينتج فقط تسارعات التي هي تماما معاكسة لسرعة الجسم المتحرك ، كما يرى من الإطار المرجعي لوسط الكبح .

الجدول 30 العمليات المختارة و الأجهزة التي تغير حركة الأجسام

الحالات التي يمكن أن تؤدي لتسارع	الحالات التي تؤدي فقط لتباطؤ	المحركات و المشغلات
الكهربائية الانضغاطية الكوارتز تحت جهد مطبق	الإضاءة الحرارية	المنصب الانضغاطي المتحرك
الصدم القمر في كوكب يواجه نمو الجبال	اصدام سيارة اصطدام نيزك	محرك الصاروخ اليرقات السابحة
التأثيرات المغناطيسية إبرة البوصلة قرب مغناطيس التخصر بالمغنطة التيار في سلك قرب مغناطيس	الكبح الكهرمغناطيسي ضياعات المحولة التسخين الكهربائي	المسدس الكهرومغناطيسي المحرك الخطي الغلفانومتر
التأثيرات الكهربائية المشط المفروك قرب الشعر القنابل صمام الأشعة المهبطية	الاحتكاك بين الأجسام الصلبة الحريق المجهر الإلكتروني	المحرك الكهربائي الساكن العضلات ، سياط النطاف المحرك البراوني
الضوء رفع الأجسام بواسطة الضوء الإبحار الشمس من أجل الأقمار / التوابع	الحمام الضوئي الذي يوقف الذرات ضغط الضوء داخل النجوم	المصنع الضوئي (الحقيقي) الخلية الشمسية
الكهرباء القوس و السهم الأشجار المنحنية التي تقف ثانية	تعاليق البنطال الوسادة ، الوسادة الهوائية	المحرك فوق الصوتي ثنائيات الشكل
الحلول ارتفاع الماء في الأشجار الحلول الكهربائي	مصونية الملح في الغذاء	النواس الحلولي التصوير بالأشعة السينية القابلة للتوليف
الحرارة و الضغط زجاجة شمبانيا متجمدة غلاية الشاي البارومتر الزلازل جذب القطارات السائرة	مقاومة الماء للوح التزلج الرمل المتحرك المظلة مقاومة الانزلاق ماصات الصدمات	المحركات الهيدروليكية محرك البخار مسدس الهواء ، الإبحار مقياس الزلازل العنفة المائية

النوى النشاط الإشعاعي	الغطس في الشمس	انفجار المستعر الأعظم
علم الأحياء نمو البامبو	تناقص قطر الأوعية الدموية	المحركات الجزيئية
الجاذبية السقوط	انبعاث أمواج الجاذبية	البكرة

مثل هذه القوة المقاومة تعرف بالاحتكاك ، الجر أو التخامد . و كل الأمثلة من النوع الثاني هي أنواع من الاحتكاك.

فقط تأكد من ذلك (تحدي e 420) . بعض الأمثلة للعمليات المستندة إلى الاحتكاك معطاة في الشكل 180 .

(تحدي s 421) : هنا أحجية حول الدراجات : هل تكبح الريح الجانبية – ولماذا ؟

الاحتكاك يمكن أن يكون قويا جدا بحيث أن كل الحركة لجسم مقابل بيئته يكون مستحيلا . و هذا النوع من الاحتكاك يعرف بالاحتكاك الستاتيكي أو احتكاك الالتصاق و هو شائع و مهم : بدونه فإن تدوير عجلات الدراجة ، القطارات لن يكون له تأثير .

بدون الاحتكاك الستاتيكي ، العجلات التي تقاد بواسطة محرك لن يكون لها ثبات و بشكل مشابه لا يوجد برغي وحيد قادر على البقاء مشدود و لا حبسة شعر يمكن أن تعمل . و لا يمكننا لا أن نجري و لا أن نمشي في الغابة ، حيث أن التربة ستكون زلقة أكثر من الجليد المصقول . و في الحقيقة ليس فقط حركتنا و لكن الحركة الإرادية للأحياء تعتمد على الاحتكاك.

نفس الشيء بالنسبة لحالة كل الآلات المتحركة ذاتيا . فبدون احتكاك ستاتيكي فإن الدافعات / دواسر السفن ، الطائرات و المروحيات لن يكون لها أي أثر و أجنحة الطائرات لن تنتج أي رفع لإبقائها في الهواء (لماذا ؟) (تحدي 422s) .

<u>الاحتكاك ، الرياضة ، الآلات و قابلية التوقع</u>

حالما يتحرك الجسم عبر بيئته ، فإنه يعاق بنوع آخر للاحتكاك ، و هو يعرف بالاحتكاك الديناميكي و يعمل بين كل الأجسام التي في حركة نسبية * . و بدون الاحتكاك الديناميكي فإن الجسام الساقطة سترتد دائما لنفس الارتفاع بدون أن تتوقف أبدا و لا يمكن للمظلات و لا المكابح أن تعمل ، و حتى الأسوأ يمكن ألا يكون لدينا أي مال كما سنرى لاحقا .

كل أمثلة الحركة في العامود الثاني من الجدول

كل أمثلة الحركة في العامود الثاني من الجدول 30 تتضمن الاحتكاك . و في هذه الأمثلة الطاقة الماكروسكوبية لا تكون مصونة : الجمل تكون مبددة . و في أول عامود الطاقة الماكروسكوبية ثابتة : الجملة مصونة .

أول عامودين يمكن أيضا تمييزهما باستخدام معيار رياضي أكثر تجريدا : في اليسار هناك تسارعات التي يمكن استنتاجها من كمون و على اليمون التباطؤات لا يمكن . كما في حالة الجاذبية ، فإن وصف أي نوع من الحركة هو يبسط بشكل كثير باستخدام كمون : عند كل موضع في الفراغ ، يحتاج المرء فقط لقيمة وحيدة من الكمون لحسابها و مسار الجسم بدلا من ثلاث قيم للتسارع أو القوة . أيضا مقدار السرعة لجسم في أي نقطة يمكن حسابه مباشرة من مصونية الطاقة .

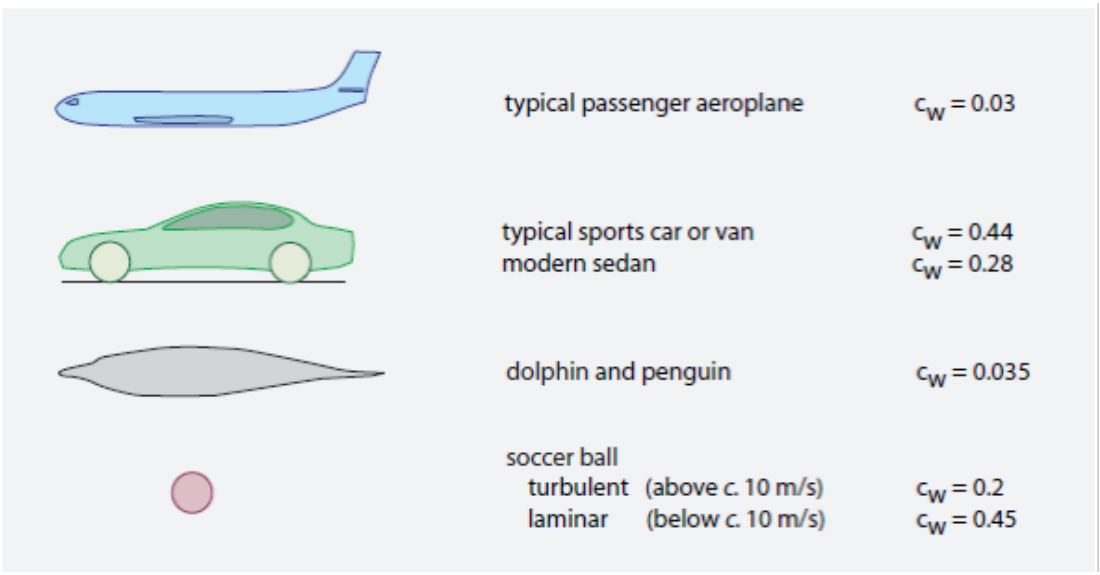
العمليات من العامود الثاني لا يمكن وصفها بالكمون . و هناك حالات حيث من الأفضل استخدام القوة لوصف حركة الجملة. مثلا ، الاحتكاك أو قوة الجر F الناتجة عن مقاومة الريح لجسم تعطى تقريبا بالشكل :

$$F = \frac{1}{2} c_w \rho A v^2 \qquad (67)$$

حيث A مساحة المقطع العرضي و v السرعة بالنسبة للهواء ، ρ كثافة الهواء . و معامل الجر C_w هو عدد مجرد الذي يعتمد على شكل الجسم المتحرك

---

*هناك استثناء واحد . تبين الأبحاث الحديثة أنه ربما في بعض الجمل المتبلورة مثل أجسام التنغستين على السليكون تحت شروط مثالية فإن احتكاك الانزلاق يمكن أن يكون صغيرا جدا و ربما متلاشي في بعض اتجاهات الحركة (المرجع 181)وهذا ما يعرف بالتزليق الفائق و هو حاليا موضوع بحث .



الشكل 181 الأشكال و مقاومة الهواء / الماء

إن بعض الأمثلة معطاة في الشكل 181 . العلاقة صالحة من أجل كل الموائع ، ليس فقط في الهواء ، الأقل من سرعة الصوت ، طالما أن الجر ناتج عن الدوامية . و هذا عادة هو الحال في الهواء و في الماء . (عند سرعات منخفضة جدا ، عندما حركة المائع لا تكون دوامية ولكن صفحية يسمى الجر لزجا و يتبع (تقريبا) علاقة خطية مع السرعة) (مرجع359) . و يمكنك التأكد من أن الجر أو المقاومة الديناميكية للهواء لا يمكن استنتاجها من الكمون . * (تحدي 423e) .

إن معامل الجر C_w هو كمية مقاسة . و حساب معاملات الجر بواسطة الحاسبات بمعرفة شكل الجسم و خواص المائع هو أحد أصعب المهام في العلم ، و المسألة لم تحل بعد . و السيارة الديناميكية الهواء لها قيمة بين0.25 & 0.3 و العددي من السيارات الرياضية ذات قيم 0.44 و أعلى ، و سيارات السابق يمكن أن يكون لها قيمة عالية تصل إلى 1 تبعا لمقدار القوة المستخدمة لإبقاء السيارة مثبتة للأرض . و أخفض قيم معلومة هي للدولفينات و البطاريق **

المرجع 183 : مقاومة الرياح أيضا مهمة للبشر بشكل خاص في الرياضة . و يقدر أن عدائين المائة متر يصرفون بين 3 & 6% من قوتهم في التغلب على الجر . و هذا يؤدي إلى تغير زمن العدو t_w عندما توجد سرعة الريح w ، المرتبطة بالعلاقة :

$$\frac{t_0}{t_w} = 1.03 - 0.03\left(1 - \frac{w t_w}{100\,\mathrm{m}}\right)^2 , \qquad (68)$$

---

*مثل هذه العبارة حول الاحتكاك صحيحة فقط في الأبعاد الثلاثية كما في حالة الطبيعة ، وفي حالة البعد الأحادي فإن الكمون يمكن أن يوجد دائما . (تحدي 424s)

** من غير الواضح فيما إذا كان هناك في الطبيعة أصغر قيم ممكنة لمعامل الجر

موضوع الأشكال الديناميكية الهوائية هو مهم بالنسبة للأجسام المائعة . وهي تبقى مجموعة لبعضها بواسطة التوتر السطحي . مثلا ، التوتر السطحي يبقي الشعر الرطب لفرشاة مشربة بالماء مجتمعا . و التوتر السطحي أيضا يحدد شكل قطرات المطر . تبين التجارب أن شكلها كروي بالنسبة للقطرات الأصغر من 2 mm و أن قطرات المطر الأكبر هي بشكل عدسة ، حيث الجزء المسطح يكون باتجاه الأسفل . (المجلد V ، صفحة ، صفحة 308) . و شكل الدمع المعتاد لا يصادف في الطبيعة (المرجع 182) وهذا مشابه بعض الشيء بشكل غامض لماذ يظهر خلال انفصال القطرة و لكن ليس خلال سقوط القطرات .

حيث يستخدم التقدير الأكثر محافظة البالغ 3% . إن سرعة الريح المعاكسة البالغة2 m/s- تعطي زيادة في الزمن تبلغ 0.13 s كافية لتغيير القيم القياسية للكمون إلى نتيجة ممتازة فقط . (هل تستطيع استنتاج قيمة C_w للبشر الذين يجرون من العلاقة ؟) (تحدي 425 ny) .

بنفس الشكل فإن الهبوط المظلي يوجد بسبب مقاومة الريح ، هل يمكنك تحديد سرعة جسم ساقط ، مع أو بدون مظلة ، التغيرات مع الزمن ، بافتراض شكل ثابت و مقاومة جر ؟ (تحدي 426 s)

على العكس فإن الاحتكاك الستاتيكي له خواص مختلفة . إنه متناسب مع القوى الضاغطة على الجسمين معا (المرجع 184) لماذا ؟.

إن دراسة الوضع بمزيد من التفصيل ، فقد وجد أن مقاومة الالتصاق متناسبة مع مساحة التماس الفعلي . و ينتج أن وضع جسمين صلبين في تماس مشابه لقلب سويسرا أعلاها لأسفلها ووضعها في النمسا ، حيث مساحة التماس أصغر بكثير من المقدرة ماكروسكوبيا . إن النقطة المهمة هي أن مساحة التماس الفعلي متناسبة مع القوة الناظمية أي مركبة القوة المتعامدة مع السطح . و دراسة ما يحدث في منطقة التماس تلك هو موضوع بحث ، و الباحثون يدرسون القضايا باستخدام أدوات مثل المجاهر ذات القوة الذرية و المجاهر ذات القوة الجانبية و التريبوسكوبات . هذه الجهود أدت إلى أقراص صلبة للحاسب التي تدوم أطول حيث أن الاحتكاك بين القرص و رأس القراءة هو مسألة مركزية في تحديد عمره .

كل أشكال الاحتكاك تترافق بزيادة في درجة حرارة الجسم المتحرك . السبب أصبح واضحا بعد اكتشاف الذرات . الاحتكاك لا يلاحظ في بعض الجمل مثل جمل الجزيئات 3 , 2 أو 4 . و الاحتكاك يظهر فقط في الجمل ذات العديد من الجزيئات عادة ملايين منها أو أكثر . و مثل هذه الجمل تعرف بأنها مبددة ، و كل من تغيرات درجة الحرارة و الاحتكاك نفسه هي ناتجة عن حركة الأعداد الكبيرة للجزيئات الميكروسكوبية مقابل / ضد بعضها البعض . الحركة لا تكون مشمولة في وصف الميكانيك الغاليلي . و عندما تشمل فإنه يظهر الاحتكاك و ضياع الطاقة ، و بالتالي يمكن استخدام الكمونات بشكل شامل . التسارعات الإيجابية – ذات القيمة الميكروسكوبية – تظهر بالتالي و وجد أن الحركة مصونة .

باختصار كل الحركة مصونة على المستوى الميكروسكوبي . و على المستوى الماكروسكوبي بالتالي من الممكن و ألأكثر عملية وصف كل الحركة بدون مفهوم القوة *

معنوية القصة هي ذات شقين : الأول يجب استخدام القوة و الاستطاعة فقط في حالة واحدة : في حال الاحتكاك ، و فقط عندما لاي راد الخوض في التفاصيل **

ثانيا ، الاحتكاك ليس عقبة في قابلية التوقع حيث الحركة تبقى قابلة للتوقع .

---

*أول عالم أزال القوة من وصف الطبيعة كان هانريش رودولف هرتز (ولد في 1857 في هامبورغ ، و توفي في 1849 في بون) . و هو المكتشف الشهير للأمواج الكهرطيسية ، وفي كتابه حول الميكانيك ، مبادئ الميكانيك ، أعاد بارث نشره 1849 من قبل شركة الكتب العلمية في عام 1963 و فكرته كانت منتقذة بقوة في ذلك الوقت ، وفقط بعد جيل من ذلك ،

عندما تخلص ميكانيك الكم بهدوء من مفهوم الجيد ، فإن الفكرة أصبحت مقبولة عموما . (العديد يعتبروا دور هرتز الذي لعبه في تطور ميكانيك الكم و النسبية العامة ، و إنه لم يمت شابا جدا) . و في كتابه أيضا صاغ مبدأ المسار الأكثر استقامة : الجزيئات تتبع الجيوديزيا . هذا نفس وصف أحد أعمدة النسبية العامة كما سنرى لاحقا .

**لكن الكلفة عالية جدا : في حال العلاقات البشرية التقييم سيكون أكثر بصيرة بعض الشيء .

المرجع 185 : كما يبين بحث حول العنف

" و سواء كنا بحاجة إلى هذا المحرك أو لا عندما نستوعب دراسة الطبيعة يثبت لنا أن الحركة الدائمة هي أول قوانينها "

دونتيان دو ساد جاستان

<u>الحالات الكاملة – الشروط الابتدائية</u>

ما هو المستقبل غدا ، لا تسأل أبد عن ذلك ... هوراس كوينتوس فلاكوس

هوراس ، كتاب رقم I ، صفحة 13 & 9

لنستمر في دراستنا لقابلية توقع الحركة . غالبا نصف حركة جسم بتحديد التبعية للزمن بالنسبة لموضعه ، مثلا بالشكل

$$x(t) = x_0 + v_0(t - t_0) + \frac{1}{2}a_0(t - t_0)^2 + \frac{1}{6}j_0(t - t_0)^3 + \dots . \qquad (69)$$

المقادير ذات الدليل 0 مثل الموضع الابتدائي x_0 ، السرعة الابتدائية v_0 تسمى بالشروط الابتدائية . الشروط الابتدائية ضرورية لأي وصف للحركة . و الجمل الفيزيائية المختلفة لها شروط ابتدائية مختلفة . و الشروط الابتدائية تصف بالتالي فردية و تفرد جملة معينة . الشروط الابتدائية أيضا تسمح لنا بتمييز الحالة الحالية لجملة عن تلك التي في أي زمن سابق : الشروط الابتدائية تحدد نواحي التغير لجملة . بشكل مكافئ فهي تلخص ماضي جملة .

صفحة 27 : الشروط الابتدائية بالتالي هي بدقة الخواص التي نبحث عنها لوصف حالة الجملة . و لإيجاد وصف كامل للحالات فإننا بالتالي بحاجة فقط لوصف كامل للشروط الابتدائية و الذي يمكن أن تسمى بشكل صحيح الحالات الابتدائية

وينتج أنه من أجل الجاذبية كما من أجل كل التأثيرات المتبادلة الميكروسكوبية فإنه ليس هناك حاجة للتسارع الابتدائي a_0 و الذبذبة الابتدائية j_0 أو المقادير الابتدائية الأخرى ذات المراتب الأعلى . و في الطبيعة التسارع و التذبذب يعتمدان فقط على خواص الأجسام و بيئتها وهي لا تعتمد على الماضي . مثلا ، العلاقة $a = GM/r^2$ للجاذبية العامة تعطي تسارع جسم صغير قرب جسم أكبر و لا تعتمد على الماضي و لكن فقط على البيئة . نفس الشيء يحدث من أجل التأثيرات المتبادلة الأخرى كما سنجد قريبا .

صفحة 86 : الحالة الكاملة لكتلة نقطية متحركة بالتالي توصف بتحديد موضعها و كمية حركتها في كل اللحظات الزمنية , و بالتالي لقد حققنا الآن الوصف الكامل للخواص الذاتية للأجسام النقطية و هي كتلتها ، و حالات حركتها و كمية حركتها ، الطاقة ، الموضع ، و الزمن . من أجل الأجسام الجاسئة الممتدة فإننا بحاجة أيضا للاتجاه ، و كمية الحركة الزاوية و هذه قائمة كاملة من الأجسام الجاسئة و لا يلزم أي حالة أخرى قابلة للقياس .

هل يمكن أن تحدد الحالة اللازمة القابلة للقياس في حالات الأجسام المرنة الممتدة و الموائع ؟ (تحدي 427 s) هل يمكنك أن تعطي مثال عن الخاصة الذاتية التي نسيناها حتى الآن ؟ (تحدي 428s) .

---

*" و سواء كنا بحاجة إلى هذا المحرك أو لا عندما نستوعب دراسة الطبيعة يثبت لنا أن الحركة الدائمة هي أول قوانينها "

** (المرجع 84) ما هو المستقبل غدا ، لا تسأل أبد عن ذلك ... هوراس كوينتوس فلاكوس (8-65) الشاعر الروماني العظيم

إن مجموعة كل الحالات الممكنة لجملة تعطى اسما خاصا : تسمى الفراغ الطوري . و سوف نستخدم هذا المفهوم بشكل متكرر . مثل أي فراغ فهو يملك عدد من الأبعاد .

هل يمكنك تحديد هذا العدد لجملة مكونة من N جزيئة نقطية ؟ (تحدي 429 s) .

من المهم تذكر التحدي الأقدم و السؤال ثانية : هل الكون يملك شروط ابتدائية ؟ عل يملك فراغ طوري ؟ (تحدي 430s)

بمعرفة أن لدينا الآن وصف لكل من الخواص و الحالات للأجسام النقطية ، الأجسام الجاسئة الممتدة و الأجسام القابلة للتشوه ، يمكننا توقع كل الحركة ؟ ليس بعد . هناك حالات في الطبيعة التي تعتمد فيها حركة الجسم على مميزات غير الكتلة ، الحركة يمكن أن تعتمد على لونه (هل يمكن أن تعطي مثال ؟) (تحدي 431s) و على درجة حرارته وعلى بعض الصفات الأخرى التي سنكتشفها سريعا . كل خاصة ذاتية إضافية هي أساس حقل علم الفيزياء . السرعة كانت أساس الميكانيك ، درجة الحرارة أساس علم الترموديناميك ، و الشحنة هي من أجل الديناميك الكهربائي .. الخ علينا بالتالي أن نستنتج أنه ليس لدينا بعد وصف كامل للحركة .

" الشخص المتفائل هو الذي يفكر أن المستقبل غير مؤكد "

مجهول

هل المفاجئات موجودة ؟ هل المستقبل قابل للتوقع ؟

" لا يمكننا معرفة أحداث المستقبل من أحداث الحاضر , الإيمان بعلاقات سببية هو خرافة "

لودفيغ ويتنجشتاين ، تراكتوس 5.1361

" الحرية هي إدراك الضرورة "

فرديرش إنجلز (1820 -1895)

إذا ، بعد صعود شجرة ، قفزنا للأسفل فإننا لا يمكننا أن نتوقف عن القفز في منتصف المسار ، حالما يبدأ القفز فإنه لا بد منه و سينتهي مثل كل الحركة غير الفعالة . لكن عندما نبدأ في تحريك ذراعنا ، يمكننا التوقف أو تغيير الحركة من الضرب إلى التربيت . الحركة الإرادية لا يبدو أنها لا مفر منها أو محددة مسبقا .

أي من هاتين الحالتين هي العامة ؟ (تحدي 432 e)

لنبدأ بمثال الذي يمكننا به الوصف بشكل أكثر دقة حتى الآن : سقوط جسم . حالما يعطى كمون الجاذبية φ المؤثر على الجزيئة و يؤخذ بالحسبان يمكننا استخدام العلاقة

$$a(x) = -\nabla\varphi = -GMr/r^3 \,, \qquad (70)$$

و يمكننا استخدام الحالة عند زمن معين ، المعطى بالشروط الابتدائية مثل

$$x(t_0) \quad \text{and} \quad v(t_0) \,, \qquad (71)$$

لتحديد حركة الجزيئة مسبقا . في الحقيقة بواسطة هاتين المعلومتين يمكننا حساب المسار الكامل x(t) .

---

*"لا يمكننا معرفة أحداث المستقبل من أحداث الحاضر , الإيمان بعلاقات سببية هو خرافة " لكن مغامرتنا ستؤكد المراقبة اليومية أن هذه العبارة خاطئة .

المعادلة التي لها إمكانية توقع مسار الأحداث تسمى بمعادلة التطور . المعادلة (70) مثلا ، هي معادلة تطور من أجل سقوط الجسم .

(لاحظ مصطلح "تطور " له معنى مختلف في الفيزياء عن البيولوجيا) و معادلة التطور تتضمن ملاحظة أنه ليست كل أنواع التغير ملحوظة في الطبيعة ، و لكن فقط حالات خاصة معينة . و ليست كل التتابعات القابلة للتخيل للأحداث تكون ملحوظة و لكن فقط عدد محدد منها . و بشكل خاص المعادلة (70) تتضمن فكرة أنه من لحظة لأخرى تغير الأجسام الساقطة حركتها استنادا إلى كمون الجاذبية المؤثر عليها .

معادلات التطور لا توجد فقط من أجل الحركة الناتجة عن الجاذبية و لكن من أجل الحركة الناتجة عن كل قوى الطبيعة

بمعرفة معادلة التطور و الحالة الابتدائية فإن كل الحركة للجملة تكون ثابتة بشكل فريد ،و هي خاصة للحركة التي تعرف غالبا بالتحديد . مثلا الفلكيون يمكن أن يسحبوا موضع الكواكب بدقة عالية لآلاف السنين مقدما .

لنميز بدقة التحديد عن المفاهيم العديدة المشابهة لتجنب سوء الفهم ، الحركة يمكن أن تكون محددة و بنفس الوقت غير ممكن توقعها عمليا (المجلد V ، صفحة 46) . قابلية التوقع للحركة يمكن أن يكون لها أربعة أصول :

1. العدد الكبير بشكل غير عملي للجزيئات الموجودة بما فيها حالات ذات احتكاك
2. معلومات غير كافية عن الشروط الابتدائية و
3. التعقيد الرياضي لمعادلات التطور
4. الأشكال الغريبة للفراغ – الزمن

مثلا ، في حال الطقس أول ثلاثة شروط محققة في نفس الوقت . و من الصعب توقع الطقس خلال فترات أطول من أسبوع أو اثنين (في عام 1942 ، عمل هتلر أضحوكة من نفسه في كل ألمانيا بطلب توقعات الطقس خلال السنة القادمة كلها) . بالرغم من صعوبة التوقع فإن تغير الطقس ما يزال غير محدد . المثال الآخر قرب الثقوب السوداء كل الأصول الأربعة تنطبق معا . سوف نناقش الثقوب السوداء في الفقرة حول النسبية العامة . بالرغم من كونها غير قابلة للتوقع فإن الحركة محددة قرب الثقوب السوداء .

الحركة يمكن أن تكون محددة و عشوائية في الزمن مثل النتائج المختلفة في تجارب مشابهة (صفحة 127)

إن حركة كرة الروليت هي محددة و لكنها أيضا عشوائية .* كما سوف نرى لاحقا (مجلد IV ، صفحة 156) فإن الأنظمة الكمية / الكوانتية تقع في هذا النوع كما كل الأمثلة غير القابلة للعكس للحركة ، مثل قطرة من الحبر تنتشر في ماء صاف .

أيضا سقوط حجر النرد هو محدد وعشوائي . في الحقيقة الدراسات حول كيفية توقع نتيجة رمي نرد بمساعدة حساب يحقق تقدما بخطوات سريعة (المرجع 187) ، هذه الدراسات تبين أيضا كيفية رمي نرد من أجل زيادة الحالات الفردية / الغريبة للحصول على النتيجة المرغوبة . و في كل الحالات فإن العشوائية و عدم الحصول على نتائج هي ظاهرة فقط ، وهي تظهر عند وصف الحالات و الشروط الابتدائية في المجال الميكروسكوبي تكون مشمولة . باختصار فإن التحديد لا يتعارض مع عدم قابلية الانعكاس (الماكروسكوبي) . و لكن على المستوى الميكروسكوبي ، الحركة المحددة هي دائما قابل للانعكاس / للانقلاب / للارتداد .

المفهوم النهائي الذي سيميز عن التحديد هو اللاسببية . السببية هي شرط الذي يجعل السبب يسبق النتيجة . و هذا تجريبي في فيزياء غاليليلو ولكن تصبح مهمة في النسبية الخاصة ، حيث السببية تقتضي أن سرعة الضوء هي حد لانتشار التأثيرات .

--

* طور الرياضيون عددا كبيرا من الاختبارات لتحديد فيما إذ كانت مجموعة من الأعداد يمكن أن تسمى عشوائية ، نتائج الروليت تتجاوز كل الاختبارات – لكن في الكازينوهات النزيهة . مثل هذه الاختبارات نوعيا تفحص التوزع المتساوي للأعداد ، ثلاثيات الأعداد ..الخ . و الاختبارات الأخرى هي اختبار χ^2 ، اختبار مونت كارلو ، و اختبار الغوريلا .

في الحقيقة ، يبدو من المستحيل وجود حركة محددة / تحديدية (للمادة و الطاقة) التي هي غير سببية ، بمعنى آخر ، أسرع من الضوء . هل يمكنك تأكيد هذا ؟ (التحدي 433s) . هذا الموضوع سيبحث بمزيد من العمق في الفقرة حول النسبية الخاصة .

إن القول بأن الحركة تحديدية يعني أنها ثابتة في المستقبل و أيضا في الماضي . و في بعض الأحيان يقال أن التوقعات للمراقبات المستقبلية هي اختبار حرج من أجل الوصف الناجح للطبيعة . و بسبب لمقدرتنا الكبيرة غالبا للتأثير على المستقبل ، هذا لا يكون بالضرورة اختبارا جيدا . و أي نظرية يجب ، قبل كل شيء ، أن تصف المراقبات الماضية بشكل صحيح . و إن نقص حريتنا في تغيير الماضي هو الذي يؤدي إلى نقص اختيارنا في وصف الطبيعة الذي هو مر مركزي في الفيزياء . و في هذا المعنى ، فإن مصطلح " الشرط الابتدائي " هو اختيار غير حسن ، لأنه في الحقيقة ، الشروط الابتدائية تلخص ماضي جملة .* و المكون الرئيسي للوصف التحديدي هو أن كل الحركة يمكن أن ترد إلى معادلة تطور إضافة لحالة واحدة خاصة . هذه الحالة يمكن إما أن تكون ابتدائية ، متوسطة أو نهائية . الحركة التحديدية تخصص في الماضي و في المستقبل .

للحصول على مفهوم واضح للتحديدية ، من المفيد تذكير أنفسنا بماهية مفهوم الزمن المطروح في وصفنا للعالم . و قد رحنا الزمن لأننا نراقب أولا ما نحن قادرين على تحديده من متتاليات في المراقبة ، و ثانيا أن التغير غير المقيد مستحيل . و هذا على عكس الأفلام ، حيث يمكن لشخص أن يمشي عبر الباب و يخرج من قارة أخرى أو قرن آخر . في الطبيعة نحن لا نراقب التمسخات / التحولات مثل الناس الذين يحولون فراشي الأسنان إلى حماصات أو كلاب . و نحن قادرين على طرح الزمن فقط لأن التغيرات التتابعية التي نراقبها هي مقيدة جدا (تحدي 434s) و إذا لم يكن بالإمكان استنساخ الطبيعة ، فإن الزمن لن يستخدم . باختصار ، التحديدية تعبر عن المراقبة بأن التغيرات التتابعية مقيدة بإمكانية وحيدة .

نظرا لأن التحديدية مرتبطة باستخدام مفهوم الزمن ، فإنه تظهر الأسئلة الجديدة متى تغير مفهوم الزمن كالذي يحدث في النسبية الخاصة ، في النسبية العامة و في فيزياء الطاقة العالية و هناك الكثير من المرح آت .

في الملخص فإن كل وصف للطبيعة الذي يستخدم مفهوم الزمن مثل الذي يكون في الحياة اليومية ، المستخدم في الفيزياء الكلاسيكية ، نظرا لأن يرتبط بمراقبات الماضي و المستقبل ، و يزيل البدائل . باختصار

- استخدام الزمن يقتضي التحديدية و العكس بالعكس

عندما نتوصل لنتائج ميتافيزيقية كما هو شائع في هذه الأيام عند مناقشة نظرية الكم ، على المرء ألا ينسى أبدا هذا الربط (مجلد V ، صفحة 46) . و الذي يستخدم الساعات لكن ينكر التحديدية هو يعمل على شطر شخصيته **

المستقبل محدد .

--

*هذه المسألة بمصطلح " الشروط الابتدائية " تصبح واضحة قرب الانفجار العظيم : في الانفجار العظيم الكون لم يكن له ماض ، و لكن غالبا يقال أن له شروط ابتدائية . و هذا التناقض سيدرس لاحقا في مغامرتنا

**هذا يمكن أن يكون أيضا مرحا جدا

الإرادة الحرة

عليك أن تملك المقدرة لإدهاش نفسك

ريتشارد ياندلر و جون جريندر

إن فكرة أن الحركة محددة غالبا ينتج الخوف ، لأننا تعلمنا أن تربط التحديد بعدم وجود الحرية . من ناحية أخرى ، نحن نمارس الحرية في أعمالنا و ندعوها الإرادة الحرة . و نحن نعلم أنها ضرورية لإبداعنا و سعادتنا . و بالتالي يبدو أن التحديد يخالف السعادة .

ولكن ما هي بدقة الإرادة الحرة ؟ الكثير من الحبل استهلك في محاولة إيجاد تعريف دقيق لها . يمكن للمرء محاولة تعريف الإرادة الحر بأنها حرية الاختيار للشروط الابتدائية . و لكن الشروط الابتدائية يجب نفسها أن تنتج من معادلة التطور ، بحيث لا يكون هناك في الحقيقة حرية في اختيارها . و يمكن للمرء أن يحاول تعريف الإرادة الحرة من فكرة عدم قابلية التوقع ، أو من خواص مشابهة ، مثل عدم قابلية الحساب .

لكن هذه التعريفات تواجه نفس المسألة البسيطة : مهما كان التعريف لا يكون هناك طريقة لإثبات تجريبيا أن الفعل قد تم بحرية . و التعاريف الممكنة عديمة الفائدة . باختصار ، لأن الإرادة الحرة لا يمكن تعريفها ، فإنه لا يمكن مراقبتها .

(علماء النفس أيضا لديهم الكثير من البيانات الإضافية التي تدعم هذه النتيجة ، لكن هذا موضوع آخر)

لا يوجد عملية تدريجية – على عكس المفاجئة – يمكن أن تكون ناتجة عن الإرادة الحرة ، العمليات التدريجية توصف بواسطة الزمن و هي تحديدية . و في هذا المعنى ، السؤال حول الإرادة الحرة سيصبح حول وجود التغيرات المفاجئة في الطبيعة . و هذا سيكون موضوع مكرر في بقية هذه المسيرة . هل يمكن للطبيعة أن تفاجئنا ؟ في الحياة اليومية ، الطبيعة لا تقوم بذلك . التغيرات المفاجئة لا تكون ملحوظة . وبالطبع سوف يكون عليك دراسة هذه القضية في مجالات أخرى ، في الأشياء الصغيرة جدا و الكبيرة جدا . و في الحقيقة سوف نغير رأينا عدة مرات خلال مغامرتنا و لكن النتائج تبقى نفسها

نلاحظ أن عدم وجود المفاجئات في الحياة اليومية متضمن بشكل عميق في طبيعتنا : التطور قد طور الفضول لأن كل شيء اكتشفناه مفيد بعد ذلك . و إذا فاجأتنا الطبيعة باستمرار فإن الفضول لن يكون له معنى .

العديد من المراقبات تتناقض مع وجود المفاجأة : في بداية مشيتنا لقد عرفنا الزمن باستخدام استمرارية الحركة ، لاحقا لقد عبرنا عن هذا بالقول أن الزمن هو تتابع من مصونية الطاقة . و المصونية هي عكس المفاجأة . بالمناسبة ، يبقى تحدي : هل يمكنك بيان أن الزمن لن يكون قابل للتعريف حتى إذا وجدت المفاجآت فقط بشكل نادر ؟ (تحدي 435s)

في الملخص ، حتى الآن ليس لدينا دليل أن المفاجآت موجودة في الطبيعة . و الزمن يوجد بسبب أن الطبيعة تحديدية ، و الإرادة الحرة لا يمكن أن تعرف بالدقة المطلوبة من قبل الفيزياء . بمعرفة أنه ليس هناك تغيرات مفاجئ ، فإن هناك فقط نتيجة حصرية / قطعية واحدة : الإرادة الحرة هي شعور ، بشكل خاص مستقل عن الآخرين و مستقل عن الخوف و قبول نتائج أفعال المرء *

الإرادة الحرة اسم غريب من أجل الشعور بالرضا (مرجع 188)

---

*تلك الإرادة الحرة هي شعور الذي يمكن أيضا تأكيده بالاستبطان و في الحقيقة فكرة الإرادة الجرة ستظهر دائما بعد أن تكون قد بدأت . و من التجربة المفيدة الجلوس في بيئة هادئة ، بنية عمل إيماءة صغيرة خلال عدد غير محدد من الدقائق مثل إغلاق اليد . إذا راقبت بدقة ، بكل التفصيل ، ما الذي يحدث داخل نفسك حول لحظة القرار تماما (تحدي 436e)فإنك تجد إما آلية التي تؤدي لقرار أو ضبابية غير واضحة منتشرة . و إذا لم يكن لديك أبدا إرادة حرة . فإن مثل هذه التجربة هي طريقة جميلة للاختبار العميق للعجائب المتوطنة في نفسك . و الخبرات من هذا النوع يمكن أن تكون أيضا حول الأصل للروحانية البشرية ، حيث أنها تبين ارتباطا لكل شخص مع بقية الطبيعة .

هذا يحل التناقض الظاهر ، الإرادة الحرة ، كونك تشعر بما يحدث ، توجد كإنسان في الخبرة ، حتى بالرغم من أن كل الأشياء تتحرك بدون أي إمكانية للاختيار .

ليس هناك تناقض .

المرجع 189 : حتى إذا كان فعل البشر محدد ، فإنه ما يزال حقيقي . لذا لماذا تكون التحديدية مخيفة بهذا الشكل ؟ هذا السؤال يطرحه الجميع على أنفسهم . ما هي الفروقات التي تقتضيها التحديدية لحياتك ، لأفعالك ، لاختياراتك و السعادة التي تصادفها ؟*

إذا كنت تستنتج أن كونك محدد هو مختلف عن كونك حر ، هذا سيغير حياتك ! الخوف من التحديد عادة ينبع من الرفض القبول بالعالم كما هو عليه . بشكل لمثير للتناقض فإن الشخص الذي يصر بدقة على وجود الإرادة الحرة هو الذي يهرب من المسؤولية .

ملخص حول قابلية التوقع

بالرغم من المصاعب في توقع الحالات الخاصة ، كل الحركة التي صادفناها حتى الآن هي تحديدية و قابلة للتوقع . حتى الاحتكاك قابل للتوقع ، من حيث المبدأ إذا أخذنا بالاعتبار ، التفاصيل الميكروسكوبية للمادة .

باختصار إن الميكانيك الكلاسيكي ينص على أن المستقبل محدد . في الحقيقة سوف نكتشف أن كل الحركة في الطبيعة حتى في مجالات نظرية الكم و النسبية العامة قابلة للتوقع .

الحركة قابلة للتوقع ، هذه لست نتيجة مفاجئة ، إذا لم تكن الحركة قابلة للتوقع ، فإنه لا يمكننا طرح مفاهيم الحركة و الزمن في المقام الأول . و سوف نتكلم فقط و نفكر بالحركة لأنها قابلة للتوقع

من قابلية التوقع إلى الأوصاف الشاملة للحركة

الإبحار ضروري ، الحياة ليست كذلك

بومبيوس

الفيزيائيون يهدفون للتحدث عن الحركة بأعلى دقة ممكنة . قابلية التوقع هي ناحية من الدقة . و أعلى قابلية توقع و بالتالي أعلى دقة هي ممكنة عندما الحرمة توصف بأنها شاملة / عامة أو شاملة قدر الإمكان

كل ما فوق الأرض – حتى في أستراليا – الناس يلاحظون أن الحجارة تسقط و هذه الملاحظة القديمة أدت لاكتشاف الجاذبية العامة . و لإيجاد ذلك / كل ما هو ضروري كان البحث عن وصف الجاذبية الذي هو مقبول عامة . و الملاحظة الإضافية فقط التي تحتاج لأن يعترف بها من أجل الحصول على النتيجة هي $a = GM/r^2$ وهي تغير الجاذبية مع الارتفاع.

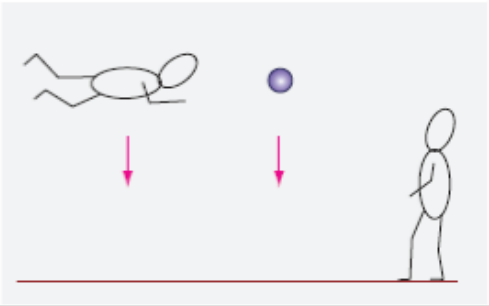
باختصار ، العمومية / الشمولية تساعدنا في القيام بوصف للحركة أكثر دقة و توقعات أكثر فائدة . كيف يمكننا وصف الحركة بأنها شاملة قدر الإمكان ؟ ينتج أن هناك ستة طرق لهذه القضية ، كل منها ستكون مساعدة في طريقنا لقمة الجبل . و أولها إعطاء عرض لها و بعدها سندرس كل منها .

1. مبادئ الفعل أو المبادئ الاهتزازية ، أول طريقة عامة للحركة تظهر عند التغلب على قيد أساسي لما قد تعلمناه حتى الآن .

التحدي s 438 : * إذا كانت قوانين الطبيعة تحديدية ، فهل هي على عكس القوانين الأخلاقية أو التنظيمية ؟ هل يمكن للناس أن يعبتروا مسؤولين عن أفعالهم ؟

** الإبحار ضروري ، الحياة ليست كذلك ، غناوس بومبيوس ماجنوس (106-45 BCE)استشهد بقوله بهذا الشكل من قبل بلوتاركوس (125 -45) .





الشكل 182 ما هو شكل السكة التي تسمح للحجر الأسود أن ينزلق بشكل أسرع ما يمكن من النقطة A إلى النقطة الأخفض B ؟

الشكل 183 هل يمكن للحركة أن توصف بشكل مشترك لكل المراقبين ؟

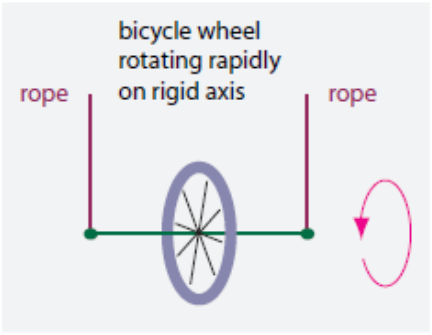
عندما نتوقع الحركة لجزيئة من تسارعها الحالي بواسطة معادلة التطور (المرجع 237) فإننا نستخدم الوصف الأكثر موضعية للحركة الممكن . و نحن نستخدم تسارع جزيئة عند مكان معين و زمن لنحدد موضعها و حركتها تماما بعد تلم اللحظة و في الجوار المباشر لذلك المكان . و معادلات التطور بالتالي لها أفق نصف القطر الصفري .

عكس معادلات التطور هناك معادلات الاهتزاز . و المثال الشهير موضح في الشكل 182 . التحدي هو إيجاد ألمسار الذي يسمح بأسرع انزلاق ممكن من النقطة العالية للنقطة البعيدة المنخفضة . المسار الذي يتم البحث عنه هو الزمن الأقصر ومنيا من العبارة الإغريقية التي تعني " أقصر زمن " و هذه الأحجية تسأل عن خاصة الحركة ككل ، من أجل كل الأزمنة و المواضع . و الطريقة العامة المطلوبة وفق الأسئلة مثل التي ستقودنا إلى وصف الحركة التي هي بسيطة ، دقيقة و رائعة : هي ما يعرف بمبدأ الكسل الكوني ، أيضا يعرف بمبدأ أقل الفعل .

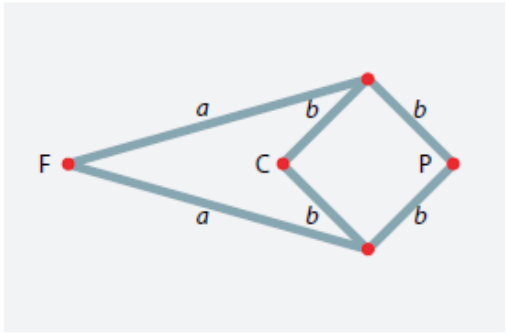
2. النسبية ، الطريقة العامة الثانية لفهم الحركة ، تظهر عندما نقارن الأوصاف المتعددة لنفس الجملة الناتجة عن كل المراقبين الممكنين . مثلا المراقبات التي تتم من قبل شخص يسقط من جرف – كما هو مبين في الشكل 183 و راكب في عربة دراجة ، ومراقب على الأرض ستختلف عادة . و العلاقات بين هذه المراقبات أيضا ما يعرف بالتحويلات المتناظرة التي تؤدي بنا إلى وصف عام للحركة ، مقبول لكل شخص . لاحقا هذه الطريقة ستؤدي بنا إلى نسبية آينشتاين الخاصة و النظرية العامة للنسبية

3. ميكانيك الأجسام الممتدة و الجاسئة ، بدلا من الكتل النقطية مطلوبة لفهم الأجسام ، النباتات و الحيوانات في الحياة اليومية . من أجل مثل هذه الأجسام فإننا نريد أن نفهم كيف تتحرك كل الأجزاء منها . و كمثال فإن النتيجة المنافية للحدس للتجربة في الشكل 184 تبين لماذا هذا الموضع جدير بالاهتمام (تحدي e 440) . و العجلة التي تدور بسرعة معلقة من طرف واحد فقط لمحور تبقى تقريبا أفقية ، ولكنها تدور ببطء حول الحبل

من أجل تصميم الآلات من الأساسي فهم كيف أن مجموعة من الأجسام الجاسئة تتبادل التأثير مع بعضها البعض . مثلا خذ رابط Peaucellier – Lipkin المبين في الشكل 185 (المرجع 191) . إن الوصلة F مثبتة إلى جدار ، و يوجد قضيبين متحركين يؤديان إلى زوايا متعاكسة لشبه المنحرف المتحرك , الذي قضبانه موصلة للزاويتين الأخريين C & P .



الشكل 184 ماذا يحدث عند يقطع الحبل؟



الشكل 185 الآلية الشهيرة Peaucellier – Lipkin

، تتألف من قضبان (رمادي) و وصلات (أحمر) التي

تسمح برسم خط مستقيم بواسطة بوصلة ، ثبت النقطة F

و ضع قلم رصاص في الوصلة P و بعدها حرك C

بواسطة البوصلة على طول دائرة

هذه الآلية لها العديد من الخواص المدهشة . أولا ، بساطتها تعرف دائرة ذات نصف قطر R بحيث أن العلاقة $r_C = R^2 / r_p$ تتحقق بين مسافات المفصل C & P عن مركز هذه الدائرة .

هذا يعرف بالعكس / المقلوب عند دائرة .

هل يمكنك إيجاد هذه الدائرة الخاصة ؟ (تحدي 441 s) . ثانيا ، إذا وضعت قلم رصاص في المفصل P و جعلت المفصل C يتبع دارئة معينة ، فإن قلم الرصاص P يرسم خطا مستقيما . هل يمكنك إيجاد تلك الدائرة ؟ (تحدي 442 s)

الآلية تسمح لنا برسم خط مستقيم بمساعدة بوصلة .

المرجع 192 : تحدي الآلة الشهير هو إيجاد عربة خشبية ذات عجلات مسننة التي تصل العجلات بسهم ، بخاصة أنه مهما كان مسار العربة فإن السهم دائما يشير إلى الجنوب (أنظر الشكل 187) . (تحدي 443d) . حل هذه الأحجية سيكون حتى مفيدا لنا في فهم النسبية العامة كما سنرى . مثل هذه العربة تسمح لنا بقياس انحناء سطح و الفراغ . (مجلد II ، صفحة 180) . جزء الآلة المهم الثاني هو علبة السرعة التفاضلية ، بدونها لا يمكن أن تسير السيارات في المنحنيات على الطرقات . هل يمكنك شرح هذا لأصدقائك ؟ (تحدي 444 e) .

أيضا الطبيعة تستخدم أجزاء الآلة . في عام 2011 فإن البراغي و العزقات وجدت في مفصل لخنفساء سوسة الفاكهة أو الحنطة ، Trigonopterus oblongus (المرجع 193) . و في عام 2013 أول مثال عن المسننات البيولوجية تم اكتشافه : في حشرة نطاطة من النوع Issus coleoptratus ، (المرجع 194) حيث تضمن المسننات المشرشرة أن الرجلين الخلفيتين للحشرة تقفزان بشكل متزامن . يبين الشكل 186 بعض التفاصيل . يمكنك أن تستمتع بهذا الاكتشاف المتوفر في www.youtube.com/watch?v=Q8fyUOxD2EA .

المثال المهم الآخر للحركة الجاسئة هي حركة الإنسان مثل الحركات العامة للذراع ، المكونة من عدد صغير من الحركات الأساسية . (المرجع 195) . كل هذه الأمثلة هي من الحقل البديع للهندسة ، لسوء الحظ لدينا القليل من الوقت لدراسة هذا الموضوع في ارتقائنا .

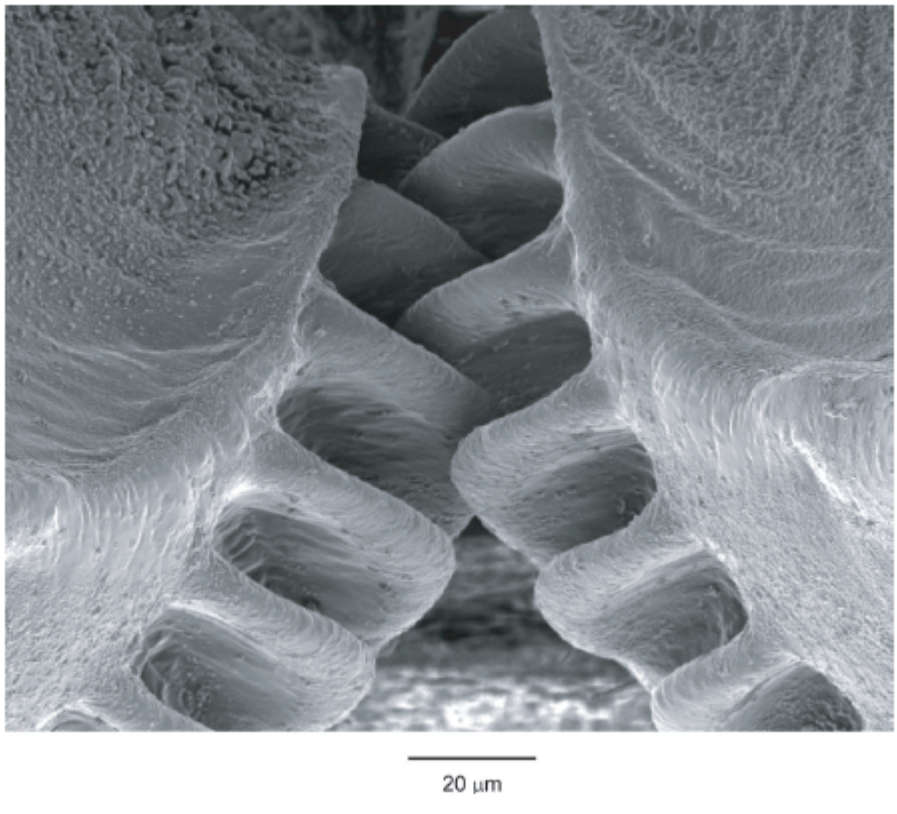
4-الطريقة العامة الأخرى لفهم الحركة هي وصف الأجسام الممتدة غير الجاسئة . مثلا ، ميكانيك الموائع يدرس تدفق الموائع (مثل العسل ، الماء أو الهواء) حول الأجسام الصلبة (مثل الملاعق ، السفن ، الأشرعة أو الأجنحة) . الهدف هو

فهم كيف أن كل الأجزاء من المائع تتحرك . ميكانيك الموائع بالتالي يصف كيف تطير الحشرات ، الطيور و الطائرات * و لماذا تبحر المراكب الشراعية عكس الريح و ما الذي يحدث للبيضة المسلوقة جيدا التي تبرم على طبقة رقيقة من الماء أو كيف أن زجاجة مليئة بالنبيذ يمكن تفريغها بأسرع طريقة ممكنة .

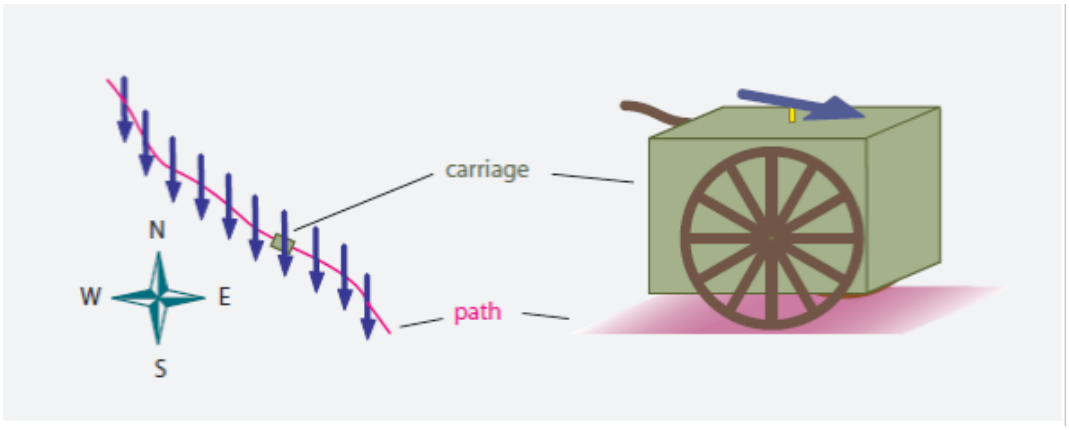
(تحدي 445 s) .

---

*آليات طيران الحشرات ما تزال موضوع بحث نشط . و تقليديا ديناميك الموائع يركز على جمل كبيرة مثل القوارب ، السفن و الطائرات .



الشكل 186 التروس التي توجد في حشرات نطاطة يافعة

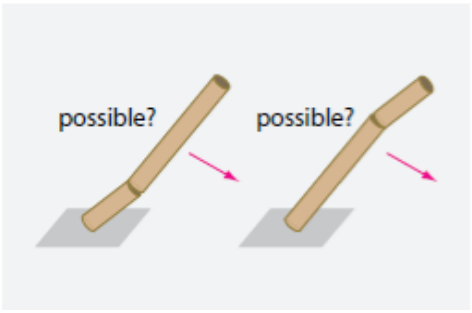


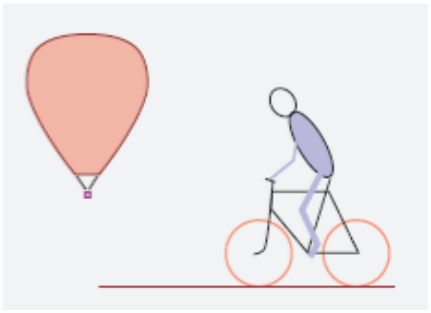
الشكل 187 عربة موجهة للجنوب : مهما كان المسارع الذي تتبعه فإن السهم عليها يشير للشمال .

وأيضا مثل الموائع يمكننا دراسة سلوك الأجسام القابلة للتشوه . هذا المجال من البحث يعرف بميكانيك التسلسل وهو يتعلق بالتشوهات و التذبذبات للبنى الممتدة .

--

و في الواقع أصغر جسم صنعه البشر يمكنه الطيران بطريقة متحكم بها ، مثلا الطائرة أو المروحية التي يتم التحكم بها لاسلكيا – هي أكبر بكثير و أثقل من العديد من الجسام الطائرة التي هندسها التطور . و ينتج أن التحكم بطيران أشياء صغيرة يتطلب مزيدا من المعرفة و الخدع من التحكم بطيران الأجسام الكبيرة . و هناك المزيد حول الموضوع في صفحة 278 المجلد الخامس .





الشكل 189 لماذا بالونات الهواء الساخن تبقى منفوخة؟ الشكل 188 كيف و أين تتحطم مدخنة مصنوعة من الطوب

كيف يمكن للمرء قياس وزن راكب دارجة باستخدام مسطرة فقط؟



الشكل 190 كيف تفعل زهرة المرغريتا أو زهر ربيع عين الثور ، Leucanthemum vulgare التي لها عادة حوالي 21 (اليسار و الوسط) بتلة و حوالي 34 (يمين) بتلة ؟

يجب البحث عن تفسير مثلا لماذا الأجراس مصنوعة بأشكال خاصة ، وكيف أن الأجسام الكبيرة - مثل المداخن الساقطة المبينة في الشكل 188 أو الأجسام الصغيرة – مثل الألماس – تتحطم عندما تكون تحت الإجهاد و كيف يمكن أن تدور القطط نفسها بالشكل الصحيح عندما تسقط ؟ و خلال رحلتنا سنصادف بشكل متكرر قضايا في هذا المجال التي تصطدم حتى مع النسبية العامة و عالم الأجسام الأولية

5-المكيانيك الإحصائي هو دراسة حركة الأعداد الكبيرة من الجزيئات . الميكانيك الإحصائي يعتبر أيضا طريقة أخرى شاملة لدراسة الحركة . إن المفاهيم اللازمة لوصف الغازات مثل درجة الحرارة ، الإنتروبي و الضغط (أنظر الشكل 189) هي أدوات أساسية لهذا الاختصاص . و بشكل خاص ، مفاهيم الفيزياء الإحصائية تساعدنا في فهم لماذا بعض العمليات في الطبيعة لا تحدث بشكل معاكس / للخلف . وهذه المفاهيم ستساعدنا أيضا في خطو أولى الخطوات تجاه فهم الثقوب السوداء .

6-الطريقة الأخيرة العامة للحركة ، هي التنظيم الذاتي ، تتضمن كل وجهات النظر سابقة الذكر بنفس الوقت . مثل هذه الطريقة لازمة لفهم الخبرة اليومية ، و الحياة نفسها . لماذا يكون لزهرة عدد خاص من البتلات كما هو مبين في الشكل 190 ؟ كيف يتمايز الجنين في الرحم ؟ ما الذي يجعل قلوبنا تدق ؟ ما الذي يجعل أحرف الجبال و نماذج الغيوم تظهر ؟ كيف تتطور النجوم و المجرات . كيف تتشكل أمواج البحر بواسطة الريح ؟

كل هذه الظواهر هي أمثلة عن عمليات التنظيم الذاتي ، علماء الحياة يتحدثون عن عمليات النمو . و مهما سميناها ، كل هذه العمليات تتميز بشكل تلقائي / عفوي للنماذج ، الأشكال و الدورات . العمليات المنظمة ذاتيا هي موضوع بحث شائع في العديد من التخصصات بما فيها علم الحياة ، الكيمياء ، الطب ، الجيولوجيا ، و الهندسة .

سوف نبحث الآن في الطرق الستة لدراسة و فهم الحركة . سوف نبدأ بأول طريقة و هي وصف الحركة باستخدام مبدأ التغير . و هذه الطريقة الجميلة للوصف و فهم و توقع الحركة كانت نتيجة العديد من القرون من العمل الجماعي و تعود قي الأصل لميكانيك غاليليو . و المبادئ التغيرية أيضا تعطي أساسا لكل الطرق العامة التي ذكرت للتو . و هي أيضا لازمة من أجل كل الأوصاف التالية التي سندرسها لاحقا .

الفصل الثامن

قياس التغير بواسطة الفعل

الحركة يمكن وصفها بواسطة الأعداد . لنأخذ جزيئة وحيدة التي تتحرك العلاقة ($x(t)$, $y(t)$, $z(t)$) تصف كيفية تغير الجزيئة موضعها خلال الحركة . ووصف حركة الجزيئة يكتمل ببيان تغير سرعتها ($v_x(t)$, $v_y(t)$, $v_z(t)$) مع الزمن

بمعرفة أن هاتين العلاقتين تصفان بشكل كامل سلوك الجزيئة النقطية المتحركة كان حجر الأساس لتطور الفيزياء الحديثة

حجر الأساس التالي للفيزياء الحديثة تحقق بالإجابة على سؤال قصير و لكن صعب (صفحة 20) . إذا كانت الحركة هي نوع من التغير كما يقول الإغريق ،

- كيف يمكن قياس مقدار التغير ؟

استغرق الفيزيائيون تقريبا قرنين من المحاولات لكشف طريقة قياس التغير . في الحقيقة ، التغير يمكن أن يقاس بعدد وحيد. وبسبب البحث الطويل ، فإن المقدار الذي يقيس التغير له اسم غريب : إنه يسمى بالفعل (الفيزيائي) ** وعادة يختصر بالشكل S . من أجل تذكر ارتباط الفعل بالتغير نفكر بفيلم هوليودي : الكثير من الفعل يعني الكثير من التغير .

إن إدخال العمل الفيزيائي كمقياس للتغير هو مهم ، لأنه يعطي أول و أيضا الوصف الأكثر فائدة للحركة . في الحقيقة نحن للتو نعلم أن كفاية لتعريف الفعل مباشرة .

تخيل أن لقطتين من جملة أخذتا في زمنين مختلفين . كيف يمكن تعريف مقدار التغير الذي يحدث بينهما ؟ متى تتغير الأشياء كثيرا و متى تتغير قليلا ؟ أولا و قبل كل شيء الجملة ذات العديد من الأجزاء المتحركة تبدي الكثير من التغير

**لاحظ أن هذا الفعل ليس نفس الذي يظهر في العبارات مثل " كل فعل له رد فعل يساويه بالقيمة و يعاكسه بالاتجاه"

هذا الاستخدام الآخر ابتدع من قبل نيوتن من أجل قوى معينة ليست ثابتة ، بالتالي المصطلح تم إعادة تدويره . وبعد نيوتن المصطلح " فعل "

استخدم لأول مرة بمعنى وسيط ، قبل أن يعطى نهائيا المعنى الحديث المستخدم هنا . و هذا المعنى الحديث هو المعنى المستخدم فقط في هذا الكتاب .

المصطلح الآخر الذي تم إعادة استخدامه ، هو " مبدأ اقل الفعل / الحد الأدنى " و في الكتب القديمة يستخدم ليكون له معنى آخر عن الذي في هذا الفصل . و اليوم يشير إلى ما هو معتاد أن يسمى بمبدأ هاملتون في العالم الأنجلوساكسوني ، حتى بالرغم من أنه ناتج عن علماء آخرين مثل لايبنيتز . و الأسماء القديمة و المعاني يتم إهمالها و لم تعد مستمرة هنا .

وراء هذه التغيرات / الانزياحات في التكنولوجيا هي قصة قوية للمحاولة الطويلة منذ قرنين لوصف الحركة بما يعرف بالمبادئ القصوى أو الاهتزازية : الهدف كان إكمال و تحسين العلم الذي بدأه لايبنيتز . هذه المبادئ هي فقط ذات أهمية تاريخية اليوم لأنها كلها حالات خاصة من مبدأ الفعل الأقل الموصوف هنا (المرجع 197) .



الشكل 191 جيوسيبه لاغرانجيا / جوزيف لاغرانج (1813- 1736)



الشكل 192 الفعل الفيزيائي يقيس التغير : مثال لعملي ذات قيمة فعل كبيرة

وهكذا من المفهوم أن فعل الجملة مكون من الجمل الجزئية المستقلة التي تتكون منها و هو مجموع أفعال هذه الجمل الجزئية .

ثانيا ، الجمل ذات الطاقة العالية أو السرعة مثل الانفجارات المبينة في الشكل 192 ، تبدي تغيرا أكبر من الجمل ذات الطاقة الأخفض أو السرعة . في الحقيقة لقد طرحنا للتو الطاقة كأنها كمية التي تقيس مقدار تغير الجملة مع الزمن (الصفحة 111) .

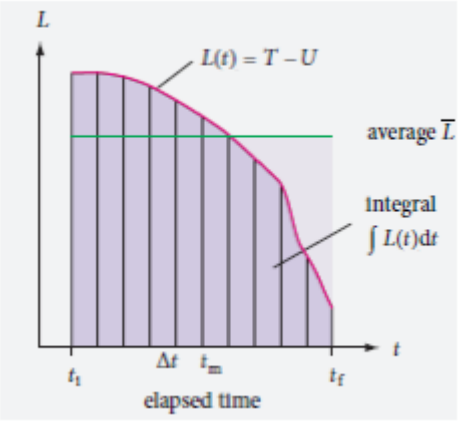
ثالثا التغير غالبا – ولكن ليس دائما يتنامى مع الزمن ، في حالات أخرى ، فإن التغير الأخير يمكن أن يعوض عن تغير سابق ، كما في النواس عندما يمكن للجملة أن تعود ثانية للحالة الأصلية . و التغير بالتالي يزداد أو ينقص مع الزمن .

أخيرا من أجل جملة التي تخزن بها الحركة أو تزاح من جملة جزئية لأخرى ، خاصة عندما الطاقة الحركية تخزن أو تحول إلى طاقة كامنة ، فإن التغير يتناقص / يتلاشى مع الزمن .

الجدول 31 بعض قيم الأفعال للتغيرات و العمليات إما الملحوظة / المقاسة أو المتخيلة

الجملة و عمليتها	القيمة التقريبية للفعل
أصغر فعل قابل للقياس	$1.1 \cdot 10^{-34}$ Js
الضوء	
أصغر تسويد لفيلم تصوير	$< 10^{-33}$ Js
الفلاش التصويري / الفوتوغرافي	10^{-17} Js
الكهرباء	
الإلكترون الملفوظ من ذرة أو جزيئة	10^{-33} Js
تدفق التيار في ضربة البرق	10^{4} Js
الميكانيك و المواد	
تفريق ذرتي حديد عن بعضهما البعض	10^{-33} Js
كسر قضيب من الفولاذ	10^{1} Js
شجرة تحنى بواسطة الريح من طرف لآخر	500 Js
جعل أرنب أبيض يتلاشى بواسطة سحر حقيقي	100 PJs
إخفاء أرنب أبيض	0.1 Js
حادث تحطم سيارة	2 kJs
قيادة سيارة تتوقف خلال طرفة عين	20 kJs
رفع نفسك خلال دقيقة مسافة متر واحد	40 kJs
زلزال كبير	2 PJs
قيادة سيارة تختفي خلال طرفة عين	1 ZJs
شروق الشمس	0.1 ZJs
الكيمياء	

اصطدام ذرة في سائل عند درجة حرارة الغرفة	10^{-33} Js
شم جزيئة واحدة	10^{-31} Js
حرق وقود في سلندر / أسطوانة في سيارة ذات محرك انفجاري عادي	10^{4} Js
زجاج سليم مقابل زجاج مكسور	0.8 Js
الحياة	
جزيئة هواء تضرب طبلة الأذن	10^{-32} Js
إلقاح / إخصاب البيضة	10^{-20} Js
انقسام الخلية	10^{-15} Js
خفقة جناح ذبابة الفاكهة	10^{-10} Js
فتح الزهرة في الصباح	1 nJs
احمرار الوجه	10 mJs
تغير الدماغ الأعظمي في دقيقة	5 Js
شخص يمشي بطول جسم واحد	10^{2} Js
الولادة	2 kJs
التغير الناتج في الحياة البشرية	1 EJs
النوى ، النجوم و المزيد	
تفاعل اندماجي في النجوم	10^{-15} Js
انفجار باعثة أشعة غاما – أشعة سينية	10^{46} Js
الكون بعد انقضاء ثانية واحدة	غير محدد



الشكل 193 تحديد التغير الكلي أو الفعل كتراكم (جمع أو تكامل) للتغيرات الصغيرة أو الأفعال عبر الزمن

كل الخواص المذكورة ، المأخوذة معا تقتضي :

- القياس الطبيعي للتغير هو الفرق المتوسط بين الطاقة الحركية و الكامنة مضروبة بالزمن المنقضي

هذه الكمية لديها كل الخواص الصحيحة / هي مجموع الكميات الموافقة من أجل كل الأنظمة الفرعية / الجزئية إذا كانت هذه مستقلة ، وهي بشكل عام تزداد مع الزمن و الكمية تتناقص إذا حول النظام الحركة إلى طاقة كامنة (e 447) .

بالتالي الفعل (الفيزيائي) S ، تقيس تغير جملة (فيزيائية) يعرف بالشكل :

$$S = \overline{L}\,\Delta t = \overline{T-U}\,(t_f - t_i) = \int_{t_i}^{t_f} (T-U)\,dt = \int_{t_i}^{t_f} L\,dt\,, \qquad (72)$$

صفحة 186 : حيث T الطاقة الحركية ، U الطاقة الكامنة التي نعرفها للتو ، L الفرق بين الاثنين و الخط العلوي يشير إلى الزمن المتوسط . إن المقدار L يعرف بلاغرانجيان (تابع) الجملة * تصف ما الذي يضاف عبر الزمن ، عندما تتغير الأشياء .

الإشارة ∫ هي S متطاولة ، للمجموع و تقرأ" تكامل " . و بشكل بديهي هذا المصطلح يرمز لعملية – تعرف بالتكامل – لجمع القيم ذات الصبغة المتغيرة بخطوات متناهية الصغر dt . و الأزمنة الابتدائية و النهائية تكتب أدنى و أعلى الإشارة على التوالي . يوضح الشكل 193 الفكرة : التكامل هو ببساطة حجم المنطقة الغامقة أسفل المنحني L(t) .

---

*سمي باسم جيوسيبه لودفيكو لاغرانجيا (ولد في 1736 تورينو ، توفي في باريس 1813) والذي يعرف بجوزيف لويس لاغرانج . وقد كان الرياضي الأكثر أهمية في زمانه ، وقد بدأ حياته المهنية في تورينو عندما عمل لعشرين عاما في برلين ، و أخيرا ستة وعشرين عاما في باريس حيث طور أكثر الأدوات الرياضية المستخدمة اليوم للحسابات في الميكانيك الكلاسيكي و الجاذبية الكلاسيكية . وقد طبقها بنجاح على العديد من الحركات في المجموعة الشمسية .

التحدي e 488 : رياضيا تكامل لاغرانجيان أي المنحني L (t) يعرف بالشكل :

$$\int_{t_i}^{t_f} L(t)\,dt = \lim_{\Delta t \to 0} \sum_{m=i}^{f} L(t_m)\Delta t = \overline{L} \cdot (t_f - t_i)\,. \qquad (73)$$

بمعنى آخر ، التكامل هو نهاية ، حيث عندما تصبح الشرائح الزمنية أصغر ، فإن مجموع مساحات القطاعات المستطيلة المتفرقة التي تقارب التابع , و نظرا لأن الإشارة ∑ أيضا تعني المجموع و نظرا لأن القيمة المتناهية في الصغر Δt تكتب بالشكل dt ، يمكننا أن نفهم أن المفهوم يستخدم للتكامل . التكامل هو مجموع عبر شرائح ، و هذا المفهوم طور من قبل جوتفريد فيلهم لايبنتيز ليعبر بدقة عن هذه النقطة . و بالحديث فيزيائيا ، فإن تكامل لاغرانجيان يقيس التأثير الكلي الذي يكونه L عبر الزمن . و في الحقيقة الفعل يسمى " أثر" في بعض اللغات مثل الألمانية . و الأثر الذي يصنع تغيرا كليا في الجملة . باختصار

- تكامل لاغرانج ، الفعل ، يقيس التغير الكلي الذي يحدث في الجملة

الفعل الفيزيائي هو التغير الكلي . الفعل أو التغير ، هو تكامل اللاغرانجيان عبر الزمن . وحدة الفعل و بالتالي التغير هو وحدة الطاقة ، الجول ، مضروبة بوحدة الزمن و هي الثانية .

- التغير يقاس بـ Js

القيمة الكبيرة تعني تغيرا كبيرا . الجدول31 يبين بعض قيم الفعل المقاسة في الطبيعة . لفهم تعريف الفعل بمزيد من التفصيل فإننا نبدأ بأبسط حالة ممكنة : الجملة التي من أجلها تتناقص الطاقة الكامنة ، مثل الجزيئة التي تتحرك بحرية.

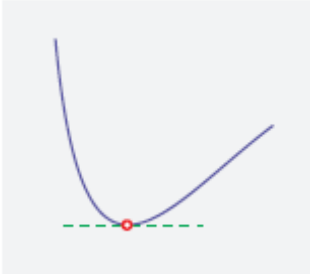
من الواضح أنه كلما كانت الطاقة الحركية أعلى كلما كان التغير أكبر في زمن معين . أيضا إذا لاحظنا جزيئة في لحظتين ، كلما كانت هاتان اللحظتان مختلفتان بشكل أكبر كلما كان التغير أكبر .

التغير من أجل الجزيئة الحرة مع الزمن . و هذا كما هو متوقع .

بعد ذلك ، سنبحث في الجزيئة الوحيدة المتحركة في كمون . مثلا ، حجر ساقط يفقط طاقته الكامنة في تبادل من أجل ربح في الطاقة الحركية . كلما كانت الطاقة الحركية المخزنة أكبر كطاقة كامنة كلما كان التغير أقل . و بالتالي إشارة الناقص موجودة في تعريف L . إذا درسنا جزيئة التي رميت أولا للأعلى في الهواء و بعدها سقطت فإن منحني L(t) أولا يكون أسفل محور الزمن ، و ليس أعلاه . و نلاحظ أن تعريف التكامل يجعلنا نعتبر السطح الرمادي أسفل محور الزمن سلبي القيمة . و التغير يمكن أن يكون سلبيا و يمكن أن يعوض بواسطة التغير اللاحق كما هو متوقع .

لقياس التغير لجملة مكونة من العديد من العناصر المستقلة فإننا ببساطة نجمع كل الطاقات الحركية و نطرح كل الطاقات الكامنة . وهذه التقنية تسمح لما بتعريف قيم الفعل للغازات ، السوائل و المادة الصلبة . باختصار ، الفعل هو كمية جمعية . حتى إذا كانت العناصر تتبادل التأثير فإننا ما نزال نحصل على نتيجة مفهومة .

بالتلخيص ، الفعل الفيزيائي يقيس ، بعدد وحيد ، التغير الملاحظ في جملة بين لحظتين من الزمن . الفعل أو التغير يقاس بـ Js و الفعل الفيزيائي يحدد مقدار التغير الناتج عن العملية الفيزيائية , وهذا صالح من أجل كل القياسات أي من أجل كل العمليات والجمل : انفجار مفرقعة نارية ، ملاطفة شخص محبب ، أو تغير لون شاشة الحاسب . و سوف نكتشف لاحقا وصف التغير بواسطة عدد وحيد و هو أيضا ممكن في النسبية و نظرية الكم : أي تغير يتم في أي جملة في الطبيعة سواء كان نقل ، تحويل أو نمو يمكن قياسه بواسطة عدد وحيد (المرجع 20) .



الشكل 194 الحد الأدنى لمنحني لديه شكل متلاشي

مبدأ الحد الأدنى / الفعل الأقل

" المتفائل يفكر بأن هذا هو أفضل العوالم الممكنة و المتشائم يعرفه "

روبرن أوبينهايمر

لدينا الآن قياس دقيق للتغير . و هذا ، كما يتبين ، يسمح بوصف بسيط ، عام و قوي للحركة . و في الطبيعة يحدث التغير بين لحظتين وهو دائما أصغر ما هو ممكن .

- في الطبيعة ، الفعل هو أصغري

هذا هو أصل المبدأ الشهير للفعل الأصغري / الحد الأدنى . وهو صالح من أجل كل مثال للحركة * و من كل الحركات الممكنة الطبيعة أيضا تختار التغير الذي يكون أصغريا . لندرس بضعة أمثلة .

أبسط حالة للجزيئة الحرة عندما لا يكون هناك كمونات ، مبدأ الفعل يقتضي أن الجزيئة تتحرك في خط مستقيم بسرعة ثابتة . وكل المسارات الأخرى ستؤدي إلى أفعال أكبر . هل يمكنك التحقق من ذلك ؟ (تحدي 499e)

عندما تكون الجاذبية موجودة فإن الحجر المرمي يطير وفق قطع مكافئ – أو بشكل أكثر دقة قطع ناقص – لأن أي مسار آخر ، الذي يأخذه الحجر يعمل حلقة مغلقة في الهواء ، سيقتضي فعلا أكبر . مرة ثانية يمكن أن ترغب بالتحقق من هذا بنفسك (تحدي 450 e) .

كل القياسات تدعم العبارة البسيطة و الأساسية : الأشياء دائما تتحرك بطريقة التي تنتج أصغر قيمة ممكنة للفعل . هذه العبارة تطبق على المسار الكلي لأي من مقاطعه . و سمى برتراند راسل هذا " بقانون الكسل الكوني "

يمكننا أن نسمي هذا مبدأ الفعالية العظمى للطبيعة .

من المعتاد التعبير عن فكرة التغير الأصغري بطرق مختلفة . الفعل يتغير عندما يتغير المسار . و المسار الفعلي هو الذي يكون ذو أقل فعل . و سوف تتذكر من المدرسة أنه في الحد الأدنى يتلاشى مشتق كمية : الحد الأدنى له ميل أفقي . وهذا العلاقة معطاة في الشكل 194 .

في الحقيقة في بعض الحالات الماكروسكوبية ، الفعل يمكن أن يكون نقطة دنيا ، بحيث أن الشكل الصارخ من المبدأ هو أن الفعل يكون ثابت . و على عكس ما يسمع غالبا فإن الفعل لا يكون أبدا أعظميا . (المرجع 198)

أيضا من أجل الحركة على مقياس صغير (متناه في الصغر) فإن الفعل دائما يكون اصغريا و الشرط الرياضي للتغير المتلاشي المعطى أدناه يتضمن كل هذه التفاصيل .

في الحالة الحالية ، نحن لا نغير أي كمية ، ولكن المسار الكامل ، وبالتالي نحن لا نتحدث عن مشتق أو ميل ولكن عن تغير

و من المعتاد كتابة تغير الفعل بالشكل δS . مبدأ أقل الفعل ينص بالتالي على :

- المسار الفعلي بين نقطتين نهائيتين محددتين يحقق $\delta S = 0$

الرياضيون يسمون هذا بمبدأ التغير . لاحظ أن النقطتين النهائيتين يجب أن تكونا محددتين : علينا مقارنة

الحركات ذات نفس الأوضاع البدائية و النهائية .

قبل مناقشة مبدأ الفعل الأقل أكثر علينا التأكد من أنه فعلا مكافئ لمعادلة التطور .* و للقيام بذلك نستخدم الطريقة القياسية ، جزء من حساب التفاضل و التكامل للتغيرات .

---

*من أجل أولئك المهتمين ، هنا بعض التعليقات حول تكافؤ اللاغرانجيان و معادلات التطور .

أولا ، اللاغرانجيان لا يوجد من أجل الجمل غير المصونة ،أو المبددة . و سوف نرى أنه ليس هناك كمون من أجل أي حركة تتضمن الاحتكاك (الصفحة 233) (و أكثر من بعد واحد) و بالتالي ليس هناك فعل في هذه الحالات . إحدى الطرق للتغلب على هذا القيد هو استخدام صيغة عامة لمبدأ الفعل الأقل . متى لم يكن هناك كمون يمكننا التعبير عن تغير العمل δW بين مسارين مختلفين x بالشكل :

$$\delta W = \sum_i m_i \ddot{x}_i \delta x_i \,. \qquad (74)$$

الحركة بالتالي توصف بالشكل التالي :

$$\triangleright \textit{ The actual trajectory satifies } \int_{t_i}^{t_f} (\delta T + \delta W)\mathrm{d}t = 0 \quad \textit{provided} \quad \delta x(t_i) = \delta x(t_f) = 0\,. \qquad (75)$$

الكمية التي تغيرت ليس لها اسم و هي تمثل مفهوما عاما لمفهوم التغير . ربما تريد أن تتأكد أن هذا يؤدي إلى معادلات تطور صحيحة (التحدي 451e) . و بالتالي بالرغم من أن توصيفات اللاغرانجيان المناسبة موجودة فقط من أجل الأنظمة المصونة ، فمن أجل الجمل التبديدية فإن المبدأ يمكن تعميمه و يبقى مفيدا .

العديد من الفيزيائيين سيفضلون طريقة أخرى . إن ما يعرفه الرياضيون تعميما هو حالة خاصة بالنسبة للفيزيائي : المبدأ) (75 يخفي حقيقة أن كل antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap070122.html تنتج من مبدأ الفعل الأقل إذا أدخلنا التفاصيل الميكروسكوبية الكاملة . و ليس هناك احتكاك في المجال الميكروسكوبي ، الاحتكاك هو مفهوم ماكروسكوبي تقريبي .

على أن مزيدا من الآراء الرياضية تكون مفيدة . مثلا هي تؤدي إلى قيود مهمة من أجل استخدام اللاغرانجيان . هذه القيود التي تطبق فقط إذا كان العالم مرئيا على أنه كلاسيكي صرف – ولكن ليس الأمر كذلك – و الذي اكتشف منذ مئات السنين الماضية . وفي تلك الأزمنة لم تكن الحواسب موجودة ، و دراسة تقنيات الحساب الجديدة كانت مهمة و هنا نعطي ملخص لها

الإحداثيات المستخدمة بالارتباط مع اللاغرانجيان ليست بالضرورة الإحداثيات الديكارتية ، حيث أن الإحداثيات المعممة تكون مفيدة بشكل خاص عندما يكون هناك قيود على الحركة . و هذه هي حالة النواس ، حيث الوزن يكون دائما على نفس المسافة من التعليق ، أو من أجل متزلج ، حيث المزلجة يجب أن تتحرك في الاتجاه الذي تشير إيه (المرجع 199) . الإحداثيات المعممة يمكن حتى أن تكون مزيج من المواضع و كميات الحركة . و هي يمكن أن تقسم إلى بعض الأنواع العامة .

الإحداثيات المعممة تعرف بالكاملة – الصلبة إذا كانت مرتبطة بالإحداثيات الديكارتية في شكل ثابت ، مستقل عن الزمن : الجمل الفيزيائية الموصوفة بواسطة مثل هذه الإحداثيات تشمل النواس و جزيئة في كمون . والإحداثيات تعرف بالكاملة – المرنة إذا كانت التبعية تشمل الزمن . و المثال على الجمل المرنة سيكون نواس ذو طول يعتمد على الزمن . و المصطلحين مرن و صلب / جامد ناتجين عن لودفيغ بولتزمان (صفحة 390) . هاتين الحالتين اللتين تتعلقان بالجمل التي توصف فقط بشكلها الهندسي تجمع معا في جمل كاملة و المصطلح ناتج عن هينريش هرتز (المجلد III ، صفحة 82) .

الوضع الأكثر عمومية يعرف بغير الكامل و تعمل اللاغرانجيان جيدا فقط من أجل الأنظمة الكاملة . لسوء الحظ معنى مصطلح غير كامل قد تغير . و في هذه الأيام ، المصطلح يستخدم أيضا من أجل الجمل المرنة . و الاستخدام الحديث يسمي غير كامل أي جملة التي تتضمن السرعات . بالتالي إن المتزلج على الجليد أو قرص متدحرج يعرف بالجملة غير الكاملة . و بالتالي من الضروري اتخاذ القرار حول ما يقصد بغير الكامل في أي سياق خاص .

حتى بالرغم من أن استخدام اللاغرانجيان و الفعل ، له قيود ، فإن هذه لا يجب أن تزعجنا على المستوى الميكروسكوبي لأن الجمل الميكروسكوبية دائما مصونة ، كاملة و صلبة . و على المستوى الأساسي ، معادلات التطور و اللاغرانجيان في الحقيقة متكافئة .

إن الشرط $\delta S = 0$ يقتضي أن الفعل أي المساحة تحت المنحني في الشكل 193 هو أصغري . و القليل من التفكير يبين أنه إذا كان اللاغرانجيان من الشكل $L(x_n , v_n) = T(v_n) - U(x_n)$ بالتالي المساحة الدنيا تتحقق عندما (تحدي 453e)

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{\partial T}{\partial v_n}\right) = -\frac{\partial U}{\partial x_n} \qquad (76)$$

حيث n تأخذ كل إحداثيات كل الجزيئات * . و من أجل جزيئة وحيدة معادلات لاغرانج للحركة ترجع إلى (تحدي 453e)

$$m\boldsymbol{a} = -\nabla U \,. \qquad (78)$$

هذه معادلة تطور : و تقول بأن التسارع مضروبا بكتلة الجزيئة هو تدرج الطاقة الكامنة U . و مبدأ أقل الفعل بالتالي يقتضي معادلة الحركة . (هل يمكنك أن تبين العكس ، أيهما صحيح ؟) (تحدي 454s) .

بمعنى آخر كل الجمل تتطور بحيث أن التغير أو الفعل يكون صغيرا بالقدر الممكن . و الطبيعة اقتصادية .الطبيعة فعالة بشكل أعظمي . أو : الطبيعة كسولة . الطبيعة بالتالي عكس فيلم الرعب الهوليودي الذي فيه الفعل / الحركة أكبر ما يمكن و الطبيعة هي حكيمة مثل رجل عجوز الذي يحسب حساب أفعاله و يقلل منها للحد الأدنى .

مبدأ الفعل الأقل ينص على أن المسار الفعلي هو الذي يكون فيه متوسط اللاغرانجيان عبر كامل المسار هو أصغري (أنظر الشكل 193)

الطبيعة هي دكتور دوليتل . هل يمكنك التحقق من هذا (تحدي 455 e) . هذه النظرة تسمح باستنتاج معادلات لاغرانج

(76) مباشرة .

مبدأ الفعل الأقل يميز المسار الفعلي من كل المسارات الخيالية . و هذه الملاحظة أدت بلايبتينز إلى تفسيره الشهير أن العالم الفعلي هو أفضل كل العوالم الممكنة ** و نحن يمكن أن نتجاهل هذا كتصور ميتافيزيقي لكن ما زال بإمكاننا الشعور بروعة القضية . لايبتنيز أيضا كان مستثارا جدا حول مبدأ الفعل الأقل لأنه كانت المرة الأولى التي تميز بها القياسات الحقيقية عن كل الاحتمالات الخيالية . و لأول مرة البحث عن أسباب كون الأشياء على ما هي عليه أصبح جزءا من البحث الفيزيائي . هل يمكن أن يكون العالم مختلفا عما هو عليه ؟ في مبدأ الفعل الأقل ، لدينا إجابة بإشارة سالبة .

--

*الشكل الأعم من أجل اللاغرانجيان $L(q_n, \dot{q}_n, t)$ باستخدام الإحداثيات الكاملة العامة q_n يؤدي إلى معادلات لاغرانج من الشكل :

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_n}\right) = \frac{\partial L}{\partial q_n} \,. \qquad (77)$$

من أجل استنتاج هذه المعادلات فإننا أيضا بحاجة للعلاقة $\delta\dot{q} = \mathrm{d}/\mathrm{d}t(\delta q)$. هذه العلاقة صالحة فقط من أجل الإحداثيات الكاملة المقدمة في الهامش السابق و يشرح أهميتها .

ولكن نحن نلاحظ من أجل جملة متحركة لا تكون فريدة ، فإن دراسة كيفية اللاغرانجيانات المختلفة من أجل جملة متحركة تكون مرتبطة ليست جزءا من هذه المسيرة . (المرجع 200) .

بالمناسبة الحرف q للموضع و p من أجل كمية الحركة مطروحة في الفيزياء من قبل الرياضي كارل جاكوبي (ولد في بوتسدام 1804 ، توفي في برلين 1851) .

**هذه الفكرة تم السخرية منها من قبل الفيلسوف المتميز فولتير (ولد في باريس 1694 توفي فيها في 1778) في كتاباته الساخرة وخاصة في كتابه الشهير كانديد في عام 1759 و ما يزال متوفرا بشكل واسع .

لايبتنيز أيضا استنتج من النتيجة أن الآلهة لا يمكن أن تختار أفعالها (هل تعتقد ذلك ؟) (تحدي 456s)

اللاغرانجيان و الحركة

" لا تخلط أبدا بين الحركة و الفعل "

إرنست هيمنغواي

المرجع 201

الجمل تتطور بواسطة تقليل التغير . التغير أو الفعل هو التكامل الزمني للاغرانجيان . و كطريقة لتوقع الحركة ، فإن اللاغرانجيان يملك عدة مزايا عن معادلة التطور .قبل كل شيء ، فإن اللاغرانجيان عادة يكون أكثر اختصارا من كتابة معادلات التطور . مثلا ، فقط لاغرانجيان واحد لازم من أجل جملة واحدة و لكنه يتضمن الكثير من الجزيئات . يرتكب المرء بضع أخطاء خاصة في الإشارة حيث يتعلم المرء بسرعة عند إجراء الحسابات . فقط حاول كتابة معادلات التطور من أجل سلسلة من الكتل موصلة بنوابض وبعدها قارن الجهد بواسطة الاشتقاق عن طريق اللاغرانجيان . (الجملة غالبا تدرس بسبب أنها تتصرف في العديد من النواحي مثل سلسلة من الذرات) و سوف نصادف مثالا آخر بعد وقت قصير : أخذ ديفيد هيلبرت بضع اسابيع ليستنتج معادلات الحركة للنسبية العامة باستخدام اللاغرانجيان ، بينما عمل ألبرت اينشتاين عشر سنوات للوصول إليها مباشرة .

بالإضافة لذلك فإن وصف بواسطة لاغرانجيان في أي مجموعة من الإحداثيات التي تصف أجسام المراقبة . و الإحداثيات لا يجب أن تكون ديكارتية ، ويمكن أن تختار حسب التفضيل : أسطوانية ، كروية ، قطعية .. الخ و هذا ما يعرف بالإحداثيات المعممة التي تسمح للمرء بأن يحسب بسرعة سلوك العديد من الجمل الميكانيكية التي هي عمليا معقدة جدا بحيث يتعذر وصفها بالإحداثيات الديكارتية .

مثلا من أجل برمجة أذرعة روبوت ، زوايا المفاصل تعطي وصفا أوضح من الإحداثيات الديكارتية . و هي تبسط الحسابات بشكل كبير : مهمة إيجاد الطريقة الأكثر اقتصادية لتحريك يد روبوت من نقطة لأخرى هي مثال آخر يحل بسهولة أكبر بكثير بواسطة المتحولات الزاوية .

من الأكثر أهمية ، أن اللاغرانجيان يسمح لنا بالاستنتاج السريع لخواص الجملة الأساسية ، وهي تناظراتها و كمياتها المصونة . و سوف نبسط هذه الفكرة المهمة بعد هنيهة و نستخدمها بانتظام في مسيرتنا (المرجع 275).

أخيرا صياغة اللاغرانجيان يمكن تعميمها لتتضمن كل أنواع التأثيرات المتبادلة . نظرا لأن مفاهيم الطاقة الحركية و الكامنة هي عامة ، فإن مبدأ أقل الفعل يمكن أن يستخدم في الكهرباء ، المغناطيسية و البصريات و أيضا الميكانيك

إن مبدأ أقل الفعل هو أساسي في النسبية العامة و نظرية الكم و يسمح لنا بسهولة ربط كلا الحقلين بالميكانيك الكلاسيكي

نظرا لأن مبدأ الفعل الأقل أصبح معروفا جيدا ، فإن الناس يطبقوه على عدد متزايد من المسائل (المرجع 197). و اليوم اللاغرانجيانات تستخدم في كل شيء من دراسة صدم الجزيئات الأولية إلى برمجة حركة الروبوت في الذكاء الصناعي

(يبين الجدول 32 بضعة أمثلة) لكن علينا ألا ننسى أنه على الرغم من البساطة الملحوظة و الفائدة ، فإن صيغة اللاغرانجيان مكافئة لمعادلات التطور . إنها ليست لا أكثر عمومية و لا أكثر تخصيصا (تحدي 458 s) و بشكل خاص هي ليست شرح لأي نوع من الحركة ، و لكنها فقط وجه نظر مختلفة لها و في الحقيقة البحث عن قانون فيزيائي جديد للحركة هو مجرد بحث عن لاغرانجيان جديد .

الجدول 32 بعض اللاغرانجيانات

الجملة	اللاغرانجيان	الكميات
نقطة مادية حرة ، غير نسبية	$L= 1/2\ mv^2$	الكتلة m ، السرعة v=dx/dt
جزيئة في كمون	$L= 1/2\ mv^2 - m\varphi(x)$	كمون الجاذبية φ
كتلة على نابض	$L= 1/2\ mv^2 - 1/2\ kx^2$	الاستطالة x ، ثابت النابض k
كتلة على طاولة عديمة الاحتكاك متصلة بنابض	$L= 1/2\ mv^2 - k(x^2 + y^2)$	ثابت النابض k ، الإحداثيات x ,y
سلسلة من الكتل و النوابض (نموذج بسيط للذرات في بلورة خطية)	$L = \frac{1}{2}m\sum v_i^2 - \frac{1}{2}m\omega^2\sum_{i,j}(x_i - x_j)^2$	الإحداثيات x_i ، تردد البلورة ω

كتلة نقطية حرة نسبية	$L = -c^2 m\sqrt{1 - v^2/c^2}$	الكتلة m ، السرعة v ،سرعة الضوء c

وهذا يجعل المعنى ، كوصف للطبيعة دائما يتطلب وصف التغير . التغير في الطبيعة دائما يوصف بالأفعال و اللاغرانجيان .

إن مبدأ أقل الفعل ينص على أن الفعل يكون أصغري عندما النقاط النهائية للحركة (المرجع 202) و بشكل خاص الزمن بينهما يقع بينهما يكون ثابت . و من المعروف بشكل أقل مبدأ المقلوب أيضا يصح : إذا كانت قيمة الفعل – قيمة التغير - تبقى ثابتة ، و الزمن المنقضي للحركة الفعلية تكون أعظمية . هل يمكنك أن تبين هذا ؟ (تحدي 459 ny) .

حتى بالرغم من أن مبدأ أقل الفعل ليس تفسيرا للحركة ، فالمبدأ دائما يستدعي بشكل ما تفسيرا . و نحن بحاجة لبعض الصبر ، رغما عن ذلك . لماذا الطبيعة تتبع مبدأ أقل الفعل و كيف تقوم بذلك و سيصبح هذا واضحا عندما ندرس نظرية الكم .

لماذا الحركة تكون غالبا محدودة / مقيدة ؟

بالنظر حولنا على الأرض أو في السماء فإننا نجد أن المادة ليست موزعة بانتظام . و المادة تميل لأن تكون قرب المادة الأخرى : إنها متجمعة معا في تكدسات . يبين الشكل 195 مثالا نوعيا (المرجع 203) . بعض الأمثلة الكبرى للتكدسات مبينة في الشكل 196 و الجدول 33 .

و كل التكدسات لها كتلة و حجم . في مخطط الكتلة – الحجم في الشكل 196 فإن كلا من المقياسين هما لوغاريتميين .

و نلاحظ ثلاثة خطوط مستقيمة : الخط $m \sim l$ الممتد من كتلة بلانك * للأعلى ، عبر الثقوب السوداء ، إلى الكون نفسه و الخط $m \sim l^{-1}$ الممتد من كتلة بلانك للأسفل ، إلى أخف تكدسات ممكنة و المادة العادية ذات $m \sim l^3$ التي تمتد من الذرات ، عبر الأجسام العادية اليومية ، إلى الأرض فالشمس . و أول الخطوط ، حد الثقب الأسود يشرح بالنسبية العامة و آخر خطين يعبران عن حد التكدس و خط المادة الشائع / العادي يفسر بنظرية الكم .**

إن التكدس خارج خط المادة الشائعة أيضا يبين أنه كلما كان التأثير المتبادل أقوى الذي يبقي العناصر معا ، كلما كان التكدس أصغر . و لكن لماذا المادة توجد أساسا بشكل تكتلات / لزن ؟

---

*كتلة بلانك تعطى بالشكل $m_{Pl} = \sqrt{\hbar c/G} = 21.767(16)\,\mu g.$

**الشكل 196 يبين أن هناك مجالات بعد ووراء الفيزياء و سوف نكتشف لاحقا أن هذا غير صحيح حيث أن الكتلة و الحجم لا تكون قابلة للتعريف في هذه المجالات



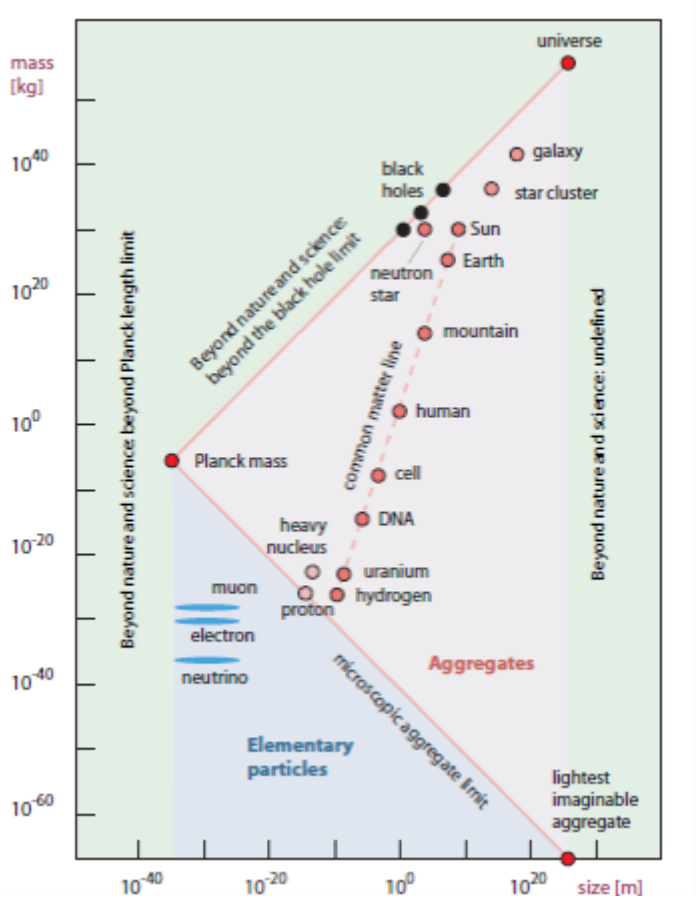
الشكل 195 الحركة في الكون محدودة

قبل كل شيء ، التكدسات تتشكل بسبب وجود التأثيرات المتبادلة التجاذبية بين الأجسام . ثانيا ، هي تتشكل بسبب الاحتكاك : عندما يقترب عنصرين فإن التكدس يمكن فقط أن يتشكل إذا كان يمكن للطاقة المحررة أن تحول إلى حرارة . وثالثا التكدسات لها حجم منتهي بسبب قوى التنافر التي تمنع العناصر من الالتصاق ببعضها . ثالثا هذه العوامل الثلاث تضمن أنه في الكون ، الحركة المحدودة / المقيدة أكثر شيوعا من الحركة غير المقيدة أو الحركة الحرة .

فقط ثلاثة أنواع من التجاذب تؤدي لتكدس : الجاذبية تجاذب الشحنات الكهربائية ، و تبادلات التأثيرات النووية القوية . بشكل مشابه ، توجد فقط ثلاثة أنواع تنافر ملحوظة : الدوران ، الضغط و مبدأ الاستبعاد لباولي (الذي سنصادفه لاحقا)

(المجلد IV صفحة 135) و من التشكيلات التسعة الممكنة للتجاذب و التنافر فإنها لا تظهر كلها في الطبيعة . هل يمكنك أن تجد أي منها مفقودة من الشكل 196 و الجدول 33 و لماذا ؟ (تحدي 460s) .

وهي معا أي التجاذب ، الاحتكاك و التنافر تقتضي أن التغير و الفعل يكونان أصغريين عندما تقترب الأجسام من بعضها و تبقى معا .



الشكل 196 الجزيئات الأولية و تكدسات توجد في الطبيعة

إن مبدأ أقل الفعل بالتالي يقتضي استقرار التكدسات . و بالمناسبة فإن تاريخ التشكيل أيضا يفسر لماذا الكثير من التكدسات تدور . هل يمكنك أن تبين لماذا ؟ (تحدي 461s) .

لكن لماذا يوجد الاحتكاك بالأصل ؟ ولماذا توجد تبادلات التأثير التجاذبية و التنافرية ؟ ولماذا - كما يظهر مما سبق – أنه في فترة ما من الماضي السحيق لم تكن المادة متجمعة في كتل ؟ من أجل الإجابة على هذه الأسئلة علينا أولا أن ندرس خاصة عامة أخرى للحركة : التناظر .

الجدول 33 بعض التكدسات الملحوظة في الطبيعة

التكدس	الحجم(القطر)	العدد الملحوظ	المكونات
التكدسات المقيدة بالجاذبية			
المادة في الكون	تقريبا 100 Ym	1	التجمعات الهائلة من المجرات ،ذرات الهيدروجين و الهليوم
الكوازار	$10^{12} – 10^{14}$ m	20.10^{6}	الباريونات و الليبتونات
التجمعات الهائلة من المجرات	3 Ym	10^{7}	مجموعات المجرات و العناقيد
عنقود مجري	60 Zm	$25. 10^{9}$	من عشرة إلى خمسين مجرة
مجموعة مجرات أو عنقود	240 Zm		خمسين إلى ألفين مجرة

مجموعة مجرتنا المحلية	50 Zm	1	تقريبا أربعين مجرة
المجرة العامة	0.5 - 2 Zm	$3.5 .10^{12}$	من 10^{10} إلى $3. 10^{11}$ نجم ، غبار و غيوم غازية ، ربما نظم نجمية
مجرتنا	1.0 (0.1) Zm	1	10^{11} نجما ، غبار و غيوم غازية ، المجموعات الشمسية
الغيوم بين الكواكب	حتى 15 Em	$>>10^{5}$	الهيدروجين ، الجليد و الغبار
المجموعة الشمسية [a]	غير معلوم	>400	النجوم ، الكواكب
مجموعتنا الشمسية	30 Pm	1	الشمس ، الكواكب (قطر مدار بلوتو : 11.8 Tm) ، الأقمار ، الكواكب الصغيرة ، المذنبات ، الكويكبات ، الغبار ، الغاز)
غيمة أوروت	6-30 Pm	1	مذنبات ، غبار
حزام كويبر	60 Tm	1	كويكبات ، مذنبات ، غبار
نجم [b]	10 km -100 Gm	$10^{22\pm1}$	غاز متأين : بروتونات ، نيوترونات ، إلكترونات ، نيوترينوات ، فوتونات
نجمنا ، الشمس	1.39 Gm		
كوكب [c] (المشتري ، الأرض)	143Mm, 12.8 Mm	400 <+8	الأجسام الصلبة ، السوائل ، الغازات و بشكل خاص الذرات الثقيلة
الكويكبات (فارونا ..الخ)	50-1000 km	> 100 (est. 10^{9})	أجسام صلبة
الأقمار	10-1000 km	> 50	أجسام صلبة
نجوم النيوترونات	10 km	>1000	بشكل أساسي نيوترونات
تكدسات مقيدة كهرطيسيا [c]			
الكواكب القزمة ، الكواكب الصغيرة ، الكويكبات [d]	1 m – 2400 km	$>10^{6}$	(مقدرة بـ 10^{9}) أجسام صلبة عادة بشكل قطعة واحدة
مذنبات	10 cm – 500 km	$>10^{9}$	(ممكن أن تصل إلى10^{12}) جليد و غبار ،
جبال ، أجسام صلبة ، سوائل ، غازات ، جبنة	1 nm > 1000 km	غير متوفر	جزيئات ،ذرات
حيوانات ، نباتات ، كفير	5 µm – 1 km	$10^{26\pm2}$	أعضاء ، خلايا
الدماغ ، البشري	0.2 m	10^{10}	عصبونات و أنواع خلايا أخرى
الخلايا		$10^{31\pm1}$	العضيات ، الأغشية ، الجزيئات

الأصغر (Nanoarchaeum equitans)	تقريبا 400 nm		جزيئات
المتحول (الأميبيا)	تقريبا 600 µm		جزيئات
الأكبر (أعصاب الحوت ، نباتات وحيدة الخلية)	تقريبا 30 m		جزيئات
الجزيئات		$10^{78\pm2}$	ذرة
H_2	تقريبا 50 pm	$10^{72\pm2}$	ذرة
DNA (البشري)	2m (كليا لكل خلية)	10^{21}	ذرة
الذرات ، الشوارد	30 pm – 300 pm	$10^{80\pm2}$	إلكترون و نواة
تكدسات مقيدة بتبادل التأثير الضعيف [c]			
لا يوجد			
تكدسات مقيدة بتبادل التأثير القوي [c]			
النواة	0.9 - > 7 fm	$10^{79\pm2}$	نكليون
النكليون (البروتون ، النيوترون)	0.9 fm	$10^{80\pm2}$	كوارك
الميسون	1 fm	غير متوفر	كوارك
النجوم النيوترونية: أنظر في الأعلى			

[a] فقط في عام 1994 وجد أول دليل على أجسم تدور حول النجوم غير شمسنا من بينها أكثر من ألف كوكب خارج المجوعة الشمسية تم اكتشافها حتى الآن وهي موجودة حول النجوم F , G & K التي تتضمن النجوم النيوترونية .

مثلا ، تدور ثلاثة أجسام حول البلزار 1257+12 و حلقة المادة تدور حول النجم β Pictoris . يبدو أن الأجسام هي نجوم سوداء / داكنة ، أقزام بنية أو كواكب غازية كبيرة مثل المشتري . و بسبب محدودية أنظمة المراقبة ، فإنه لم يوجد أي من الأنظمة حتى الآن من المجموعة الشمسية من النوع الذي نعيش عليه . و في الحقيقة فقط بضع كواكب مثل الأرض

وجدت حتى الآن .

[b] الشمس هي من بين الـ 7% من النجوم الأسطع . و من بين كل النجوم فإن 80% منها هي أقزام حمراء M و 8% منها هي أقزام برتقالية K ، و 5% منها هي أقزام بيضاء D : وهي كلها باهتة (ضعيفة الضوء) و من بين كل النجوم المرئية في السماء الليلية التي تنتمي إلى الساطعات هي 7% . و بعضها هي من الصنف O الأزرق النادر أو الصنف B الأزرق

(مثل Spica , Regulus & Rigel) ، 0.7% مكونة من الصنف A الأبيض الساطع (مثل Sirius , Vega & Altair) و 2% من النوع F الأصفر – الأبيض (مثل Canopus , Procyon & Polaris) و 3.5% هي من النوع G الأصفر (مثل Alpha Centuri , Capella أو الشمس) .

تشمل الاستثناءات العمالقة K المرئية مثل Arcturus & Aldebran و العملاق الهائل M النادر مثل Betelgeuse & Antares ، و المزيد عن النجوم سيعطى لاحقا (المجلد II ، صفحة 209)

[c] لمزيد من التفاصيل عن التكدسات الميكروسكوبية أنظر جدول المركبات (مجلد V ، صفحة 342) .

d يقدر أن هناك ما يصل إلى 10^{20} جسم شمسي صغير (كويكبات ، شهب ، كواكب صغيرة أو مصغرة / بسيطة) الأثقل من 100 kg . و بالمصادفة أن عطارد و الشمس – الكواكب البركانية الافتراضية – قد وجدت حتى الآن)

فضول و تحديات مرحة حول اللاغرانجيانات

مبدأ أقل الفعل كوصف رياضي هو ما قدمه لايبنتينز . وقد فهم صحته في 1707 وقد أعيد اكتشافه بعد ذلك من قبل Maupertuis في عام 1746 الذي كتب :

الذي يصل لتغير معين في الطبيعة ، كمية الفعل اللازمة لمثل هذا التغيير هي الأقل / الأصغر التي يمكن أن تكون ممكنة *

كان صاموئيل كونينج أول عالم يصرح علانية و بشكل صحيح في 1751 أن المبدأ كان من لايبتنيز و ليس من Maupertuis و الذي طرد من الأكاديمية البروسية للعلوم بسبب قوله هذا . و هذا كان ناتجا عن تآمر ضد Maupertuis الذي كان رئيس الأكاديمية في ذلك الوقت . إن المكيدة أيضا أكدت بقاء المصطلح الغريب " الفعل " . و بالرغم من هذه القصة المخجلة فإن مبدأ لايبتينز التقط سريعا و استخدم بالتالي و انتشر من قبل أويلر و لاغرانج و في النهاية من قبل هاملتون .

* *

الفكرة الأساسية لمبدأ الفعل الأقل ، هي أن الطبيعة كسولة قدر الإمكان ، و هي أيضا تعرف بـ lex parismoniae و الفكرة العامة عبر أنها من قبل بطليموس و لاحقا من قبل فيرما ، مالبرانش ، و ساغفراساند و لكن لايبتينز كان أول من فهم صلاحيته و فائدته الرياضية لوصف كل الحركة .

* *

عندما نشر لاغرانج كتابه الميكانيك التحليلي ، في عام 1788 ، و قد شكلت نقاطا بارزة في تاريخ الميكانيك

وشكلت استخدام مبادئ الاهتزاز .

وقد كان فخورا بكونه كتب شرحا نظاميا للميكانيك بدون شكل وحيد . و من الواضح أن الكتاب كان صعب القراءة و لم يحقق نجاحا في المبيعات أبدا . و بالتالي طرقه أخذت جيلا آخر كي تصبح مستخدمة بشكل عام

* *

بمعرفة أن الفعل هو الكمية الأساسية التي تصف الحركة يمكننا تعريف الطاقة كفعل في وحدة الزمن و كمية الحركة كفعل في وحدة المسافة , و طاقة جملة بالتالي تصف كيف جعله يتغير مع الزمن و كمية الحركة تصف كم هذا التغير عبر المسافة . ما هو كمية الحركة الزاوية و الطاقة الدورانية ؟ (تحدي 462s) .

* *

في فيزياء غاليليو فإن اللاغرانجيان هو الفرق بين الطاقة الحركية و الكامنة . لاحقا هذا التعريف سيتم تعميمه بشكل يشحذ فهمنا لهذا التمييز : اللاغرانجيان يصبح الفرق بين حد الجزيئات الحرة و حد ناجم عن التأثيرات المتبادلة . و بمعنى آخر كل حركة جزيئة هي توفيق مستمر بين ما يمكن أن تفعله الجزيئة إذا كانت حرة و ما تريد الجزيئات أخرى لها أن تفعله . في هذا الصدد ، الجزيئات تتصرف بشكل مشابه جدا للكائنات البشرية .

* *

في الطبيعة فإن الحركة البعيدة أو الصلاة مستحيلة ، كما في أغلب الحالات فإن التغير داخل الدماغ هو اصغر بكثير من التغير الحادث في العالم الخارجي . هل هذه المقولة صحيحة ؟ (تحدي 463s)

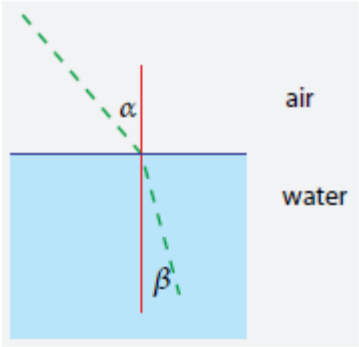
* *

كيف يمكن قياس الفعل ؟ ما هو أفضل جهاز أو طريقة لقياس الفعل ؟ (تحدي 464ny)

* *

اشرح لماذا T +U ثابت بينما T-U اصغري ؟ (تحدي 465 s)

* *



الشكل 197 انكسار الضوء ناتج عن أمثلية الحركة – الزمن

في الطبيعة T +U للطاقة الحركية و الكامنة ثابت خلال الحركة (من أجل الجمل المغلقة) بينما الفعل هو أصغري . من الممكن استنتاج أنه بجمع هاتين الحقيقتين فإن الجمل تميل إلى حالة ذات طاقة كامنة دنيا ؟ (تحدي 466s)

* *

مبدأ الأصغرية الآخر يمكن استخدامه لفهم بنية أجسام الحيوانات ، خاصة حجمها و نسب بناها الداخلية (المرجع 206). مثلا نبض القلب و تردد التنفس يتغير مع كتلة الحيوان بالشكل $m^{-1/4}$ و الطاقة المبددة تتغير وفق $m^{3/4}$. ينتج أن مثل هذه القوى / الأسس تنتج من ثلاثة خواص للأحياء . أولا هي تنقل الطاقة و المادة عبر العضوية عن طريق شبكة متفرعة من الأنابيب : بعضها كبير و الكثير أصغر بشكل متزايد . قانيا ألأوعية كلها تحمل نفس الحجم الأصغري . و ثالثا الشبكات تكون أمثلية من أجل التقليل من الطاقة اللازمة للنقل . و معا هذه العلاقة تشرح العديد من قواعد التقييس الإضافية وهي أيضا يمكن أن تشرح لماذا مقاييس مدى عمر الحيوان يبلغ بالشكل $m^{-1/4}$ أو لماذا أكثر الثدييات لها تقريبا نفس العدد من ضربات القلب في فترة حياتها . (صفحة 125)

إن الشرح المقابل لاستخدم مبدأ الأصغرية المختلف ينص على أن ربع الاستطاعة الذي يوجد في أي شبكة ينشأ بالمرتبة التي يصل بها التدفق إلى مآله بواسطة المسار الأكثر مباشرة . (المرجع 207) .

* *

مبدأ الأصغرية لحركة الضوء هو حتى أكثر جمالا : الضوء دائما يأخذ المسار الذي يتطلب أقصر زمن في الانتقال . و قد كان من المعلوم طويلا أن هذه الفكرة تصف تماما كيف يتغير اتجاه الضوء عندما يتحرك من الهواء للماء ، و التأثير موضح في الشكل 197 . و في الماء يتحرك الضوء بشكل أبطا ، ونسبة سرعة الضوء في الهواء إلى الماء تعرف بقرينة الانكسار للماء . و قرينة الانكسار عادة يرمز لها بـ n و هي تابعة للمادة . و قيمة الماء هي حوالي 1.3 و نسبة السرعة هذه مع مبدأ الزمن الأصغري يؤدي إلى قانون الانكسار و هي علاقة بسيطة بين جيبي زاويتين . هل يمكنك استنتاجها ؟ (تحدي 467s) .

* *

هل يمكنك أن تؤكد أن كل مبادئ الأصغرية المذكورة – من أجل نمو الأشجار ، و من أجل الشبكات داخل الحيوانات

و من أجل حركة الضوء هي حالات خاصة لمبدأ الفعل الأقل ؟ (تحدي 468s) في الحقيقة هذه هي حالة كل مبادئ الأصغرية المعروفة في الطبيعة . كل منها مثل مبدأ الفعل الأقل هو مبدأ التغير الأقل

* *

في فيزياء غاليليو قيمة الفعل تعتمد على سرعة المراقب و لكن ليس على موضعه أو وجهته . و لكن الفعل عندما يعرف بشكل صحيح يجب ألا يعتمد على المراقب . و كل المراقبين يجب أن يتفقوا على قيمة التغير الملحوظة / المقاسة

فقط النسبية الخاصة ستحقق شرط أن الفعل سيكون مستقل عن سرعة المراقب . كيف سيتم تعريف الفعل النسبي ؟

(تحدي 469s) .

* *

ما هي كمية التغير المتراكمة في الكون منذ الانفجار الأعظم ؟ قياس كل التغير الذي يجري في الكون يفترض مسبقا أن الكون هو جملة فيزيائية . هل هذه هي الحال ؟ (تحدي 470s) .

* *

إحدى الحركات التي تكون بشكل خاص أصغرية في الطبيعة هي العزيزة علينا : المشي . جهود البحث الواسعة حاولت تصميم روبوتات تنسخ توفير الطاقة في عمل الأرجل و التحكم بها لدى الإنسان . مثلا أنظر موقع تاو جينج في cswww.essex.ac.uk/tgeng/research.html .

* *

هل يمكنك إثبات تحدي التكامل التالي ؟ (تحدي 471 d)

$$\int_0^{\varphi} \sec t \, dt = \ln \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) \qquad (79)$$

* *

ما هو شكل نصف الأنبوب المثالي من أجل التزلج ؟ ما الذي يقتضيه كلمة مثالي ؟ أي الشروط تؤدي إلى سيكلويد ؟ ما هو الشرط الذي يشترط ضد السيكلويد ؟ (تحدي 472s)

* *

كما ذكرنا أعلاه ، موت الحيوان هو عملية فيزيائية عندما يكون الحيوان قد استقلب حوالي 1 GJ/kg . بيّن أن الفعل الكلي للحيوان يبلغ $M^{5/4}$ ؟ (تحدي 473 e)

* *

ملخص عن الفعل

الجمل التي تتحرك بتقليل التغير / بحد أدنى من التغير . التغير أو الفعل هو المتوسط الزمني للطاقة الحركية مطروحا منه الطاقة الكامنة . و عبارة الحركة تصغر التغير تعبر ع قابلية توقع الحركة و استمراريتها . إن العلاقة أيضا تقتضي أن كل الحركة هي بسيطة قدر الإمكان .

الجمل تتحرك بتقليل التغير . و بشكل مكافئ الجمل تتحرك بتعظيم الزمن المنقضي بين وضعيتين . و كلا العبارتين تبينان أن الطبيعة كسولة .

الجمل تتحرك بتقليل التغير . في الفصول التالية سنبين أن هذه العبارة تقتضي عدم تغير المراقب ، المصونية ، عدم تغير المرآة ، قابلية الانعكاس و نسبية الحركة اليومية .

الفصل التاسع

الحركة و التناظر

في البداية كان هناك التناظر " (مرجع 209)

فيرنر هاينزبيرغ

الطريقة الثانية لوصف الحركة بشكل شامل هي وصفها بشكل يتفق عليه كل المراقبين . الآن متى تبقى المراقبة تماما نفسها عند التبديل من مراقب لآخر نسمي هذه المراقبة ثابتة أو مطلقة أو متناظرة . متى تغيرت المراقبة عند التبديل من مراب لآخر نسميها نسبية . و لاستكشاف النسبية بالتالي يعني استكشاف الثبات و التناظر

- التناظر هو الثبات بعد تغير

تغير المراقب أو تغير نقطة الرؤية له هي إحدى إمكانيات التغير ، الإمكانية ألأخرى يمكن أن تكون إجراء بعض التغيير على الجملة قيد الملاحظة نفسها . مثلا ، زهرة لا تنساني المبينة في الشكل 198 هي متناظرة لأنها تبدو بنفس الشكل بعد تدويرها حول نفسها ، أو بعد تدويرها بزاوية 72 درجة و العديد من أزهار أشجار الفاكهة لها نفس التناظر.

أيضا يمكن للمرء القول أنه تحت تغييرات معينة لنقطة النظر تملك الزهرة خاصة ثابتة ، وهي الشكل . و إذا كان هناك العديد من نقاط النظر الممكنة يتحدث المرء عن تناظر عال و إلا يكون التناظر منخفضا . مثلا ، ورقة البرسيم لها تناظر أعلى من الورقة الثلاثية المعتادة. في الفيزياء وجهات النظر غالبا تعرف بأطر المرجع .

متى تحدثنا عن التناظر في الأزهار ، في الحياة اليومية ، في العمارة ، أو في الفنون فإننا نعني عادة التناظر المرآتي ، التناظر الدوراني أو تشكيل منهما . و هذه هي التناظرات الهندسية . مثل كل التناظرات ، فإن التناظرات الهندسية تقتضي الثبات تحت عمليات التغير الخاصة . القائمة الكاملة للتناظرات الهندسية معلومة منذ وقت طويل (المرجع

210) . يعطي الجدول 34 عرضا للأنواع الأساسية . الشكل 200 & 199 يعطي بعض الأمثلة المهمة . التناظرات الهندسية الإضافية تشمل تناظرات اللون حيث يتم تبادل الألوان ، و مجموعات البرم ، حيث الأجسام المتناظرة لا تحتوي فقط نقاط بل تبرم أيضا ، كما تظهر في الفراكتالات ، و اتغيرات في الخلفيات المنحنية هي تعميم للجدول الأساسي .

**"في البداية ، كان هناك تناظر "هل تتفق مع هذا القول ؟ (تحدي 474e) لقد قاد العديد من الباحثين في متاهة خلال البحث عن وحدة الفيزياء . ربما قصد هايزنبيرغ القول أنه في البداية ، كان هناك بساطة . و لكن هناك العديد من الفروقات المفهومية و الرياضية بين التناظر و البساطة .



الشكل 198 زهرة لا تنساني، أيضا تسمى Myosotis لها تناظر ذو خمس مراتب

الجدول 34 تصنيف و عدد التناظرات الهندسية البسيطة

أنواع تكررا البعد		**الانتقالات / التحويلات**			
		مجموعات 0 نقطة	**مجموعات 1 نقطة**	**مجموعات 2 نقطة**	**مجموعات 3 نقطة**
1	صف واحد	2	2	غير متوفر	غير متوفر

2	5 شبكات أو أنواع بلورات مستوية (مربعة ، مائلة ، سداسية الأضلاع ،مـ تعامدة ، متعامدة مركزية)	2 (دورية : أو ثنائية /زوجية الزوايا) أو 10 مجموعات زهرية (C1 ,C2,C3,C4,C6,D1,D2,D3,D 4,D6)	سبع أطاريف	أوراق ذات 17 جدار	غير متوفر
3	14 (برافيس) بلورات مكعبة ، 2 رباعية الأضلاع ، 4 معينة متعامدة ، 1 ثلاثية الأضلاع ، 2 أحادية الميل ، 1 ثلاثية الميل)	مجموعة 32 بلورة أيضا تسمى مجموعات نقطة التخطيط البلوري	75 قضيب	80 طبقة	بنى من 230 بلورة أيضا تعرف بمجموعات الفراغ ، مجموعات فيدروف أو مجموعات التخطيط البلوري

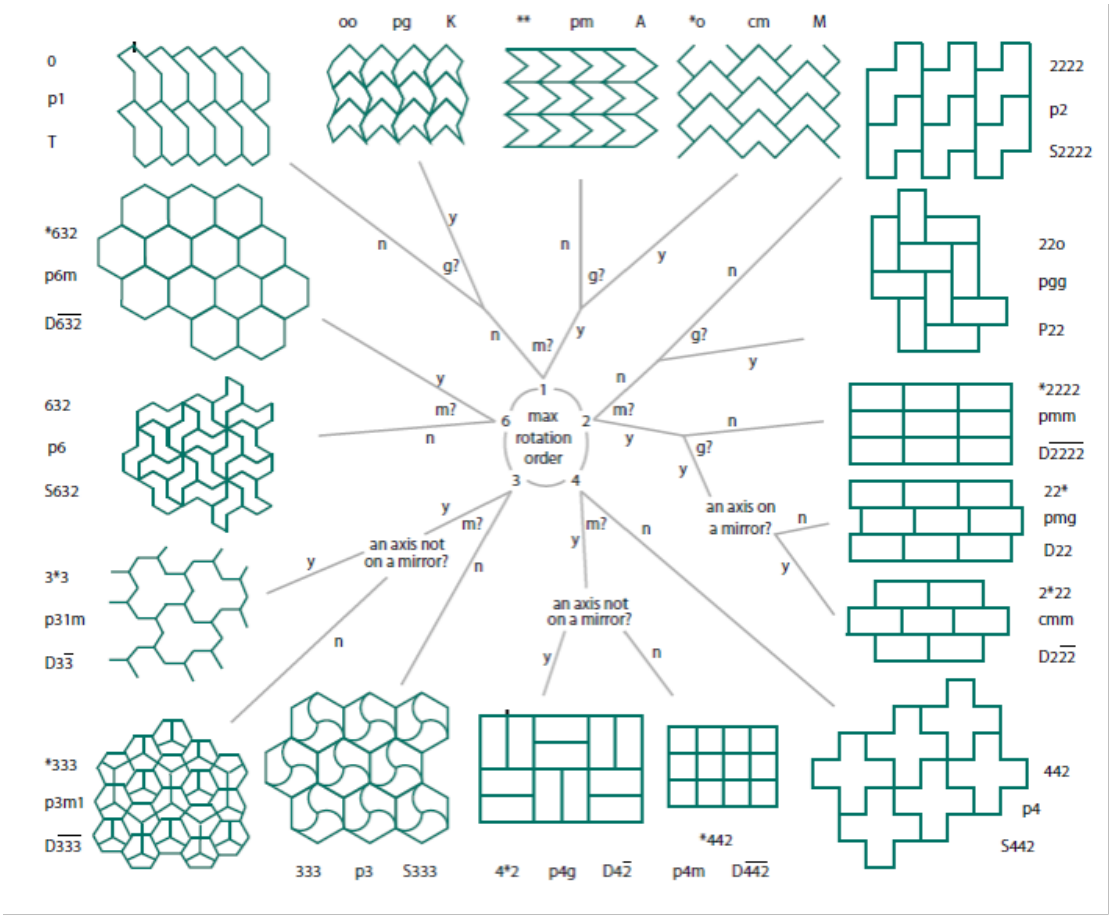
إن التناظر العالي يعني أن العديد من التغيرات الممكنة تجعل الملاحظة دون تغيير / ثابتة . و في النظرة الأولى ليس هناك العديد من الأجسام أو المراقبات في الطبيعة تبدو متناظرة : وبعد كل شيء فإنه في الطبيعة حولنا ، التناظر الهندسي هو أكثر استثناء عما هو عليه قاعدة . و لكن هذا خطأ . على العكس يمكننا أن نستنتج أنه في الطبيعة ككل هناك تناظر من الحقيقة البسيطة التي تجعلنا نتحدث عنها ! (تحدي 475s) أيضا تناظر الطبيعة هو أعلى بشكل كبير من زهرة لا تنساني أو أي تناظر آخر

نماذج 17 نقشا و طريقة التعرف عليها بسرعة

هل ترتيب الدوران الأعظمي هو 1,2,3,4 أم 6 ؟

هل هناك مرآة (m) ؟ هل هناك انعكاس انزلاق غير قابل للفصل (g) ؟

هل هناك محور دوران على المرآة ؟ هل هناك محور ليس على مرآة؟



كل نموذج يتم التعرف عليه وفق ثلاثة نظم من التعريف :

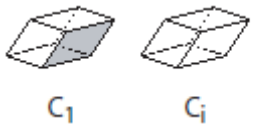
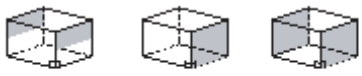
442 تعريف كونواي – ثورستون

p4 تعريف الاتحاد الدولي للتخطيط البلوري / دراسة التبلور

S442 تعريف مونتسينوس كما في كتابه " الموزاييك و المضاعفات الثلاث "



الشكل 199 القائمة الكاملة بكل التناظرات الممكنة لنماذج النقوش و هي ما يعرف بمجموعات النقوش ، وأسماءها المعتادة و طريقة تمييزها

نظام / جملة البلورة	نوع التبلور أو مجموعة البلورات
النظام ثلاثي الميل (ثلاثة محاور كلها ليست بزاوية قائمة) Triclinic system (three axes, none at right angles)	 C_1 C_i
الجملة أحادية الميل (محورين بزاوية قائمة و لكن الثالث مخالف) Monoclinic system (two axes at right angles, a third not)	 C_2 C_s or C_{1h} C_{2h}
الجملة متعامدة المحاور (ثلاثة محاور غير متساوية بزوايا قائمة) Orthorhombic system (three unequal axes at right angles)	 D_2 C_{2v} D_{2h}
جملة رباعية الأضلاع (ثلاثة محاور بزاوية قائمة و واحد غير متساوي)	 C_4 S_4 C_{4h} D_4 C_{4v} D_{2d} D_{4h}
جملة ثلاثية الاضلاع (ثلاثة محاور متساوي بزوايا 120 درجة و رابع بزوايا قائمة بتناظر ثلاثي) Trigonal system (three equal axes at 120 degrees, a fourth at right angles with threefold symmetry)	 C_3 S_6 D_3 C_{3v} D_{3d}

جملة سداسية الاضلاع (ثلاثة محاور متساوي بزوايا 120 درجة و رابع بزوايا قائمة بتناظر سداسي) Hexagonal system (three equal axes at 120 degrees, a fourth at right angles with sixfold symmetry)	
الجملة المكعبة أو الإيزومترية (ثلاثة محاور متساوية و ذات زوايا قائمة) Cubic or isometric system (three equal axes at right angles)	

الشكل 200 القائمة الكاملة للتناظرات الممكنة لخلايا الوحدات في البلورات ، مجموعات نقطة التشكيل البلوري أو مجموعات البلورات أو أصناف البلورات

الجدول 34 نتيجة التناظر العالي هو من بين أشياء أخرى ، العلاقة الشهيرة $E_0 = m\,c^2$

هل يمكنك التفكير و الحديث عن العالم ؟

المرجع 211

" التناغم / الانسجام المخفي هو أقوى من الظاهر "

هرقل إيفسوس ، تقريبا 500 BCE

لماذا نفهم شخصا عندما يتحدث عن العالم حتى بالرغم من أننا لسنا في موضعه ؟ نحن نتمكن من ذلك لسببين : لأن أكثر الأشياء تبدو متشابهة من وجهات نظر مختلفة و لأن أكثرنا لديه خبرات متشابهة مسبقة .

المتشابه يعني أننا ما نراقبه نحن و الآخرين يتطابق بعض الشيء . بمعنى آخر ، العديد من نواحي المراقبات لا تعتمد على نقطة النظر . مثلا عدد البتلات لزهرة سيكون لها نفس القيمة بالنسبة لكل المراقبين . و يمكننا بالتالي القول أن هذه الكمية لها أعلى تناظر . و سوف نرى فيما يلي أن الكتلة هي مثال آخر عن هذا . الأشياء القابلة للمراقبة بأعلى تناظر ممكن تعرف بالقيم السلمية في الفيزياء . و النواحي الأخرى تتغير من مراقب لآخر , مثلا الحجم الظاهري يتغير مع مسافة المراقبة . لكن الحجم الفعلي هو مستقل عن المراقب . و بشكل عام

- أي نوع من استقلال نقطة النظر هو شكل من التناظر

المراقبة التي ينظر بها شخصين لنفس الشيء من نقطتي نظر مختلفتين يمكن أن يفهما بعضهما البعض تثبت أن الطبيعة متناظرة . و نبدأ في دراسة تفاصيل هذا التناظر في هذه الفقرة وسوف نستمر في ذلك خلال بقية رحلتنا .

في العالم حولنا ، نلاحظ خاصة عامة أخرى : ليست فقط كون نفس الظاهرة تبدو متشابهة بالنسبة للمراقبين المختلفين و لكن الظواهر المختلفة تبدو متشابهة بالنسبة لنفس المراقب .

مثلا ، نحن نعلم أنه إذا أحرقت النار الإصبع في المطبخ فإنها ستفعل ذلك خارج البيت أيضا و أيضا في أماكن أخرى و في أوقات أخرى . الطبيعة تبدي تكرارية . الطبيعة لا تبدي مفاجآت . في الحقيقة ذاكرتنا و تفكيرنا هي ممكنة فقط بسبب هذه الخاصة الأساسية للطبيعة (هل يمكن أن تؤكد هذا ؟) (تحدي 476s) . كما سنرى ، التكرار يؤدي إلى قيود قوية إضافية على وصف الطبيعة .

بدون استقلال نقطة النظر و التكرار فإن الحديث لآخرين أو حديث الإنسان مع نفسه سيكون مستحيلا . حتى من الأكثر أهمية أننا سنكتشف أن استقلال نقطة النظر و التكرار يقوم بأكثر من تحديد إمكانية الحديث مع بعضنا البعض : هو يصلح الكثير (لكن ليس كل) من محتوى ما يمكننا قوله لبعضنا البعض . بمعنى آخر سوف نرى أن أكثر وصفنا للطبيعة ينتج منطقيا من تقريبا دونما اختيار ، من حقيقة بسيطة أننا يمكننا التحدث عن الطبيعة مع أصدقاءنا .

نقاط / وجهات النظر

عندما يبدأ شاب في الاجتماع بأناس آخرين في طفولته فإنه يجد بسرعة أن هناك خيرات معينة مشتركة ، بينما الأشياء الأخرى مثل الأحلام ليست كذلك . تعلم إجراء مثل هذا التمييز هو أحد مزايا الحياة البشرية . في هذه الصفحات نركز على فقرة النوع الأول من الخبرات : المراقبات / الملاحظات / القياسات الفيزيائية . لكن حتى بين هذه فإن التمييزات تتم . في الحياة اليومية اعتدنا على افتراض أن الأوزان ، الأحجام ، الأطول و الزمن تابعة لنقطة نظر المراقب .

و يمكننا الحديث عن هذه الكميات المقاسة لأي شخص و لا يكون هناك أي اختلاف حول قيمها ، شريطة أن تكون قد قيست بشكل صحيح .

لكن الكميات الأخرى تعتمد على المراقب . تخيل التحدث لصديق بعد أن قفز من إحدى ألأشجار على طول مسارنا ، بينما هو ما يزال يسقط للأسفل . وسوف يقول أن أرض الغابة تقترب منه بسرعة عالية ، بينما المراقب في الأسفل سيستمر في رؤية الأرض ثابتة . و من الواضح أن الفرق بين القولين هو ناتج عن نقاط النظر المختلفة لهما . سرعة جسم (في هذا المثال أرض الغابة أو الصديق نفسه) بالتالي خاصة أقل تناظرا من الوزن أو الحجم . ليس كل المراقبين متفقين على قيمة السرعة و لا حتى اتجاهها .

في حال المراقبات التابعة لنقطة النظر ، فإن فهم بعضنا البعض ما يزال ممكن بمساعدة مجهود صغير : كل مراقب يمكن أن يتخيل المراقبة من نقطة نظر الآخر , يتأكد فيما إذا كانت النتيجة المتخيلة تتفق مع قول الآخر ***

إذا كان القول المتخيل و القول الفعلي للمراقب الآخر متفقان ، فإن القياسات متوافقة و الفرق في القولين ناتج فقط عن نقاط نظر مختلفة ، و إلا الفرق أساسي و لا يمكنهم الاتفاق أو الحديث . و باستخدام هذه الطريقة يمكنك حتى أن تحاجج فيما إذا كانت المشاعر البشرية ، الأحكام أو الأذواق تظهر من الفروقات الأساسية أو لا . (تحدي 477s) .

التمييز بين الكميات المستقلة عن نقطة النظر أو الثابتة و الكميات التابعة لنقطة النظر أو النسبية هو أمر أساسي .

الكميات الثابتة مثل الكتلة أو الشكل ، تصف خواصا ذاتية / ضمنية / داخلية و الكميات النسبية تبعا للمراقب تشكل حالة الجملة . بالتالي من أجل إيجاد وصف كامل لحالة الجملة الفيزيائية علينا الإجابة عن الأسئلة التالية :

- ما هي نقاط / وجهات النظر الممكنة ؟
- كيف تحول الأوصاف من وجهة نظر لأخرى ؟
- ما هي الكميات القابلة للقياس التي تقبلها التناظرات ؟

---

*" السماح ... هو الشك بأن الآخرين على حق "

**"السماح / القبول – هي قوة يرغب بها المرء بشكل أساسي تجاه خصومه السياسيين "

***يطور البشر إمكانية تخيل أن الآخرين يمكن أن يكونوا في أوضاع مختلفة عن أوضاعهم بعمر حوالي أربع سنوات (المرجع 212) . بالتالي قبل هذا العمر البشر غير قادرين على تصور النسبية الخاصة بعد ذلك يمكنهم

- ماذا تخبرنا به النتائج عن الحركة؟

حتى الآن ، في دراستنا للحركة ، قمنا أولا بدراسة وجهات نظر التي تختلف من حيث الموضع ، في التوجه ، و الأكثر أهمية في الحركة . و بالنسبة لبعضهم البعض فإن المراقبين يمكن أن يكون ساكنين ، في حالة دوران ، و يمكن أن يتحركوا بسرعة ثابتة و يمكن أن يتسارعوا حتى . و هذه التغيرات الصارمة لوجهات النظر هي تلك التي سندرسها أولا . في هذه الحالة شرط توافق المراقبات التي تتم من قبل مراقبين مختلفين يعرف بمبدأ النسبية (صفحة 156) و التناظرات المرتبطة بهذا النوع من الثبات أيضا تعرف بالتناظرات الخارجية (صفحة 280) . وهي واردة في الجدول 36 .

الصنف الثاني من التغيرات الأساسية لوجهة النظر يتعلق بالتغيرات المجردة . وجهات النظر يمكن أن تختلف بالوصف الرياضي المستخدم : مثل هذه التغيرات تعرف بتغيرات المقياس (مجلد III ، صفحة 67)

و هذا سيتم طرحه أولا في فقرة الديناميك الكهربائي . مرة ثانية يشترط أن كل المقولات متوافقة في كل الأوصاف الرياضية المختلفة .

هذا الشرط من التوافق يعرف بمبدأ ثبات القياس / المقياس . التناظرات المرتبطة بذلك تعرف بالتناظرات الداخلية .

الصنف الثالث من التغيرات ، التي أهميتها يمكن ألا تكون واضحة من الحياة اليومية ، هي أن سلوك الجملة قيد التبادل لأجزائها . و الثبات المرتبط يعرف بالتناظر التبادلي . و هذا تناظر متقطع سوف نصادفه كمبدأ أساسي عندما ندرس نظرية الكم .

الشروط الثلاثة للتوافق التي وصفت للتو تعرف بالمبادئ لأنها العبارات الثلاث الأساسية القوية التي تحدد تقريبا بشكل كامل قوانين الفيزياء – أي وصف الحركة – كما سنرى قريبا .

ولاحقا سوف نكتشف أن البحث عن وصف كامل لحالة الأجسام سوف تعطي أيضا وصفا كاملا لخواصها الذاتية / الضمنية: و لكن يكفي هذا كمقدمة و لندلف لصلب الموضوع .

التناظرات و المجموعات

لأننا نبحث عن وصف الحركة الكامل ، فإننا بحاجة لأن نفهم و نصف المجموعة الكاملة من التناظرات في الطبيعة . ولكن ما هو التناظر ؟

يقال عن الجملة بأنها متناظرة أو يملك تناظر إذا ظهر أنها متطابقة عندما تراقب من وجهات نظر مختلفة . و أيضا نقول أن الجملة تملك ثبات تحت التغير من وجهة نظر لأخرى . و إن تغيرات وجهات النظر مكافئة لعمليات التناظر أو تحويلات النظام . و التناظر بالتالي هو مجموعة من التحويلات التي تجعل الجملة ثابتة . و لكن التناظر هو أكثر من مجموعة : التطبيق المتتالي لعمليتي تناظر هو عملية تناظر أخرى . وبعبارات أخرى ، التناظر هو مجموعة $G = \{ a, b, c, \ldots \}$ العناصر ، التحويلات و التي معا عملية ثنائية تعرف بالتسلسل أو التضاعف / الضرب و يلفظ بعد أو أزمنة التي فيها تصح الخواص التالية من أجل كل العناصر a , b & c .

$$\begin{aligned} &\textit{associativity}, \text{ i.e.}, && (a \circ b) \circ c = a \circ (b \circ c) \\ &\text{a } \textit{neutral element } e \text{ exists such that} && e \circ a = a \circ e = a \\ &\text{an } \textit{inverse element } a^{-1} \text{ exists such that} && a^{-1} \circ a = a \circ a^{-1} = e \quad . \end{aligned} \tag{80}$$

أي الخاصة تجميعية $(a \circ b) \circ c = a \circ (b \circ c)$

و يوجد عنصر حيادي للمجموعة e بحيث $e \circ a = a \circ e = a$

و يحقق مقلوب العنصر a ، أي a^{-1} : $a^{-1} \circ a = a \circ a^{-1} = e$

أي مجموعة تحقق هذه الخواص الثلاث المحددة أو البديهيات تعرف (رياضيا) بالزمرة .



الشكل 201 زهرة Crassula ovata تبدي ثلاثة مضاعفات خماسية : البتلات ، الجذوع و البراعم

و تاريخيا مفهوم الزمرة كان أول مثال عن البنية الرياضية التي عرفت بشكل مجرد كامل * . هل يمكنك إعطاء مثال عن زمرة مأخوذة من الحياة اليومية ؟ (تحدي 478s) . الزمر تظهر كثيرا في الفيزياء و الرياضيات لأن التناظرات تقريبا موجودة في كل مكان كما سنرى ** (المرجع 213) هل يمكنك إيراد عمليات تناظر لنموذج الشكل 202 ؟ (تحدي 480s)

الأخوات / المتجاورات

بالنظر للجملة المتناظرة و المركبة مثل المبينة في الشكل 201 أو 202 نلاحظ أن كلا من أجزائها ، مثلا البقعة الحمراء تنتمي لمجموعة من الأجسام المتشابهة تعرف بالأخوات / المتماثلات (تحدي 481e)

- كل جزء أو عنصر من جملة متناظرة يمكن تصنيفها وفق ماهية نوع الأخ / الأخت / الجارة المنتمي إليها

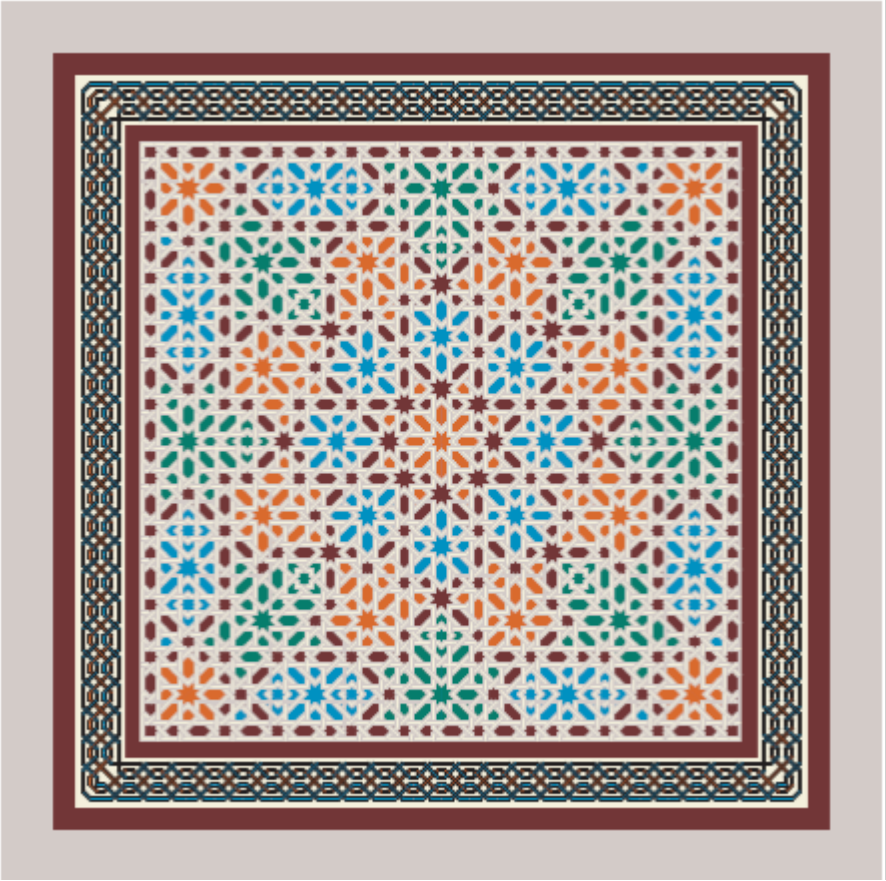
---

*مصطلح زمرة ابتكره إيفريست غالوا (ولد في 1811 ، بورج لا رين و توفي في 1832 في باريس) بنيته ابتكرت من قبل أوجستين لويس كوشي (ولد في 1789 في باريس ، توفي في 1857 في سو) و التعريف البديهي لآرثر كايلي (ولد في 1821 ريتشموند على التايمز، توفي في 1895 كامبريدج)

**من حيث المبدأ الزمر الرياضية لا حاجة لأن تكون زمر متناظرة و لكن يمكن إثبات أن كل الزمر يمكن أن ترى كزمر تحويل في بعض الفضاءات الرياضية المعرفة بشكل مناسب بحيث أن الرياضيات يمكن أن تستخدم زمرة تناظر و زمرة بنفس المعنى .

تعرف الزمرة بالآبلية إذا كانت عملية التسلسل فيها تبديلية أي إذا كان $a \circ b = b \circ a$ من أجل كل أزواج العناصر a & b . في هذه الحالة التسلسل يعرف في بعض الأحيان بالجمع . هل الدورانات تشكل زمرة آبلية ؟ (تحدي 479e) .

المجموعة الجزئية $G_1 \subset G$ من المجموعة G يمكن أن تكون نفسها زمرة و تدعى بزمرة جزئية و غالبا نقول اختصارا أن G أكبر من G_1 أو أن G زمرة ذات تناظر أعلى من G_1 .



الشكل 202 نقش تزييني إسباني – عربي من قصر الحاكم في إشبيلية

بالنسبة لبعض الأجزاء الملونة في الشكل 202 نحتاج لأربعة أجسام لنشكل تجاورا كاملا بينما بالنسبة لأشكال أخرى نحتاج لاثنين أو ربما واحد فقط كما في حال النجمة المركزية , بأخذ الكل فإن كل جارة لها (على الأقل) خواص تناظر لكل النظام .

بالتالي لدينا تحديين يجب حلهما . أولا ، نحتاج بإيجاد كل تناظرات الطبيعة . ثانيا ، في كل مغامرتنا ، نحتاج لتحديد التجاور الكامل لكل جزء من الطبيعة نراقبه . و فوق كل شيء نحن بحاجة لتحديد الجار لأصغر الأجزاء الموجودة في الطبيعة و هي الجسيمات الأولية .

- الجار هو مجموعة من الأجزاء أو العناصر التي تحول لبعضها البعض تحت كل تحويلات التناظر

التمثيلات

الرياضيات غالبا تدعو إلى التمثيلات التجاورية المجردة . بتحديد أي جار أو تمثيل الذي ينتمي له الجزء أو العنصر ، فإننا

نصف بأي طريقة يكون العنصر جزءا من كل الجملة . لنرى كيف يتحقق هذا التصنيف .

في اللغة الرياضية ، تحويلات التناظر غالبا توصف بالمصفوفات . مثلا في المستوي ، الانعكاس على طول أول قطر يمثل بمصفوفة

$$D(\text{refl}) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \qquad (81)$$

نظرا لأن كل نقطة (x, y) تصبح محولة إلى (y,x) عندما تضرب بالمصفوفة D(refl) . (تحدي e 482)

بالتالي من أجل تمثيل رياضي لزمرة تناظر G هو تخصيص لمصفوفة D(a) لكل عنصر زمرة a بحيث أن التمثيل لتسلسل عنصرين a & b هو جداء التمثيلات D للعناصر :

$$D(a \circ b) = D(a)D(b) . \qquad (82)$$

مثلا ، مصفوفة المعادلة (81) مع المصفوفات المقابلة من أجل كل عمليات التناظر الأخرى لها هذه الخاصة *

من أجل كل زمرة تناظر ، فإن بنية و تصنيف كل التمثيلات الممكنة هو عمل مهم . و هو يقبل تصنيف كل الجارات الممكنة التي يمكن أن يكون النظام مكونا منها .

بالتالي إذا فهمنا تصنيف كل الجارات و الأجزاء التي يمكن أن تظهر في الشكل 202 سوف نفهم أيضا كيف نصف كل الأجزاء الممكنة التي يمكن أن يكون مكون منها الجسم أو مثال الحركة . التمثيل D يعرف بالواحدي إذا كانت كل المصفوفات D(a) واحدية **.

---

*هناك بعض الشروط الواضحة و لكن المهمة الجانبية من أجل تمثيل : المصفوفات D(a) يجب أن تكون قابلة للقلب أو غير شاذة ، و أن عملية تحديد هوية G يجب أن تطابق لمصفوفة الواحدة . وحتى بلغة أكثر اختصارا يقول المرء أن التمثيل هو هومورفيزم من G في مجموعة المصفوفات القابلة للقلب (التي لها مقلوب) و غير الشاذة . المصفوفة D يكون لها مقلوب إذا كان معينها detD ليس صفرا .

بشكل عام تخطيط / مطابقة f من زمرة G لزمرة أخرى G' يحقق

$$f(a \circ_G b) = f(a) \circ_{G'} f(b) , \qquad (83)$$

المطابقة / التطبيق f يدعى بأنه هوموموروفيزم . الهوموموروفيزم f هو تطبيق واحد إلى واحد (متباين) و شامل (غامر) ويعرف بأنه إيزومورفيزم . إذا كان التثميل أيضا متباين ، يدعى بأنه موثوق ، صحيح أو أصلي .

بنفس الشكل إن مزيدا من البنى الرياضية الأكثر تعقيدا مثل الحلقات ، الحقول و الجبر التبديلي يمكن أيضا أن تمثل بأنواع مناسبة من المصفوفات . و التمثيل لحقب الأعداد العقدية سيعطى لاحقا . (مجلد IV ، صفحة 222) .

**المنقول A^T لمصفوفة يعرف عنصرا بعد آخر بالشكل $(A^T)_{lk} = A_{lk}$. المرافق العقدي *A لمصفوفة A يعرف بالشكل : $(A^*)_{lk} = (A_{lk})^*$.

المرافق $A^\dagger$ لمصفوفة A يعرف بالشكل $A^\dagger$ *(A^T) = .

تعرف المصفوفة بأنها متناظرة إذا كان $A^T = A$ ، متعامدة إذا كان $A^T = A^{-1}$ ، هرميتية أو مرافق ذاتية (الاثنين مرادفين للتطبيقات الفيزيائية) إذا كان $A^\dagger = A$ (المصفوفات الهرميتية لها قيم خاصة حقيقية) و واحدية إذا كان $A^\dagger = A^{-1}$.

المصفوفات الواحدية لها قيم خاصة من المعيار الأول . الضرب بواسطة مصفوفة واحدية هو تطبيق واحد إلى واحد نظرا لأن التطور الزمني للجمل الفيزيائية هو تطبيق من زمن لآخر ، فإن التطور دائما يوصف بواسطة مصفوفة واحدية .

المصفوفة اللامتناظرة أو المتناظرة بتفلطح تعرف بالشكل $A^T = -A$ و المصفوفة اللاهرميتية $A^\dagger = -A$

و المصفوفة اللاواحدية بالشكل $A^\dagger = -A^{-1}$. كل التطبيقات المقابلة هي واحد إلى واحد .

المصفوفة هي شاذة و تقابل تحويل شعاعي واحد إلى واحد إذ كان $\det A = 0$.

كل التمثيلات التي تظهر في الفيزياء ، مع حفنة قليلة من الاستثناءات ، هي واحدية : هذا المصطلح أكثر تقييدا نظرا لأنه يحدد أن التحويلات المقابلة هي واحد إلى واحد و لها مقلوب الذي يعني أن المراقب لا يرى أبدا أكثر أو أقل من مراقب آخر

من الواضح أن المراقب يمكن أن يتحدث لمراقب ثان ، الثاني يمكن أن يتحدث للأول . الواحدية هي خاصة طبيعية للتمثيلات في الجمل الطبيعية .

الخاصة المهمة النهائية للجارات ، أو التمثيل ، تتعلق ببنيتها . و إذا كانت الجارة يمكن أن ترى كجارات جزئية فإنها تدعى قابلة للإرجاع ، و إلا تكون غير قابلة للإرجاع / الاختصار و نفس الشيء يقال عن التمثيلات . إن التمثيلات غير القابلة للإرجاع من الواضح لا يمكن تفكيكها / تحليلها . مثلا (تقريبا تام) زمرة تناظر للشكل 202 التي تعرف عادة بـ D_4 لها ثمانية عناصر . لها التمثيل المصفوفي العام ، الموثوق ، الواحدي و غير القابل للإرجاع (تحدي 483e)

$$\begin{pmatrix} \cos n\pi/2 & -\sin n\pi/2 \\ \sin n\pi/2 & \cos n\pi/2 \end{pmatrix} n = 0..3, \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}. \quad (84)$$

التمثيل هو ثمانية . القائمة الكاملة للتمثيلات الممكنة القابلة للإرجاع للزمرة D_4 أيضا تشمل الواحدات ، الثنائيات و الرباعيات . هل يمكنك إيجادها كلها ؟. (تحدي 484e) . هذه التمثيلات تسمح بتصنيف كل الشرائط البيضاء و السوداء التي تظهر في الشكل و أيضا كل النقاط الملونة . العناصر الأكثر تناظرا هي الأحاديات ، و الأقل هي عناصر الرباعيات

والجملة الكاملة دائما تكون وحيدة أيضا . وبواسطة هذه المفاهيم نحن الآن جاهزون للحديث عن الحركة و الجمل المتحركة بدقة أفضل .

التناظرات و مفردات الحركة

كل يوم نعايش بأننا قادرين على الحديث مع بعضنا البعض عن الحركة . و يجب بالتالي أن يكون من الممكن إيجاد كمية ثابت تصفها . و نحن نعلم أن الفعل ، مقياس التغير . مثلا إشعال عود كبريت هو تغير . مقدرا التغير هو نفسه سواء تم إشعال عود الثقاب هنا أو هناك ، في هذا الاتجاه أو ذاك ، اليوم أو غدا . في الحقيقة الفعل (الغاليلي) هو عدد الذي قيمته نفسها من أجل كل مراقب ساكن ، بشكل مستقل عن جهته والوقت الذي قام به بالمراقبة و المقياس .

في حال النموذج العربي المبين في الشكل 202 فإن التناظر يسمح لنا باستنتاج قائمة بالجارات ، أو التمثيلات التي يمكن أن تكون عناصر بناء الشكل . و هذه الطريقة يجب أن تكون ممكنة من أجل الجملة المتحركة أيضا . الجدول 35 يبين كيفية ذلك . في حال النموذج العربي ، من نقاط النظر العديدة الممكنة ، نستنتج تصنيف الشرائط إلى وحيدات ، ثنائيات .. الخ

و من أجل جملة متحركة ، فإن عناصر البناء التي تقابل الشرائط هي القيم القابلة للقياس (الفيزيائية) . نظرا لأننا نراقب أن الطبيعة متناظرة تحت العديد من التغيرات المختلفة لنقطة النظر يمكننا تصنيف كل القيم القابلة للمراقبة .

للقيام بذلك ، نحن أولا بحاجة لأخذ قائمة بكل التحويلات لنقاط النظر و يعدها استنتاج قائمة بكل تمثيلاتها .

الجدول 35 التقابلات بين تناظرات التقش ، الزهرة و الحركة

الجملة	النموذج الإسباني – العربي	الزهرة	الحركة
البنية و العناصر	مجموعة شرائط و قطاعات	مجموعة بتلات	مسار الحركة و القيم القابلة للمراقبة

تناظر الجملة	تناظر النموذج	تناظر الزهرة	تناظر اللاغرانجيان
الوصف الرياضي لتناظر الزمرة	D_4	C_5	في النسبية الغاليلية: تغيرات الموضع ، التوجه و الزمن و السرعة
الثوابت	عدد عناصر الجارات	عدد البتلات	عدد الإحداثيات ، قيمة السليمات ، الأشعة و المؤثرات / تنسورات
تمثيلات العناصر	أنواع جارات العناصر	أنواع جارات المكونات	التنسورات ، التي تتضمن السلميات و الأشعة
التمثيل الأكثر تناظرا	الوحيدة	الجزء ذو التناظر الدائري	القيمة السلمية
التمثيل الموثوق الأبسط	رباعية	خماسية	شعاع
التمثيل الأقل تناظرا	الرباعية	الخماسية	لا يوجد حد (تنسور ذو مرتبة لا نهائية)

إن حياتنا اليومية تبين أن العالم يبقى بلا تغيير بعد التغير في الموضع ، التوجه و لحظة المراقبة . و يمكننا أيضا الحديث عن ثبات تحويل الفراغ ، ثبات الدوران و ثبات تحويل الزمن و هذه التحويلات هي مختلفة عن تلك العائدة للنموذج العربي من ناحيتين : هي مستمرة و غير مقيدة . وبالنتيجة إن تمثيلاتها عموما ستكون متحول مستمر و بدون قيود : ستكون مقادير أو كميات . بمعنى آخر :

- بسبب استمرارية تغير المرابة ، فإن المقادير القابلة للمراقبة يجب أن تتكون من أعداد (حقيقية)

بهذا الشكل لقد استنتجنا لماذا الأعداد ضرورية من أجل أي وصف للحركة .*

نظرا لأن المراقبين يمكن أن يختلفوا في التوجه ، فإن التمثيلات ستكون أجسام رياضية تمتلك اتجاه . و لاختصار القصة الطويلة ، فإن التناظر تحت التغير لموضع المراقبة ، التوجه أو اللحظة يؤدي إلى نتيجة أن كل القيم القابلة للمراقبة هي إما قيم سلمية ، أشعة أو تنسورات من مرتبة أعلى .

- القيمة السلمية هي كمية قابلة للمراقبة التي تبقى نفسها من أجل كل المراقبين

القيمة السلمية تقابل الوحيدة . و الأمثلة هي الكتلة أو التغير لجسم ، و المسافة بين نقطتين ، مسافة الأفق و العديد من الأشياء الأخرى .

---

*فقط القيم السلمية على عكس الأشعة و التنسورات من المرتبة الأعلى يمكن أيضا أن تكون كميات التي تأخذ فقط مجموعة متقطعة من القيم مثل 1+ أو 1- فقط . باختصار فقط القيم السلمية يمكن أن تكون كميات متقطعة قابلة للمراقبة / القياس (تحدي 485e)

**لاحقا ، ستضاف السبنسورات و سيتم إكمال هذه القائمة

القيم الممكنة للسلميات (عادة 9 هي مستمرة ، غير مقيدة و بدون اتجاه . الأمثلة الأخرى على القيم السلمية هي الكمون عند نقطة و درجة الحرارة عند نقطة . السرعة من الواضح أنها ليست سلمية ، و لا إحداثي نقطة . هل يمكنك إيجاد مزيد من الأمثلة و الأمثلة المعاكسة ؟ (تحدي 486s) .

الطاقة هي كمية محيرة قابلة للقياس . فهي قيمة سلمية إذا فقط اعتبرت تغيرات المكان و الجهة و لحظة المراقبة . و لكن الطاقة ليست سلمية إذا شملت تغيرات المراقب و السرعة . لا أحد قط بحث في تعميم الطاقة التي هي قيمة سلمية للمراقبين المتحركين فقط اكتشفها ألبرت أينشتاين بشكل كامل بالصدفة .

مزيد حول هذه القضية سنقصه قريبا (المجلد II ، صفحة 53)

- أي كمية التي لها قيمة و اتجاه وتبقى ثابتة بالنسبة للبيئة عندما تتغير نقطة النظر هي شعاع

مثلا السهم بين نقطتي ثابتتين على الأرض هو شعاع . إن طوله هو نفسه بالنسبة لكل المراقبين و اتجاهه يتغير من مراقب لآخر ، ولكن ليس بالنسبة للبيئة . من ناحية أخرى ، السهم بين الشجرة و المكان حيث يلامس قوس قزح الأرض ليس شعاعا نظرا لأن المكان لا يبقى ثابتا عندما يتغير المراقب .

الرياضيون يقولون بأن الأشعة كميات موجهة تبقى ثابتة تحت تحويلات الإحداثيات . سرعات الأجسام ، التسارعات و قوة الحل هي أمثلة على أشعة (هل تستطيع تأكيد هذا) ؟ (تحدي 487e) . طويلة شعاع هي قيمة سلمية . بالمناسبة النتيجة الشهيرة و المذهلة لتجارب القرن التاسع عشر هي أن سرعة حزمة الضوء ليست شعاع مثل سرعة سيارة حيث أن سرعة حزمة الضوء ليست شعاعا من أجل التحويلات الغاليلية * و هذا الغموض سيزول قريبا (مجلد II صفحة 15)

التنسورات هي أشعة عامة . كمثال لنأخذ عزم عطالة جسم . هو يحدد كمية الحركة الزاوية على السرعة الزواية (المرجع 214) . (صفحة 117) بالنسبة لأي جسم مضاعفة قيمة / طويلة السرعة الزاوية سيضاعف طويلة العزم الزاوي لكن الشعاعين ليسا متوازيين لبعضهما البعض إذا كان الجسم ليس كرة (الصفحة 164) . بشكل عام إذا كانت كميتين شعاعيتين متناسبتين و لكن بدون أن يكون الشعاعين موازيين لبعضهما البعض ، عندها فإن عامل التناسب هو تنسور (من المرتبة الثانية) . مثل كل عوامل التناسب ، التنسورات لها قيمة . بالإضافة لذلك التنسورات لها اتجاه و شكل و هي تصف الربط بين الأشعة التي ترتبط بها . تماما مثل أن الأشعة هي أبسط مقادير ذات قيمة و اتجاه فإن التنسورات هي أبسط كميات ذات مقادير و اتجاه و شكل أي الاتجاه يكون تابع لاتجاه ثان مختار . تماما كما يمكن عرض الأشعة كأسهم موجهة ، فإن التنسورات المتناظرة – لكن ليس غير المتناظرة – يمكن عرضها بشكل مجسمات قطعية موجهة ** هل يمكنك تسمية مثال آخر عن التنسور ؟ (تحدي 489s) .

--

التحويلات الغاليلية هي تغيرات لنقاط النظر من مراقب لآخر ، بالنسبة للأول . و التحويل الغاليلي هو مجرد مصطلح لما يحدث في الحياة اليومية ، حيث السرعات تضاف لبعضها و الزمن هو نفسه من أجل الجميع . و المصطلح أدخل في عام 1908 من قبل فيليب فرانك الذي استخدمه في الأغلب على عكس تحويل لورينتز الذي هو شائع في النسبية الخاصة .

**إن التنسور من المرتبة n هو عامل تناسب لتنسور من المرتبة 1أي شعاع و تنسور من المرتبة (n-1) و الأشعة و المقادير السلمية هي تنسورات من المرتبة 1 و صفر . و القيم السلمية يمكن تصويرها ككرات ، الأشعة كأسهم و التنسورات المتناظرة من المرتبة 2 هي مجسمات قطعية . و التنسور من المرتبة 2 العام غير المتناظر يمكن تقسيمه إلى

لنعد إلى وصف الحركة .يبين الجدول لنعد إلى وصف الحركة .يبين الجدول 35 أنه في الجمل الفيزيائية – مثل النقش الإسباني العربي – علينا دائما أن نميز بين تناظر كل اللاغرانجيان – المقابل لتناظر كل النقش – و تمثيل القيم القابلة للمراقبة – التي تقابل الشرائط الجارة . ونظرا لأن الفعل يجب أن يكون سلميا ونظرا لأن كل القيم القابلة للمراقبة يجب أن تكون تنسورات ،فإن اللاغرانجيانات تحتوي مجاميع ومضاريب للتنسورات فقط بتشكيلات تشكل قيم سلمية . اللاغرانجيانات بالتالي ستحتوي فقط جداءات القيم السلمية أو تعميمات لها . باختصار ، اللاغرانجيانات ستبدو مثل

$$L = \alpha\, a_i b^i + \beta\, c_{jk} d^{jk} + \gamma\, e_{lmn} f^{lmn} + \ldots \qquad (85)$$

حيث الأدلة المرتبطة بالمتحولات a , b ,c .. الخ دائما تأتي في أزواج مطابقة لكي تجمع معا . (بالتالي إشارات الجمع

عادة تسقط ببساطة) و الأحرف الإغريقية تمثل ثوابت . مثلا ، الفعل لجزيئة مادية حرة في الفيزياء الغاليلية أعطيت بالشكل :

$$S = \int L\,dt = \frac{m}{2}\int v^2\,dt \qquad (86)$$

الذي هو في الحقيقة الشكل الذي ذكر للتو . سوف نصادف العديد من الحالات الأخرى خلال دراستنا للحركة *

بشكل فريد إلى تنسور متناظر و غير متناظر . و التنسور من المرتبة 2 غير المتناظر يقابل شعاع قطبي . التنسورات من المراتب الأعلى تقابل أشكال أكثر فأكثر تعقيدا .

الشعاع يملك نفس الطول و الاتجاه لكل مراقب ، التنسور (من المرتبة الثانية) يملك نفس المعين ، نفس الأثر ، ونفس مجموع المعينات الجزئية القطرية لكل المراقبين .

الشعاع موزع رياضيا بواسطة قائمة من المركبات ، التنسور (من المرتبة الثانية) موصوف بواسطة مصفوفة من المركبات . مرتبة أو رتبة تنسور بالتالي تعطي عدد الأدلة التي يملكها المراقب . هل يمكنك بيان هذا ؟(تحدي 488 e)

*بالمناسبة ، القائمة المعتادة لنقاط المراقبة الممكنة و هي المواضع المختلفة ، لحظات المراقبة المختلفة ، التوجهات المختلفة ، و السرعات المختلفة – أيضا هل هي تكمل الفعل (86) ؟ لكن بشكل مدهش فإن الإجابة هي لا . عن احد الذين لاحظوا هذه الحقيقة كان نيديرر في عام 1972 ؟ (مرجع 215) بدراسة نظرية الكم للجزيئات النقطية ، فقد وجد أنه حتى الفعل لجزيئة نقطية حرة لغاليليو هو ثابت تحت بعض التحويلات الإضافية . إذا استخدم مراقبين الإحداثيات (t,x) و (τ,ξ) فإن الفعل (86) يكون ثابت تحت التحويلات (تحدي 490 ny) '

$$\xi = \frac{\boldsymbol{r}\boldsymbol{x} + \boldsymbol{x}_0 + \boldsymbol{v}t}{\gamma t + \delta} \quad \text{and} \quad \tau = \frac{\alpha t + \beta}{\gamma t + \delta} \quad \text{with} \quad \boldsymbol{r}^T\boldsymbol{r} = \mathbf{1} \quad \text{and} \quad \alpha\delta - \beta\gamma = 1\,. \qquad (87)$$

حيث r تصف الدوران من جهة مراقب للآخر , v السرعة بين المراقبين ، و x_0 الشعاع بين المبدأين في الزمن صفر . و هذه الزمرة تحتوي حالتين خاصتين مهمتين للتحويلات :

$$\text{The connected, static Galilei group } \xi = \boldsymbol{r}\boldsymbol{x} + \boldsymbol{x}_0 + \boldsymbol{v}t \quad \text{and} \quad \tau = t$$
$$\text{The transformation group SL(2,R) } \xi = \frac{\boldsymbol{x}}{\gamma t + \delta} \quad \text{and} \quad \tau = \frac{\alpha t + \beta}{\gamma t + \delta} \qquad (88)$$

الأخيرة ، زمرة ثلاثية البارمترات تشمل القلب الفراغي ، التوسعات ، التحويل الزمني و مجموعة من تحويلات تابعة للزمن مثل $\tau = 1/t$, $\xi = x/t$ و التي تعرف بالتمديدات . و التوسعات و التمديدات نادرا ما تذكر حيث أنها تناظرات لجزيئات نقطية فقط و لا تطبق على الأجسام العادية و الجمل . ولكن سوف يتبين أنها مهمة لاحقا.

لقد فهم غاليليو أن الحركة هي أيضا ثابت تحت تغير نقاط النظر ذات السرعات المختلفة . (صفحة 156) و لكن الفعل الذي أعطي لا يعكس هذا . و استغرق الأمر بعض السنوات ليجد التعميم الصحيح : يعطى بنظرية النسبية الخاصة و لكن قبل أن ندرسها نحتاج لإنهاء الموضوع الحالي .

التكرارية ، المصونية و نظرية نوثر

" سوف أترك كتلتي ، شحنتي و عزمي للعلم "

كتابة جدارية

إن تكرارية المراقبات أي التناظر تحت تغير لحظة الزمن ، و ثبات التحويل الزمني ، هي حالة مستقلة عن نقطة النظر (هي غير واضحة ، هل يمكنك إيجاد تمثيلاتها غير القابلة للإرجاع ؟) (تحدي 491 ny)

الربط له العديد من النتائج المهمة ولقد رأينا أن التناظر يقتضي الثبات . و ينتج أنه من أجل التناظرات المستمرة مثل تناظر تحويل الزمن ، هذه العبارة يجب أن تكون أكثر دقة .

- من أجل أي تناظر مستمر للانجرانجيان هناك ثابت مرتبط مصون للحركة و العكس بالعكس

الصيغة الدقيقة لهذا الربط هو نظرية إيمي نوثر * وقد وجدت النتيجة في عام 1915 عندما كانت تساعد ألبرت أينشتاين و ديفيد هيلبرت اللذين كانا معا يصارعان و يتنافسان لوضع النسبية العامة. لكن النتيجة تطبق على أي نوع لاغرانجيان (المرجع 216)

نوثر درست التناظرات المستمرة تبعا لبارامتر مستمر b . و تحويل نقطة النظر هو تناظر إذا كان الفعل S لا يعتمد على قيمة b . مثلا تغيير الموضع بالشكل :

$$x \mapsto x + b \qquad (89)$$

مما يجعل الفعل

$$S_0 = \int T(v) - U(x)\, dt \qquad (90)$$

ثابت ، نظرا لأن $S(b) = S_0$. هذا يقتضي أن :

$$\frac{\partial T}{\partial v} = p = \text{const}. \qquad (91)$$

باختصار ، التناظر تحت تغير الموضع يقتضي مصونية كمية الحركة . و العكس أيضا صحيح .

(تحدي 492 e) في حال التناظر تحت انزياح لحظة المراقبة نجد أن :

$$T + U = \text{const}. \qquad (92)$$

---

*إيمي نوثر (ولدت في إيرلنجن عام 1882 و توفيت في بيرن ماور عام 1935) وهي رياضية . و النظرية هي ناتج ثانوي لعملها الذي خصصته لنظرية الأعداد . و النظرية أيضا تطبق على تناظرات القياس ، حيث تنص على أن كل تناظر قياس يوافق هوية معادلة الحركة و العكس بالعكس .

بمعنى آخر ثبات التحويل الزمني يقتضي ثبات الطاقة . مرة ثانية العكس أيضا صحيح .

الكمية المصونة لتناظر مستمر تعرف ف بعض الأحيان بشحنة نوثر لأن مصطلح شحنة يستخدم في الفيزياء النظرية ليدل على القيم المقاسة الشاملة المصونة و هكذا الطاقة و كمية الحركة هي شحنات نوثر . " الشحنة الكهربائية " ، " شحنة الجاذبية " (أي الكتلة) و "الشحنة الطبولوجية " هي أمثلة شائعة أخرى .

ما هي الشحنة المحفوظة من أجل ثبات الدوران ؟ (التحدي 493s)

نلاحظ أن تعبير " الطاقة مصونة" له العديد من المعاني : أولا ، يعني أن الطاقة لجزيئة حرة وحيدة ثابتة مع الزمن و ثانيا يعني أن الطاقة الكلية لأي عدد من الجزيئات المستقلة هو ثابت . أخيرا يعني أن طاقة جملة جزيئات أي التي تتضمن تأثيرات بينية هي ثابتة مع الزمن . الاصطدامات هي أمثلة للحالة الأخيرة . و تجلي نظرية نوثر كل هذه النقاط في نفس الوقت حيث يمكن للمرء التحقق من ذلك باستخدام لاغرانجيانات مقابلة .(تحدي 494e) .

لكن نظرية نوثر أيضا توضح أو تكر العبارة الأقوى حتى : إذا لم تكن الطاقة مصونة ، فإن الزمن لا يمكن تحديده

و كل وصف الطبيعة يتطلب وجود مقادير مصونة ، كما لاحظنا عندما أدخلنا مفاهيم الجسم ، الحالة و البيئة (صفحة 27)

مثلا ، لقد عرفنا الأجسام على أنها أشياء دائمة ، أي أنها أشياء تتميز بكميات مصونة . و لقد رأينا أيضاأن إدخال الزمن ممكن فقط بسبب أن الطبيعة لا تملك مفاجآت . (صفحة 237) .

تصف نظرية نوثر تماما ما ستكون عليه مثل هذه المفاجأة : عدم مصونية الطاقة . لكن قفزات الطاقة لم تلحظ أبدا و لا حتى في المستوى الكمي .

نظرا لأن التناظرات هي مهمة جدل لوصف الطبيعة يعطي الجدول 36 عرضا لكل التناظرات في الطبيعة التي سنصادفها . و إن الخواص الأساسية لها أيضا واردة . ما عدا ما هو محدد بأنه تقريبي فإن الدليل التجريبيي لعدم صحة أي منها سيكون مفاجأة كبيرة حقا و يضمن شهرة خالدة .

توجد توقعات عديدة حول تناظرات إضافية ، حتى الآن هذه التصورات و البحوث من أجل مزيد من الشهرة تبين أنها خاطئة . و قائمة التناظرات هي أيضا قائمة كاملة للتعابير الكونية أي عبارات حول كل القياسات / المراقبات التي يجريها العلماء . مثلا عندما يقال أن كل الحجارة تسقط فإن هذه العبارة تقتضي وجود ثبات تحويل الزمن و الفراغ . بالنسبة للفلاسفة المهتمين بالاستقراء المنطقي القائمة بالتالي مهمة أيضا من وجهة النظر هذه .

الجدول 36 التناظرات المعروفة في الطبيعة ، مع خواصها وأيضا قائمة كاملة بالاستقراءات المنطقية المستخدمة في الفيزياء

التناظر	**نوع (عدد البارامترات)**	**فضاء الفعل**	**طبولوجيا الزمرة**	**التمثيلات الممكنة**	**الكمية المصونة / الشحنة**	**الخلاء / المادة هي متناظرة**	**التأثير الأساسي**
تناظرات هندسية أو فراغ –زمن ، خارجية							
تحويل الزمن و الفراغ	$R \times R^3$ (أربع بارمترات)	الفراغ ، الزمن	غير مضغوطة	مقادير سلمية ، أشعة	كمية الحركة و الطاقة	نعم / نعم	مسموحة كل يوم

الجدول 36 (تابع) التناظرات المعروفة في الطبيعة ، مع خواصها وأيضا قائمة كاملة بالاستقراءات المنطقية المستخدمة في الفيزياء

التناظر	**نوع (عدد البارامترات)**	**فضاء الفعل**	**طبولوجيا الزمرة**	**التمثيلات الممكنة**	**الكمية المصونة / الشحنة**	**الخلاء / المادة هي متناظرة**	**التأثير الأساسي**
الدوران	$SO(3)$ ثلاثة بارامترات	الفراغ	S^2	تنسورات	كمية الحركة الزاوية	نعم / نعم	الاتصال

رفع / تضخيم غاليلي	R^3 ثلاثة بارامترات	الفراغ ، الزمن	غير مضغوطة	مقادير سلمية ، أشعة ، تنسورات	سرعة مركز الكتلة	نعم / من أجل السرعات المنخفضة	نسبية الحركة
لورينتس	التوضع المتجانس SO(3.1) ، 6 بارامترات	الفراغ ، الزمن	غير مضغوطة	تنسورات سبنسورات	الطاقة ، كمية الحركة $T^{\mu\nu}$	نعم / نعم	سرعة الضوء الثابتة
ISL بوانكريه(2,2) C)	الوضع غير المتجانس (10 بارامترات)	الفراغ ، الزمن	غير مضغوطة	تنسورات سبنسورات	الطاقة ، كمية الحركة $T^{\mu\nu}$	نعم / نعم	
ثبات التمدد	R^+ / بارامتر واحد	الفراغ ، الزمن	شعاع	تسلسل ذو n بعد	لايوجد	نعم / لا	جزيئات عديمة الكتلة
ثبات التطابق الخاص	R^4 / أربعة بارامترات	الفراغ ، الزمن	R^4	تسلسل ذو n بعد	لايوجد	نعم / لا	جزيئات عديمة الكتلة
ثبات تطابقي	15 بارامتر	الفراغ ، الزمن	متضمن	تنسورات عديمة الكتلة ، سبنسورات	لايوجد	نعم / لا	ثبات المخروط الضوئي
التناظرات الديناميكية التابعة للأثر المتبادل : الجاذبية							
جاذبية $1/r^2$	SO(4) 16 بارامتر	فضاء التشكيل	بشكل SO(4)	زوج أشعة	اتجاه حضيض الشمس	نعم / نعم	المدارات المغلقة
ثبات الفيومورفيزم الثنائي	بارامترات لانهائية	الفضاء – الزمن	متضمن	الفضاء – الزمن	الطاقة – كمية الحركة المحلية	نعم / لا	انزياح الحضيض الشمسي
التناظرات الحركة الديناميكية ، الكلاسيكية ، الكوانتية- الميكانيكية							
انقلاب التماثل / التكافؤ المتقطعة (الفراغي) P	متقطع	فضاء هيلبرت أو الطور	متقطع	زوجي ، فردي	تماثل / تكافؤ P	نعم / لا	وجود العالم المرآتي
انقلاب الحركة المتقطعة (الزمن) T	متقطع	فضاء هيلبرت أو الطور	متقطع	زوجي ، فردي	تماثل / تكافؤ T	نعم / لا	قابلية الانقلاب / الانعكاس

الجدول 36 (تابع) التناظرات المعروفة في الطبيعة ، مع خواصها وأيضا قائمة كاملة بالاستقراءات المنطقية المستخدمة في الفيزياء

التناظر	نوع (عدد البارامترات)	فضاء الفعل	طبولوجيا الزمرة	التمثيلات الممكنة	الكمية المصونة / الشحنة	الخلاء / المادة هي متناظرة	التأثير الأساسي
اقتران الشحنة C	عام ، مضاد للخطية و الهرميتية	فضاء هيلبرت أو الطور	متقطع	زوجي ، فردي	إنجابية C	نعم / لا	وجود الجزيئات المضادة
CPT	متقطعة	فضاء هيلبرت أو الطور	متقطع	زوجي	إنجابية CPT	نعم / نعم	يجعل نظرية الحقول ممكنة
التناظرات الحركة الديناميكية ، للقياس ، التابعة لتبادل التأثير							
ثبات قياس الكلاسيكي الكهرطيسي	لا نهاية من البارامترات	فضاء الحقول	غير مهم	غير مهم	الشحنة الكهربائية	نعم / نعم	الضوء عديم الكتلة
ثبات قياس الكلاسيكي الكهرطيسي كولون .متر	وضعية آبلية U(1) ، بارامتر واحد	فضاء هيلبرت	دائرة S^1	حقول	الشحنة الكهربائية	نعم / نعم	الفوتون عديم الكتلة
الازدواجية الكهرطيسية	وضعية آبلية U(1) ، بارامتر واحد	فضاء هيلبرت	دائرة S^2	مجرد	مجرد	نعم / لا	لا يوجد
قياس ضعيف	وضعية غير آبلية SU(2) ، ثلاث بارامترت	فضاء هيلبرت	SU(3)	جسيمات	شحنة ضعيفة	لا / تقريبي	
قياس اللون	وضعية غير آبلية SU(2) ، ثمانية بارامترت	فضاء هيلبرت	SU(3)	كواركات ملونة	اللون	نعم / نعم	الغلونات عديمة الكتلة
تناظر عدم التناظر المرآتي	متقطع	فيرميونات	متقطع	يسار ، يمين	الفتل	تقريبا	فرميونات عديمة الكتلة
تناظرات تبادلية							
تبادل الجسيمات	متقطع	فضاء فوك ..الخ	متقطع	فرميونات و بوزونات	لا يوجد	غير متوفر / نعم	تناقض جيبس

من أجل تفاصيل عن الارتباط بين التناظر و المقدمة ، أنظر لاحقا (مجلد III ، صفحة 246) . الشرح للمصطلحات في الجدول سيكتمل في بقية المسيرة . و الأعداد الحقيقية معرفة بشكل R .

a فقط تقريبي ، عديم الكتلة يعني أن $m << m_{pl}$ أي أن $m << 22\mu g$.

انقلاب التماثل و عكس الحركة

التناظرات إذا شمل الجدول 36 اثنين ما يعرف بالتناظرات المتقطعة المهمة من أجل مناقشة الحركة .

أول تناظر هو ثبات التماثل / التكافؤ للأجسام أو العمليات تحت الانقلاب الفراغي .

التناظر أيضا يعرف بالثبات المرآتي أو تناظر يمين – يسار . و كل من الأجسام و العمليات يمكن أن تكون متناظرة مرآتيا . القفاز الوحيد أو المقص ليست متناظرة مرآتيا . كم المسافة التي يمكنك بها رمي حجر بيدك الأخرى ؟ أكثر الناس لديهم يد مفضلة ، و الفروقات هي كبيرة تماما . هل الطبيعة لديها مثل هاذ التفضيل ؟ في الحياة اليومية الجواب واضح : كل شيء يوجد أو يحدث بطريقة يمكن أن يوجد أو يحدث بها بالطريقة المرآتية / المعكوسة له .

الكثير من التجارب الدقيقة اختبرت الثبات المرآتي و هي تبين أن :

- كل عملية ناتجة عن الجاذبية ، الكهرباء أو المغناطيسية يمكن أيضا أن تحدث بطريقة معكوسة / مرآتية

ليس هناك استثناءات . مثلا هناك أناس قلبهم في الطرق الأيمن ، هناك حلزون ذو غلاف ملفوف باتجاه اليسار ، و هناك كواكب التي تدور بشكل مخالف .

علم الفلك و الحياة اليومية التي يحكمها الجاذبية و العمليات الكهرطيسية – هي ثابتة مرآتيا . و نحن أيضا نقول إن الجاذبية و الكهرطيسية هي ثابتة متكافئة . لاحقا سنكتشف أن عمليات نادرة معينة ليست ناتجة عن الجاذبية أو الكهرطيسية و لكن عن التأثيرات المتبادلة النووية الضعيفة ، و هي تخالف التماثل / التكافؤ (مجلد V ، صفحة 245) .

التناظر المرآتي له تمثيلين : " + أو أحادية " مثل الأجسام ذات التناظر المرآتي و " – أو ثنائية " مثل الأجسام ذات الجهة المفضلة . بسبب التناظر المرآتي فإن الكميات السلمية يمكن بالتالي أن تقسم إلى قيم سلمية حقيقية مثل درجة الحرارة ، و القيم السليمة الزائفة مثل الفيض المغناطيسي أو الشحنة المغناطيسية , القيم السلمية الحقيقية لا تغير إشارتها تحت الانعكاس المرآتي بينما السلميات الزائفة تفعل ذلك . و بنفس الشكل فإن المرء يميز الأشعة الحقيقية أو الأشعة القطبية مثل السرعة عن الأشعة الزائفة ، أو المحورية مثل السرعة الزاوية ، كمية الحركة الزاوية ، العزم ، الدوامية و الحقل المغناطيسي (هل يمكنك إيجاد مثال عن تنسور زائف ؟) (تحدي 495 ny) .

التناظر المتقطع الآخر هو انعكاس الحركة . في بعض الأحيان يعرف بشكل خاطئ ، بانعكاس الزمن . هل يمكن للظواهر أن تحدث بشكل معكوس ؟ هل أثر الحركة المعكوسة هو خارج الحركة الأمامية ؟ هذا السؤال ليس سهلا . بدراسة الحركة بسبب الجاذبية يبين أن مثل هذه الحركة يمكن دائما أن تحدث أيضا في الاتجاه المعاكس . (أيضا من أجل انعكاس الحركة فإن القيم القابلة للقياس تنتمي إما إلى التمثيل + أو -) و في حال الحركة الناتجة عن الكهربائية و المغناطيسية مثل سلوك الذرات في الغازات ، الأجسام الصلبة و السوائل ، فإن السؤال يكون أكثر مضمونا . هل يمكن للأجسام المكسورة أن تجبر ؟ سنناقش القضية في فقرة الترموديناميك و لكننا سنصل إلى نفس النتيجة بالرغم من ظاهرية العكس :

- كل حركة ناتجة عن الجاذبية ، الكهرباء أو المغناطيسية أيضا تحدث في الاتجاه المعاكس

انعكاس الحركة هو تناظر من أجل كل العمليات الناتجة عن الجاذبية و التأثير الكهرطيسي المتبادل

إن الحركة اليومية قابلة للانعكاس . ومرة ثانية بالتأكيد بعض العمليات النووية الأندر ستعطي استثناءات

تناظرات التأثير المتبادل

في الطبيعة عندما نراقب جملة فإنه يمكننا غالبا إهمال البيئة . و العديد من العمليات تحدث بشكل مستقل عما يحدث حولنا . و الاستقلالية هي تناظر الفيزياء .

بمعرفة استقلالية المراقبات من التفاصيل التي تحدث في البيئة ، يمكننا استنتاج أن التأثيرات المتبادلة بين الجمل و البيئة تتناقص مع المسافة . و بشكل خاص نستنتج أن التجاذب الجاذبي ، التجاذب الكهربائي و التنافر و أيضا التجاذب المغناطيسي و التنافر يجب أن يتلاشى بالنسبة للأجسام البعيدة . هل يمكن أن تثبت هذا ؟ (تحدي 496e)

تناظر القياس هو أيضا تناظر للتأثير المتبادل وسوف نصادفها في دراستنا لفيزياء الكم . و من ناحية هذه التناظرات هي حالات أكثر تحديدا من التناقص العام للتأثيرات المتبادلة مع المسافة

فضول و تحديات حول التناظر

التناظر اليميني – اليساري هو خاصة مهمة في الحياة اليومية ، مثلا البشر يفضلون الوجوه ذات الدرجة العالية من لتناظر الأيمن – الأيسر . البشر أيضا يفضلون أن الأجسام على الجدران لها أشكال متناظرة يمنى – يسرى . و بدورها فإن العين و الدماغ لها كواشف تناظر داخلية . وهي تكشف الانحرافات عن التناظر الأمين – الأيسر المثالي

* *

ما هو المسار الذي تتبعه أربعة سلاحف تبدأ من أربعة زوايا لمربع إذا كان كل منها يسير باستمرار ، بسرعة ثابتة باتجاه الزاوية التالية ؟ كم طول المسافة التي تقطعها ؟ (تحدي 497s)

* *

ما هو تناظر تذبذب بسيط ؟ و موجة بسيطة ؟ (تحدي 498s)

* *

من أجل أي جمل يكون عكس الحركة تحويل تناظر ؟ (تحدي 499s)

* *

ما هو تناظر الدوران المستمر ؟ (تحدي 500s)

* *

كرة لها تنسور من أجل عزم العطالة قطري ذو ثلاثة أرقام متساوية . نفس الشيء صحيح بالنسبة لمكعب . هل يمكنك تمييز الكرات و المكعبات بواسطة سلوك دورانها ؟ (تحدي 501s)

* *

هل هناك حركة في الطبيعة التي تناظرها تام ؟ (تحدي 502s)

* *

هل يمكنك أن تبين أن الأجسام ثنائية البعد المنتهية يمكن فقط أن يكون لها تناظر دوران و انعكاس ، على عكس الأجسام اللانهائية ، التي يمكن أن يكون لها تناظر انسحابي / انتقالي و انعكاس – انزلاقي ؟ هل يمكنك إثبات أنه من أجل الأجسام المنتهية في بعدين ، إذا لم يكن هناك تناظر موجود ، يكون هناك فقط تناظر انعكاسي ؟ و أن كل الدورانات الممكنة هي دائما تكون حول نفس المركز ؟ هل يمكنك استنتاج من هذا أنه على الأقل تكون نقطة واحدة بلا تغيير في كل الأجسام ثنائية البعد المتناظرة المنتهية ؟ (تحدي 503e)

* *

ما هو الجسم اليومي ، الشائع في القرن العشرين الذي له تناظر سباعي الأبعاد ؟ (تحدي 504s)

* *

هاهنا أحجية صغيرة حول عدم وجود / نقص التناظر . المثلث الحاد العام يعرف بأنه مثلث الذي تختلف زواياه عن القائمة و عن بعضها البعض على الأقل بمقدار 15 درجة .

بيّن أن هناك فقط مثلث واحد عام بهذا الشكل و أوجد زواياه ؟ (تحدي 505e)

* *

هل يمكنك أن تبين أنه في الأجسام المنتهية ثلاثية الأبعاد يمكن أن يكون هناك فقط تناظر دوراني ، انعكاسي ، انقلاب، وانقلاب دوار ، على عكس الأجسام غير المنتهية التي يمكن أن يكون لها أيضا تناظر انتقالي ، انعكاس – انزلاقي و دوران لولبي ؟ هل يمكنك إثبات أنه من أجل الأجسام المنتهية في ثلاثة أبعاد ، إذا لم يكن هناك تناظر دوراني موجود ، يكون

هناك فقط مستوي انعكاسي واحد ؟ و أن كل الانقلابات أو الدورانات للمركز يجب أن تقع على محور الدوران أو على مستوي الانعكاس ؟ هل يمكنك استنتاج من هذا أن على الأقل نقطة واحدة لا تتغير في كل الأجسام المنتهية المتناظرة ثلاثية الأبعاد ؟ (تحدي 506e)

* *

ملخص حول التناظر

التناظر هو ثبوت التغير . و أبسط تناظرات هي الهندسية : تناظرات النقطة للأزهار أو التناظرات الانتقالية للبلورات اللانهائية هي أمثلة . كل التغيرات الممكنة التي تترك النظام ثابتا أي كل التحويلات الممكنة للتناظر لجملة - تشكل زمرة رياضية . و بعيدا عن زمر التناظر الهندسي ، فإن العديد من زمر التناظر الإضافية تظهر من أجل الحركة نفسها .

الحركة هي عامة . أي تعبير للعمومية يقتضي تناظرا. و إن تكرار و قابلية التوقع للطبيعة يقتضي عددا من التناظرات الأساسية المستمرة

نظرا لأننا يمكن أن نتحدث عن الطبيعة يمكننا استنتاج أنه فوق كل شيء ، الطبيعة متناظرة تحت انتقالات الزمن و الفراغ و الدورانات . إن تناظرات الفراغ – الزمن تشكل زمرة . بشكل أكثر دقة هي تشكل زمرة تناظر مستمرة .

من التناظرات المستمرة للطبيعة باستخدام نظرية نوثر يمكننا استنتاج الشحنات المصونة . وهي الطاقة ، كمية الحركة الخطية و كمية الحركة الزاوية ، و هي توصف بواسطة أعداد حقيقية . و بمعنى آخر فإن تعريف الكتلة ، الفراغ ، و الزمن معا مع خواصها التناظرية مكافئ لمصونية الطاقة و العزوم . المصونية و التناظر هما طريقتان للتعبير عن نفس خاصية الطبيعة . لتبسيط ذلك ، إن مقدرتنا للحديث عن الطبيعة يعني أن الطاقة، كمية الحركة الخطية و كمية الحركة الزاوية تكون مصونة و توصف بأعداد

إضافة لذلك ، هناك تناظرين أساسيين متقطعين حول الحركة : الأول المراقبات اليومية وجد أنها متناظرة مرآتيا ، ثانيا العديد من أمثلة الحركة البسيطة وجد أنها متناظرة تحت انعكاس الحركة .

أخيرا قابلية عزل الجمل عن محيطها يقتضي أن التأثيرات المتبادلة يجب ألا يكون لها تأثير على مسافات كبيرة . القائمة الكاملة بالتناظرات أيضا تشمل تناظر القياس ، تناظر تبادل الجسيمات و تناظرات خلائية معينة

كل نواحي الحركة ، مثل كل المركبات لجملة متناظرة يمكن تصنيفها حسب سلوكها التناظري أي حسب الجارات أو التمثيل الذي تنتمي إليه . و بالنتيجة المقادير القابلة للمراقبة هي إما سلمية ، أشعة ، سبنسورات أو تنسورات

إن الطريقة المثمرة لصياغة النماذج و قوانين الطبيعة وهي اللاغرانجيان لجملة فيزيائية – كانت موضع بحث لمجموعة كاملة من التناظرات أولا . مثلا ، هذا كان مساعدا من أجل التذبذبات ، الأمواج ، فيزياء الكم و إلكترودينامك الكم .

وسوف نستخدم الطريقة في كل مسيرتنا ، في الجزء الماضي من المغامرة سوف نكتشف بعض التناظرات التي هي حتى مربكة للدماغ أكثر من تلك العائدة للنسبية و للتأثيرات المتبادلة . في الفقرة التالية ، سوف ننتقل لطريقة تالية من أجل الوصف الشامل للحركة .

الفصل العاشر

الحركات البسيطة للأجسام الممتدة – التذبذبات و الأمواج

إن مراقبة التغير هو ناحية أساسية للطبيعة . من بين كل هذه المراقبات فإن التغير الدوري هو الأكثر تكرار حولنا

في الحقيقة في كل الحياة اليومية يمكن ملاحظة التذبذبات و الأمواج : المشي ، الغناء ، السماع و الرؤية ستكون مستحيلة بدونها

إن استكشاف التذبذب و الأمواج سيكون الطريقة العامة التالية لدراسة الحركة في مغامرتنا و ستكون مفيدة و جميلة

التذبذبات

صفحة 247 : التذبذبات هي تغيرات متكررة أي دورية أونوبية . و قد عرفنا أعلاه الفعل و بالتالي التغير ، بأنه تكامل اللاغرانجيان و قد عرفنا اللاغرانجيان بأنه الفرق بين الطاقة الحركية و الكامنة . كل جمل التذبذب تغير دوريا نوع من الطاقة للآخر . أحد أبسط جمل التذبذب في الطبيعة هي كتلة متصلة بنابض (خطي) . لاغرانجيان موضع الكتلة x يعطى بالشكل :

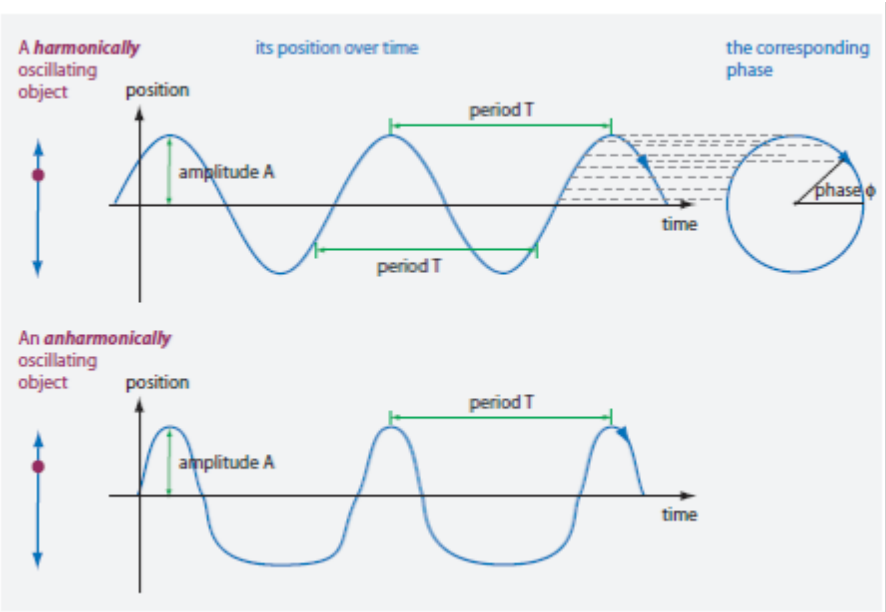
$$L = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}kx^2 , \qquad (93)$$

حيث k كمية تميز النابض ، تعرف بثابت النابض . إن اللاغرانجيان ابتكره روبرت هوك في القرن السابع عشر . هل تستطيع إثبات العلاقة ؟ تحدي e 507 .

الحركة التي تنتج من اللاغرانجيان هي دورية ، و موضحة في الشكل 203 . و اللاغرانجيان (93) يصف بالتالي تذبذب طول نابض مع الزمن . و الحركة هي تماما نفس حركة نواس طويل بمطال صغير . و الحركة تعرف بالحركة التوافقية لأن جسما يهتز بسرعة بهذا الشكل ينتج صوتا نقيا – أو توافقيا – موسيقيا . (الأداة الموسيقية التي تنتج أنقي أمواج توافقية هي الفلوت العرضاني) و هذه الأداة تعطي بالتالي أفضل فكرة عن الأصوات للحركة التوافقية) .

إن مخطط الاهتزاز التوافقي أيضا يعرف بالاهتزاز الخطي المبين في الشكل 203 يعرف بالمنحني الجيبي / منحني الجيب و يمكن أن ينظر إليه على أنه وحدة البناء الأساسية لكل الاهتزازات . و كل الاهتزازات اللاتوافقية الأخرى في الطبيعة يمكن تحليلها و تكوينها من التوافقية أي من منحنيات الجيب (المرجع 291) كما سنرى قريبا . أي كمية x(t) التي تهتز توافقيا تكون موصوفة بمطالها A و ترددها الزاوي ω و طورها φ :

$$x(t) = A\sin(\omega t + \varphi) . \qquad (94)$$



الشكل 203 الأعلى : أبسط اهتزاز ، الاهتزاز الخطي أو التوافقي : كيف يتغير الموضع مع الزمن و كيف يرتبط بالدوران . الأسفل : مثال عن اهتزاز غير توافقي

المطال و الطور يعتمدان على الطريقة التي يبدأ بها الاهتزاز . و على العكس فإن التردد الزاوي ω هو خاصة ضمنية للجملة . هل يمكنك أن تبين بالنسبة للكتلة المرتبطة بنابض ، أن لدينا $\omega = 2\pi f = 2\pi/T = \sqrt{k/m}$ ؟

كل اهتزاز توافقي بنفس المطال يوصف بالتالي بواسطة ثلاثة مقادير : المطال ، الدور (مقلوب التردد) و الطور . الطور موضح في الشكل 205 ، يميز اهتزازات نفس المطال و الدور T و الطور يعرّف عند أي زمن تبدأ الاهتزازات .

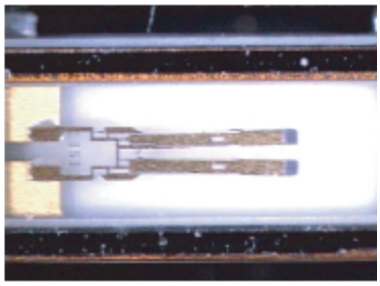
بعض ترددات الاهتزاز الملحوظة واردة في الجدول 37 . يبين الشكل 203 كيف يرتبط الاهتزاز التوافقي بدوران تخيلي . وبالنتيجة ، الطور يوصف بشكل أفضل بواسطة قيمة زاوية بين 2π & 0 .

التخامد

كل حركة اهتزازية تحول باستمرار الطاقة الحركية إلى طاقة كامنة و العكس بالعكس . هذه هي حالة المد والجزر ، النواس ، أو أي مستقبل راديو . و لكن العديد من الاهتزازات تتلاشى مع الزمن : حيث تتخامد . الجمل ذات التخامد الكبير ، مثل ماصات الصدمات في السيارات تستخدم لتجنب الاهتزازات . الجمل ذات التخامد الصغير مفيدة من أجل صنع ساعات دقيقة و طويلة العمر . و أبسط قياس للتخامد هو عدد الاهتزازات التي تعملها الجملة لتخفيض مطالها إلى $1/e \approx 1/2.718$ مرة من قيمتها الأصلية . و هذا العدد المميز يعرف بالعامل Q ، و سمي اختصارا لعامل الجودة . و إن عامل الجودة المنخفض هو 1 أو أقل و العامل ذو القيمة الجيدة هو 100 000 أو أكثر . (هل يمكنك أن تكتب لاغرانجيان بسيط من أجل الاهتزاز المخمد ذو عامل جودة Q معين ؟ (تحدي 509 ny) . في الطبيعة الاهتزازات المتخامدة لا تحافظ عادة على تردد ثابت ، لكن من أجل النواس البسيط هذا يبقي على حالة الدرجة العالية من الدقة .

الجدول 37 بعض قيم تردد الصوت التي توجد في الطبيعة

القياس	التردد
ترددات الصوت في غاز الصادرة عن الثقوب السوداء	تقريبا 1 Hz
الدقة في ترددات الاهتزاز المقاسة للشمس	حتى 2 nHz
ترددات الاهتزاز للشمس	حتى 300 nHz
ترددات الاهتزاز التي تؤثر على كشف الإشعاع الثقالي / الجاذبية	حتى 3 µHz
أخض تردد اهتزاز للأرض ، المرجع 217	309 µHz
تردد الرنين / التجاوب للمعدة و الأعضاء الداخلية (التي تعطي صوت البطن المعروف)	1ß10 Hz
موسيقى التيمبو المعروفة	2 Hz
التردد المستخدم للاتصال من قبل سمك الضراط	تقريبا 10 Hz
الصوت الناتج عن مجموعات السماعات (الهورن ، الكهرمغناطيسي ، الكهرانضغاطي ، الإلكتريت ، البلازما ، الليزر)	18 Hzإلى أعلى من 150 kHz
الصوت المسموع من قبل البشر الشباب	20 Hz – 20 kHz
همهمة الأجهزة الكهربائية ، تبعا للبلد	50 أو 60 Hz
تردد الصوت الأساسي للشخص البالغ المتحدث الذكر	80 Hz – 180 kHz
تردد الصوت الأساسي للشخص البالغ المتحدث الأنثى	165 Hz – 255 kHz
القيمة الرسمية ، أو النبرة المعيارية ، للنوطة الموسيقية 'A' أو 'la' وفق ISO 16 (و لإشارة خط الهاتف في العديد من البلدان)	440 Hz
القيم الشائعة للنوطة الموسيقية 'A' أو 'la' المستخدمة من قبل الأوركسترا	442 -451 Hz
خفقة جناح الحشرات الطائرة الأصغر ما يكون	تقريبا 1000 Hz
تردد الصوت الأساسي الناتج عن ريش العصافير ذات الأجنحة ، Machaeropterus deliciosus	1 – 1.5 kHz
تردد الصوت الأساسي للكريكيت	2 kHz – 9 kHz
ترددات الهزاز البلوري	20 Hz – 350 MHz
السونار المستخدم من قبل الخفافيش	حتى 100 kHz
السونار المستخدم من قبل الدلافين	حتى 150 kHz
تردد الصوت المستخدم في التصوير بالأمواج فوق الصوتية	2-20 MHz
ترددات الفونون (الصوتية) المقايسة في بلورات وحيدة	حتى 20 THz و أعلى



الشكل 204 داخل هزاز كوارتز تجاري ، بحجم بضع مليمترات ، يقاد عند مطال عالي

سبب ذلك هو أنه بالنسبة للنواس فإن التردد لا يعتمد بشكل كبير على المطال (طالما أن المطال أصغر من حوالي عشرين درجة) . وهذا هو أحد أسباب لماذا تستخدم النواسات كهزازات في الساعات الميكانيكية .

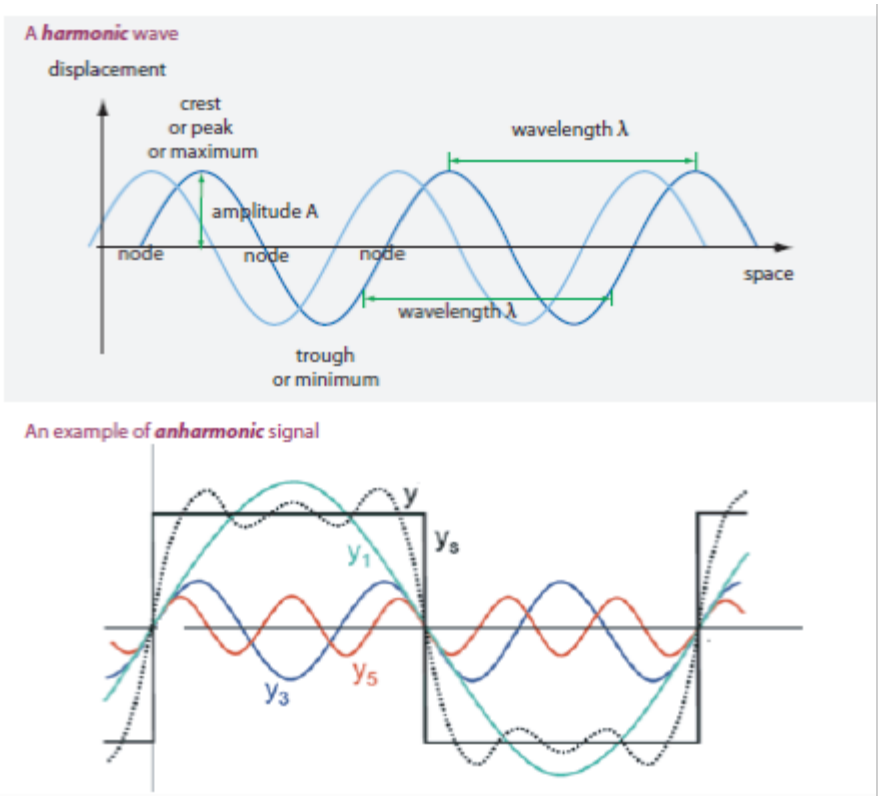
من الواضح أنه بالنسبة للساعة الجيدة فإن اهتزاز القيادة يجب ألا يبدي فقط تخامد صغير و لكن أيضا مستقل عن درجة الحرارة و غير حساس للتأثيرات الخارجية الأخرى . و التطور المهم في القرن العشرين كان إدخال بلورات الكوارتز كهزازات . و الكوارتزات الفنية هي بلورات من حجم بضع حبيبات من الرمل و يمكن أن تهتز بتطبيق إشارة كهربائية عليها .و هي تملك تبعية قليلة جدا لدرجة الحرارة و عامل جودة Q عالي ، وبالتالي استهلاك طاقة منخفض بحيث أن الساعات الدقيقة يمكن أن تعمل الآن على بطاريات صغيرة . داخل هزاز الكوارتز مبين في الشكل 204 .

الرنين / التجاوب (الطنين)

في أكثر الجمل الفيزيائية التي تهتز بواسطة مصدر خارجي ، فإن المطال الناتج يعتمد على التردد . و الترددات المختارة التي يكون من أجلها المطال أعظميا تدعى بترددات الرنين أو ببساطة الرنين . مثلا هزاز كوارتز في الشكل 204 ، أو ترددات الاهتزاز العادية لأوتار الغيتار أو الأجراس مبينة في الشكل 206 – هي ترددات رنين .

عادة الاهتزازات التي ستهتز عندها الجملة عندما تقدح بواسطة ضربة بسيطة ستحدث عند تردد الرنين . و أكثر الآلات الموسيقية هي أمثلة على ذلك . تقريبا كل الجمل لها العديد من ترددات الرنين ، الفلوت ، الأوتار والأجراس هي أمثلة معروفة جيدا .

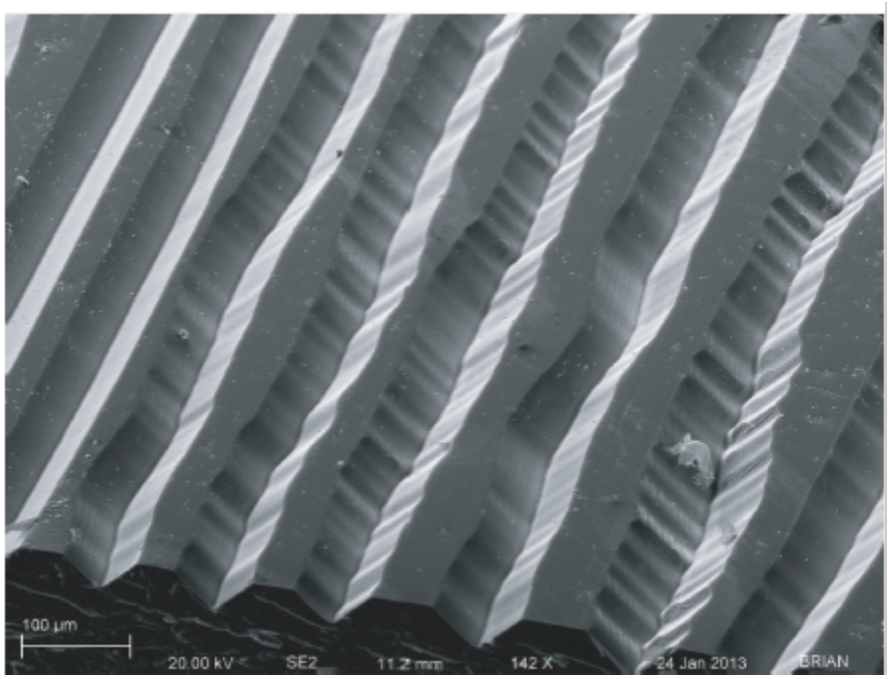
على عكس الموسيقى أو الإلكترونيات في العديد من الحالات الأخرى يجب تجنب الرنين . في الأبنية ، الزلازل ، يمكن أن تقدح رنين / تجاوبات في الجسور ، الريح يمكن أن تقدح اهتزازات تجاوب ، بشكل مشابه في العديد من تجاوبات الآلات يجب تخميدها أو كتمها من أجل تجنب المطال الكبير للتجاوب الذي يخرب الجملة . و في السيارات الحديثة عالية الجودة ، فإن تجاوبات كل قطعة و كل بنية يتم حسابها و إذا كان ضروريا تضبط بحيث أنه لا يتشكل أي اهتزازات مزعجة للسائق أو الركاب .



الشكل 205 الخواص الرئيسية لموجة توافقية ، أو موجة جيبية . الأسفل : الإشارة الدورية العامة أو الموجة اللاتوافقية – هنا موجة مربعة سوداء – يمكن أن تحلل بشكل فريد إلى أبسط أمواج أو أمواج توافقية . أول ثلاثة مركبات (الأخضر ، الأزرق و الأحمر) و أيضا مجموعها الوسيط / المتوسط (الخط المتقطع الأسود) مبينة . و هذا يعرف بتحليل فورييه و الطريقة العامة له هو تحليل فورييه الرياضي . غير مبين : التحليل الفريد إلى أمواج توافقية هو ممكن حتى بالنسبة للإشارات غير الدورية .



الشكل 206 نماذج الاهتزاز الأساسية المقاسة لجرس . الأجراس مثل كل مصادر الطاقة الأخرى للاهتزازات ، سواء كانت ذرة ، جزيئة أو أداة موسيقية أو صوت بشري تبين أن كل الاهتزازات في الطبيعة ناتجة عن الأمواج



الشكل 207 مركز الأخاديد في تسجيل فينيل قديم (أسطوانة) يبين مطال ضغط الصوت ، المأخوذ كمتوسط عبر قناتي ستيريو (صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح)

كل الجمل التي تهتز تصدر أيضا أمواج . في الحقيقة الرنين فقط يحدث لأن كل الاهتزازات هي في الحقيقة أمواج متموضعة . في الحقيقة فقط تظهر في الجمل الممتدة و الاهتزازات هي فقط وصف مبسط للحركة المتكررة لأي نظام ممتد . الحركة الكاملة و العامة التكرارية لجملة ممتدة هي الموجة

الأمواج : العامة و التوافقية

الأمواج هي اضطرابات متحركة أو بشكل مكافئ اهتزازات منتقلة عبر ركيزة . تنتقل الأمواج عبر ركيزة بالرغم من أن الركيزة لا تنتقل . كل موجة يمكن أن ترى كتنضد لأمواج توافقية . و كل تأثير صوتي يمكن أن يعتبر مكونا من أمواج توافقية . الأمواج التوافقية أيضا تعرف بالأمواج الجيبية أو الأمواج الخطية و هي عناصر بناء التي تتكون منها كل الحركات الداخلية للجسم الممتد كما هو مبين في الشكل 205 . هل يمكنك وصف الفرق في شكل الموجة بين النبرة التوافقية النقية ، صوت موسيقي ، ضجيج و انفجار ؟ (تحدي 510e) .

كل موجة توافقية تتميز بتردد اهتزاز f ، سرعة انتشار أو سرعة طورية c ، طول موجة λ ، المطال A و الصفحة / الطور φ كما يمكن أن يستنتج من الشكل 205 . أمواج الماء منخفضة المطال هي أمثلة عن الأمواج التوافقية – على عكس أمواج الماء ذات ذات المطال الكبير . في الموجة التوافقية كل موضع بنفسه يقوم باهتزاز توافقي . إن طور الموجة يحدد موضع الموجة (أو العرف / القمة) عند زمن معين . و هي الزاوية بين 2π & 0 .

الجدول 38 سرعات بعض الأمواج

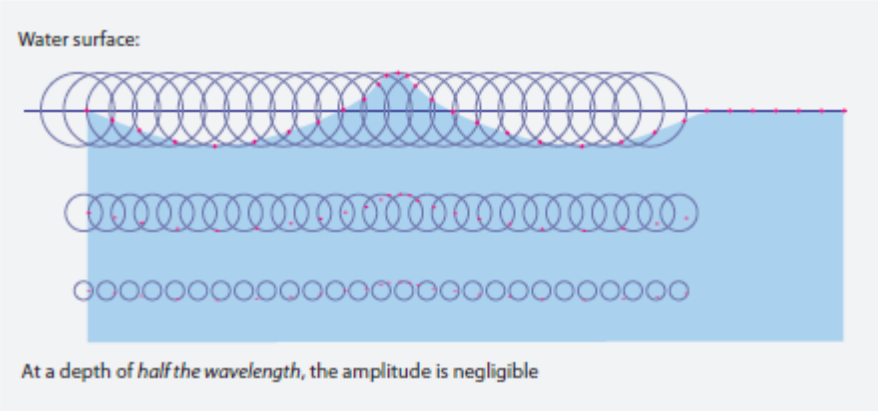
الموجة	السرعة
تسونامي	حوالي 0.2km/s
الصوت في أكثر الغازات	0.3 ±0.1 km/s
الصوت في الهواء عند 273 K	0.331 km/s
الصوت في الهواء عند 293 K	0.343 km/s
الصوت في الهليوم عند 293 K	0.983 km/s
الصوت في أكثر السوائل	1.2 ±0.2 km/s
أمواج الزلازل	1-14 km/s
الصوت في الماء عند 273 K	1.402 km/s
الصوت في الماء عند 293 K	1.482 km/s
الصوت في ماء البحر عند 298 K	1.531 km/s
الصوت في الذهب	4.5 km/s
الصوت في الفولاذ	5.8 - 5.960 km/s
الصوت في الغرانيت	5.8 km/s
الصوت في الزجاج (الطولاني)	4.0 - 5.9 km/s
الصوت في البريليوم (الطولاني)	12.8 km/s
الصوت في البورون	حتى 15 km/s
الصوت في الألماس	حتى 18 km/s
الصوت في الفلورين (C_{60})	حتى 26 km/s
سرعة أمواج البلازما في زرنيخ الإنديوم غاليوم	600 km/s
الضوء في الخلاء	$2.998 \cdot 10^8$ m/s

سرعة الطور c هي السرعة التي تتحرك بها أقصى الموجة . و بعض الأمثلة واردة في الجدول 38 . هل يمكنك أن تبين أن التردد و طول الموجة مرتبطات بالعلاقة $f\lambda = c$ (تحدي 511e) .

الأمواج تظهر داخل كل الأجسام الممتدة ، سواء كانت صلبة ، سائلة ، غازية أو بلازما . و داخل الأجسام السائلة تكون الأمواج طولية مما يعني أن حركة الموجة تكون في اتجاه اهتزاز الموجة .الصوت في الهواء هو مثال عن موجة طولية . داخل الأجسام الصلبة ، الأمواج يمكن أيضا أن تكون عرضانية ، في تلك الحالة اهتزاز الموجة يكون متعامد مع اتجاه الانتقال .

الأمواج تظهر أيضا في سطوح الفصل بين الأجسام : سطوح الفصل بين الماء – الهواء هي حالة معروفة جيدا .

حتى سطح فصل الماء المالح – الماء العذب و الذي يعرف بالماء الميت ، يبدي أمواجا : وهي يمكن أن تظهر حتى إذا كان السطح العلوي للماء غير متحرك . و أي رحلة في طائرة تعطي الفرصة لدراسة تشكيلات الغيوم المنتظمة على سطح الفصل بين طبقات الهواء الدافئة و البادرة في الغلاف الجوي . إن الأمواج الزلزالية تنتقل على طول الحد الفاصل بين قاع البحر و مياه البحر و هي أيضا معروفة جيدا . إن أمواج المياه منخفضة المطال هي عرضانية لكن أمواج السطح العام ليست طولانية و لا عرضانية و لكنها مزيج من الاثنين .



الشكل 208 تشكيل شكل أمواج الجاذبية العميقة على و تحت الماء ، من الحركة الدائرية لجسيمات الماء . لاحظ الشكل غير الجيبي للموجة

أمواج الماء

أمواج الماء على أسطح الماء تبدي مجال كبير من الظواهر الرائعة . أولا و قبل كل شيء هناك نوعين مختلفين من أمواج سطح الماء . في النوع الأول ، القوة التي تستعيد السطح المستوي هي التوتر السطحي للموجة . هذه ما يعرف بأمواج التوتر السطحي و تلعب دورا في الصعود لبضع سنتمترات . و في الثانية ، أمواج النوع الأكبر ، و القوة المستعيدة هي الجاذبية و يتحدث المرء عن أمواج الجاذبية * . و الفرق يلاحظ بسهولة بمشاهدتهما (المرجع 292) : أمواج التوتر السطحي لها شكل جيبي بينما أمواج لبجاذبية لها شكل ذو قيم أعظمية أكثر حدة ، و ذات حفر / منخفضات أعرض .

هذا يحدث بسبب الطريقة الخاصة التي يتحرك بها الماء في مثل هذه الأمواج هو مبين في الشكل 208 ، فإن المياه السطحية (القصيرة) لموجة ماء الجاذبية تتحرك في دوائر ، وهذا يؤدي إلى شكل موجة نوعي ذو قمم حادة قصيرة و منخفضات ضحلة طويلة : الأمواج لا تكون متناظرة من الأعلى للأسفل . و تحت القمم جسيمات الماء تتحرك في اتجاه حركة الموجة و تحت المنخفضات جسيمات الماء تتحرك عكس حركة الموجة . طالما أنه ليس هناك ريح و القعر أسفل الماء أفقي ، فإن أمواج الجاذبية تكون متناظرة تحت الانعكاس من الأمام للخلف . و إذا كان المطال عاليا جدا ، أو إذا كانت الريح قوية جدا ، فإن الأمواج تتحطم ، بسبب زاوية النتوء ألأكبر من ° 120 لا يكون ممكنا . و مثل هذه الأمواج ليس لها تناظر أمامي خلفي .

بالإضافة لذلك أمواج الماء يجب أن تميز وفق عمق الماء ، عندما تقارن مع طول موجتها . و يتم الحديث عن الأمواج المائية القصيرة أو العميقة عندما يكون عمق الماء عاليا جدا بحيث أن القعر في الأسفل لا يلعب أي دور . و في الحالة المعاكسة يتم الحديث عن الأمواج المائية الطويلة أو الضحلة . و المنطقة الانتقالية بين الحالتين هي أمواج التي طول موجتها بين ضعف و عشرين ضعفا من عمق الماء . و ينتج أن كل الأمواج المائية العميقة و كل التموجات هي مشتتة أي سرعتها تعتمد على ترددها و فقط أمواج ماء الجاذبية الضحلة هي غير مشتتة .

أمواج الماء يمكن أن تتولد بواسطة الريح و العواصف و بواسطة الزلازل و بواسطة الشمس و القمر و بأي أثر آخر الذي يزيح الماء .

علماء الطقس أيضا يعرفون نوعا ثالثا من أمواج المياه : هي أمواج ذات طول موجة كبير التي قوة استعادتها هي قوة كوريوليس .



الشكل 209 ثلاثة من الأنواع الأربعة الرئيسية لأمواج المياه : موجة الجاذبية المائية الضحلة ، غير الجيبية . أسفل اليسار : تموج مائي عميق – موجة توتر سطحي جيبية . التموجات الضحلة غير المبينة تبدو نفسها . أسفل اليمين : موجة ماء جاذبية عميقة ، هنا أثر قارب ، مرة ثانية غير جيبية .

إن طيف أمواج الماء يصل من أدوار أقصر من 100 ms إلى أدوار أطول من 24 h . و عرض لذلك مبين في الجدول 39 . الجدول أيضا يشمل أمواج تحت الجاذبية الأقل شهرة ، و أمواج فوق الجاذبية ، المد و الجزر و أمواج العابرة للمد و الجزر .

إن تصنيف أمواج المياه الدورية وفق قوة استعادتها و تأثير القاع يعطي أربع حالات حدية ، و هي مبينة في الشكل 210

وكل حالة من هذه الحدود الأربعة هي مثيرة .

التجارب و النظرية تبين أن طور و سرعة أمواج الجاذبية ، الحالتين السفليتين في الشكل 210 تعتمد على طول الموجة λ وعلى عمق الماء d بالشكل التالي :

$$c = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}\tanh\frac{2\pi d}{\lambda}}, \qquad (95)$$

حيث g التسارع الناتج عن الجاذبية (و يفترض أن المطال أصغر بكثير من طول الموجة *) و العلاقة تبين وجود حدين للنظام .

الجدول 39 طيف أمواج الماء

النوع	الدور	الخواص	التوليد
أمواج توتر سطحي / أمواج شعرية / تموجات	< 0.1 s	طول الموجة بضع سنتمترات	الريح الأسرع من 1m/s الاضطرابات الأخرى ، درجة الحرارة
أمواج الجاذبية الفائقة	0.1 – 1 s	قوى الاستعادة هي التوتر السطحي و الجاذبية	الريح و الاضطرابات الأخرى
أمواج الجاذبية العادية	1-30s	المطال حتى عدة أمتار ، قوة الاستعادة هي الجاذبية	الريح
أمواج تحت الجاذبية / ضربات الإبحار	30 s- 5min	المطال يصل إلى 30 cm ومرتبطة بـ seiches و قوة الاستعادة هي الجاذبية	الجاذبية
أمواج ذات دور طويل	5 min -12 h	المطال عادة أخفض من 10 cm في المياه العميقة و تصل إلى 40 m في المياه الضحلة ، قوة الاستعادة هي الجاذبية و تأثير كوريوليس	العواصف ، الزلازل ، تغيرات ضغط الهواء
المد و الجزر العادي	12 h – 24 h	المطال يعتمد على الموقع ، قوة الاستعادة هي الجاذبية و تأثير كوريوليس	القمر ، الشمس
المد و الجزر العابر	أعلى من 24 h	المطال يعتمد على الموقع ، قوة الاستعادة هي الجاذبية و تأثير كوريوليس	القمر ، الشمس ، العواصف ، الفصول ، تغير المناخ

أولا ما يعرف بأمواج الجاذبية المائية العميقة أو القصيرة تظهر عندما يكون عمق الماء أكبر من حوالي نصف طول الموجة . و الموجة البحرية المعتادة هي موجة جاذبية الماء العميقة و هكذا أمواج آثار السفن . و أمواج الجاذبية المائية العميقة المولدة بالريح تدعى بالبحر و هي تولد بواسطة الريح المحلية و هي تتضخم إذا ولدت بواسطة رياح بعيدة .

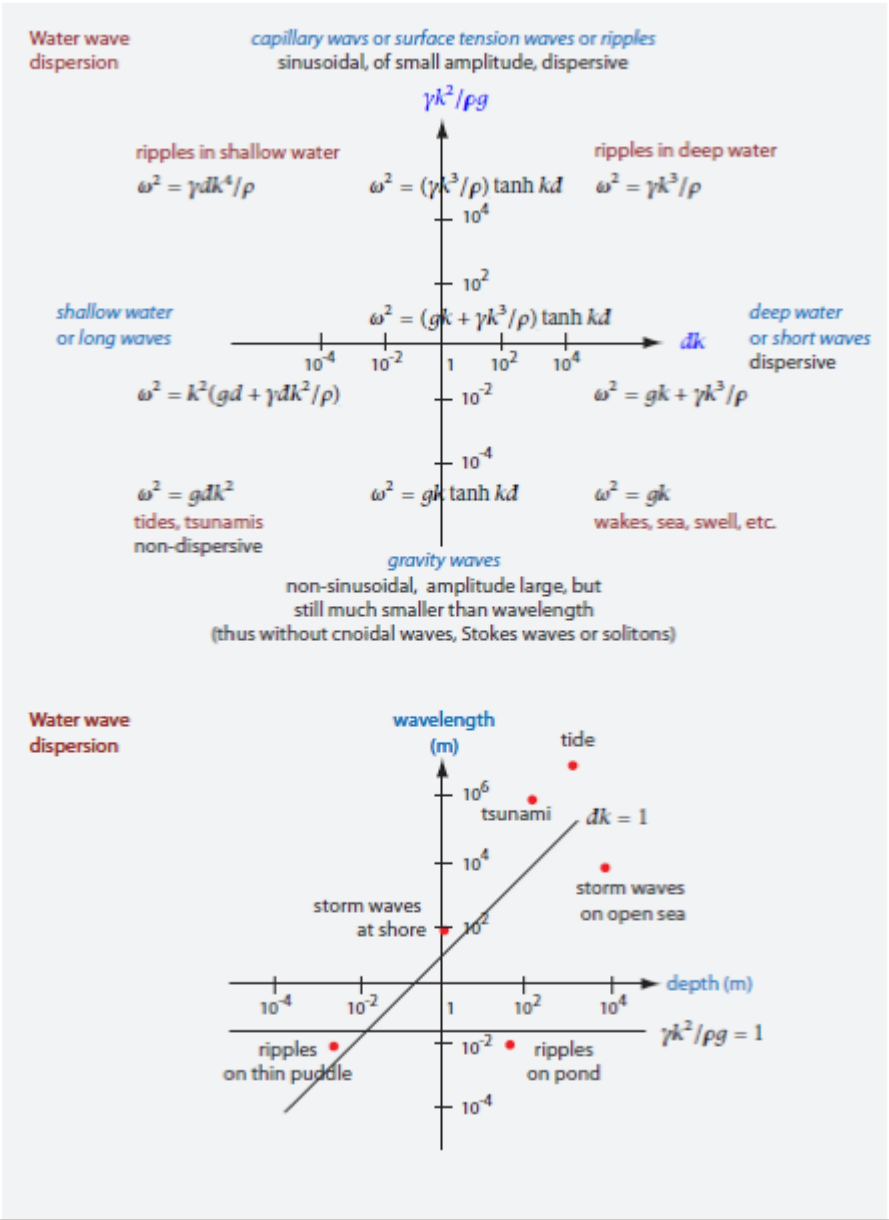
السرعة الطورية النوعية لموجة الجاذبية هي من مرتبة سرعة الريح التي ولدتها . من أجل أمواج الماء العميقة ، فإن سرعة الطور ترتبط بطول الموجة بالعلاقة : $c \approx \sqrt{g\lambda/2\pi}$ و بالتالي السرعة الطورية هي تابعة لطول الموجة .

في الحقيقة كل الأمواج العميقة هي تشتتية . (صفحة 300) . أمواج الجاذبية الأقصر بالتالي هي أبطأ . و سرعة المجموعة هي نصف سرعة الطور. بالتالي كما يعلم المتزلجون ، الأمواج على الشاطئ الناتجة عن تأثيرات العواصف البعيدة تصل بشكل منفصل : أولا الأمواج ذات الدور الطويل و بعدها الأمواج ذات الدور القصير . و التأثيرات العامة للتشتت على مجموعات الأمواج مبينة في الشكل 211 .

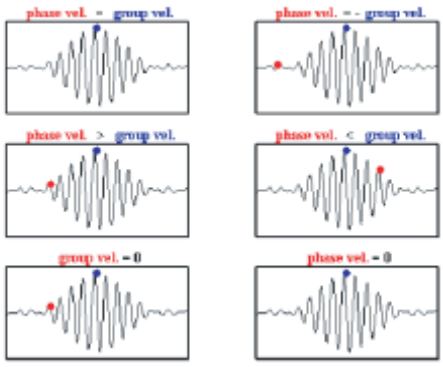
بنصف تلك السرعة . و بالتالي من وجهة نظر السفينة ، الأثر يخلف السفينة . الآثار خلف السفينة لأن

--

علاقة السرعة الطورية يمكن أن تستنتج بحل معادلة الحركة للسائل في نظام خطي ، ولكن هذا يؤدي بنا أيضا إلى مكان بعيد عن مسيرتنا .



الشكل 210 الأنواع المختلفة لأمواج المياه الدورية ذات المطال المنخفض و المعتدل ، مبينة في مخططين مختلفين باستخدام العمق d ، العدد الموجي $k = 2\pi/\lambda$ و التوتر السطحي γ=72mPa



الشكل 211 بيان لسرعة المجموعة (الأزرق) و سرعة الطور (الأحمر) من أجل أنواع مختلفة من تشتت الأمواج .

الأثر النوعي المتولد عن سفينة مكون من أمواج التي لها سرعة طورية للسفينة . و هذه الأمواج تشكل مجموعة أمواج و تنتقل بسرعة مجموعتها الأبطأ من سرعتها الطورية . و سوف ندرس الآثار بمزيد من التفصيل أدناه (صفحة 326)

إن النظام المحدد الثاني هي أمواج الجاذبية الضحلة أو الطويلة . و هي تظهر عندما يكون العمق أقل من 1/20 من طول الموجة : في هذه الحالة السرعة الطورية هي $c \approx \sqrt{gd}$ ، وليس هناك تشتت ، و سرعة المجموعة هي نفس السرعة الطورية . في أمواج الماء الضحلة ، فإن جسيمات الماء تتحرك على مسارات قطعية مسطحة جدا .

إن المد و الجزر هو مثال عن موجة الجاذبية الضحلة . و أمواج الجاذبية الضحلة الأكثر روعة هي التسونامي ، و هي أمواج كبيرة يقدها زلازل تحت الماء . (المصطلح الياباني هو تسو يعني عمل ، و نامي يعني موجة) . نظرا لأن التسونامي هي أمواج ضحلة فإنها لا تبدي أو تبدي قليلا من التشتت ، وبالتالي تنتقل عبر مسافات طويلة ، و هي يمكن أن تلف حول الأرض عدة مرات . أزمنة الاهتزاز النوعي للتسونامي هو بين 6 و 60 دقيقة و تعطي أطوال موجية بين 70 & 700 km و سرعات في البحر المفتوح تبلغ 200 – 250 m/s ، بشكل مشابه لطائرة نفاثة . (تحدي 512 e) و مطالها في البحر المفتوح غالبا من مرتبة 10 cm لكن المطال يتعلق بالعمق d بالشكل $1/d^4$ و قد قيست ارتفاعات حتى 40m عند الشاطئ . هذا كان من مرتبة قيمة التسونامي الكبير و الكارثي الذي رصد في المحيط الهندي في 26 كانون الأول عام 2004 و الأول في اليابان في عام 2011 الذي دمر العديد من مفاعلات الطاقة النووية . و التسونامي أيضا استخدم لتحديد عمق المحيط بقياس سرعة التسونامي . وهذا سمح للباحثين باستنتاج ، قبل فترة طويلة من توفر السونار و الأنظمة الأخرى عالية التقنية أن عمق المحيط الأطلسي الشمالي يبلغ تقريبا 4-5.5 km .

النظامين الأعلى في الشكل 210 هما أمواج التوتر السطحي يعرفان أيضا بالأمواج الشعرية أو التموجات .

و قيمة التوتر السطحي للماء هي 72mPa و أول هذه الأنظمة المحددة / المقيدة هي التموجات في المياه العميقة

. إن سرعتها الطورية هي $c = \sqrt{\gamma k/\rho}$ وكما ذكرنا فإن كل الأمواج العميقة هي تبديدية / تشتيتية و في الحقيقة ، سرعة المجموعة للتموجات في المياه العميقة هي 3/2 مرة السرعة الطورية (تحدي 513e) . بالتالي التموجات تتقدم القارب ، بينما الآثار تأتي خلفه .

التموجات العميقة لها سرعة دنيا . السرعة الدنيا للتموجات القصيرة هي سبب ما نراه عندما نرمي حصية في بحيرة (تحدي 514e) . الحصية النوعية تشكل تموجات ذات طول موجة حالي 1cm و من أجل أمواج المياه في هذه المنطقة ، يكون هناك سرعة مجموعة دنيا تبلغ 17.7 cm/s و سرعة طورية دنيا تبلغ حوالي 23 cm/s . (تحدي 515e) . عندما تسقط حصية في الماء فإنه يشكل أمواج ذات أطول موجية مختلفة تلك التي طول موجتها حوالي 1cm هي الأبطأ و التي ترى بشكل أكثر وضوحا . و إن وجود السرعة الطورية الدنيا للتموجات أيضا يعني أن الحشرات التي تسير على الماء لا تولد أمواج إذا تحركت بشكل أبطأ من السرعة الطورية الدنيا و بالتالي تشعر بقليل من الجر و يمكن أن تمشي بسهولة

و حالة الحد النهائي للأمواج هي التموجات على الماء الضحل . المثال عليها هو الأمواج الصادرة عن قطرات المدر الساقطة في بركة ضحلة ، لنقل بعمق 1 mm أو أقل . إن السرعة الطورية $c = \sqrt{\gamma dk^2/\rho}$ فإن سرعة المجموعة لها ضعف تلك القيمة و التموجات على المياه الضحلة هي بالتالي تشتيتية كما التموجات في المياه العميقة .

يبين الشكل 210 أربعة أنواع من أمواج المياه السطحية التي ناقشناها حتى الآن , و علاقة التشتت العامة من أجل كل هذه الأمواج هي :

$$\omega^2 = (gk + \gamma k^3/\rho)\tanh kd \ . \qquad (96)$$

يوجد أيضا العديد من الأنواع الإضافية لأمواج الماء مثل seichs أي الأمواج في البحيرات ، الأمواج الداخلية في جمل المياه الطبقية و السوليتون ، أي الأمواج ذات الحركة غير الدورية . سوف ندرس الحالة الأخيرة لاحقا (صفحة 315)

الأمواج و حركتها

الأمواج تتحرك . بالتالي أي دراسة للحركة يجب أن تشمل دراسة حركة الأمواج . و نحن نعلم من الخبرة أن الأمواج يمكن أن تضرب أو حتى تخرب الأهداف ، و بالتالي كل موجة تحمل الطاقة و كمية الحركة حتى بالرغم (في المتوسط) لا تتحرك أي مادة على طول اتجاه الانتشار . و إن الطاقة E لموجة هي مجموع الطاقة الحركية و الكامنة . و الطاقة الحركية (الكثافة) تعتمد على التغير الزمني للإزاحة u عند بقعة معينة : الأمواج المتغيرة سريعا تحمل طاقة حركية أكبر . و الطاقة الكامنة (الكثافة) تعتمد على تدرج الإزاحة أي تغيرها الفراغي : الأمواج المنحدرة تحمل طاقة كامنة أكبر من الضحلة . (هل يمكنك شرح لماذا الطاقة الكامنة لا تعتمد على الإزاحة نفسها ؟) (تحدي 517s) . من أجل الأمواج الجيبية التوافقية المنتشرة على طول الاتجاه z ، كل نوع من الطاقة متناسبة مع مربع تغير إزاحتها الموافق (المرجع 218):

$$E \sim \left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)^2 + v^2\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2 \ . \qquad (97)$$

كيف ترتبط كثافة الطاقة بالتردد ؟ (تحدي 518 ny)

كمية الحركة لموجة توجه على طول اتجاه انتشار الموجة . قيمة كمية الحركة على كل من التغير الزمني و الفراغي للإزاحة u . من أجل الأمواج التوافقية ، فإن كمية الحركة (الكثافة) P تكون متناسبة مع جداء هذين المقدارين :

$$P_z \sim \frac{\partial u}{\partial t}\frac{\partial u}{\partial z} \ . \qquad (98)$$

عندما يصطدم قطارين خطيين أو يتداخلان ، فإن كمية الحركة الكلية تكون مصونة خلال الاصطدام . النتيجة المهمة لمصونية كمية الحركة هي أن الأمواج التي تنعكس بواسطة عقبة تقوم بذلك بزاوية تساوي زاوية الانطلاق ناقص زاوية القدوم . ماذا يحدث للصفحة / الطور ؟ (تحدي 519s)

في الملخص ، الأمواج مثل الأجسام المتحركة ، تحمل طاقة و كمية حركة . في تعبير بسيط ، إذا صرخت مقابل جدار ، فإن الجدار تضربه الأمواج الصوتية . و هذه الضربة ، مثلا يمكن أن تبدأ انهيارات في منحدرات جبلية ثلجية . و بنفس الشكل ، الأمواج مثل الأجسام يمكن أن تحمل أيضا كمية الحركة الزاوية . (ما هو نوع الموجة اللازم ليكون هذا ممكن ؟)

لكن حركة الأمواج تختلف عن حركة الأجسام (تحدي 520s). هناك ست خواص تميز حركة الأمواج عن حركة الأجسام:

1. الأمواج يمكن أن تضاف لبعضها أو تلغي بعضها البعض و بالتالي يمكن أن تخترق بعضها البعض . هذه التأثيرات ، التنضد و التداخل مقيدة بقوة بخطية العديد من أنواع الأمواج .
2. الأمواج مثل الصوت ، يمكن أن تلتف حول الزوايا و هذا يعرف بالحيود . و الحيود هو نتيجة التداخل و بالتالي ، بدقة ، ليس تأثيرا منفصلا .

3. الأمواج تغير اتجاهها عندما يتغير الوسط و هذا يعرف بالانكسار و الانكسار شيء أساسي لإنتاج الصور

4. الأمواج يمكن أن يكون لها سرعات انتشار تابعة لطول الموجة . و هذا يدعى التشتت و هو ينتج قوس قزح و هدير الرعد البعيد

5. غالبا ، مطال الموجة يتناقص مع الزمن : الأمواج تبدي تخامد . التخامد ينتج انقطاعات بين الكلمات

6. الأمواج العرضانية في الأبعاد الثلاثية ، يمكن أن تهتز باتجاهات مختلفة : وهي تبدي استقطاب . الاستقطاب مهم من أجل الهوائيات و الصور

في حياتنا اليومية على عكس الأمواج المتحركة ، الأجسام المادية المتحركة ، مثل الأحجار لا تبدي أي من هذه التأثيرات الست . تأثيرات الأمواج الست تظهر لأن حركة الأمواج هي حركة الأجسام الممتدة . و الجدل الشهير حول فيما إذا كانت الإلكترونات هي أمواج أو جسيمات بالتالي تتطلب منا أن نتأكد فيما إذا كانت التأثيرات الست الخاصة بالأمواج يمكن ملاحظتها من أجل الإلكترونات أو لا . هذه الدراسة هي جزء من فيزياء الكم . وقبل أن نبدأ ذلك ، هل يمكنك إعطاء مثال عن ملاحظة التي تقتضي تلقائيا أن الحركة الخاصة لا يمكن أن تكون موجة ؟

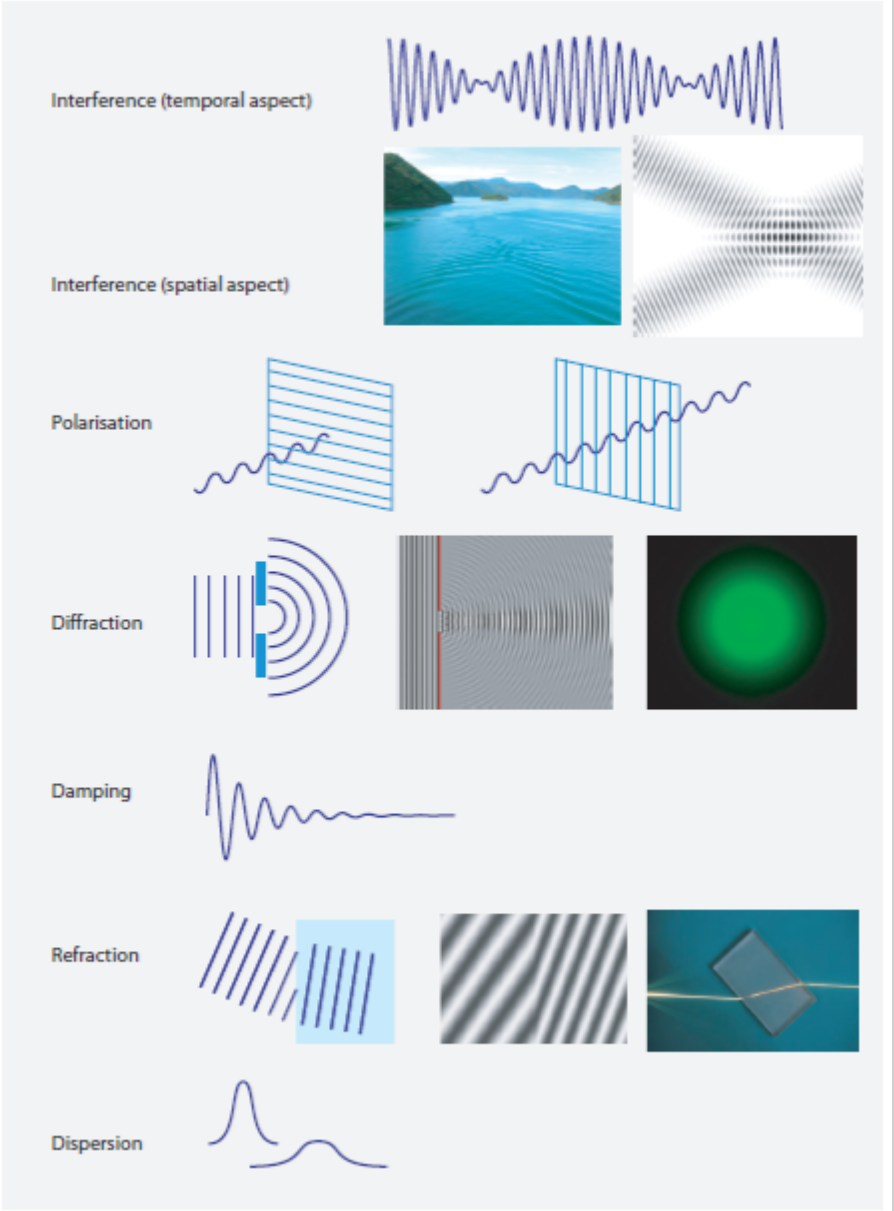
(تحدي 521s) .

بنتيجة وجود تردد لها f و سرعة انتشار أو سرعة طورية c فإن كل الأمواج الجيبية تتميز بطول موجة مسافي بين قمتي موجتين متجاورتين : هذه المسافة تعرف بطول الموجة λ . و كل الأمواج تخضع للعلاقة الأساسية

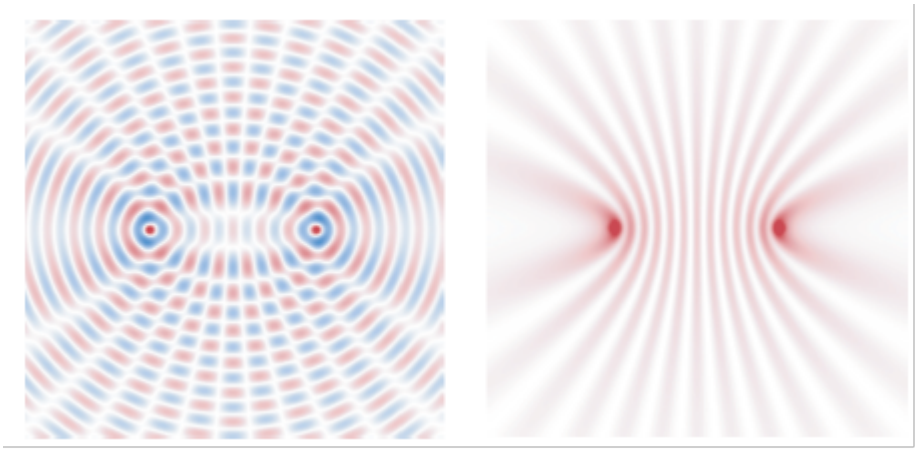
$$\lambda f = c \, . \qquad (99)$$

في العديد من الحالات فإن السرعة الطورية c تعتمد على طول الموجة . مثلا ، هذه هي حالة العديد من أمواج المياه . و هذا التغير في السرعة مع طول الموجة يعرف بالتشتت . و على عكس سرعة الصوت في الهواء التي لا تعتمد على طول الموجة (بدرجة عالية من الدقة) . الصوت في الهواء لا يبدي (تقريبا) أي تشتت . في الواقع هناك تشتت للصوت و لا يمكننا فهم بعضنا البعض عن بعد .

الآن تأتي المفاجأة . الأمواج توجد أيضا في الفراغ / الفضاء الحر . الضوء ، أمواج الراديو و أمواج الجاذبية هي أمثلة على ذلك . و إن دراسة الكهرطيسية و النسبية ستخبرنا المزيد عن خواصها الخاصة . و هنا فاتح للشهية ، الضوء هو موجة و عادة نحن لا نتعامل مع الضوء كموجة ، لأن طول موجته هو تقريبا جزئين من ألف من الميلي متر . لكن الضوء يبدي كل تأثيرات الحركة الموجية النوعية الست .



الشكل 212 الخواص الست لحركة الأمواج



الشكل 213 تداخل موجتين دائرتين أو كرويتين صادرة في توافق طوري : لقطة المطال (اليسار) الشيء الأكثر فائدة لوصف القياسات للأمواج المائية و توزيع الشدة المتوسطة زمنيا (يمين) الأكثر فائدة في وصف التداخل لأمواج الضوء

(مجلد III ، صفحة 80): إن قوس قزح مثلا يمكن فقط فهمه بشكل كامل عندما تؤخذ آخر خمسة تأثيرات للأمواج بالحسبان . حيود و تداخل الضوء يمكن حتى ملاحظتها بأصابعك فقط . هل يمكن أن تبين كيف ؟ (تحدي 522s)

من أجل أمواج الجاذبية ، التنضد ، التخامد و الاستقطاب قد لوحظت .

التأثيرات الموجية الثلاث الأخرى ما تزال غير ملحوظة .

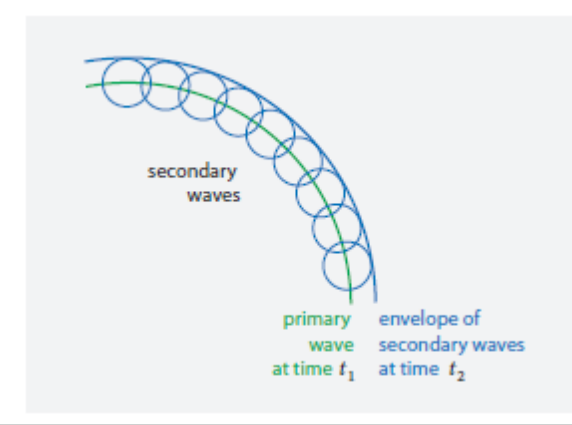
مثل الاهتزاز غير التوافقي كل موجة لا توافقية يمكن تحليلها إلى أمواج جيبية (صفحة 291) . يعطي الشكل 205 أمثلة عن ذلك .

إذا كانت أمواج جيبية مختلفة محتواة في اضطراب ينتشر بشكل مختلف فإن الموجة الأصلية ستغير شكلها بينما تتحرك

و هذا هو سبب لماذا لا يكون الصدى مثل الصوت الأصلي تماما و لنفس السبب فإن الرعد القريب و البعيد صوتهما مختلف . و هذه تأثيرات ناتجة عن تشتت أمواج الصوت الضعيفة .

كل الجمل التي تتذبذب أيضا تصدر أمواج . و أي مستقل راديو أو تلفزيون يحتوي هزازات . و بالنتيجة أي مستقبل كهذا هو أيضا مرسل (ضعيف) و في الحقيقة البلدان فيها جهات تبحث عن الناس الذين يستمعون للراديو بدون إذن بالاستماع إلى أمواج الراديو الصادرة عن مثل هذه الأجهزة . أيضا ، داخل الأذن البشرية ، فإن العديد من البنى الدقيقة ، مثل خلايا الشعر ، تهتز . و بالنتيجة الأذن يجب أيضا أن تصدر صوتا ، و هذا التوقع تم في عام 1948 من قبل تومي جولد وقد أكد نهائيا في عام 1979 من قبل ديفيد كيمب . و هذا ما يعرف بالإصدارات الأذنية السمعية يمكن كشفها بواسطة ميكروفونات حو ساسة و يتم دراستها حاليا من أجل كشف الوظائف التي ما تزال مجهولة للأذن و من أجل تشخيص أمراض الأذن المتعددة بدون الحاجة لجراحة . (المرجع 219) .

نظرا لأن أي اضطراب سيار يمكن تحليله لأمواج جيبية ، ومصطلح موجة يستخدم من قبل الفيزيائيين من أجل كل الاضطرابات المتحركة ، سواء كانت تبدو مثل الأمواج الجيبية أو لا . في الحقيقة الاضطرابات لا حاجة لأن تكون متحركة حتى . خذ الموجة الساكنة : وهي موجة أو اهتزاز ؟ الأمواج الساكنة لا تتحرك ، هي اهتزازات . و لكن يمكن النظر إليها على أنها تنضد لموجتين تتحركان في اتجاهي متعاكسين . و في الحقيقة في الطبيعة أي جسم يمكن أن نقول أنه يهتز أو يتذبذب يكون ممتدا و اهتزازه أو تذبذبه هو دائما موجة ساكنة (هل تستطيع إثبات هذا ؟) (تحديثe 523) . لذا يمكننا القول أنه في الطبيعة كل الاهتزازات هي أشكال خاصة من الأمواج .



الشكل 214 انتشار الأمواج كنتيجة لمبدأ هويجنيز

إن الاضطرابات المتحركة الأكثر أهمية هي تلك المتموضعة . الشكل 205 يبين مثالا عن موجة متموضعة (صفحة 291) وهي أيضا تعرف بالمجموعة الموجية أو النبضة مع تحليلها إلى أمواج توافقية . و المجموعات الموجية تستخدم للحديث و كإشارات للاتصالات .

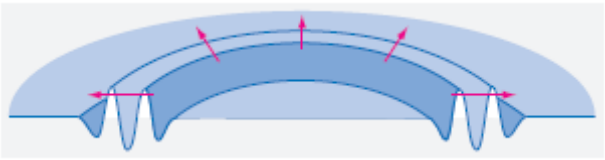
لماذا يمكننا التحدث مع بعضنا البعض ؟ - مبدأ هويغنيز

إن خواص بيئتنا غالبا تكشف أهميتها الكاملة فقط عندما نسأل أسئلة بسيطة . لماذا يمكننا استخدام الراديو ؟لماذا يمكننا التكلم في هواتفنا النقالة ؟ لماذا يمكننا الاستماع لبعضنا البعض ؟ ينتج أن جزءا مركزيا من الجواب لهذه الأسئلة هو أن الفراغ / الفضاء الذي نعيش فيه له أعداد فردية من الأبعاد .

في الفضاءات ذات البعد الزوجي من المستحيل الحديث لأن الرسائل لا تتوقف أو تقف ببطء شديد . و هذه النتيجة مهمة التي يتم التأكد منها بسهولة برمي حجر في بحيرة :حتى بعد أن يختفي الحجر ، فإن الأمواج ما تزال تصدر من النقطة التي دخل بها الماء . مع ذلك فإننا عندما نتوقف عن الحديث لا تصدر أمواج بعد ذلك من أفواهنا .باختصار ، الأمواج ذات البعدين و الثلاثة أبعاد تتصرف بشكل مختلف .

في الأبعاد الثلاثية ، من الممكن وصف انتشار الموجة بالشكل التالي : وكل نقطة على جبهة الموجة (للضوء أو الصوت) يمكن اعتبارها كمصدر للأمواج الثانوية و السطح الذي يتشكل بواسطة مغلف كل الأمواج الثانوية يحدد الموضع المستقبلي لجبهة الموجة . و الفكرة موضحة في الشكل 214 . و هذه الفكرة يمكن استخدامها لوصف ، بدون رياضيات ،انتشار الأمواج و انعكاسها ، انكسارها و بتعميم طرحه أوجستين فرينسل حيودها (حاول!) (تحدي 524e) .

هذه الفكرة للأمواج الثانوية اقترحت بداية من قبل كريستيان هويغنيز في عام 1678 و تدعى بمبدأ هويغنيز . تقريبا بعد مائتي سنة من ذلك أظهر غوستاف كيرتشوف أن المبدأ هو نتيجة لمعادلة الموجة في الأبعاد الثلاثية و بالتالي في حالة الضوء ، نتيجة لمعادلات ماكسويل .



الشكل 215 موجة جاذبية مستحيلة : المركز لا يكون مسطحا بشكل كامل أبدا

ولكن وصف جبهات الموجة كمغلفات للأمواج الثانوية له قيد مهم . إنه غير صحيح في الأبعاد الثنائية (حتى بالرغم من أن الشكل 214 هو ثنائي الأبعاد) . بشكل خاص لا ينطبق على الأمواج المائية . إن انتشار الأمواج المائية لا يمكن حسابه بهذا الطريقة بشكل دقيق . (من الممكن فقط في بعدين إذا كانت الحالة محدودة بموجة ذات تردد وحيد) . و ينتج أنه بالنسبة لأمواج الماء فإن الأمواج الثانوية لا تعتمد فقط على جبهة الموجة للأمواج الأولية ، و لكن أيضا تعتمد على داخلها . و السبب هو أنه في الأبعاد الثنائية (وحتى الزوجية) فإن الأمواج ذات الترددات المختلفة يكون لها سرعات مختلفة . (التسونامي ليست أمثلة مخالفة ، فهي غير تشتتية فقط كحالة مقيدة). و في الواقع الحجر الساقط في الماء يكون مقارن مع صوت الضرب : و هو يولد أمواج ذات ترددات كثيرة . على العكس في البعاد الثلاثية (و الفردية الأكبر) فإن الأمواد من كل الترددات لها نفس السرعة .

رياضيا ، يمكن أن نقول بأن مبدأ هويجنيز يصح إذا كانت معادلة الموجة التي حلت بواسطة موجة دائرية لم تترك أي مطال وراءها . و الرياضيون يحولون هذا بالاشتراط أن تابع دلتا المكون $\delta(c^2t^2 - r^2)$ يحقق معادلة الموجة أي أن $\partial_t^2\delta = c^2\Delta\delta$. تابع دلتا هو ذلك التابع الغريب الذي يكون صفر في كل مكان ماعدا المبدأ حيث يكون لا نهاية . تصف بعض من الخواص الطريقة الدقيقة التي يحدث بها هذا * باختصار تابع دلتا هو صوت مثالي ، قصير بشكل لا نهائي و عالي بشكل لانهائي . و ينتج أن تابع دلتا هو حل لمعادلة الموجة فقط إذا كان أبعاد الفضاء فردي و على الأقل ثلاثي .

بمعنى آخر ، بينما النبضة الموجية ممكنة فإن النبضة الدائرية غير ممكنة : ليس هناك طريقة لإبقاء مركز الموجة المتمددة هادئا . (أنظر الشكل 215) . هذا تماما ما تبينه تجربة الحجر . تستطيع تجريب إنتاج نبضة دائرية (موجة التي فيها قمم فقط) و المرة التالية التي تكون فيها في الحمام أو قرب بحيرة : و لكنك لن تنجح (تحدي 525 e) .

في الملخص ، سبب كون الغرفة مظلمة عند إطفاء الضوء هو أننا نعيش في فراغ ذو عدد من الأبعاد فردي و أكبر من الواحد .

معادلات الموجة **

الأمواج هي ظواهر رائعة . من الرائع بنفس القدر هو وصفها الرياضي . إن المطال A(x,t) لموجة خطية هو ذو بعد واحد أو اثنين أو ثلاثة أبعاد ، و ابسط من كل أنواع الأمواج ينتج من

$$\frac{\partial^2 A(\boldsymbol{x},t)}{\partial t^2} = v^2\nabla^2 A(\boldsymbol{x},t)\ . \qquad (100)$$

المعادلة تقول أن تسارع المطال (الحد في الطرف الأيسر) يعطى بالتدرج المربع أي بواسطة التغير الفراغي ، مضروبا بمربع السرعة الطورية v . و في العديد من الحالات ، يكون المطال شعاعا ، و لكن المعادلة تبقى نفسها .

---

*هذه الخاصة الرئيسية هي $\int \delta(x)\,dx = 1$. بدلالة رياضية دقيقة تابع دلتا هو توزع

**هذه الفقرة يمكن تجاوزها في القراءة الأولى

الجملة	الإشارة	السرعة	الحساس
إشارات المادة			
البشر	نبضات الجهد في الأعصاب	حتى 120 m/s	الدماغ ، العضلات
	الهرمونات في مجرى الدم	حتى 0.3 m/s	الجزيئات في أغشية الخلايا
	إشارات الجهاز المناعي	حتى 0.3 m/s	الجزيئات في أغشية الخلايا
	الغناء	340 m/s	الأذن
الفيل ، الحشرات	ارتجاج الأرض	تقريبا 2 km/s	الأقدام
الحوت	الغناء ، السونار	1500 m/s	الأذن
الكلب	المسارات الكيماوية	1m/s	الأنف
الفراشة	إشارة التزاوج الكيماوية المحمولة بواسطة الريح	حتى 10m/s	قرون الاستشعار
الشجر	الإشارة الكيماوية للهجوم المحمولة بواسطة الريح	حتى 10m/s	الأوراق
البلوك الشاذ	المحمول من قبل نهر الجليد	حتى 0.1 µm/s	القدم
البريد	رسائل ورقية منقولة بالشحنات ، السفن و الطائرات	حتى 300m/s	صندوق البريد
الحقول الكهرطيسية			
البشر	التثاؤب	300 Mm/s	العين
سمك الأنقليس الكهربائي	نبضة الجهد	حتى 300Mm/s	العين
الحشرات ، السمك ، الرخويات	تتابع نبضات الضوء	حتى 300Mm/s	العين
إشارات الأعلام / الرايات	وضعية العلم / الراية	حتى 300Mm/s	العين
إرسال الراديو	شدة الحقل الكهرطيسي	حتى 300Mm/s	الراديو
الإشارات النووية			
المستعر الأعظم	نبضات النيوترينو	قريبة من 300Mm/s	كواشف كيماوية و إشعاعية خاصة
تفاعلات نووية	كرات الصمغ ، إن وجدت	قريبة من 300Mm/s	كواشف الجسيمات الخاصة

بشكل أصح ، فإن مطال الموجة هو ما يسميه الفيزيائيون حقلا ، لأنه عدد (أو شعاع أو تنسور) الذي يعتمد على الفراغ و الزمن .

المعادلة (100) هي معادلة الموجة ، ورياضيا هي معادلة جزئية خطية . وهي تسمى خطية لأنها خطية في المطال A . و بالتالي حلولها هي أمواج جيبية و تجيبية من النوع $A = \sin (x- vt+\varphi)$. معادلات الموجة الخطي تنتج من السلوك المرن لبعض لبعض الأوساط . و الخطية أيضا تقتضي أن مجموع موجتين هو أيضا موجة ممكنة وهذه تدعى مبدأ التنضد و هي صالحة من أجل كل معادلات الموجة الخطية (و البعض منها نادر و لكنها معادلات موجة غير خطية مهمة) . إذا طبقت الخطية فإن أي موجة عامة يمكن تحليلها إلى مجموع لانهائي من الأمواج الجيبية و التجيبية وهذا الاكتشاف مرده إلى جوزيف فورييه (ولد في أوكسير 1768 و توفي في باريس 1830) .

معادلة الموجة (100) هي أيضا متجانسة مما يعني أنه ليس هناك حد مستقل عن A ، وبالتالي لا يوجد مصدر طاقة الذي يقود الأمواج . إن تحليل فورييه أيضا يساعد في فهم و حل المعادلات الموجية غير المتجانسة ، وبالتالي أوساط مقادة خارجيا .

في العديد من الأبعاد فإن شكل جبهة الموجة أيضا يكون مهما . في البعدين أبسط الحالات موصوفة بواسطة المعادلة (100) هي الأمواج الخطية و الدائرية (تحدي e 527) . و في الأبعاد الثلاثية ، أبسط الحالات الموصوفة بالمعادلة (100) هي الأمواج المستوية و الكروية . (تحدي e 528) .

في حالات مناسبة – بالتالي عندما يكون الوسط المرن نهائيا و يثار في طرق خاصة - المعادلة (100) تؤدي إلى أمواج ساكنة . الأمواج الساكنة هي تنضدات لأمواج متحركة في اتجاهات معكوسة (تحدي e 529).

الصوت في الغازات ، الصوت في السوائل و الأجسام الصلبة ، الزلازل ، الضوء في الخلاء ، أمواج مائية معينة ذات المطال الصغير ، و الحالات الأخرى المتعددة للأمواج ذات المطال الصغير توصف بواسطة معادلات موجية خطية .

رياضيا كل معادلات الأمواج ، سواء كانت خطية أو لا - هي معادلات تفاضلية جزئية قطعية زائدة . وهذا فقط يعني أن المشتق الثاني الفراغي له إشارة معاكسة للمشتق الثاني الزمني . و حتى الآن فإن أكثر معادلات الموجة أهمية هي غير الخطية . المعادلة غير الخطية الأكثر شيوعا هي معادلة كورتفيج – دي فري التي هي معادلة موجة أحادية البعد

$$\partial_t A + A\partial_x A + b\partial_{xxx} A = 0 \,. \qquad (101)$$

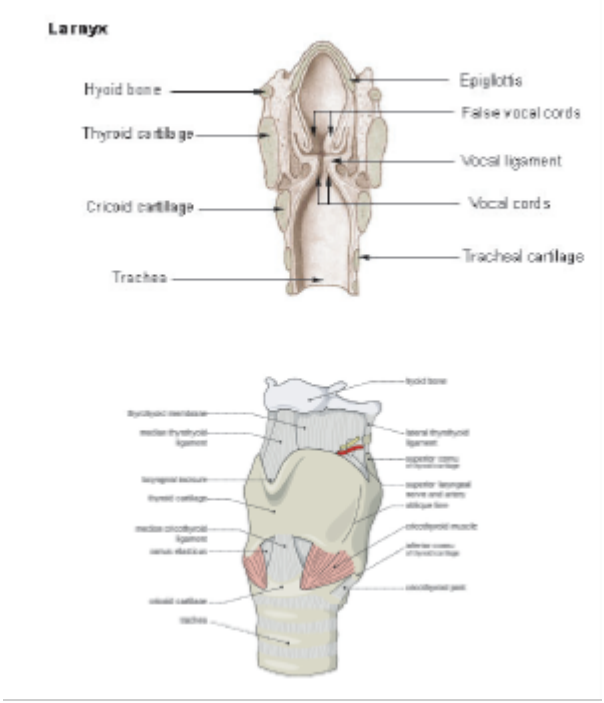
وقد اكتشف فقط بشكل متأخر جدا بأن معادلة التطور هذه للحقل A (x,t) يمكن أن تحل بالورق و القلم (صفحة 315)

المعادلات الموجية غير الخطية الأخرى تصف الحالات الخاصة . و معادلة بوسينيسك هي معادلة جيبية لغوردون و العديد من معادلات الموجة الأخرى قد حفزت البحث الواسع في حقل الفيزياء الرياضية و التجريبية . إن المعادلات التفاضلية الجزئية غير الخطية هي أيضا أساسية في دراسة التنظيم الذاتي (صفحة 413)

لماذا أصوات الموسيقى و الغناء جميلة جدا ؟

تعمل الموسيقى لأنها ترتبط بالمشاعر . و عندما تقوم بذلك ، من بين الأشياء الأخرى ، بتذكيرنا بالأصوات (و المشاعر المتصلة بها)التي نختبرها قبل الولادة . و أدوات القرع تذكرنا بضربات القلب لأمنا و قلوبنا ، والآلات الوترية و النفخ تذكرنا بأصوات سمعناها سابقا . و الأدوات الموسيقية تكون جميلة بصفة خاصة إذا تم قيادتها و عدلت بواسطة الجسم و فن العازف .

كل الأدوات الكلاسيكية هي مصممة مثاليا لتسمح بهذا التعديل و التعبير عن المشاعر . إن الارتباط بين الموسيقي و الأداة هو أكثر شدة للصوت البشري ، و التقريب التالي هي أدوات النفخ .



الشكل 216 الحنجرة البشرية هي جزء من التشريح الذي يحتوي مصدر الصوت للكلام ، الطيات الصوتية

كل أداة موسيقية ، بما فيها الصوت البشري ، تتألف من أربعة عناصر : مصدر طاقة ، مصدر اهتزاز صوتي ، و رنان / طنان / متجاوب واحد أو أكثر و سطح مشع أو فتحة . في الصوت البشري ، مصدر الطاقة يتكون من عضلات الحنجرة و البطن ، و المصدر الثاني هي الطيات الصوتية – أيضا تعرف بالحبال الصوتية – و الجوف الطنيني هو القناة الصوتية ، و الفم و الأنف يشكلان الفتحة .

إن تنفس المغني أو عازف أداة النفخ يعطي الطاقة من أجل توليد الصوت و يعطي الدخل من أجل حلقة التغذية العكسية / التقليم الراجع الذي يضبط طبقة الصوت .

بينما في الغناء ، الهواء يمر عبر الحبال الصوتية . و تدفق الهواء السريع يخفض ضغط الهواء ، و الذي يجذب الحبال لبعضها البعض و بالتالي يخفض المقطع العرضي لمرور الهواء . (تخفيض الضغط هذا يوصف بمعادلة بيرنولي ، كما هو مشروح أدناه) (صفحة 359) . و نتيجة المقطع العرضي الأصغر فإن تدفق الهواء ينخفض ، و الضغط يرتفع ثانية و الحبال الصوتية تفتح ثانية . و هذا يؤدي لتدفق هواء أكبر ، و الدائرة تبدأ ثانية . و التغير بين مسافة الحبل الأكبر و الأصغر تتكرر بشكل سريع بحيث أن الصوت ينتج و الصوت يضخم بالتالي من قبل الفم بواسطة الطنينات التي تعتمد على شكل التجويف الفموي . (المرجع 220) . و باستخدام مصطلحات حديثة ، فإن غناء نوطة ثابتة هو حالة خاصة من التنظيم الذاتي ، وهذا مثال عن دورة تحديد (صفحة 413) .

لكن كيف يمكن لأداة صغيرة مثل القناة الصوتية أن تعطي صوت أكثر شدة من ذلك الذي يعطيه الترومبين ، الذي هو بطول عدة أمتار عندما يلف ؟ كيف يمكن للصوت أن يحقق حتى خمسة أو ثمانية أو كتافات في التردد الأساسي بواسطة فقط حبلين صوتيين ؟ وكيف يمكن للصوت البشري أن ينتج التغير غير المتوافق في جرس الصوت ؟

العديد من تفاصيل هذه الأسئلة ما تزال موضوع بحث بالرغم من أن الارتباطات العامة غير معلومة .

إن الحبال الصوتية البشرية هي في المتوسط بحجم ظفر الإصبع ، ولكنها يمكن أن تختلف بالطول و التوتر / الشد

إن الحبال الصوتية لها ثلاثة مكونات . قبل كل شيء هي تحتوي رباط الذي يمكن أن يحدث تغيرات كبيرة في التوتر أو الإجهاد و يشكل البنية أساسية ، ومثل هذا الرباط لازم لتحقيق مجال واسع من الترددات . ثانيا ، 90% من الحبال الصوتية مكونة من العضلات ، بحيث أن الإجهاد و بالتالي مجال التردد يمكن أن يزداد أكثر . و أخيرا الحبال مغطاة بغشاء مخاطي

و هو غشاء يحتوي سائل الذي يكون بشكل مفضل للمساهمة في الاهتزاز عن طريق أمواج سطحية ،حتى خمسة أوكتافات من مجال طبقة الصوت الأساسية .

أيضا المرنانات للصوت البشري هي استثنائية . بالرغم من الحجم الصغير المتوفر فإن الخواص غير الخطية للمرنانات في القناة الصوتية – خاصة الأثر الذي يعرف بالمفاعلة الخاملة – تسمح بإنتاج صوت عالي الشدة . و هذه الجملة المعقدة ، مع التدريب المكثف ، تنتج ترددات ، جرس و تتابعات موسيقية التي نستمتع بها في الأوبرا ، الجاز وفي كل المعزوفات الصوتية .

في الحقيقة ، العديد من النتائج من الأبحاث حول الصوت البشري – التي أيضا استنتجت بمساعدة التصوير بالرنين المغناطيسي – هي الآن تستخدم بشكل منتظم لتدريب و تعليم المغنين ، بشكل خاص متى يجب استخدام الفم المفتوح و متى يجب استخدام الفم المغلق في الغناء أو متى يجب تخفيض الحنجرة .
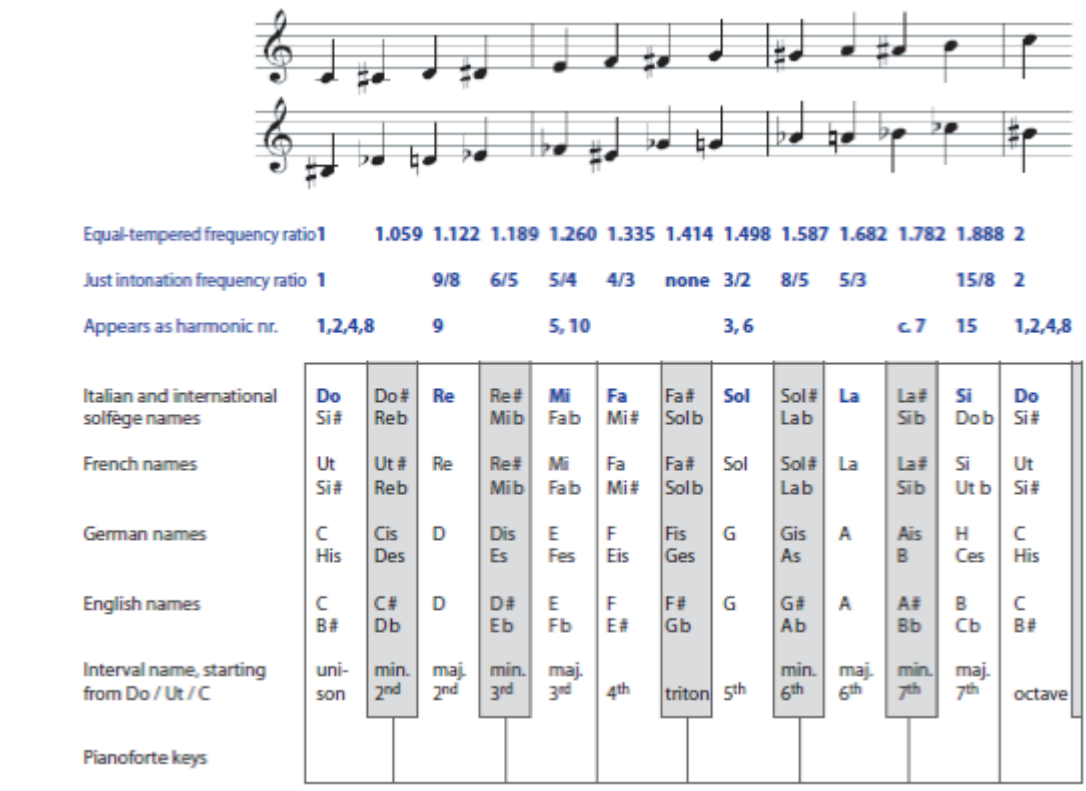
الغناء بالتالي جميل أيضا لأنه أثر غير خطي . في الحقيقة ، كل الأدوات هي مرنانات غير خطية (المرجع 221) و في الأدوات المزمارية مثل الكلارينيت فإن المزمار / القصبة لها دور الحبال الصوتية و الأنبوب له دور المرنان و الآليات تزيح الفتحة التي لها دور الفم و الشفتين . و في الأدوات النحاسية ، مثل الترمبون ، فإن الشفتين تلعبان دور القصبة / المزمار . في أدوات تدفق الهواء ، مثل الفلوت ، فإن حلقة التقليم الراجع هي ناتجة عن تأثير آخر : في حالة إنتاج الصوت فإن تدفق الهواء ينحرف بواسطة الصوت نفسه . و السبب الثاني كون الموسيقى جميلة هو ناتج عن الترددات للنوط المختارة . و إن ترددات معينة تبدو بصوت عذب للأذن عندما تعرف معا أو بشكل قريب من بعضها البعض ، و الترددات الأخرى تنتج حس بالتوتر . إن الإغريق القدماء اكتشفوا أن هذه الإحساسات تعتمد حصريا على نسبة الترددات أو كما يقول الموسيقي على الفاصل الزمني بين طبقتي الصوت .

بشكل أكثر تحديدا نسبة التردد المساوية إلى 2 – يسميها الموسيقيون الزمن أوكتاف – وهو السكون الأجمل . و نسبة 3/2 (تعرف بالخمس) و هي النسبة التالية الجميلة ، يليها نسبة 4/3 (الربع التام) و النسبة 5/4 (الثلث ماجور) و النسبة 6/5 (هي ثلث ، مينور) ثلث مينور) . اختيار أول ثلث في السلم له تأثير مهم على الإحساسات المتوسطة المعبر عنها بواسطة الموسيقى و هي بالتالي أيضا تتجاوز باسم المقياس . و الأغاني في C ماجور عموما يكون لها نغمة أكثر سعادة ، بينما الأغاني في A مينور تميل لأن تعطي صوت أكثر حزنا .

إن نسبة الترددات الأقل جمالا / إمتاعا ، هي النشاز ، و هي التريتون (7/5 أيضا تعرف بالرابع الزائد أو الخامس الناقص أو الخامس الزائف / الكاذب) و بدرجة أقل الماجور و المينور السابع (15/8 و 9/5) . الترايتون تستخدم من أجل الصفارة في عربات الصليب الأحمر الألماني . التتابعات الطويلة من النشازات ، لها تأثير على تحريض النشوة / فقد

الوعي وهي شائع في موسيقى الباليز و في الجاز .

بعد عقود من التجارب ، هذه النتائج أدت إلى ترتيب قياسي للنوط وترددتها المبينة في الشكل 217 . و الترتيب يعرف



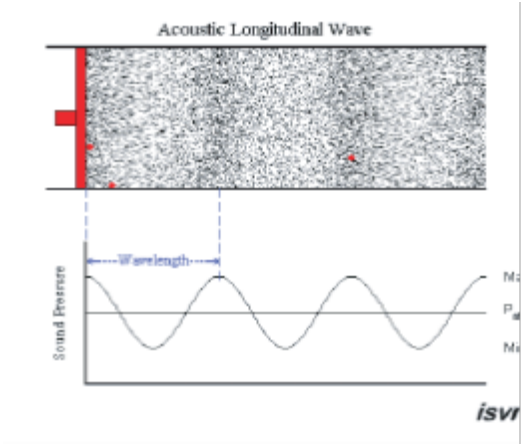
الشكل 217 الإثني عشرة نوطة المستخدمة في الموسيقى و نسبها الترددية

بالتنويط المتساوي أو التنويط ذو الضبط الجيد ، و تحتوي تقريبات لكل المجالات المذكورة ، التقريبات لها ميزة أنها تسمح بتبادل / تناقل الموسيقى لنوط أخفض أو أعلى .وهذا ليس ممكنا بواسطة التنويط المثالي الذي يعرف فقط بالتنويط . (المرجع 222) .

المرة التالية التي تستخدم فيها الصون بهذا الشكل ربما عليك أن تحاول أن تحدد فيما إذا كنت تستخدم التنويط المجرد أو المتساوي – أو تنويط مختلف عنهما (تحدي e 530) . و الناس المختلفين لديهم أذواق مختلفة و عادات .

قياس الصوت

عند كل نقطة في الفراغ تنتج موجة صوت في الهواء أثرين : تغير في الضغط و تغير في السرعة . يبين الشكل 218 كلا منهما : تغيرات الضغط تحرض تغيرات في الكثافة للجزيئات بينما تغيرات السرعة تؤثر على السرعة المتوسطة للجزيئات



الشكل 218 مخطط يبين حركة الجزيئات لموجة الصوت في الهواء

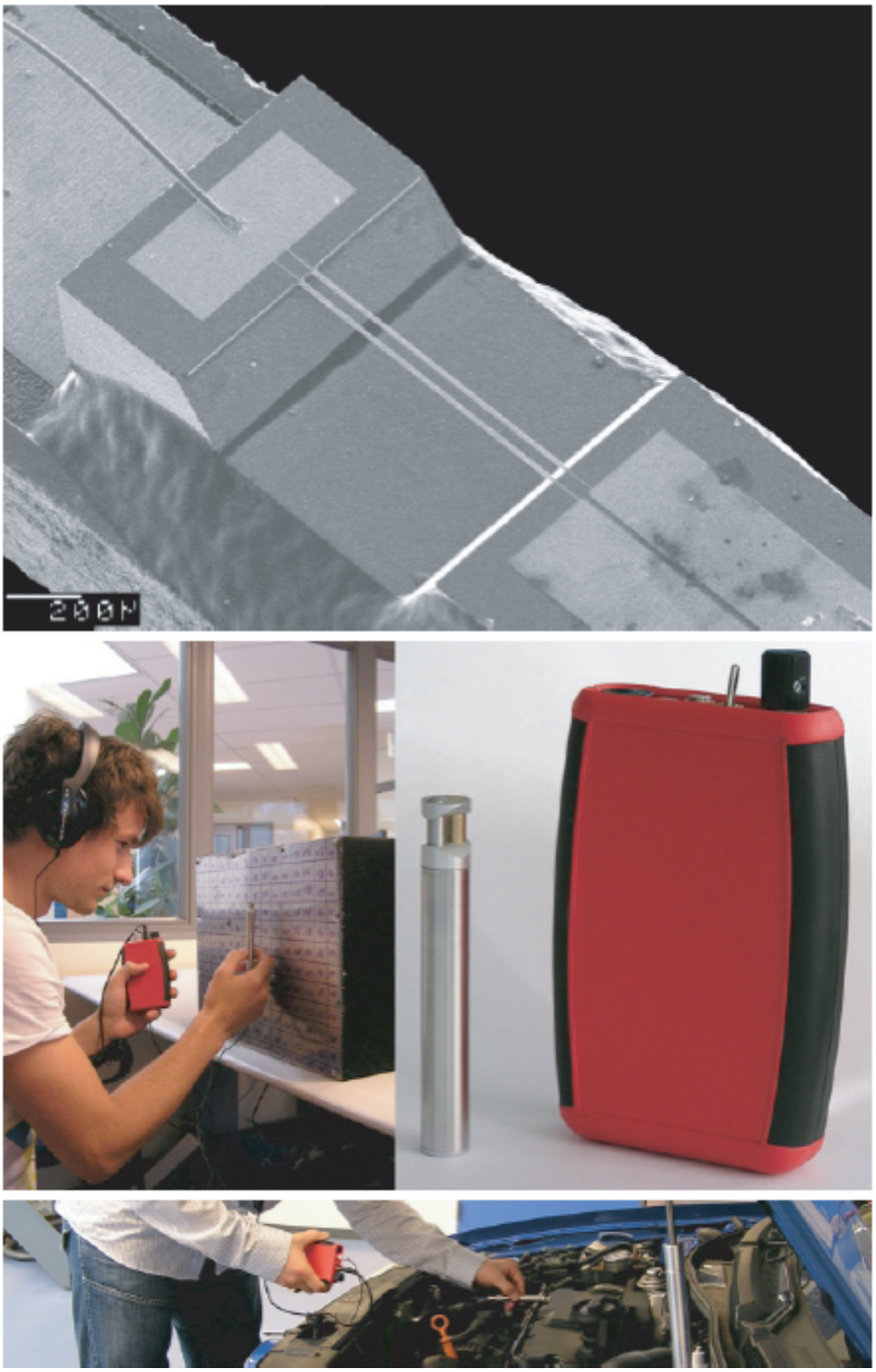
جدول 41

القياس	شدة الصوت
عتبة الصوت عند 1 Hz	0 dB أو 1 Pw
الحديث البشري	25- 35 dB
القطار النفقي الذي يدخل محطة تحت الأرض	100dB
التصوير بالأمواج فوق الصوتية للأطفال	أعلى من 100 dB
عتبة الألم العادية	120 dB أو 1W
حفلة موسيقى روك (صاخبة) بسماعات استطاعتها 400 000 W	135 -150 dB
الألعاب النارية	حتى 150 dB
إطلاق النار	حتى 155 dB
إطلاق صاروخ	حتى 170 dB
غناء الحوت الأزرق	حتى 175 dB
الثورانات البركانية ، الزلازل ، القنابل التقليدية	حتى 210 dB
صدمة نيزك كبير ، قنبلة نووية كبيرة	أعلى من 300 dB

ضغط الصوت الموضعي يقاس بواسطة الميكروفون أو الأذن . و سرعة الجزيئات الموضعية تقاس بواسطة ميكروأنيمومتر / مقياس شدة الريح أو حساس سرعة الجريئات الصوتي . لم يكن مثل هذا الجهاز موجودا حتى عام 1994 عندما اخترع هانس إلياس دو بري طريقة لبنائه المبينة في الشكل 219 مثل هذا المقياس لشدة الريح ليس من السهل تصنيعه . يسخن سلكي بلاتين حتى 220 درجة مئوية و الفرق في درجة حرارتهما يعتمد على سرعة الهواء و يمكن قياسها بمقارنة مقاومتهما الكهربائية . بسبب الأبعاد الصغيرة فإن مجال التردد الذي يصل إلى 20 kHz هو ممكن . و بوضع ثلاثة من مثل هذه الأجهزة بحيث تصنع زوايا قائمة مع بعضها البعض من الممكن تحديد موضع اتجاه مصدر الضجيج

وهذا مفيد من أجل إصلاح و تطوير السيارات أو فحص القطارات و الآلات . و بترتيب العديد من مثل هذه الأجهزة في شبكة مربعة يمكن للمرء حتى أن يبني كاميرا صوتية . و يمكن حتى أن تستخدم لكشف مواقع الطائرات و الطائرات بلا طيار وهذا نوع يشبه الرادار الصوتي . لأن مقاييس شدة الريح يعمل مثل الميكروفونات الصغيرة و التوجيهية جدا ، و لأنها تعمل تحت الماء ، فإن العسكريين و الجواسيس لا يستهينون بها .

بالمناسبة : كيف تقارن سرعة الجزيئات الناتجة عن الصوت مع سرعة الجزيئات الناتجة عن درجة حرارة الهواء (تحدي 531 ny) .



الشكل 219 - الأعلى : سلكي بلاتين مسخنين يسمحان ببناء مقياس شدة الريح . و يمكن أن يساعدا في الإشارة تماما إلى نقطة صدور الضجيج .



الشكل 220 نظام تصوير بالأمواج فوق الصوتية و الصورة فوق الصوتية المؤذية للجنين

هل التصوير بالأمواج فوق الصوتية مؤذي للجنين ؟

يستخدم التصوير بالأمواج فوق الصوتية في الطب لدراسة داخل الجسم البشري . التقنية تسمى التصوير بالأمواج فوق الصوتية وهي مساعدة و ملائمة و واسعة الانتشار كما هو مبين في الشكل 220 .

لكن ، لها سيئة . حيث أ، الدراسات في مايو كلينيك في مينيسوتا ، وجدت أن الأمواج فوق الصوتية النبضية ، على عكس المستمرة تنتج مستويات عالية جدا من الصوت المسموع داخل الجسم (المرجع 223) . (بعض شدات الصوت واردة في الجدول 41) .

الأمواج فوق الصوتية النبضية / المتقطعة تستخدم في التصوير بالأمواج فوق الصوتية و في بعض , ليس كل ، مراقبات ضربات قلب الجنين . و مثل هذه الآلات تنتج بالتالي شدات عالية في مجال الصوت المسموع . و هذا يبدو تناقضا ، إذا ذهبت إلى أخصائي أمراض نسائية ووضع رأس جهاز التصوير بالأمواج فوق الصوتية على أذنك أو رأسك فإنك ستسمع فقط ضجيجا خافتا . في الحقيق إن هذه الشدة المنخفضة هي التي تخدع الجميع للاعتقاد بأن مستوى الضجيج الذي يسمعه الطفل هو فقط ضجيج منخفض جدا . و مستوى الضجيج هو فقط منخفض لأن الأذن البشرية مليئة بالهواء . على العكس من ذلك فإنه في الجنين ، الأذن ممتلئة بسائل ، وهذه الحقيقة تغير انتشار الصوت بشكل كامل : حيث الصوت المتولد عن آلات التصوير بالأمواج فوق الصوتية يركز الآن بشكل كامل و مباشرة يحث الأذن الداخلية . و التأثير الكلي مشابه لما يحدث إذا وضعت يدك في أذنك : وهذا يمكن أن يكون عالي الصوت جدا بالنسبة لك و لكن لا أحد آخر يسمع ما يحدث .

الأبحاث الحديثة بينت أن مستويات الصوت الأعلى من 100 dB المقابلة لقطار نفقي يدخل المحطة تتولد بواسطة نظم التصوير بالأمواج فوق الصوتية (مرجع 223 . في الحقيقة كل أخصائي أمراض نسائية سيؤكد أن التصوير سيؤذي الجنين . عند التساؤل حول هذه القضية فإن العديد من صانعي أجهزة التصوير بالأمواج فوق الصوتية أكدوا أن الخرج الصوتي لأجهزتهم هو فقط خمسة ميلي واط . وهذه الاستطاعة الصوتية فقط لمزمار بأعلى قوته . و نظرا لأن العديد من الفحوصات بالأمواج فوق الصوتية تستغرق عشرة دقائق و أكثر فإن الضرر على أذن الجنين لا يمكن استبعاده (المرجع 224) . و لذلك من غير المنطقي تعريض الطفل لهذا المستوى من الضجيج بدون سبب وجيه .

باختصار الأمواج فوق الصوتية يجب أن تستخدم من أجل الحوامل في حال الضرورة فقط . و الأمواج فوق الصوتية ليست آمنة لآذان الأجنة . (المقولات من قبل المجامع الطبية للأمواج فوق الصوتية التي تقول العكس هي خاطئة) . في كل الحالات الأخرى فإن التصوير بالأمواج فوق الصوتية هو آمن .

لكن يجب ملاحظة أن المشكلة الممكنة الأخرى التصوير بالأمواج فوق الصوتية هي قضية الضرر للأنسجة عن طريق التكهف و التي لم تدرس بتفصيل كامل بعد (المرجع 225) .

الإشارات

الإشارة هي نقل المعلومات . كل إشارة ، التي تتضمن تلك من الجدول 40 هي حركة الطاقة . الإشارات يمكن أن تكون إما أجسام أو أمواج . إن حجرا مرميا يمكن أن يكون إشارة ، كما يمكن أن تكون الصفرة . الأمواج هي شكل أكثر عملية للاتصالات لأنها لا تحتاج نقل المادة : من الأسهل استخدام الكهرباء في سلك الهاتف لنقل الكلام بدلا من إرسال رسول . و في الحقيقة أكثر التطورات التكنولوجية الحديثة يمكن أن يتابع للفصل بين نقل الإشارة و المادة . و بدلا من نقل الأوركسترا لإرسال الموسيقى ، يمكننا إرسال إشارات الراديو . بدلا من إرسال الرسائل الورقية ، فإننا نكتب بريد إلكتروني و بدلا من الذهاب للمكتبة فإننا نستعرض الإنترنت .

إن التقدم الأكبر في الاتصالات نتج من استخدام الإشارات من أجل نقل مقادير كبيرة من الطاقة . و هذا ما تقوم به كابلات الكهرباء : فهي تنقل الطاقة بدون نقل أي مادة (بشكل ملحوظ) . و نحن لا نحتاج بربط آلات مطبخنا بمحطة الطاقة : يمكننا أن نحصل على الطاقة عن طريق سلك نحاسي.

من أجل كل هذه الأسباب فإن مصطلح إشارة غالبا يعني تضمين الأمواج فقط . و الصوت ، الكلام ، الإشارات الكهربائية ، الراديو ، و الإشارات الضوئية هي الأمثلة الأكثر شيوعا هي إشارات الأمواج .

الإشارات تتميز بسرعتها و محتواها من المعلومات . كلا المقدارين يتبين أنهما محدودان . الحد للسرعة هو موضوع أساسي في نظرية النسبية الخاصة (مجلد II ، صفحة 15) .

الحد البسيط لمحتوى المعلومات للإشارات الموجية يعبر عنه عند ملاحظة أن تدفق المعلومات يعطى بشكل مفصل للإشارة

والشكل يتميز بتردد (أو طول الموجة) و الموضع في الزمن (أو الفراغ) . من أجل كل إشارة – وكل موجة - هناك علاقة بين خطأ زمن الوصول Δt و خطأ التردد الزاوي $\Delta\omega$:

$$\Delta t \, \Delta\omega \geqslant \tfrac{1}{2} . \qquad (102)$$

إن عدم تحديد علاقة الزمن - التردد تعبر عن أنه في إشارة ، من المستحيل تحديد كل من الزمن و التردد بدقة كاملة . و الخطأين (ضمن عامل عددي) هما عكس بعضهما البعض . (يمكننا القول أن جداء الزمن – عرض الحزمة هو دائما أكبر من $1/4\pi$) . إن التحديد يظهر لأنه من ناحية فإننا بحاجة لموجة شبيهة قدر الإمكان بموجة جيبية طويلة كي نحدد بدقة زمن وصولها . و التباين في الشرطين يؤدي إلى الحد . و إن علاقة عدم التحديد هي بالتالي ميزة لكل ظاهرة جيبية

و يمكن أن تريد اختبار هذه العلاقة بواسطة أي موجة في بيئتك . (تحدي e 532) .

بشكل مشابه هناك علاقة بين الخطأ في الموضع Δx و خطا شعاع الموجة $\Delta k=2\pi/\Delta\lambda$ لإشارة :

$$\Delta x \, \Delta k \geqslant \tfrac{1}{2} . \qquad (103)$$

مثل الحالة السابقة أيضا عدم التحديد هذا يعبر أنه من المستحيل تحديد كل من الموضع لإشارة و طول موجتها بدقة كاملة . و أيضا علاقة عدم التحديد هذه للموضع – شعاع الموجة هي ميزة لأي ظاهرة موجية .

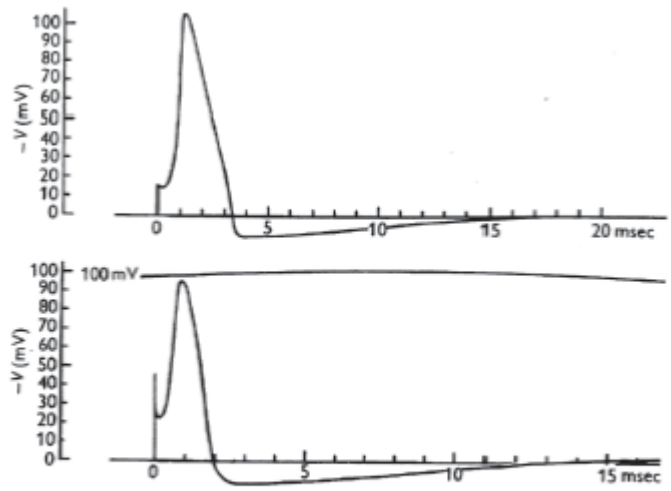


Fig. 13. Upper curve: solution of eqn. (26) for initial depolarization of 15 mV, calculated for 6° C. Lower curve: tracing of membrane action potential recorded at 9·1° C (axon 14). The vertical scales are the same in both curves (apart from curvature in the lower record). The horizontal scales differ by a factor appropriate to the temperature difference.

الشكل 221 الإشارات الكهربائية المحسوبة (الأعلى) و المقاسة (أدنى) في عصب وفق هودجكن و هكسلي

كل علاقة عدم تحديد هي نتيجة فكرة أصغر ما يكون . في حال الأمواج ، فإن أصغر شيء في الظاهرة هو الدور (أو النوبة كما اتفق على تسميتها) و متى كان هنا واحدة اصغر ما يكون في ظاهرة طبيعية ، فإنه ينتج علاقة عدم تحديد

وسوف نصادف علاقات عدم تحديد أخرى في كل من النسبية و نظرية الكم . و كما سنجد ، هي ناتجة عن أصغر الكميات أيضا .

متى أرسلت الإشارات ، فإن محتواها يمكن أن يضيع . و كل من المميزات الست للأمواج واردة في الصفحة و كل من المميزات الست للأمواج واردة في الصفحة 300 يمكن أن تؤدي إلى تدهور المحتوى . هل يمكن أن تعطي مثالا عن كل حالة ؟ (تحدي 533s) . الطاقة ، كمية الحركة و كل الخواص المصونة للإشارات لا تضيع أبدا . عندما تختفي الحركة بالاحتكاك ، فإنه يبدو أنها تختفي فقط و في الحقيقة تتحول إلى ضجيج . الضجيج (الفيزيائي) هو مجموعة من الإشارات الكثيرة المختلطة ، و بنفس الشكل ، الحرارة هي مجموعة من الحركات الكثيرة المختلطة .

كل انتشار الإشارات يوصف بتابع الموجة . و المثال الشهير هو مجموعة المعادلات التي وجدت من قبل هودجكن و هكسلي (مرجع 226) . وهو تقريب حقيقي من أجل سلوك الكمون الكهربائي في الأعصاب . و باستخدام الحقائق حول سلوك شوارد البوتاسيوم و الصوديوم فقد وجدوا معادلة موجة مناسبة التي تصف الجهد V في الأعصاب و بالتالي الطريقة التي تنتشر بها الإشارات عبرها .

المعادلة تصف قفزات الجهد المميزة المقاسة في الأعصاب ، المبينة في الشكل 221 . و الشكل يبين بوضوح أن هذه الأمواج تختلف عن الأمواج الجيبية : و هي ليس توافقية . و عدم التوافقية هو أحد نتائج عدم الخطية . و لكن عدم الخطية يمكن أن يؤدي إلى تأثيرات أقوى من ذلك حتى .



الشكل 222 الموجة الفريدة / الوحيدة التي تتبع قارب بمحرك ، تعيد تجسيد اكتشاف سكوت راسل

الأمواج الفريدة / الوحيدة و السوليتونات

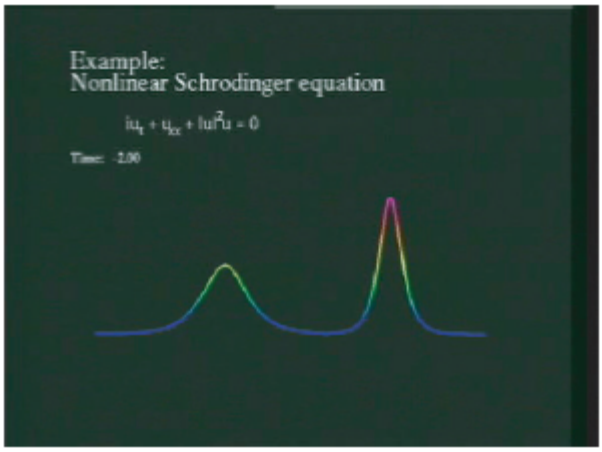
في آب عام 1834 سجل المهندس الاسكتلندي جون سكون راسل (ولد في غلاسكو عام 1808 و توفي في لندن 1882)

ملاحظة غريبة في قناة الماء في الريف قرب إدنبره . عندما سحب قارب عبر القناة فإنه فجأة توقف و صدرت عنه موجة ماء غريبة . و هي مكونة من قيمة واحدة ، بطول حوالي 10 m و ارتفاع نصف متر التي تتحرك بسرعة حوالي 4 m/s

وقد تابع تلك القمة ، المبينة في التجسيد في الشكل 222 بواسطة حصانه لعدة كيلومترات : الموجة تلاشت بشكل بطئ جدا ولم يلاحظ راسل أي تشتت ، كما هو معتاد في أمواج المياه العميقة : عرض القمة بقي ثابتا . راسل بدأ بالتالي إنتاج مثل هذه الأمواج في مخبره ، و درس بشكل واسع خواصها (المرجع 227) .

بيّن راسل أن السرعة تعتمد على المطال ، على عكس الأمواج الخطية التوافقية . و قد وجد أيضا أن العمق d لقناة الماء كان بارامترا مهما . وفي الحقيقة السرعة v ، المطال A و العرض L لهذه الأمواج وحيدة القمة ترتبط بالشكل :

$$v = \sqrt{gd}\left(1 + \frac{A}{2d}\right) \quad \text{and} \quad L = \sqrt{\frac{4d^3}{3A}}\,. \qquad (104)$$



الشكل 223 السوليتونات هي مستقرة مقابل الالتقاءات

القنوات لها شكل موصوف بالشكل

$$u(x,t) = A\,\mathrm{sech}^2\,\frac{x - vt}{L} \quad \text{where} \quad \mathrm{sech}\,x = \frac{2}{e^x + e^{-x}}\,, \qquad (105)$$

و العلاقة التي وجدت من قبل راسل كانت باستخدام معادلة الموجة

$$\frac{1}{\sqrt{gd}}\frac{\partial u}{\partial t} + \left(1 + \frac{3}{2d}u\right)\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{d^2}{6}\frac{\partial^3 u}{\partial x^3} = 0\,. \qquad (106)$$

هذه المعادلة للاستطالة u تعرف الآن بمعادلة كورتفيج - دو فريس تقديرا لهما * . و الاستقرار المدهش للحلول الفريدة هو ناتج عن التأثير المعاكس للحدين اللذين يميزان المعادلة عن معادلات الموجة الخطية : من أجل الحلول الفريدة ، فإن الحد غير الخطي يعوض بشكل دقيق التشتت الناتج عن الحد المشتق الثالث .

لعدة عقود فإن مثل هذه الأمواج الفريدة كانت ترى كأمور تجتذب الفضول من الناحية الرياضية و الفيزيائية. و سبب هذا كان بسيطا : لا يوجد شخص يمكن أن يحل المعادلات . و كل هذا تغير تقريبا منذ مائة عام عندما أصبح من الواضح أن معادلة كورتفيج - دو فريس هي نموذج عام من أجل الأمواج الضعيفة غير الخطية في نظام التشتت الضعيف ، وبالتالي هي ذات أهمية أساسية . و هذه النتيجة طرحت من قبل كروسكال و زابوسكي ، اللذين أثبتا في عام 1965 رياضيا أن الحلول (105) غير متغيرة في الصدم . وهذا الاكتشاف شجعهما على طرح مصطلح سوليتون

هذه الحلول في الحقيقة تخترق بعضها البعض بدون تغيير السرعة أو الشكل : الصدم فقط ينتج إزاحة موضعية من أجل كل نبضة (المرجع 230) .

---

*هذه المعادلة يمكن تبسيطها بتحويل المتحول u و بشكل أكثر اختصارا يمكن إعادة كتابتها بالشكل $u_i + u_{xxx} = 6uu_x$

طالما أن الحلول هي توابع sech فإن هذه الأشكال و الأشكال الأخرى المحولة للمعادلة تكون معروفة بنفس الاسم .

الأمواج الفريدة / الوحيدة تلعب دورا في العديد من الأمثلة لتدفق الموائع . وهي توجد في تيارات المحيط ، وحتى البقع الحمراء على المشتري التي هي ميزة ثابتة للصور للعديد من القرون ، وهي مثال على ذلك .

الأمواج الفريدة / الوحيدة أيضا تظهر عندما يتولد الصوت عالي الشدة جدا في الأجسام الصلبة . و في هذه الحالات ، يمكن أن تؤدي إلى نبضات صوتية فقط تبلغ بضع نانومترات من حيث الطول (المرجع 231). و النبضات الضوئية الفريدة أيضا تستخدم داخل ألياف بصرية معينة للاتصالات حيث عدم وجود التشتت يسمح بمعدلات نقل بيانات أعلى من الذي يحقق بواسطة نبضات الضوء العادية (المرجع 227) .

حوالي نهاية القرن العشرين ، فقد اكتشف الرياضيون أن السوليتونات تخضع لتعميم غير خطي لمبدأ التنضد . (وهذا ناتج عن تحويلات داربو – باكلوند و بنية الساتو غراسمانيان) . و إن رياضيات السولويتونات ممتعة جدا . و إن التطور في الرياضيات أطلق موجة ثانية من الاهتمام في السوليتونات ، عندما أصبح نظريو الكم مهتمين بها . السبب هو بسيط : السوليتون هو شيء وسط بين الجسيم و الموجة و لها مزايا كلا المبدئين (المرجع 228) . لهذا السبب فإن السوليتونات غالبا ترى – بالرغم من أن هذا غير صحيح – كمرشحات لوصف الجسيمات الابتدائية .

الفضول و تحديات مرحة حول الأمواج و الاهتزاز

" المجتمع هو موجة . الموجة تتحرك للأمام و لكن الماء المكونة منه لا يفعل "

رالف والدو إميرسون ، الاعتماد على الذات

عندما يضاعف تردد النغمة ، يقول المرء أن النغمة أعلى بأوكتاف . و النغمتين اللتان تختلفان بمقدار أوكتاف عندما تعزفان تعطيان صونا سارا للأذن . و النسبتين الأخريين الجميلتين للتردد أو الفواصل الزمنية ، كما يسميها الموسيقيون هما الرباعيات و الخماسيات .

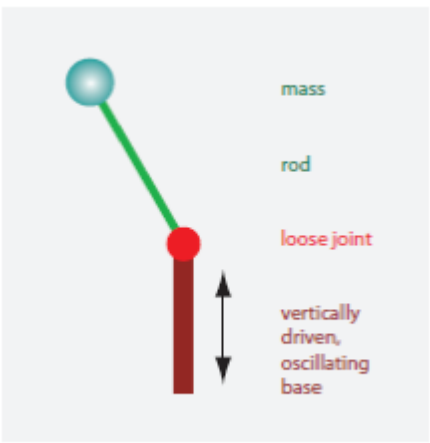
ما هي مقابل النسبة الترددية ؟ (تحدي 534e) الجواب على هذا السؤال كان أحد أقدم الاكتشافات في الفيزياء و البحث الإدراكي ، وهو منسوب إلى فيثاغورث في حوالي 500 BCE .

* *

العديد من المعلمين خلال دروسهم ، يستنشقون الهليوم في الصف . عندما يتحدثون ، فإن لديهم صوت عالي . النبرة العالية بسبب القيمة العالية لسرعة الصوت في الهليوم . و الخدعة الأخرى هي أيضا ممكنة بواسطة SF_6 ، الذي يؤدي لصوت عميق جدا . الشيء المعروف بشكل أقل هو أن تلك التجارب خطرة . الهليوم ليس سما ولكن بسبب نصف قطره الذري الصغير فإنه ينتشر بسرعة . و مختلف الناس يحصل لديهم انصمام رئوي من تنفيذ التجربة و القليل منهم مات . لا تجرب هذا أبدا بنفسك ، شاهد بدلا من ذلك فيديو يوتيوب

* *

عندما يتأرجح طفل يدفعه شخص كبير ، فإن تراكم المطال ناتج عن التجاوب (المباشر) . عندما من ناحية أخرى يعمل على ضبط الأرجوحة وجعلها تتحرك فإنه يستخدم ضعف التردد الطبيعي للتأرجح ، وهذا التأثير يعرف بالتجاوب البارامتري . و إن التأثير المدهش للتجاوب البارامتري يظهر عندما يوصل نواس مقلوب إلى قاعدة مهتزة . يبين الشكل 224 التجربة ، بسبب الوصلة ، الكتلة تكون حرة السقوط للأسفل من طرف . و مثل هذا النواس المقاد عكسيا بشكل شاقولي ، في بعض الأحيان يعرف بنواس كابيتسا وسوف يبقى مقلوبا بثبات إذا كان تردد القيادة للوصلة قد اختير جيدا و من أجل واحد من الفيديوهات العديدة حول هذه الظاهرة أنظر www. youtube.com/watch?v=is_ejYsvAjY



الشكل نواس مقاد بشكل مقلوب مستقر في الوضعية المقلوبة عند تشكيلات معينة للتردد و المطال .



الشكل 225 موجة بطيئة بشكل خاص : حقل تزلج متعرج

التجاوب البارامتري يظهر في العديد من الحالات ، التي تتضمن السماء . إن كويكبات طروادة تبقى في مدارها بواسطة التجاوب البارامتري .

* *

أيضا مرتفعات ميول / منحدرات التزلج ، هي ما تعرف بحدبات التزلج ، هي أمواج : وهي تتحرك . إن حدبات التزليج هي أساسية في العديد من الرياضات الشتوية الأولمبية (مرجع 229) . تبين القياسات أن حدبات التزلج لها طول موجة يبلغ 5-6 m و أنها تتحرك بسرعة متوسطة تبلغ 8 cm/day . و من المدهش أن السرعة موجهة للأعلى ، باتجاه قمة منحدر التزلج . هل يمكنك أن تشرح لماذا يحدث هذا ؟ (التحدي 535s) . في الحقيقة ، حدبات التزلج هي أيضا مثال للتنظيم الذاتي ، هذا الموضوع سيغطى بمزيد من التفصيل أدناه . (صفحة 413)

* *

تعزف الأوركسترا موسيقى في قاعة كبيرة . على مسافة على مسافة 30m ، ويستمع شخص ما للموسيقى . على مسافة 3000 km ، شخص آخر يستمع للموسيقى عبر الراديو . من يسمع الموسيقى أولا ؟ (تحدي 536s)

* *

ما هو دور النواس البسيط ، أي ذو الكتلة m المربوط إلى خيط عديم الكتلة بطول l ؟ ما هو الدور إذا كان الخيط أطول بكثير من نصف قطر الأرض ؟ (تحدي 537 s)

* *

ما هو المسار الذي يتبعه جسم الذي يتحرك بدون احتكاك على مستوي ، ولكن المرتبط بنابض إلى نقطة ثابتة على المستوي ؟ (تحدي 538 s)

* *

الحوت الأزرق ، Balaenoptera musculus ، هو أعلى حيوان صوتا موجود في الطبيعة : يمكن سماع صوته على مسافة مئات الكيلومترات .

* *

دراسة الصوت في البحر ، من اتصال الحيتان إلى سونار الدلافين هو عالم بذاته . في البداية ، ابحث في موقع الإنترنت الممتاز www.dosits.org .

* *

إن الجهاز المهم الذي يبين كيف يرتبط الدوران و الاهتزاز هو صفارة الإنذار .أوجد كيف تعمل و قم ببناء واحدة بنفسك (تحدي 539e) .

* *

إن شعب يوناتان سويفت ليليبوتيانيين هم بحجم 1/12 من البشر العاديين . بيّن أن تردد أصواتهم يجب أن يكون أعلى بمقدار 144 من ذلك العائد للبشر ، و بالتالي غير مسموع. غوليفير يمكن ألا يسمع ما يقوله الليليبوتيانيين . نفس الشيء ، في الأغلب يمكن أن يكون صحيحا من أجل البروبدينجناج ، الذين هم أطول بعشرة مرات من البشر . إن جملهم ستكون أبطأ أيضا بمائة مرة . (تحدي 540s) .

* *

الضوء هو موجة كما سنكتشف لاحقا . بالنتيجة الضوء الذي يصل للأرض من الفضاء ينكسر عندما يدخل الغلاف الجوي .هل يمكنك إثبات أنه نتيجة لذلك تظهر النجوم أعلى بعض الشيء في السماء الليلية عما هي عليه فعلا ؟ (تحدي 541e)

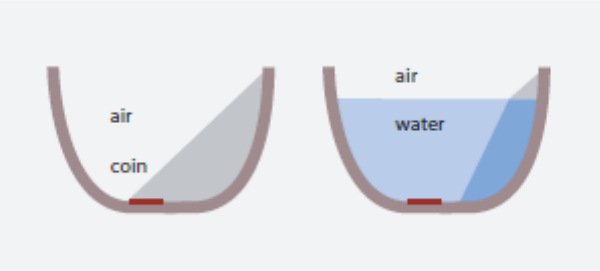
* *

ما هي أعلى الأمواج البحرية ؟ هذا السؤال تم البحث فيه منهجيا فقط مؤخرا ، باستخدام الأقمار الصناعية (المرجع 232)

النتيجة المدهشة هي أن أمواج البحر بارتفاع 25 m و أكثر هي شائعة : هناك بعض من مثل هذه الأمواج في المحيط عند أي وقت معين . هذه النتيجة تؤكد القصص النادرة عايشها ربابنة سفن و شرحوا سبب العديد من السفن التي غرقت بلا سبب واضح .

المبحرون / راكبي الأمواج بالتالي يحصلون على العديد من الفرص ليركبوا أمواجا بارتفاع 30m . (الرقم القياسي الحالي هو أدنى قليلا من هذا الارتفاع . لكن ربما الأمواج الأكثر أهمية في الإبحار هي تلك العائدة لبوروروكا ،وهي سلسلة من أمواج 4m التي تتحرك من البحر إلى نهر الأمازون كل ربيع ، ضد تدفق النهر . و هذه الأمواج يمكن أن تمتطى لعشرات الكيلومترات .

* *



الشكل 226 الظلال تبين انكسار الضوء

من المدهش أن كل سطح مائي له أمواج ، حتى إذا كانت تبدو مسطحة بشكل كامل . بالنتيجة فإن درجة الحرارة المنتهية للماء ، فإن سطحه له بعض الخشونة : هناك أمواج شعرية حرارية . من أجل الماء ذو التوتر السطحي البالغ 72 mPa فإن الخشونة النوعية عند الشروط الاعتيادية هي 0.2 nm . هذه الأمواج الشعرية الحرارية ، قد تم توقعها منذ عدة قرون ، و التي لوحظت فقط مؤخرا . (المرجع 233)

* *

كل الأمواج تكون مخمدة ، في النهاية . هذا الأثر غالبا يتبع التردد . هل يمكنك إعطاء تأكيد لهذه التبعية في حال الصوت في الهواء ؟ (التحدي 542 s) .

* *

عندما تعمل ثقبا بواسطة إبرة في ورقة سوداء ، الثقب يمكن أن يستخدم كعدسة مكبرة (جرب ذلك) (التحدي 543e)

الحيود ناتج عن تأثير العدسة . بالمناسبة ، حيود الضوء بواسطة الثقوب ، لوحظ من قبل فرانشيسكو غريمالدي في القرن السابع عشر وقد استنتج بشكل صحيح أن الضوء هو موجة . إن قياساته نوقشت لاحقا من قبل نيوتن و الذي صرف النظر عنها بشكل خاطئ ، لأنها لا تطابق معتقداته .

* *

ضع كأسا فارغا قرب مصباح بحيث أن أسفل / قعر الكأس يبقى في الظل . عندما تملأ الكأس بالماء ، بعض من القعر سيبدو مضاءا ، بسبب انكسار الضوء من المصباح ، كما هو مبين في الشكل 226 . و نفس التأثير يسمح لنا ببناء العدسات . الانكسار بالتالي هو أساس العديد من الأدوات الضوئية ، مثل المنظار أو المجهر (المجلد III ، صفحة 123)

* *

هل أمواج الماء طولانية أم عرضانية ؟ (تحدي 545s)

* *

سرعة أمواج الماء تحد من سرعة السفن . إن السفينة السطحية لا يمكنها الحركة (كثيرا) أسرع من حوالي $v_{crit} = \sqrt{0.16gl}$ حيث $g = 9.8\ m/s^2$ ، l هو طول المركب و 0.16 هو عدد محدد تجريبيا يسمى عدد فرود الحرج و هذه العلاقة صالحة من أجل كل المراكب ، من الناقلات الضخمة (l=100 m يعطي $v_{cri} = 13\ m/s$)إلى البط (l =0.3 يعطي $v_{cri} = 0.7\ m/s$) السرعة الحرجة هي سرعة الموجة ذات نفس طول الموجة التي للسفينة . في الحقيقة السفينة المتحركة عند سرعات أعلى من القيمة الحرجة هي ممكنة و لكن تتطلب طاقة أكثر بكثير . (السرعة الأعلى هي أيضا ممكنة إذا كانت السفينة تركب موجة) .

كم يبعد الرقم القياسي لسباحة الصدر الأولمبي عن القيمة الحرجة ؟ (تحدي 546 s)

أكثر الحيوانات المائية و السفن هي أسرع عندما تسبح أسفل السطح – حيث الحد ناتج عن الأمواج غير موجود – عما عليه عندما تسبح على السطح . مثلا ، البط يمكن أن يسبح بسرعة تبلغ ثلاث مرات تحت الماء عن سرعة سباحتها على السطح .

* *

سرعة المجموعة لأمواج الماء (في المياه العميقة) هي أقل من سرعة قمم الموجة الإفرادية و هذا ما يعرف بسرعة الطور

بالنتيجة عندما مجموعة قمم الموجة تنتقل ، ضمن المجموعة فإن القمم تتحرك من الخلف للأمام :وهي تظهر في الخلف و تنتقل للأمام و بعدها تفنى في الأمام . و سرعة المجموعة لأمواج الماء هي أخفض من سرعتها الطورية .

* *

يمكننا سماع البحر عن بعد أو الطريق السريع البعيد بشكل أكثر وضوحا في المساء عما هو عليه في الصباح . هذا الأثر ناتج عن الانكسار . سرعة الصوت تزداد مع درجة الحرارة . و في المساء تبرد الأرض بشكل أسرع من الهواء فوقها و بالنتيجة الصوت الذي يغادر الأرض و ينتقل لأعلى ينكسر للأسفل مما يؤدي إلى مسافة سماع أطول في المساء و في الصباح عادة الهواء يكون بارد في الأعلى و دافئ في الأسفل . و الصوت ينكسر للأعلى و الصوت البعيد لا يمكن أن يصل للمستمع على الأرض . و الانكسار بالتالي يقتضي أن الصباح هو أكثر هدوءا و أننا يمكن أن نسمع أصواتا ابعد في المساء

الفيلة تستخدم وضعية الصوت خلال المساء للاتصال مع بعضها على مسافات أكثر من 10 km . (وهي أيضا تستخدم الصوت في الأرض للاتصال ولكن لهذا قصة أخرى ؟).

* *

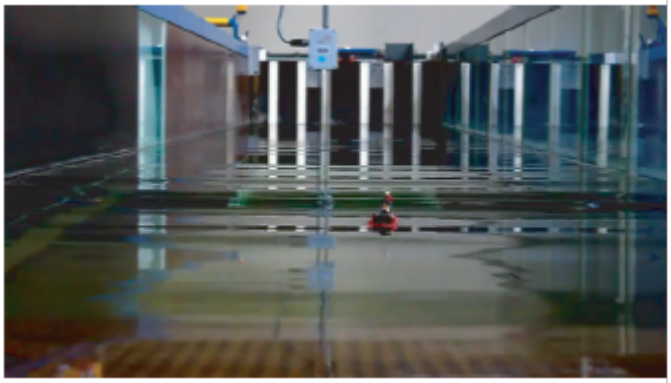
الانكسار أيضا يقتضي أن هناك قناة صوتية في المحيط ، و واحدة في الغلاف الجوي . سرعة الصوت تزداد مع درجة الحرارة ، و تزداد مع الضغط , و عند عمق 1km في المحيط أو عند ارتفاع 13-17 km في الغلاف الجوي (الذي هو قمة أعلى

الغيوم الركامية أو بشكل مكافئ في منتصف طبقة الأوزون) يكون للصوت سرعة أصغرية . بالنتيجة الصوت الذي ينطلق من ذلك المستوى و يحاول المغادرة يتم إعادته إلى نقطة الانطلاق . و الحيتان تستخدم هذه القناة الصوتية للاتصال مع بعضها البعض بواسطة أغاني جميلة ، هل يمكنك إيجاد تسجيلات لهذه الأغاني على الإنترنت (تحدي e 547) إن الجهات العسكرية تستخدم بنجاح الميكروفونات الموضوعة على بالونات في قناة الغلاف الجوي للاستماع للانفجارات النووية (المرجع 234) .

في الحقيقة تجارب الصوت المجراة من قبل العسكريين هي السبب الرئيسي الذي يجعل الحيتان تصاب بالصمم و تفقد قدرتها على التوجه ، و تتوجه منتحرة صوب الشطآن . التجارب المشابهة في الهواء على المناطيد عالية الارتفاع غالبا يظن خطا أنها أطبقا طائرة كما في حادثة روزويل الشهيرة .

* *

أيضا الحيوانات الصغيرة تتواصل بواسطة الأمواج الصوتية . في عام 2003 وجد أن سمك الرنكة يتواصل باستخدام ضجيج ينتجه بإطلاق ريح منه و عندما يخرج الريح فإن الغاز يشكل صوت طقطقة الذي طيفه الترددي يصل إلى 20 kHz . و يمكن للمرء حتى أن يستمع لتسجيلات هذا الصوت على الإنترنت . تفاصيل الاتصال مثل



الشكل 227 موجة صنعية كاذبة / مخادعة ممثلة – مشكلة في خزان ماء

كفرق بين الذكور و الإناث و التي ما تزال تدرس . من الممكن أن الأصوات أيضا يمكن أن تستخدم من قبل المفترسات لكشف سمك الرنكة و بالتالي يمكن حتى أن تستخدم مستقبلا من أجل مراكب الصيد

* *

هل النباتات تنتج أصواتا ؟ نعم العديد من النباتات ، بما فيها أشجار الصنوبر ، و أشجار أخرى معلوم أنها تنتج أمواج فوق صوتية منخفضة الاستطاعة عندما تنقل النسغ ، و نباتات أخرى مثل الذرة تنتج صوتا مسموعا منخفض الاستطاعة في جذورها .

هل النباتات حساسة للصوت ؟ نعم إنها كذلك . إن عددا كبيرا من النباتات ، التي تتضمن نباتات الطماطم ، تحرر الطلع عندما تحفز بتردد صوتي يصدر عن ناقلات الطلع / ملقحات (مؤبراتها) لها ، في نباتات أخرى بما فيها الذرة ثانية ، الجذور يبدو أنها تنمو في اتجاه مصادر صوت معينة .

لكن هل النباتات تتوصل مع بعضها بالصوت ؟ هناك إمكانية بعيدة أن مجموعات الجذور تؤثر على بعضها البعض بهذا الشكل و الأبحاث ما تزال جارية . حتى الآن لا يوجد دليل على ذلك . ربما يمكنك القيام باكتشاف ، و قفزة للانطلاق بحقل الصوتيات النباتية ؟ (تحدي ny 548)

* *

في البحار ذات الرياح ، فإن قمم الموجة البيضاء لها العديد من التأثيرات المهمة . ينبع الضجيج من الفقاعات المائية الصغيرة المتفجرة و المتشكلة . إن ضجيج الأمواج في البحر المفتوح بالتالي هو تنضد للعديد من الانفجارات الصغيرة و بنفس الوقت القمم البيضاء هي أحداث حيث البحر يمتص ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي و بالتالي يخفض الدفيئة الكونية .

* *

إن ما يعرف بالأمواج المخادعة – أيضا تعرف بالأمواج الوحشية أو المرعبة و هي أمواج وحيدة في البحر المفتوح بارتفاع وحشية أو المرعبة و هي أمواج وحيدة في البحر المفتوح بارتفاع 30m التي تظهر فجأة بين الأمواج الأخفض بكثير ، والتي كانت ظاهرة محيرة لعقود . لفترة طويلة لم يكن من الواضح فيما إذا كانت هذه الأمواج تحدث فعلا . فقط تقارير متفرقة من قبل رباينة السفن و السفن الغارقة أشارت إلى وجودها . أخيرا من عام 1995 و ما بعد ، بدأت المراقبات تؤكد وجودها . أحد أسباب الشك بذلك كان آلية تشكلها التي بقيت غير واضحة .

لكن التجارب من عام 2010 و ما بعد وسعت الفهم عن الأمواج المائية غير الخطية . و هذه التجارب أكدت أولا أنه تحت شروط مثالية ، فإن أمواج الماء تبدي أيضا ما يعرف بحلول المتنفس أو التركيز غير الخطي . أخيرا في عام 2014 عمل شبشوب و فينك على بيان بواسطة تقنية تجريبية ذكية استنادا إلى الانعكاس الزمني أن التركيز غير الخطي – بما فيها الأمواج المخادعة يمكن أن تظهر في أمواج مائية غير منتظمة بمطال أصغر بكثير (المرجع236) و كما يشرح أمين شبشوب فإن فيديو الإثبات يبدو مثل المبين في الشكل 227

* *

لماذا يوجد العديد من الثقوب الصغيرة في أسقف العديد من غرف المكاتب ؟ (تحدي 549s)

* *

أي القيم الفيزيائية القابلة للقياس تحدد طول موجة الأمواج المائية الصادرة عندا يرمى حجر في بركة ؟ (تحدي 550 ny)

* *

يورد ياكوف بيرلمان المسائل الأربعة التالية في كتاب مسائل الفيزياء الممتعة .(المرجع 2)

1. حجر يسقط في بحيرة ينتج أمواجا دائرية . ما هو شكل الأمواج المنتجة بواسطة حجر يرمى في نهر ، حيث يتدفق الماء ؟ (تحدي 551 s)

2. هل من الممكن بناء عدسة للصوت ، بنفس الشكل الذي تبنى به عدسات للضوء . ماذا ستبدو عليه مثل هذه العدسة ؟ (تحدي 552 s)

3. ما هو الصوت الذي يسمع داخل صدفة ؟ (تحدي 553 s)

4. الضوء يستغرق حوالي سبعة دقائق ليصل من الشمس للأرض ما هي نتيجة ذلك على توقيت شروق الشمس ؟ (تحدي 554 s)

* *

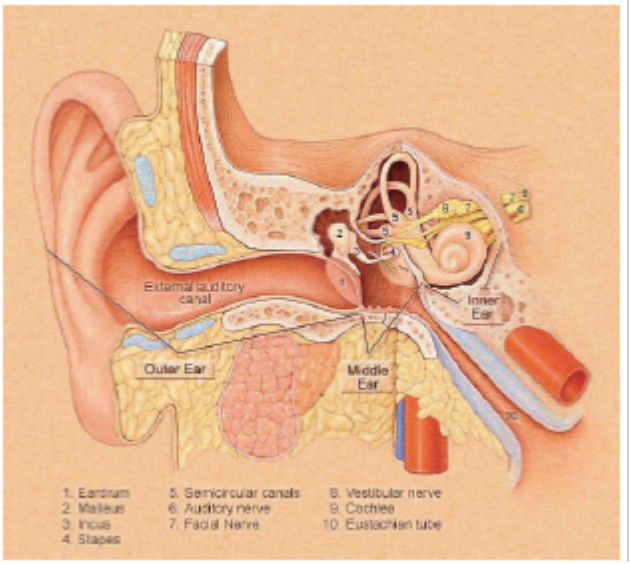
نوعيا ، صوت شخص يتحدث ينتج تغير في الضغط يبلغ 20 mPa في الأذن . كيف يمكن تحديد هذه القيمة ؟ (تحدي 555ny) .

الأذن في الواقع جهاز حساس . كما ذكرنا فإن أكثر حالات ثدييات البحر مثل الحيتان ، التي تسبح للشاطئ هي بسبب مشاكل في آذانها

:عادة بعض الأجهزة العسكرية (إما إشارات السونار أو الانفجارات) قد دمرت آذانها و أصبحت صماء و فقدت قدرتها على التوجه .

* *

لماذا أذن البشر المبينة في الشكل 228 هي معقدة جدا ؟ الجزء الخارجي ، الصيوان أو الأذن الخارجية تركز ضغط الصوت على غشاء الطبل و تنتج ربح يساوي ثلاثة ديسيبل . غشاء الطبل أو الطبل مصنوع بحيث أنه دائما يهتز بنمط أساسي و بالتالي بدون أي عقد . غشاء الطبل له رنين (واسع جدا) عند 3 kHz في المنطقة حيث تكون الأذن أكثر حساسية . الطبل ينقل حركته باستخدام عظيمات السمع / المطرقة و السندان في الأذن الداخلية و هذه الآلية بالتالي تحول أمواج الهواء إلى أمواج مائية في الأذن الداخلية ، حيث يتم كشفها . إن مردود / فعالية هذا التحويل يتم بشكل مثالي باستخدام لغة نظرية الأمواج ، العظيمات السمعية ، قبل كل شيء هي محولات ممانعة . لماذا تحول الأذن أمواج الهواء إلى أمواج مائية ؟ لأن الماء يسمح بتشكيل كاشف أصغر من كاشف الهواء . هل تستطيع أن تشرح لماذا ؟ (تحدي 556ny)



الشكل 228 الأذن البشرية

* *

إن ما تحت الصوت ، هو صوت غير مسموع تردده أقل من 20 Hz هو موضوع حديث في البحث . في الطبيعة ما تحت الصوت يصدر عن الزلازل ، الثورانات البركانية ، الريح ، الرعد ، الشلالات ، النيازك و ركوب الأمواج . إن حركة الأنهار الجليدية ، الزلازل البحرية ، الانهيارات ، و العواصف الجيومغناطيسية أيضا تصدر ما تحت الصوت (المرجع 237) . و المصادر البشرية تشمل إطلاق الصواريخ ، المرور ، محركات الوقود و ضواغط الهواء .

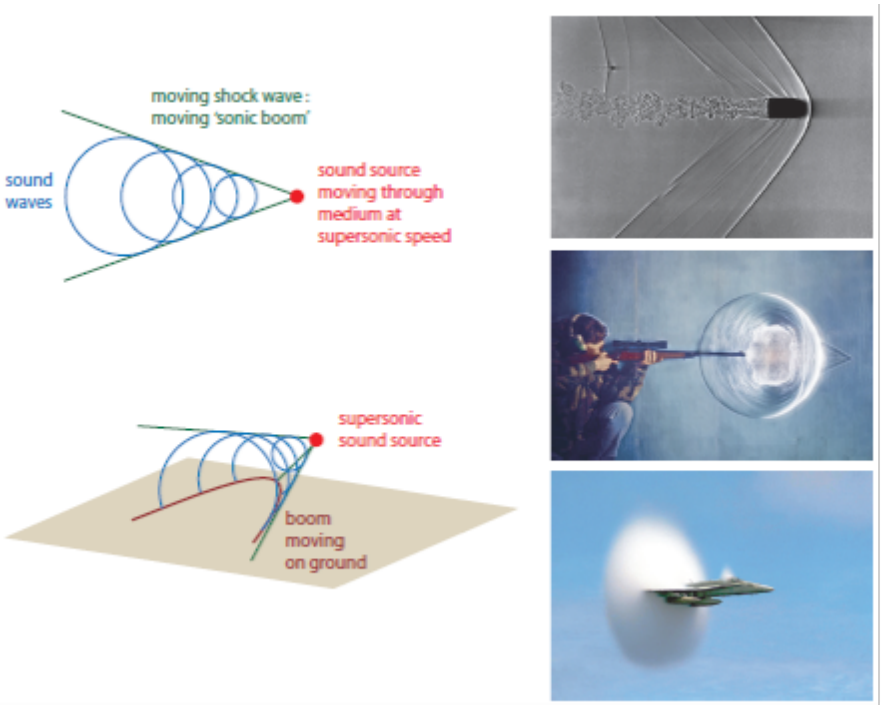
من المعلوم أن الشدات العالية لما تحت الصوت تؤدي لإقياء أو اضطرابات في حاسة التوازن (140 dB أو أكثر لمدة دقيقتين) و حتى الوفاة (170 dB لمدة عشرة دقائق) . إن تـأثيرات الشدة الأخفض على الصحة البشرية غير معلومة .

ما تحت الصوت يمكن أن ينتقل عدة مرات حول العالم قبل أن يفنى كما بيّن انفجار بركان كراكاتو في عام 1883 .

بواسطة كواشف ما تحت الصوت الحديثة ، ركوب أمواج البحر يمكن أن يكشف على بعد مئات الكيلومترات . و ركوب أمواج البحر يؤدي إلى همهمة ثابتة لقشرة الأرض بترددات 3 & 7 mHz و شبكة ما تحت الصوت العالمية تستخدم لكشف اختبارات الأسلحة النووية ، و الزلازل و الثورانات البركانية و يمكن أن تكشف النيازك . و فقط بشكل نادر جدا فإن النيازك يمكن أن تسمع بواسطة الأذن البشرية (أنظر can-ndc.nrcan.gc.ca/is_infrasound.en.php) .

* *

الطريقة المستخدمة لاستنتاج الأمواج الجيبية المحتواة في إشارة ، موضح في الشكل 205 ، يعرف بتحويل فورييه و هي ذات أهمية في كل العلوم و التكنولوجيا . في أعوام 1980s ، فإن التعميم المهم أصبح شائعا ، يسمى تحويل المويجة . وعلى عكس تحويلات فورييه فإن تحويلات المويجة تستخدم لضغط الصور المخزنة رقميا في طريقة فعالة ، لتشخيص مشاكل العنفات في الطائرات ، و في العديد من التطبيقات الأخرى (مرجع 238) .



الشكل 229 موجة الصدمة تتشكل بواسطة جسم في حركة الأمواج فوق الصوتية تؤدي إلى دوي صوتي الذي يتحرك عبر الهواء ، و يمكن أن يصبح مرئيا بواسطة تصوير شليرن أو بواسطة تكاثف مائي

إذا كنت تحب التحديات الهندسية ، هذا واحد مازال مفتوحا . كيف يمكن للمرء أن يصع نظام قوي و فعال الذي يحول طاقة أمواج البحر إلى كهرباء ؟ (تحدي r 557)

* *

إذا كنت مهتما بأمواج المحيط ، ربما أيضا تستمتع بعلم المحيطات

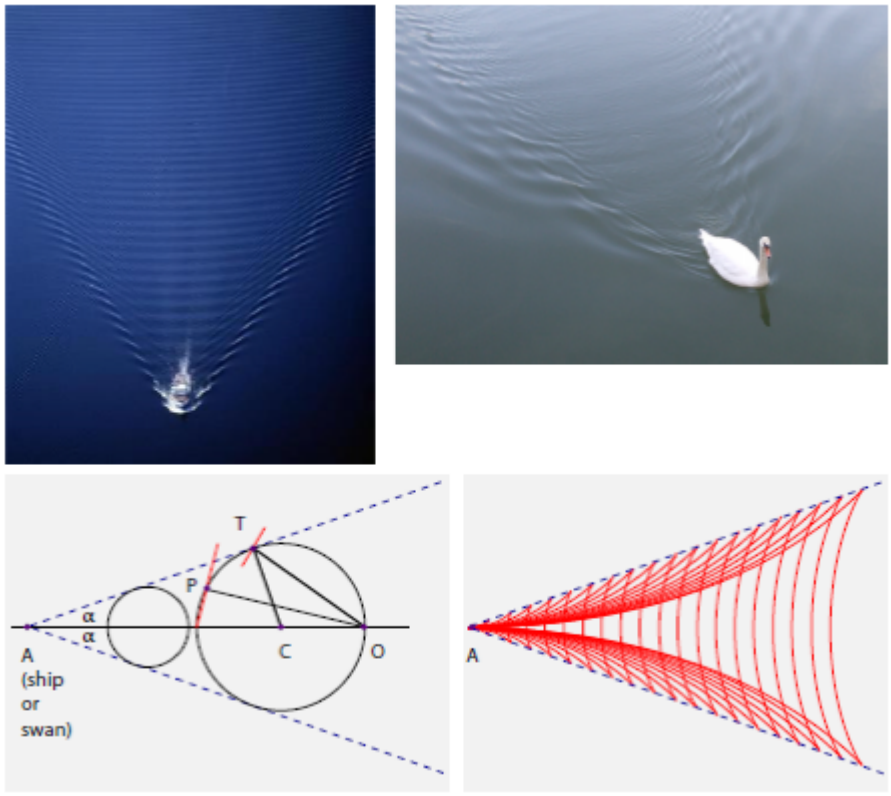
من أجل مقدمة عن ذلك ، أنظر كتب المصدر المفتوح في oceanworld.tamu.edu

* *

ما هي أصغر بنية في الطبيعة التي لها أمواج ساكنة في سطحها ؟ الأكبر ؟

* *

في وصفنا للأجسام الممتدة ، افترضنا أن كل بقعة من الجسم يمكن أن تتابع بشكل منفصل عبر حركته . هل هذا الافتراض مبرر ؟ ما الذي سيحدث إذا لم يكن كذلك ؟ (تحدي r 558)



الشكل 230 الآثار التي خلف المركب و خلف بجعة ، و طريقة استنتاج الشكل

* *

النوع الخاص من الأمواج التي تظهر في الانفجارات و الطيران فوق الصوتي : أمواج الصدمة . في موجة الصدم ، فإن الكثافة أو الضغط لتغيرات الغاز الفجائية ، على مسافات تبلغ بضع مليميترات . إن دراسة أمواج الصدم هو مجال بحث بنفسه ، أمواج الصدم تحدد طيران الطلقات ، لسع السياط و تأثيرات المتفجرات .

حول جسم يتحرك بسرعة فوق صوتية ، فإن أمواج الصوت من مخروط ، كما هو مبين في الشكل 229 . عندما يتجاوز المخروط مراقبا على الأرض ، فإن المخروط يعطي صوتا عاليا . ما هو الشيء المعروف بشكل أقل بكون الدوي يمكن تضخيمه . إذا تسارعت طائرة عبر حاجز صوتي ، فإن بعض المراقبين على الأرض سيسمعون دويين أو حتى ما يعرف بالدوي العالي لأن المخاريط من سرعات متعددة يمكن أن تتراكب عند بقع معينة على الأرض (مرجع 239) . الطائرة التي تقوم بمناورات متعددة ، مثل المنحني عند سرعة عالية ، يمكن حتى أن تنتج دوي عالي يمكن أن تدمر النوافذ ، طبل الأذن ، و تؤدي إلى رض ، خاصة عند الأطفال . لسوء الحظ ، هي تنتج بانتظام عمدا من قبل ربابنة الطائرات العسكرية المحبطين في أماكن متعددة من العالم .

* *

ما هو الشيء المشترك بين البجع الذي يسبح و السفن ؟ الأثر الذي تتركه خلفها . بالرغم من التشابه ، هذه الظاهرة ليس لها علاقة مع الدوي الصوتي . في الحقيقة ، فإن زاوية الأثر هي نفسها من أجل البط و السفن : الزاوية مستقلة عن السرعة التي تنتقل بها أو الحجم للجسم المتحرك شريطة أن الماء عميق كفاية .

كما شرحنا أعلاه ، فإن أمواج الماء في المياه العميقة تختلف عن الأمواج الصوتية : إن سرعة المجموعة لها هي نصف السرعة الطورية (صفحة 294) . (هل يمكنك استنتاج هذا من علاقة التشتت $\omega = \sqrt{gk}$ بين التردد الزاوي و شعاع الموجة ، الصالحة من أجل المياه العميقة ؟)

أمواج الماء ستتداخل حيث أكثر الطاقة تنقل و بالتالي حول سرعة المجموعة (التحدي e 559) . لهذا السبب في المخطط المبين في الشكل 230 ، فإن قطر كل دائرة موجة هي دائما نصف مسافة النقطة في أقصى اليسار O إلى القمة A . نتيجة نصف زاوية قمة الاثر تخضع للقانون

$$\sin\alpha = \tfrac{1}{3} \quad \text{giving a wake angle} \quad 2\alpha = 38.942^\circ . \qquad (107)$$

ايضا يبين الشكل 230 استنتاج أن المنحنيات التي تشكل نموذج الموجة للأثر باستخدام الهندسة البسيطة (المرجع 240)

من الأساسي ملاحظة أن زاوية الأثر الثابتة صالحة فقط في المياه العميقة أي فقط في الماء الذي هو أعمق بكثير من طول موجة الأمواج الموجودة , بمعنى آخر ، من أجل عمق معين ، فإن الأثر يملك شكل ثابت فقط لسرعة المصدر العظمى . من أجل سرعات عالية فإن أسهم زاوية الأثر و النموذج داخل تغيرات الأثر .

* *

الخفافيش تطير في الليل باستخدام تحديد الموقع بالصدى . الدلافين أيضا أيضا تستخدمه . السونار ، المستخدم من قبل مراكب صيد السمك للبحث عن السمك تنسخ نظام الدلافين . و الشي الأقل معرفة هو أن البشر لديهم نفس المقدرة (المرجع 241) . هل حاولت قط أن تحدد الموقع بالصدى لجدار في غرفة مظلمة كليا ؟ سوف تدهش كم هي سهولة إجراء هذا . فقط اضرخ بصوت مرتفع ، أو اصفر بضجيج عال الذي يتوقف فجاة ، و استمع للصدى . هل ستكون قادرا على تحديد موقع الجدران بشكل موثوق . (تحدي e 560)

* *

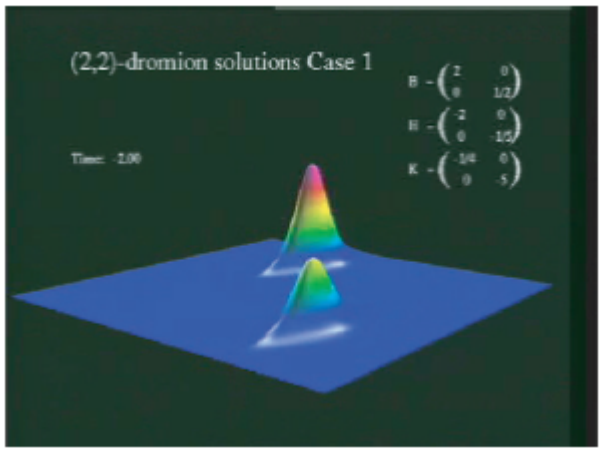
الطيور تغني . إذا كنت تريد دراسة كيف يحدث هذا ، انظر إلى فيلم الأشعة السينية المعبر لطير يغني و الموجود في www.indiana.edu/~songbird/multi/cineradiography _index

* *

كل سوليتون هو بنية أحادية البعد . هل توجد مثيلاتها ثنائية البعد . هذه القضية كانت مفتوحة لعدة سنوات . أخيرا في عام 1988 وجد بويتي ، مارتينا و بيمبينللي أن معادلة تطور معينة التي تعرف بمعادلة دايفي – ستيوارتسون يمكن أن يكون لها حلول المتوضعة في بعدين . هذه النتائج تم تعميمها من قبل فوكاس و سانتيني و عممت أكثر من قبل هايتارينتا و هيروتا

مثل هذا الحل يعرف اليوم بالدورميون . الدورميونات هي صدمات المتوضعة في بعدين و يمكن أن تتحرك بدون أن تختفي عبر الانتشار ، في أنظمة غير خطية . المثال مبين في الشكل 231 و لكن حتى الآن لم يلحظ مثل هذا الحال في التجارب ،وهذا هو أحد التحديات التجريبية المهمة التي بقيت مفتوحة في العلم غير الخطي .

* *



الشكل 231 الحركة المحسوبة للدورميون عبر طبقة أساسي ذات بعدين

أمواج الماء لم تفقد أهميتها حتى اليوم . قبل كل شيء ، الحلول ثنائية البعد لأمواج الماء السوليتونية بقيت موضوع بحث

التجارب هي بسيطة ، و الرياضيات معقدة و القضايا هذه مثيرة . و في البعدين ، القمم يمكن حتى أن تشكل نماذج سداسية الأضلاع . و المعادلة المرتبطة بذلك للأمواج الضحلة ، تعميم لمعادلة كورتفيج – دو فريس ذات البعدين تعرف بمعادلة Kadometsev- Petviashvili . و هي تؤدي إلى العديد من الأمواج المائية غير العادية التي تتضمن الأمواج cnoidal ، السوليتونات و الدورميونات وبعضها مبين في الشكل 232 . إن قضية فيما إذا كانت النماذج المتعامدة الموجودة ما تزال مفتوحة و المعادلات الدقيقة و الحلول من أجل أمواج الماء العميقة هي أيضا مجهولة .

من أجل الماء المتحرك ، الأمواج حتى أكثر تعقيدا حتى و تبدي ظواهر واضحة مثل تأثير دوبلر و هي أقل وضوحا مثل الثقوب أي الموجة المشكلة بواسطة المد و الجزر الوارد في نهر ، و التوابع البسيطة اللاحقة . حتى الظواهر الشائعة مثل موجة الماء ما تزال مجال بحث . (المرجع 243) .

* *

كيف النغمة المنتجة بواسطة النفخ في زجاجة تتبع للبعد ؟ من أجل الزجاجات التي هي بحجم كبير ، التردد f ، (المرجع 244) ما يعرف بالتجويف الطنيني وجد أنه يتبع للحجم V للزجاجة (تحدي 561 ny) :

$$f = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{A}{VL}} \quad \text{or} \quad f \sim \frac{1}{\sqrt{V}} \tag{108}$$

حيث c سرع الصوت ، A مساحة الفتح و L طول عنق الزجاجة (تحدي e 562) . هل العلاقة تتفق مع القياسات ؟

في الحقيقة ، إنتاج النغمة هو عملية معقدة و يوجد كتب متخصصة حول الموضوع (المرجع 245) مثلا عند زيادة النفخ فإن الساكسفون ينتج توافقية ثانية ، أوكتاف ، حيث الكلارينت تنتج توافقية ثالثة ، خماسية (بشكل أكثر دقة ثنائي عشرية)



الشكل 232 الأمواج المائية غير العادية في الماء الضحل : (الأعلى) في خزان ماء تجريبي و في عاصفة في كارولينا الشمالية (الأسفل) موجة سنويدية تقريبا نقية قرب باناما و اثنتين من مثل هذه الأمواج تعبر إيل دو ريه .

لماذا هذه هي الحال ؟ النظرية هي معقدة ، و لكن النتيجة بسيطة : الأدوات التي تزيد المقطع العرضي على طول الأنبوب مثل الابواق ، الترومبيت ، المزامير أو الساكسفون ، زيادة النفخ للأوكتافات . من أجل الآلات الهوائية التي لها أنبوب أسطواني (في الأغلب) ، فإن أثر زيادة النفخ يعتمد على آلية توليد النغمة . الفلوت يرفع النفخ إلى الأوكتاف ، ولكن الكلارينت إلى الثنائي عشرية .

* *

العديد من الجمل الصوتية لا تنتج فقط توافقيات و لكن أيضا تحت توافقيات . و هناك طريقة بسيطة لمراقبة إنتاج تحت التوافقيات : غني و أذنيك تحت الماء ، في حوض الحمام . تبعا للهواء المباقي في أذنيك ، يمكنك سماع تحت التوافقيات لصوتك الخاص . الأثر هو خاص تماما .

* *

إن أصل الصوت للمفاصل المتشققة ، مثلا براجم الأصابع هو أحجية معروفة جيدا . كيف يمكنك اختبار بأن المقولة ناتجة عن التكهف ؟ ما الذي ستفعله لتجد هذا بشكل محدد ؟ (التحدي e 563)

* *

عندما يحفر ثقب بعمق كيلومتر في الأرض و الصوت في قعر الحفرة يجب المرء الأرض العميقة مملوءة بصوت منخفض المستوى ، منخفض التردد . و أدوار الاهتزاز يمكن أن تكون أطول من 300s أي بترددات منخفضة إلى 3 mHz و إن أكثرية الأصوات ناتجة عن أمواج المحيط . و الأصوات معدلة في التردد بواسطة تـأثيرات غير خطية و يمكن كشفها حتى في اسفل البحر و في منتصف القارات . و هذه الأصوات الآن تستخدم بانتظام للبحث عن النفط و الغاز . و إن أصول الحزم الصوتية الخاصة ما تزال موضوع بحث ، البعض يمكن أن يرتبط بالغلاف الجوي أو حتى حركة الماغما / الصهارة في الغطاء و في البراكين .

* *

كل الأطفال يبكون . أظهرت الأبحاث أن أصواتهم مكونة من اربعة نماذج أساسية . وقد تبين ان تركيب النماذج الأربعة يعتمد على اللغة الأم حتى بالنسبة للأطفال المولودين حديثا .

* *

من بين الخبرات الصوتية الأكثر تأثيرا هي أداء الغناء للتنسورات المعاكسة , وحتى الذكور الذين يغنون سوبرانو أعلى و إذا كان لديك الفرصة لسماع هذا لا تفوت هذه الفرصة .

ملخص حول الأمواج و الاهتزازات

في الطبيعة ، بعيدا عن حركة الأجسام ، نلاحظ أيضا حركة الأمواج . و مجموعات الأمواج غالبا تستخدم كإشارات .

الأمواج لها طاقة ، كمية حركة و كمية حركة زاوية . و الأمواج توجد في الأجسام الصلبة ، السوائل و الغازات و ايضا طالما موجودة على أسطح الفصل للمادة . الأمواج يمكن أن تتداخل ، تحيد / تنحرف ، تنكسر ، تتشتت ، و تتخامد و إذا كانت عرضية يمكن أن تستقطب . الأمواج الفردية أي الأمواج التي لها قمة واحدة هي حالة خاصة من الأمواج في الأوساط ذات التشتت غير الخطي الخاص .

الاهتزازات هي حالة خاصة من الأمواج و عادة هي أمواج ساكنة و الاهتزاز و الأمواج فقط تظهر في أنظمة ممتدة

الفصل الحادي عشر

هل الأجسام الممتدة موجودة ؟ - حدود الاستمرارية

لقد ناقشنا للتو حركة الأجسا الممتدة , ووجدنا أن كل الأجسام الممتدة سواء كانت صلبة ، أو سائلة تبدي حركة موجية . و لكن هل الأجسام الممتدة فعلا موجودة في الطبيعة ؟ و من الغريب حقا أن هذا السؤال كان أحد الأسئلة التي نوقشت بشكل واسع في الفيزياء . عبر القرون ، لقد عاود الظهور مرات و مرات ، في كل تقدم في وصف الحركة : إن الجواب قد تغير

بين التأكيد و النفي . و العديد من المفكرين سجنوا و العديد منهم حوكموا ، من أجل إعطاء إجابات ليست صحيحة سياسيا! و في الحقيقة هذه القضية تظهر في حياتنا اليومية .

الجبال و الفراكتالات

عندما نتسلق جبلا فإننا نتابع حدود شكله . عادة نصف هذا الخط الخارجي بأنه سطح منحني ذو بعدين . ولكن هل هذا صحيح ؟ هناك إمكانيات بديلة . الشكل الشائع هو فكرة أن الجبال يمكن أن يكون لها أسطح فراكتالية . و الفراكتال يعرف من قبل بينوا ماندلبرو كمجموعة مشابهة لنفسها تحت عدد معدود و لكن لا نهائي من قيم التكبير . و قد صادفنا للتو خطط فراكتالات . (صفحة 54) وكمثال على خوارزمية لبناء سطح فراكتال (عشوائي) مبين في الطرف الأيمن من الشكل 233 (المرجع 246) .

و هو ينتج اشكال التي تبدو مشابهة بشكل ملحوظ للجبال الحقيقية . والنتائج هي حقيقية جدا بحيث أنها تستخدم في أفلام هوليود . و إذا كان هذا الوصف صحيحا ، فإن الجبال يجب أن تكون ممتدة و لكن ليست مستمرة .

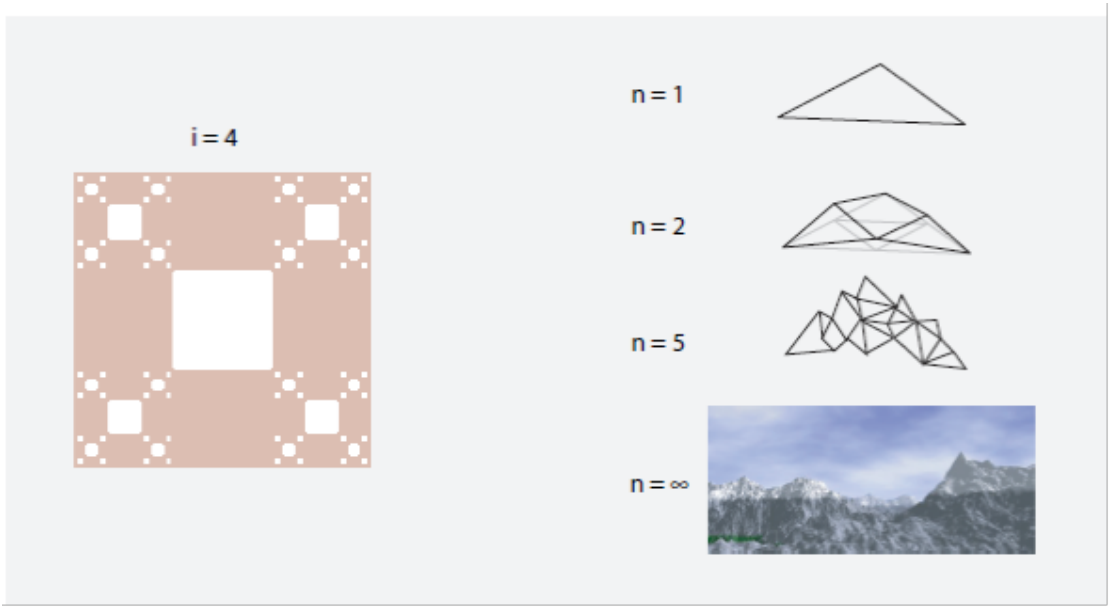
لكن الجبال يمكن أيضا أن تكون فراكتالات من أنواع مختلفة كما هو مبين في الطرف الأيسر من الشكل 233 .

أسطح الجبال يمكن أن يكون لها عدد لا نهائي من الثقوب الصغيرة و الأصغر . في الحقيقة ، يمكننا أيضا أن نتخيل أن الجبال توصف باشكال ثلاثية البعد من الطرق الأيسر للشكل . و الجبال يمكن أن تكون بالتالي نوع من الجبنة السويسرية الرياضية .

هل يمكن تصميم تجربة لتقرر فيما إذا كانت الفراكتالات تعطي الوصف الصحيح للجبال ؟ (التحدي 564s) لحل هذه القضية فإننا ندرس ألواح الشوكولا ، العظام ، الأشجار و فقاعات الصابون .

هل يمكن للوح الشوكولا أن يدوم للأبد ؟

أي طفل يعلم كيف يجعل لوح الشوكولا يدوم للأبد : كل نصف البقية كل يوم . لكن هذه الطريقة فقط تعمل إذا كانت المادة ذات مقياس ثابت . بمعنى آخر الطريقة تعمل فقط إذا كانت المادة إما فراكتال ، كما يمكن بالتالي أن تكون ثابتة المقياس من أجل مجموعة متقطعة من عوامل تغيير الحجم ، وفي هذه الحالة ستكون ثابتة المقياس من أجل أي عامل تغيير حجم . أي حالة تطبق في الطبيعة ؟



الشكل 233 الأراضين (يسار) و الجبال (يمين) يمكن أن تكون فراكتالات ، من أجل الجبال هذا التقريب غالبا يستخدم في رسوميات الحاسب

صفحة 52 : لقد صادفنا للتو حقيقة جعل الاستمرارية افتراض قابل للبحث : الاستمرارية ستسمح لنا ، كما بيّن باناخ و تارسكي ، مضاعفة الطعام و أي مادة بواسطة التقطيع و إعادة التجميع الذكي . الاستمرارية يمكن أن تسمح للأطفال أن يأكلوا نفس القدر من الشوكولا كل يوم بدون أن أن يشتروا أبدا لوحا جديدا .

- المادة بالتالي لست مستمرة

الآن ، شكولا الفراكتال ليست تعامل بهذا الشكل ، ولكن التجارب الأخرى تحل القضية . في الحقيقة ، لقد لاحظنا أن المواد المصهورة لا تأخذ حجوما اصغر بكثير من الأجسام الصلبة . و قد وجدنا أيضا أنه تحت أعلى الضغوط ، المواد لا تتقلص .

بالتالي فإننا نخلص ثانية إلى أن :

- المادة بالتالي ليست فراكتال

للحصول على فكرة عن بنية المادة فإننا يمكن أن نأخذ الشوكولا السائلة ، أو حتى فقط بعض الزيت – الذي هو ثانية مكون اساسي في الشوكولا – و ننشره فوق سطح كبير .مثلا يمكننا أن ننشر قطرة من الزيت على بركة في يوم صحو ولن يكون من الصعب ملاحظة أي الأجزاء من الماء تغطى بالزيت و أيها لا تغطى : هي تختلف في خواص الانعكاس و السماء تعكس الماء المشوب بالزيت بلون مختلف عن الماء و الزيت . و القطرة الصغيرة من الزيت لا يمكن أن تعطي سطحا أكبر من – هل يمكنك أن تحزر القيمة ؟ (التحدي 565s) . إن محاولة نشر طبقة الزيت أكثر يؤدي قطعا لتقسيمها . و طريقة الطقلة في إطالة الشوكولا بالتالي لا تعمل للأبد : و ستصل إلى نهاية مفاجئة . إن تجربة الزيت التي يمكن حتى إجراءها في المنزل ، تبين أن هناك سماكة دنيا من طبقات الزيت ، بقيمة حوالي 2 nm . و تبين التجربة *

---

*تجربة الزيت نشرت من قبل توماس – كلفين ، بعد عدة عقود من تحديد لوشميدت



الشكل 234 نشر قطرة من نصف ميكرولتر من الزيت يتم بواسطة ماصة دقيقة على متر مربع من الماء مغطى بطبقة رقبة من مسحوق الليكوبوديوم

بحيث أن هناك حجما أصغر ما يكون في الزيت . الزيت مكون من مكونات دقيقة . هل هذا صالح لكل المادة ؟

حالة غاليليو غاليلي

بعد العصور الوسطى كان غاليليو (ولد في بيزا عام 1564 ، و توفي في أرشيتري عام 1642) أول من قال بأن كل المادة مكونة من أصغر الأجزاء ، التي سماها الكميات الأصغر ما يكون ، أي الكمات الأصغر . اليوم تعرف بالذرات ولكن غاليليو دفع ثمنا غاليا لهذا القول . في الحقيقة خلال حياته كان غاليليو تحت الهجوم لسببين : بسبب فكرته عن حركة الأرض ، و بسبب أفكاره حول الذرات * . اكتشاف

حجم الجزيئات . غاليا يقال بأن بنجامين فرانكلين كان أول من أجرى تجربة الزيت وهذا خطأ . فرانكلين لم يقس السماكة و لم يعتبر حتى قضية السماكة . وقد صب الزيت على الماء ولكنه أخطأ في النتيجة الأكثر أهمية التي يمكن التوصل إليها منها . حتى العباقرة لم يكتشفوا أي شيء .

* للحصول على مراجعة واضحة لأمور الخلاف في حالة غاليليو خاصة تلك المهمة للفيزيائيين فإن أفضل نص هو الكتاب القيم لبيترو ريدوندي ، غاليليو المهرطق ، أيناودي ،1983 ترجم إلى

أهمية كلا القضيتين هو ميزة للمؤرخ العظيم ، بيترو ريدوندي ، و هو مساعد مؤرخ عظيم آخر ، بيير كوستابيل . إن أحد مواضيع ابحاث رودندي هي تاريخ الخلاف بين اليسوعيين ، الذي في ذلك الوقت دافعوا عن العقيدة الأورثوذوكسية ، و غاليليلو و العلماء الآخرين . في فترة 1980s ، اكتشف رودندي وثيقة من ذلك الزمن ، وثقها شخص مجهول سمى نفسه G3 ، الذي سمح له ببيان أن إدانة غاليليو الحكم عليه بالسجن المؤبد لآرائه بحركة الأرض كانت قد حيكت من قبل صديقة البابا لحمايته من الإدانة المؤكدة و الحك بالموت لقضية أخرى هي الذرات .

(صفحة 335) دافع غاليليو عن آرائه و شرح بالتفصيل بعد وقت قصير أنه نظرا لأن المادة ليست بقياس ثابت ، يجب أن تكون مكونة من ذرات أو سماها الكمات الأصغر ما يكون . وهذا كان و ما زال هرطقة لأن ذرات المادة تعارض الفكرة الكاثوليكية المركزية بأنه في القربان المقدس فإن نوعيات كبيرة من الخبز و النبيذ وجدت بشكل مستقل عن مادتها .

التمييز بين المادة و النوعيات الملحوظة ، الذي قدمع توما الأكويني هو أساسي لفهم استحالة الشكلين ، تغير الخبز و النبيذ إلى لحم بشري و دم ، الذي هو عنصر أساسي في العقيدة الكاثوليكية (المرجع 247) . في الواقع الكاثوليكي الحقيقي ما يزال لا يسمح له أن يعتقد بالذرات لليوم الحالي لأن الفكرة أن المادة مكونة من ذرات تعارض استحالة الشكلين . على عكس اعتقاد البروتستانت الذي لا يدعم عادة استحالة الشكلين و بالتالي لا يوجد لديه مشكلة في الذرات .

في ايام غاليليو كانت مجالس الكنيسة تعاقب الهرطقة أي الأفكار الشخصية التي تخالف العقيدة الأرثوذوكسية بالموت . ولكن غاليليو لم يحكم عليه بالموت , حيث أنقذت حياته من قبل البابا الذي سعى لألا يكون قضية استحالة الشكلين هي موضوع المحاكمة وبضمان أن التحقيق في المحاكمة ينظم من قبل لجنة بابوية يرأسها ابن أخيه فرانشسيكو باربريني و لك البابا أيضا أراد أن يعاقب غاليليو ، لأنه شعر بأن أفكاره قد زيفت في كتاب غاليليو الحوار ، وايضا بسبب ، تحت هجمة السياسة الخارجية ، لم يكن قادرا على تجاهل أو السيطرة على القضية .

بالنتيجة في عام 1633 فإن غاليليو ذو السبعين عاما أدين بالسجن بعد الابتهال للمسيح ، بسبب الشك بالهرطقة (وبالتالي ليس بسبب الهرطقة) لأنه لم يلتزم بالوعد السابق بعدم تعليم أن الأرض تتحرك (المرجع 248). في الواقع حركة الأرض تتناقض مع ما ينص عليه الإنجيل المسيحي . وقد كان غاليليلو مقتنعا أن الحقيقة تتحدد بالملاحظة ، و التحقيق الذي كان قد حدد في كتاب و من قبله نفسه . و في العديد من الرسائل كتبها غاليليو في كل حياته فقد أعرب عن إيمان راسخ أن الحقيقة التي تـأتي بالملاحظة لا يمكن أن تكون هرطقة . و المحاكمة بينت له العكس فقد أجبر على القول أنه قد أخطأ في تعليم أن الأرض تتحرك . (المرجع 249) و بعد فترة خفض البابا حكم السجن إلى الإقامة الجبرية .

إن إدانة غاليليلو بسبب حركة الأرض لم تكن نهاية القصة . و في السنة بعد وفاة غاليليو أيضا أدينت فكرة الذرات في عدة محاكمات ضد أفكار غاليليو و أتباعه . و لكن تأثيرات هذه المحاكمات لم تكن تلك التي خططت لها محاكم التفتيش و فقط بعد خمسة وعشرين عاما من المحاكمة الشهيرة و حوالي عام 1650 كل عالم فلك في العالم أدين بحركة الأرض . و نتيجة المحاكمات ضد النظرية الذرية كانت في نهاية القرن السابع عشر ، حيث عمليا اقتنع كل عالم في العالم بوجود الذرات . سارعت المحاكمات أثرا إضافيا : بعد غاليليو و ديكارت ، فإن مركز البحث العلمي و التطوير تحول من

الإنجليزية بعنوان غاليليلو المهرطق ، مطبعة جامعة برنستون عام 1987 . وهو أيضا متاح في العديد من اللغات و النسخة المحدثة منه التي تشمل أحدث الاكتشافات ظهرت عام 2004 .

من البلدان الكاثوليكية مثل إيطاليا أو فرنسا إلى البلدان البروتستانية . و في هذه البلدان مثل هولندا ، إنجلترا ، ألمانيا أو البلدان الإسكندنافية فإن محاكم التفتيش لا سلطة لها . و هذا التحول ما يزال يشعر به حتى اليوم .

إنها قصة حزينة أنه في عام 1992 لم ترفع الكنيسة الكاقوليكية إدانة غاليليو و في تلك السنة قام البابا يوحنا بولس الثاني بإلقاء خطاب حول قضية غاليليلو . و قبل سنوات كثيرة طلب من لجنة دراسية أن تعيد تقييم القضية لأنه أراد أن يعبر عن أسفه لما حدث و أراد أن يعيد الاعتبار لغاليليو . و اللجنة عملت اثني عشرة سنة (المرجع 251) و لكن الأسقف الذي قدم التقرير النهائي كان مخادعا : لقد تجنب الإشارة للنتائج التي توصلت لها اللجنة وقال مجانبا للحقيقة أن موقف كلا من الفريقين حول صحة القضية له ما يؤيده ،و لكن موقف غاليليو كان أضعف من موقف الكنيسة حول حركة الأرض ولخص بشكل خاطئ المواقف الماضية للكنيسة حول حركة الأرض و تجنب القول أن الحكم بالسجن لم يكن حكما صائبا في قضايا الرأي أو الهرطقة ، و تأكد أن مسألة إعادة الاعتبار لغاليليو لم تناقش حتى و بالطبع تجنب أي ذكر لاستحالة الشكلين . و في نهاية هذا الصراع على السلطة ، غاليليو لم يرد له اعتباره و على عكس ما أراد البابا و على عكس ما صدر من أكثر المطابع في ذلك الوقت فإن البابا قال أن أخطاء وقعت من كلا الجانبين و أن المخادع وراء كل هذا تم مكافأته بترقية .

لكن هذه ليست نهاية القصة . وثائق المحاكمة أبقيت محجوزة عندما قام ريدوندي باكتشافه و لم تتح لأحد بعد ذلك من الدراسين من قبل البابا يوحنا بولس الثاني و في عام 1999 هذا أدى لاكتشاف وثيقة جديدة ، تسمى EE 291 وهي رأي خبير داخلي حول قضية الذرة ، التي كتبت من أجل المحاكمة في عام 1632 قبل بضعة أشهر من بدء الإجراءات (المرجع 250) . و مؤلف الوثيقة توصل لاستنتاج أن غاليليو كان فعلا مهرطقا في مسألة الذرات . و الوثيقة بالتالي تثبت تغطية قضية استحالة الشكلين خلال محاكمة غاليليو يجب أن تكون مقصودة و ممنهجة كما استنتج ريدوندي . و في الحقيقة إن مسؤولي الكنيسة و كتب العقيدة الدينية تجنبوا بدقة موضوع الذرات حتى اليوم و يمكنك البحث في موقع الفاتيكان www.vatican.va بالنسبة لأي ذكر عنها .

لكن غاليليو لم يرد الهجوم على استحالة الشكلين هو أراد أن يطرح فكرة الذرات ، و قد فعل . و بالرغم من كونه أدين و حكم بالسجن في محاكمته فإن آخر كتب لغاليليو : محادثات ، المكتوب كشخص عجوز أعمى موضوع تحت الإقامة الجبرية يشمل مقولات تقتضي وجود الذرات أو الكمات الأصغر ما يكون . و إنه من السخرية التاريخية أنه حتى اليوم ، نظرية الكم سميت من قبل ماكس بلانك بناء على مصطلح استخدم من قبل غاليليلو للذرات وقد أصبح الوصف الأكثر دقة للطبيعة (مجلد IV ، صفحة 15) .

خصص غاليليو حياته لكتشاف و إخبار الحقيقة حول الحركة و الذرات . لنستكشف كيف خلص إلى أن كل المادة مكونة من ذرات .

كيف يمكن للحزيانات أن تقفز ؟

البراغيث يمكن أن تقفز لارتفاعات تبلغ مئات المرات حجمها ، و البشر يمكن فقط أن يقفزوا لارتفاع يبلغ حجمهم (المرجع 252) في الحقيقة ، الدراسات الحيوية تعطي ملاحظة بسيطة : أكثر الحيوانات بغض النظر عن حجمها ، تحقق حوالي نفس ارتفاع القفز ، وهي بين 0.8 & 2.2 m سواء كانوا بشرا ، قططا ، نطاطات ـ قرود ، خيول أو نمور . وسوف نشرح هذه الحقيقة لاحقا . (صفحة 79) .

--

علينا ألا نكون ساخطين جدا : نفس الوضع يحدث في العديد من الشركات التجارية كل يوم حيث أكثر العاملين الصناعيين يمكن أن يخبروك قصصا مشابهة .

من النظرة الأولى ، فإن ملاحظة ارتفاع القفز الثابت يبدو أنه مثال بسيط على ثبات المقياس . و لكن لننظر بشكل أقرب هناك بعض الاستثناءات المهمة في كلا طرفي مجال الكتلة . و في أحد الطرفين ، البراغيث و الحشرات الصغيرة الأخرى لا تحقق مثل هذه الارتفاعات لأنه مثل كل الأجسام الصغيرة ، هي تصادف مشكلة مقاومة الهواء . و في الطرف الكبير ، الفيلة لا تقفز لذلك الارتفاع لأنها إن فعلت ذلك ستكسر عظامها , لكن لماذا تنكسر العظام ؟

لماذا كل البشر لهم تقريبا نفس الحجم ؟ لماذا ليس هناك عمالقة بالغين بطول عشرة أمتار ؟ لماذا ليس هناك أي حيوانات برية أكبر من الفيلة ؟ لقد أعطى غاليليلو الإجابة على هذا السؤال . العظام التي يتكون منها البشر و الحيوانات لا تسمح

بمثل هذا التغيير في المقياس ، حيث أن عظام العمالقة ستتقوض تحت الوزن الذي تحمله . و البشر بالمقياس الذي يصل إلى 10 سيزنون 1000 مرة ذلك القدر و لكن عظامهم ستكون فقط بعرض 100 مرة فقط . لكن هل للعظام مقاومة منتهية ؟

هناك تفسير واحد : لأن مكونات العظم تلتصق مع بعضها البعض بجذب منته . على عكس العظام التي هي مادة مستمرة – التي توجد فقط في أفلام الكرتون يمكن ألا تنكسر أبدا و المادة ذات شكل الفراطتال ستكون هشة بشكل لا نهائي . و قد استنتج غاليليو أن :

- المادة تتحطم تحت الأحمال المنتهية لأنها مكونة من مكونات صغيرة أساسية

الأشجار المقطوعة

الأشجار هي من البنى الرائعة . خذ حجمها . لماذا يكون للأشجار حجم محدود ؟. في القرن السادس عشر ، علم غاليليو أنه من غير الممكن زيادة ارتفاع الأشجار بدون حدود : عند نقطة ما سوف لن يكون للشجرة القدرة على حمل وزنها .

و قد قدر أن الارتفاع الأعظمي سيكون 90 m و الرقم القياسي الفعلي المجهول له في ذلك الوقت يبدو أنه 150 m ، ممن أجل شجرة اليوكاليبتوس ريجناز الأسترالية . و لكن لماذا يوجد حد ؟ الجواب هو نفسه من أجل العظام : الخشب ذو مقاومة منتهية لأنه ليس ثابت المقياس و هو ليس ثابت المقياس لأنه مصنوع من مكونات صغيرة و هي الذرات *

في الحقيقة استنتاج قيمة دقيقة لحد الارتفاع هو أكثر مشقة . الأشجار يجب ألا تنكسر تحت تأثير الرياح القوية . و مقاومة الريح تحد من نسبة الارتفاع إلى الثخانة h/d بحوالي 50 للأشجار ذات الحجم العادي (من أجل $0.2\ m < d < 2m$)

هل يمكنك أن تقول لماذا ؟ الأشجار الأرفع محدودة بارتفاع أقل من 10 m بشرط أن تعود إلى وضعها الشاقولي بعد أن تنحني بفعل الريح . (المرجع 254) .

مثل هذه الراسات للمكونات الطبيعية أيضا تجيب على سؤال لماذا الأشجار مصنوعة من الخشب و ليس ، مثلا ، من الفولاذ . يمكنك أن تتأكد بنفسك أن الارتفاع الأعظمي لكتلة معينة يحدد بالنسبة E/ρ^2 بين معامل المرونة و مربع كثافة الكتلة (تحدي 567s) .

لزمن طويل ، الخشب كان فعلا المادة التي هذه النسبة فيها كانت الأعلى (المرجع 255). وفقط مؤخرا عمل علماء المواد على هندسة نسبة أفضل بشكل طفيف : المركبات الليفية .

لماذا تنكسر المواد ؟ كل الملاحظات تعطي نفس الإجابة و تؤكد على تبرير / فهم غاليليو : لأن هناك حجم اصغر ما يكون في المواد . مثلا الأجسام تحت الإجهاد تتمزق في موضع تكون فيها مقاومتها أصغرية . إذا كان الجسم متجانسا بشكل كامل أو مستمرا ، فإمه لا يمكن أن يتمزق ، و الشق يمكن ألا يبدأ في أي مكان .

المرجع 253 : *هناك عامل تحديد آخر : أعمدة الماء داخل الأشجار لا يجب أن تتحطم . كر العاملين يبدو أنهما يعطيان ارتفاعات تحديد متشابهة .

إذا كان لجسم بنية الجبن السويسري الفراكتالية فإن الشقوق يكون لديها مكان لتبدأ منه و لكنها تحتاج فقط لصدمة متناهية الصغر للقيام بذلك .

الكرات الصلبة الصغيرة

" أفضل معرفة سبب كون شيء وحيد عن أن أكون ملك بلاد فارس "

ديموكريتوس

إن الملاحظات الدقيقة تبين أن المادة ليست مستمرة و ليست فراكتال : كل المادة مكونة من جسيمات أساسية أصغر ما يكون

إن غاغليلو الذي استنتج وجودها بالتفكير حول العمالقة و الأشجار سماها أصغر الكمات . و اليوم تعرف بالذرات تخليدا للمقولة الشهيرة لقدماء الإغريق . و في الحقيقة منذ 2500 عام سأل الإغريق السؤال التالي . إذا كانت المادة مصونة ، كيق يمكن للتغير و التحويل أن يوجد ؟

المدرسة الفلسفية لليوسيبوس و ديموكريتوس في أبديرا* درست ملاحظتين خاصتين بتفصيل خاص . وقد لاحظوا أن الملح ينحل في الماء . وقد لاحظوا أيضا أن السمك يمكن أن يسبح بالماء , في الحالة الأولى ، حجم الماء لم يزداد عندما انحل الملح . و في الحالة الثانية عندما دخل السمك كان عليه أن يدفع الماء جانبا . و قد استنتج ليوسيبوس و ديموكريتوس أن هناك فقط تفسرا واحدا ممكنا الذي يحقق هاتين الملاحظتين و أيضا يوفق بين المصونية و التحويل : الطبيعة مكونة من جسيمات صغيرة ، غير قابلة للتجزئة و مصونة . **

باختصار ، نظرا لأن المادة صلبة ، لها شكل و قابلة للتجزئة فإن ليوسيبوس و ديموكريتوس تخيلوا أنها مكونة من ذرات . و الذرات هي جسيمات صلبة ، لها شكل و لكنها غير قابلة للتجزئة . و الإغريق بالتالي استنتجوا أن كل مثال للحركة ، التغير و التحويل ناتج عن ترتيبات هذه الجزيئات ، التغير و المصونية بالتالي متفقان .

بمعنى آخر الإغريق تخيلوا الطبيعة كمجموعة ليجو كبيرة حيث قطع الليجو قبل كل شيء صلبة و غير قابلة للاختراق أي تنافرية على مسافات صغيرة جدا . و الذرات بالتالي تشرح لماذا الأجسام الصلبة لا يمكن ضغطها كثيرا . قطع الليجو أيضا تجاذبية عند مسافات صغيرة : وهي تبقى ملتصقة ببعضها معا . الذرات تفسر هذا بوجود الأجسام الصلبة . أخيرا ، قطع الليجو ليس لها تأثير متبادل على مسافات بعيدة .

---

*ليوسيبوس من إيلا (430 BCE – 490) فيلسوف إغريقي ، إيلا مدينة صغيرة في جنوب نابولي و هي تقع في إيطاليا و لكن اعتبرت دائما تنتمي إلى ماغنا جريشا . ديموكريتوس من أديرا (460-365 أو أو 370 BCE) أيضا فيلسوف إغريقي الذي يقال أنه أ'ظم فيلسوف عاش على الإطلاق . مع أستاذه ليوسيبوس ، فقد كان مؤسس النظرية الذرية و كان ديموكريتوس مفكرا باهرا و معاصرا لسقراط . إن أفلاطون المتباهي لم يذكره حتى أبدا ، حيث أن ديموكويتوس كان خطرا على شهرته . و قد كتب ديموكريتوس العديد من الكتب التي فقدت كلها و هي لم تنسخ خلال العصور الوسطى بسبب آرائه العلمية و العقلية العالمية ، و التي كان يعتقد أنها خطرة على المافهيم الدينية التي كانت تحتكر صناعة نسخ الكتب

و اليوم أصبح من الشائع القول – بشكل غير صحيح – أن ديموكريتوس لم يكن لديه دليل على وجود الذرات . و هذا هو مثال نوعي لخطأ علمي بهدف جعلنا نشعر بالتفوق على الأقدمين .

**القصة أخبر بها لوكريتوس ، بشكل كامل في تيتوس كوكريتوس كاروس ، في نصه الشهير دو ريروم ناتورا ، تقريبا في 60 BCE (الترجمة الإنجليزية يمكن أن توجد في www.perseus.tufts.edu/hopper/text?doc=Lucr.+1.1)

ربط لوكريتوس العديد من البراهين الأخرى / في الكتاب 1 ، وقد بين أن هناك فراغ في الأجسام الصلبة كما ثبت بواسطة المسامية و فروقات الكثافة . و في الغازات كما ثبت بواسطة الريح . وقد بين أن الروائح ناتجة عن الجسيمات و هذا بسبب تبخرها (هل يمكنك أن تجد مزيدا من البراهين ؟) (تحدي 568 ny) . وقد شرح أيضا أن الجسيمات لا يمكن أن ترى بسبب حجمها الصغير ، و لكن تأثيراتها يمكن أن يشعر بها و أنها تسمح بشرح كل الملاحظات بشكل منسجم .

خاصة ، إذا تخيلنا الجسيمات مثل كرات صغيرة ، فإنه لا يمكننا أن نتجنب نسمية هذا فكرة ذكرية نوعية(ماذا ستكون الطريقة الأنثوية ؟) (تحدي 569 d) .

و الذرات بالتالي تفسر وجود الغازات (في الحقيقة ما سماه الإغريق ذرات جزيئا لما يوافق ما نسميه اليوم جزئيات . و المصطلح الأخير طرح في عام 1811 من قبل أميديو أفوغادرو * من أجل توضيح الفرق . لكننا يمكن أن ننسى هذا التفصيل للحظة .)

نظرا لأن الذرات غير مرئية ، فإن الأمر استغرق العديد من السنوات قبل أن يقتنع كل العلماء بالتجارب التي تبين وجودها.

في القرن التاسع عشر ، فإن فكرة الذرات تم التحقق منها بشكل جميل بواسطة عدد كبير من التجارب ، مثل اكتشاف قوانين الكيمياء و تلك العائدة لسلوك الغاز . (صفحة 387) . وسوف ندرس باختصار النواحي الأكثر أهمية .

صوت الصمت

بتسلق سفوح أي جبل ، فإننا نصل إلى منطقة الغابة المغطاة بالثلج العميق . و نتوقف دقيقة و ننظر حولنا . لقد حل الظلام ، كل الحيوانات نائمة ، وليس هناك أي ريح و ليس هناك أي مصادر للصوت . و نتوقف ساكنين ، بدون تنفس ، و نستمع للصمت (يمكن أن تختبر هذا أيضا في استوديو صوت مثل ذلك المستخدم من أجل التسجيلات الموسيقية أو في غرفة نوم هادئة في الليل) . و في حالات الصمت الكامل ، تصبح الأذن آليا أكثر حساسية ** ، و بالتالي لدينا خبرة غريبة . و نحن نسمع ضجيجين واحد ذو نبرة أخفض و الثاني ذو نبرة / طبقة أعلى و التي تتولد بشكل واضح داخل الأذن . و تبين التجارب أن النوطة الأعلى ناتجة عن نشاط خلايا العصب في الأذن الداخلية . و النوطة الأخفض ناتجة عن تدفق الدم النابض عبر الرأس . و لكن لماذا نسمع هذا الضجيج ؟ .

العديد من التجارب المشابهة تؤكد أنه مهما فعلنا فإنه لا يمكننا إزالة الضجيج ، أي التذبذبات العشوائية ، من القياسات

هذه النوع من التذبذبات العشوائية التي لا مفر منها تعرف بضجيج الطلقة في الفيزياء . و الخواص الإحصائية لهذا النوع من الضجيج توافق بدقة ما يمكن توقعه إذا كانت التدفقات بدلا من كونها حركات للمادة المستمرة ، كانت انتقال لعدد كبير من الاشياء المتساوية الصغيرة و المتقطعة . و بالتالي القياس الدقيق للضجيج يمكن أن يستخدم لإثبات أن الهواء و السوائل مكونة من جزيئات ، و أن التيار الكهربائي مكون من إلكترونات ,و حتى أن الضوء مكون من فوتونات . ضجيج الطلقة

هو صوت الصمت .

- ضجيج الطلقة هو صوت الذرات

إذا كانت المادة مستمرة أو فراكتال ، فإن ضجيج الطلقة لن يوجد

كيف يمكن احتساب مالا يرى

في الحياة اليومية ، الذرات لا يمكن عدها لأنها لا يمكن أن ترى . و من المدهش أن تقدم الفيزياء سمح للباحثين بعد الذرات (المرجع 256) .

كما ذكرنا فإن العديد من هذه الطرق تستخدم قياس الضجيج.***

---

*أميديو أفوغادرو (ولد في تورينو 1776 و توفي فيها في 1856) هو فيزيائي مهم و كيميائي . عدد أفوغادرو مسمى باسمه

**الأذن البشرية يمكن أن تكشف في نمطها الأكثر حساسية تغيرات الضغط الصغيرة حتى 20 ميكروباسكال و حركات طبلة الأذن الصغيرة حتى 11 pm

***هناك طرق متعددة لعد الذرات باستخدام التحليل الكهربائي و تحديد شحنة الإلكترون ، باستخدام النشاط الإشعاعي ، تشتت الأشعة السينية أو بتحديد ثابت بلانك h .لقد تركناها جانبا هنا لأن هذه الطرق في الحقيقة تعد الذرات . وهي أكثر دقة ولكنها أقل أهمية .

في الفيزياء مصطلح ضجيج لا يستخدم فقط من أجل الأثر الصوتي ، و لكنه يستخدم من أجل أي عملية عشوائية . والنوع الأكثر شهرة للضجيج هو الحركة البراونية ، حركة الجسيمات الصغيرة ، مثل الغبار أو الطلع ، التي تعوم في السوائل

لكن الجسيمات الصغيرة التي تسقط في الواء مثل حبيبات الزئبق أو جسيمات السلنيوم ، و هذه التذبذبات يمكن قياسها مثلا بمساعدة تدفقات الهواء .

إن المرآة الملتصقة على ليف كوارتز معلق في الهواء عند ضغط منخفض ، تغير توجهها بشكل عشوائي ، بمقادير صغيرة بسبب الاصطدام لجزيئات الهواء . و تغيرات التوجه العشوائية مرة ثانية هي نوع من الضجيج يمكن متابعته بعكس حزمة من الضوء على المرآة و مراقبة بقعة الضوء على مسافة كبيرة .

أيضا تذبذبات الكثافة ، البريق الحرج ، و الامتزاج الحرج للسوائل هي أشكال من الضجيج . و ينتج أن كل نوع من الضجيج يمكن أن يستخدم لعد الذرات . و السبب هو أن كل الضجيج في الطبيعة يرتبط بطبيعة جزئية من المادة أو إشعاع

و في الحقيقة كل الطرق المذكورة تم استخدامها لعد الذرات و الجزيئات و تحديد حجمها . نظرا لأن لون السماء هو أثر ضجيج .

يمكننا في الواقع عد جزيئات الهواء بالنظر للسماء !

المرجع 257 : عندما درس رايليه التشتت و طلب ماكسويل فقد استنتج علاقة بين معامل التشتت β و قرينة انكسار الهواء n و كثافة الجزيئات N/V :

$$\beta = 32\pi^3 \frac{(n-1)^2}{3\lambda^4 N/V} \qquad (109)$$

معامل التشتت هو مقلوب المسافة التي تنخفض بها شدة الضوء بعامل 1/e . الآن هذه المسافة يمكن تقديرها بتحديد أطول مسافة التي يمكن بها رؤية جبل في طقس صاف . و يبين القياس أن هذه المسافة هي 160 km . إذا أضفنا هذا القياس في المعادلة ، يمكننا استنتاج قيمة لعدد الجزيئات في الهواء ، و بالتالي ثابت أفوغادرو ! (تحدي 570s).

إن نتيجة القياست الدقيقة هي أن مول من المادة – لأي غاز أي كمية المادة المحتواة في 22.4 لترا من ذلك الغاز في الضغط القياسي – دائما تحتوي نفس العدد من الذرات .

- مول واحد يحتوي 10^{23} . 6.0 جسيم

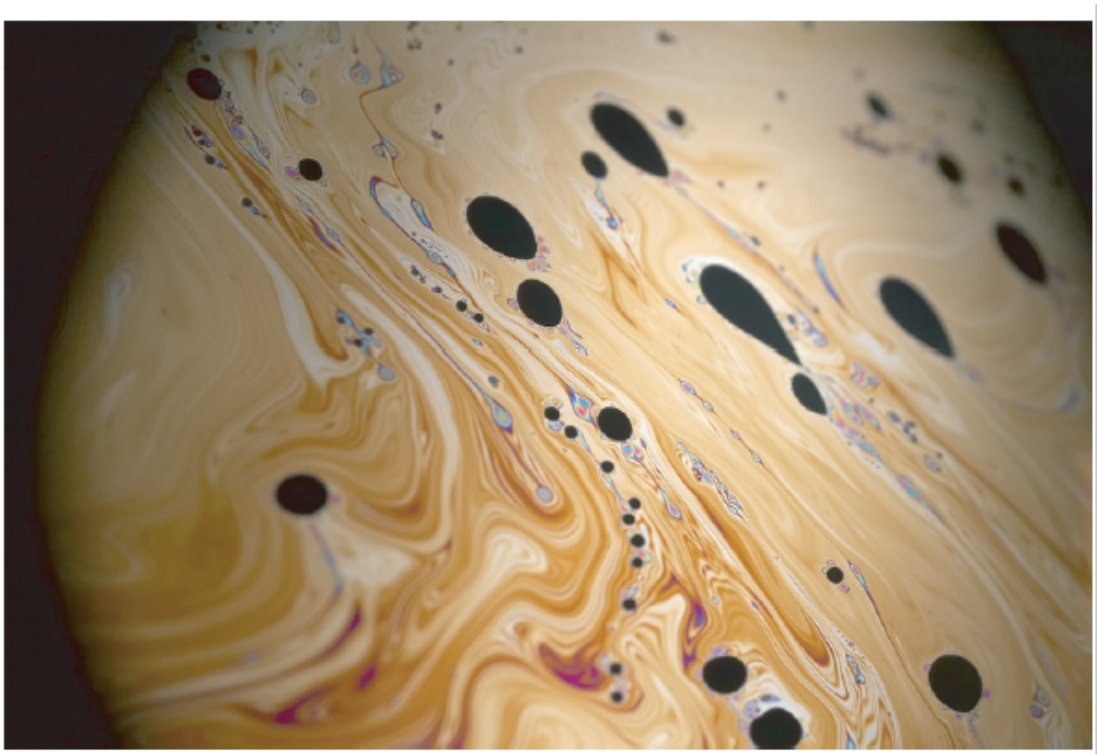
وهذا هو عدد أفوغادرو ، سمي باسم أول رجل فهم أن حجوم الغازات لها أعداد متساوية من الجزيئات أو عدد لوشميدت باسم أول رجل قاسها .* و كل الطرق لتحديد عدد أفوغادرو أيضا تسمح لنا باستنتاج أن أكثر الذرات لها حجم في المجال بين 0.1 – 0.3 nm . الجزيئات مكونة من العديد من الذرات و هي بالتالي أكبر .

كيف نمكن جوزيف لوشميدت ** من أن يكون أول من حدد عدده و عدد آفوغادرو ، و أول من حدد بشكل صحيح حجم مكونات المادة ؟ لقد علم لوشميدت أن اللزوجة الديناميكية μ لغاز تعطى بالشكل $\mu = \rho\, l\, v\, /3$ حيث ρ كثافة الغاز ، v السرعة المتوسطة للمكونات و l المسار الحر الوسطي لها . و بواسطة توقع أفوغادرو (الذي تم في عام 1811 بدون تحديد أي قيمة) بأن

---

*مصطلح عدد لوشميدت في بعض الأحيان يستخدم ليمز لعدد الجزيئات في سنتمتر مكعب واحد من غاز

**جوزف لوشميدت(ولد في بوتشرين 1821 و توفي في فينا 1895) كيميائي و فيزيائي



الشكل 235 فقاعات الصابون تبين تأثيرات مرئية للحجم الجزيئي : قبل الانفجار ، فقاعات الصابون تبدي بقع شفافة صغيرة و هي تظهر سوداء في هذه الصورة بسبب الخلفية السوداء . هذه البقع هي مناطق حيث الفقاعة لها سماكة تبلغ فقط بضع جزيئات بدون وجود سائل بينها .

و الحجم V لأي غاز دائما يحتوي نفس العدد N من المكونات و يكون لدينا أيضا : $l = V/\sqrt{2\pi N\sigma^2}$ حيث σ المقطع العرضي للمكونات (المقطع العرضي هو تقريبا مساحة ظل جسم) وبعدها افترض لوشميدت أنه عندما يحول غاز إلى سائل ، فإن حجم السائل يكون مجموع حجوم الجسيمات . و بعدها قاس كل الكميات الموجودة للزئبق ، و حدد N و بالتالي حدد عدد الجسيمات في مول واحد من المادة ، في سنتمتر مكعب واحد من المادة ، و ايضا حجم هذه الجسيمات .

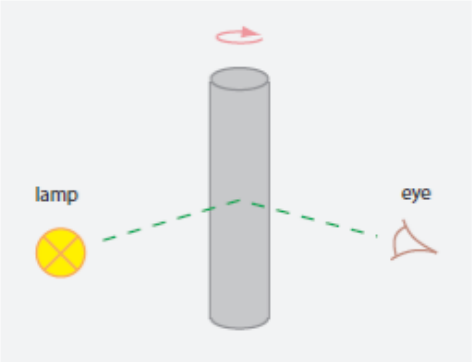
اختبار الذر ات / معايشتها

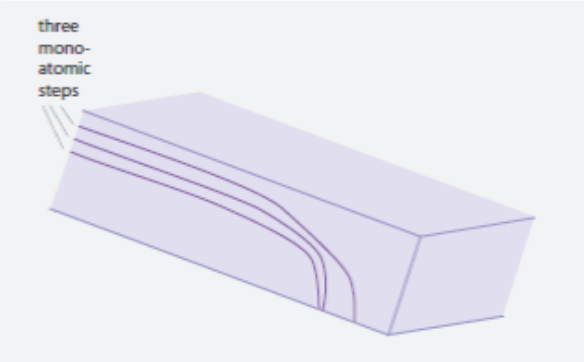
المادة ليست مستمرة و ليست فراكتال . المادة تحتوي أصغر المكونات ذات حجم مميز . هل يمكننا رؤية ذرات وحيدة أو جزيئات في الحياة اليومية ؟

نعم يمكننا . نحن بحاجة فقط إلى فقاعات صابون . فقاعات الصابون لها ألوان . و لكنها فقط قبل أن تنفجر في الجانب الأعلى من الفقاعة فإن الألوان يقاطعها / يتخللها بقع شفافة صغيرة كما هو مبين في الشكل 235 . لماذا ؟ داخل الفقاعة السائل يتدفق للأسفل ، بحيث أنه مع الزمن تصبح الفقاعة أسمك في اأسفل و أرق في الأعلى . وبعد فترة ، في بعض المناطق كل السائل يذهب و في هذه المناطق الفقاعة تتألف فقط من طبقتين جزيئتين من جزيئات الصابون .

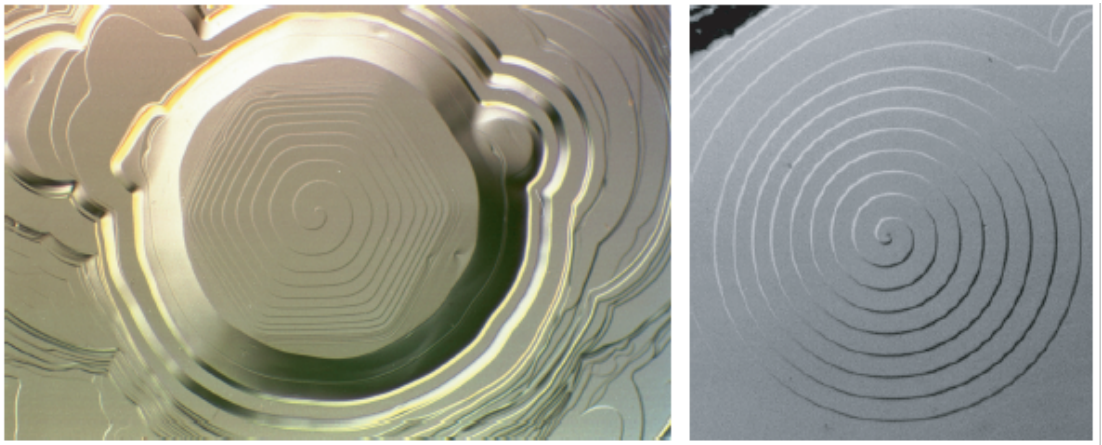
في الحقيقة ترتيب جزيئات الصابون أو الزيت على سطح الماء يمكن أن يستخدم لقياس عدد أفوغادرو كما ذكرنا . و هذا تم بطرق متعددة عبقرية (مرجع 256) و أعطى قيمة دقيقة جدا بوسائل بسيطة جدا .

التجربة البسيطة تبين أن الأجسام الصلبة لها أصغر العناصر مبينة في الشكل 236 .





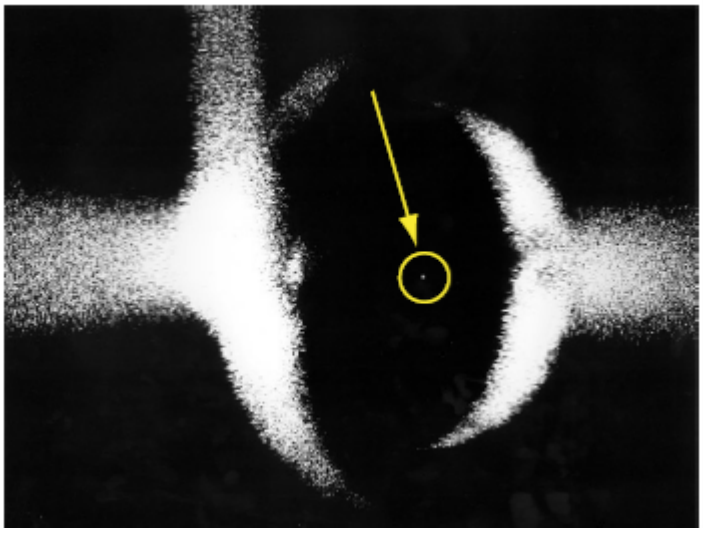
الشكل 237 خطوات ذرية تجزأ في بلورات زرنيخ الغاليوم (رقائق) الشكل 236 الذرات موجودة : تدوير بلورة مثالية يمكن أن ترى تحت المجهر الضوئي وحيدة مدورة مضاءة من قضيب الألمنيوم يؤدي لتذبذبات السطوع بسبب الذرات التي تشكلها



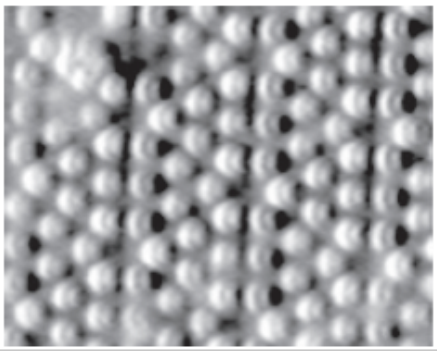
الشكل 238 تأثير الذرات : خطوات على أسطح بلورية وحيدة – هنا كربيد السيليكون منمى على ركيزة / طبقة أساس منهية بكربون (يسار) و على طبقة أساس منهية بالسيليكون (يمين) مراقبة بواسطة مجهر ضوئي بسيط

إن قضيب أسطواني من الألمنيوم وحيد البلورة النقي يبدي سلوكا مدهشا عندما يضاء من الجانب : إن سطوعه يعتمد على كيفية توضع القضيب ، حتى بالرغم من أنه مدور بشكل كامل . و هذه التبعية الزاوية ناتجة عن الترتيب الذري لذرات الألمنيوم في القضيب . ومن غير الصعب تأكيد تجريبيا وجود الحجك الأصغر من البلورات . و من الكافي تحطيم بلورة وحيدة ، مثل رقاقة زرنيخ الغاليوم إلى اثنتين . و سطح الكسر إما يكون مسطح بشكل كامل أو يبدي خطوات صغيرة كما هو مبين في الشكل 237 و هذه الخطوات مرئية تحت الكجهر الضوئي العادي . (لماذا ؟) (تحدي e 571)

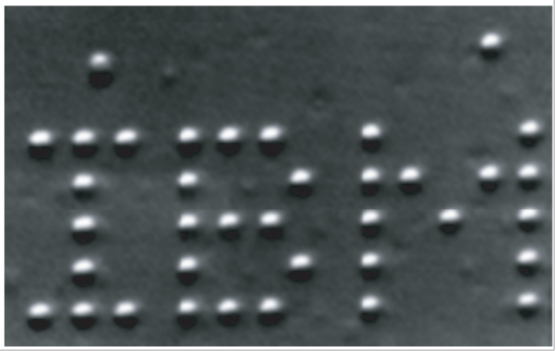
بشكل مشابه يبين الشكل 238 عيب يظهر في التنمية البلورية . و ينتج أن كل مثل هذه الارتفاعات في الخطوة هي مضاعفات من الارتفاع الأصغر الذي يقابل ارتفاع الذرة وهذا يتناقض مع كل الاحتمالات لثبات المقياس في المادة



الشكل 239 شاردة باريوم واحدة عائمة في مصيدة باول (حجم الصورة حوالي 2mm) في مركز الصورة ، مرئي أيضا بالعين المجردة في التجربة الأصلية ، التي نفذت عام 1985



الشكل 240 الذرات على سطح بلورة سيليكونية



الشكل 241 نتيجة تحريك ذرات هليوم على سطح معدني

كل من الحركة و التصوير تما بواسطة مجهر ذو قوة ذرية وضعت بواسطة مجهر ذو قوة ذرية

رؤية الذرات

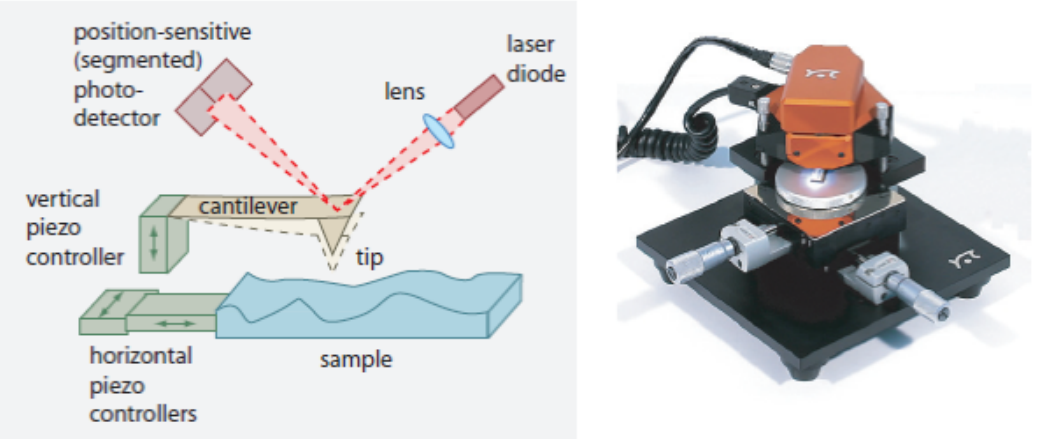
في هذه الأيام ، مع التقدمات في التكنولوجيا فإن الذرات الوحيدة يمكن أن ترى ، و تصور و تحدد اشكالها ثلاثية الأبعاد ، تعد ، تلمس ، تحرك ، ترفع ، تعوم و توضع في أي مكان . (المرجع 259 & 258) . و كل هذه العمليات تؤكد أنه مثل المادة اليومية ، الذرات لها كتلة ، حجم ، شكل و لون . (المرجع 260) . الذرات الوحيدة حتى تم استخدامها كمصابيح مثل الليزرات . وبعض النتائج التجريبية مبينة في الشكل 241 & 240 , 239 .

الطبيعة المتخيلة من قبل الإغريق كمجموعة ليجو . و في الحقيقة العديد من الباحثين المحدثين في العديد من الحقول لعبوا بمرح بالذرات بنفس الشكل الذي يلعب به الأطفال بالليجز . و إن العرض الجميل لهذه الإمكانيات قدم بواسطة العديد من التطبيقات للمجهر ذو القوة الذرية (مرجع 261) . إذا كنت قد واتتك الفرصة قط لتستخدم واحدا منها ، لا تفوتها

المجهر ذو القوة الذرية هو جهاز بسيط يوضع على طاولة يتابع سطح الجسم بإبرة حادة ذريا * مثل هذه الإبر تكون عادة من التنغستين وهي سهلة التصنيع بواسطة طريقة الحفر بالطباعة البسيطة . (مرجع 262) و التغيرات في ارتفاع الإبرة

---

*الشكل البسيط منه يكلف حوالي بضع آلاف يورو ، و سوف يسمح لك بدراسة الفرق بين رقاقة السيليكون – المتبلور – و رقاقة الطحين – الشكل اللامتبلور الحبيبي – و الرقاقة المفخمة



الشكل 242 مبدأ و تحقيق المجهر ذو القوة الذرية

على طول مسارها تسجل بمساعدة شعاع ضوء منحرف كما هو مبين في الشكل 242 و بقليل من العناية فإن ذرات الجسم يمكن الشعور بها وجعلها مرئية على شاشة حاسب . بواسطة أنواع خاصة من مثل هذه المجاهر يمكن استخدام الإبرة لتحريك الذرات واحدة تلو الأخرى إلى أماكن محددة على السطح . و ايضا من الممكن مسح السطح و التقاط ذرة معينة ودفعها باتجاه مقياس طيف كتلة لتحديد ما نوع الذرة . (المرجع 263) .

في النتيجة فإن بنية المجاهر ذات القوة الذرية هي فقط تحسين صغير لما أوجدته الطبيعة بواسطة الملايين ، عندما نستخدم آذاننا للاستماع ، فإننا في الحقيقة نكشف التغيرات في موضع غشاء الطبل بمسافة تصل إلى11 pm . بمعنى آخر كلنا لدينا مجهرين قوة ذرية موجودين في رؤوسنا .

لماذا من المفيد معرفة أن المادة مكونة من ذرات ؟ بمعرفة فقط حجم الذرات نكون قادرين على فهم واستنتاج الكثير من خواص المادة . و القياس الذري يحدد كثافة الكتلة ، و معامل المرونة ، و التوتر السطحي ، و معامل التمدد الحراري ، حرارة التبخر ، و حرارة الانصهار / الاندماج ، اللزوجة ، الحرارة النوعية ، الانتشار الحراري ، و الناقلية الحرارية (تحدي 572s) فقط حاول .

فضول و تحديات ممتعة حول الأجسام الصلبة و الذرات

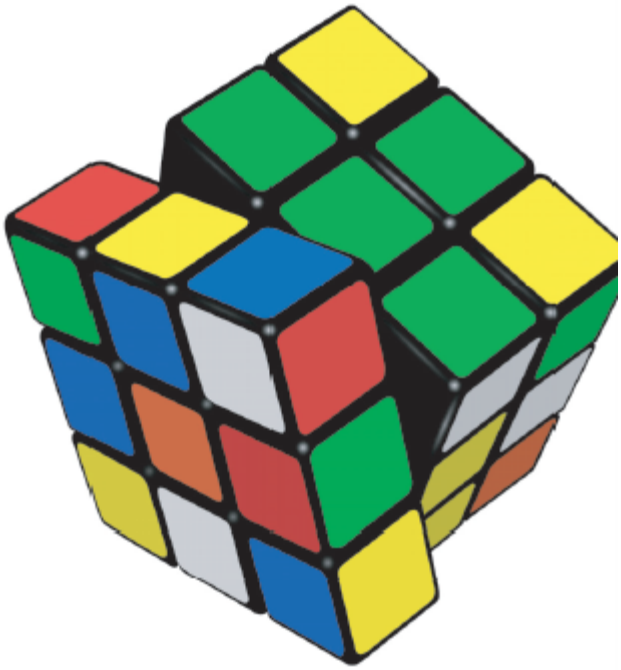
الزجاج هو مادة صلبة . على أن العديد من الكتب تقول بأن الزجاج سائل . و هذا الخطأ انتشر لمئات السنين وربما أصله من سوء الترجمة لعبارة في كتاب ألماني نشر عام 1933 من قبل غوستاف نامان ، حالة الزجاج .

هل يمكنك أن تعطي على الأقل ثلاثة أسباب تجعل الزجاج صلبا و ليس سائلا ؟ (تحدي 573 s)

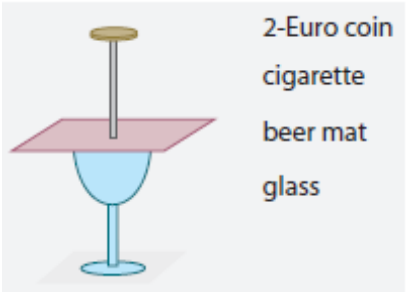
* *

ما هو الطول الأعظمي لسلك معلق شاقوليا ؟ هل يمكن لسلك أن يخفض من قمر صناعي ثابت المدار معلق لأسفل الأرض؟ (تحدي 574s) هذا سيعني أننا يمكن أن نحقق المصعد الفضائي . كم سيكون طول الكبل ؟ كم وزنه ؟ و كيف يمكن صنع مثل هذا النظام ؟ ما هي الأخطار التي تواجهه ؟

* *



الشكل 243 مكعب روبيك : تعقيد الحركة ثلاثية الأبعاد البسيطة



الشكل 244 كيف يمكن تحريك قطعة نقدية في الزجاج بدون أن تلامس أي شيء .

كل طالب ربما يعرف مكعب روبيك . هل يمكنك أن تستنتج كيف صنع روبيك مكعبه بدون النظر لداخله ؟ أيضا من أجل المكعبات ذات الأعداد الأخرى من القطع ؟

هل هناك حد لعدد الأجزاء ؟ (تحدي 575 s) هذه الأحاجي حتى أصعب من البحث في إعادة ترتيب المكعب

* *

رتب ستة عيدان ثقاب بشكل أن كل عود يلامس كل العيدان الأخرى . (تحدي 576 e)

* *

الفيزياء غالبا جيدة لربح الرهانات . أنظر الشكل 244 من أجل طريقة لفعل ذلك ، و هي عائدة لولفجانج ستالا

* *

المادة مكونة من ذرات . خلال قرون فإن المقاومة العنيدة للعديد من الناس لهذه الفكرة أدت لخسارة العديد من الكنوز . و لأكثر من ألف عام اعتقد الناس أن اللالئ الأصلية يمكن تمييزها عن المزيفة بطرقها بواسطة مطرقة حيث المزيفة فقط تنكسر . و لكن كل اللالئ تنكسر . (ايضا الألماس ينكسر في هذه الحالة) و بسبب هذا الاعتقاد خلال القرون الماضية ، كل اللالئ الأكثر جمالا في العالم تم سحقها إلى قطع

* *

كتب الكوميديا لديها مصاعب في مفهوم الذرات . هل يمكن لأستريكس فعلا أن يرمي رومانز في الهواء باستخدام قبضته ؟ هل طلقات المسدس الدوار لاك يلوك الدقيقة ممكنة ؟ هل يمكن لخيط حرير الرجل العنكبوت أن يحمله في تأرجحه من بناء لآخر ؟ هل يمكن لطائر رودرنر أن يتوقف عن الجري في ثلاث خطوات ؟ هل يمكن للشمس أن تقف في السماء بأمر ؟

هل يمكن لسفن الفضاء أن تحوم باستخدام الوقود ؟ هل يمكن لأي بطل كتاب هزلي أن يسأل نفسه فيما إذا كانت المادة مكونة من ذرات مما يسمح له بالقيام بأعمال يبدو أنه قادر عليها (تحدي 577e). سوف تجد أن أكثر أفلام الكرتون هزلية تماما لأنها تفترض أن المادة ليست مكونة من ذرات ، و لكن مستمرة . بمعنى ألذرات تجعل الحياة مغامرة جدية / خطرة .

* *

هل يمكن للبشر أن يحدثوا زلازل ؟ نعم ، العديد من الزلازل القوية عملها البشر . هذا يحدث عندما تملأ سدود بالماء ، أو عندما يحقن الماء في ثقوب محفورة . و أيضا قبل بأن استخراج الماء الجوفي ايضا يسبب زلازل . إذا أكد هذا بأبحاث مستقبلية فإن نسبة كبيرة من كل الزلازل يمكن أن يتسبب بها البشر . و هنا سؤال بسيط حول الموضوع : ماذا يحدث إذا قفز 100 مليون هندي حفزهم برنامج تلفيزيوني في نفس الوقت من طاولة المطبخ على الأرض ؟ (تحدي 578s)

* *

العديد من الكهوف فيها صواعد و نوازل . و هي تتشكل تحت شرطين : نقط الماء من السقف في كهف يحتوي كربونات الكالسيوم ، $CaCo_3$ و الفرق بين تراكيز ثاني أكسيد الكربون CO_2 في الماء و في هواء الكهف يجب أن يكون أعلى من قيمة دنيا معينة. و إذا تحقق هذين الشرطين فإنه يترسب كتل متكلسة ، و تتشكل الصواعد و النوازل . كيف يمكن لرأس النازل البارز من السقف أن يميز عن رأس الصاعد البارز من الأرض ؟ هل الفرق موجود أيضا من أجل الصواعد و النوازل الجليدية . (تحدي 579 s) .

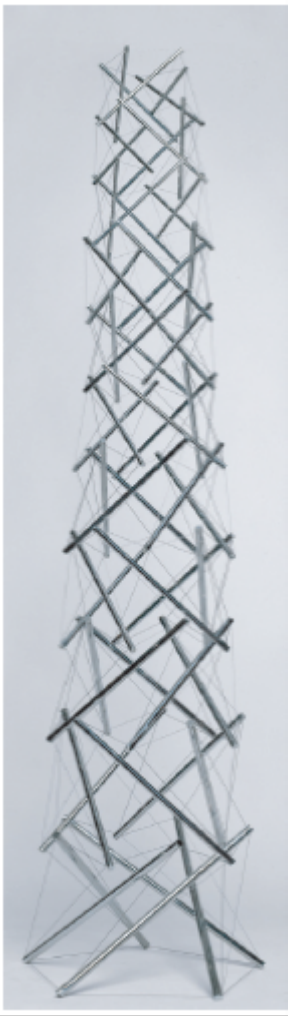
* *

الفراكتالات موجودة . أي البنى في الطبيعة تقترب منها بشكل أوثق ما يكون ؟ أحد المرشحات هي الرئة ، كما هو مبين في الشكل 245 . إن قصباتها تنقسم مرات و مرات بين 28 & 26 مرة و كل نهاية تصل إلى عدد إلى عدد 300 مليون سنخ و هي تجاويف بقطر 0.25 mm التي يمتص بها الأكسجين في الدم و يطرد ثاني أكسيد الكربون في الهواء

* *

كم الوزن الإضافي الذي سيبينه مقياس الحمام لديك إذا وقفت عليه في خلاء ؟ (تحدي 580s)

* *



الشكل 246 بنية قوية التي لا يوجد فيهلا جسم جاسئ موصل لأي جسم آخر

أحد أكثر الأجسام الممتدة تعقيدا هي الجسم البشري . في المحاكاة الحديثة لسلوك البشر في حوادث السيارات ، فإن النماذج الأكثر تطورا تشمل الأضلاع ، الفقرات و كل العظام الأخرى و الأعضاء المتعددة . من أجل كل جزء ، إن خواص التشوه الخاص تؤخذ بالحسبان . بواسطة مثل هذه النماذج و المحاكاة ، فإن حماية الركاب و السائقين في السيارات يمكن جعلها أفضل ما يكون .

* *

الجسم البشري هو بنية مميزة . و إنه صلب و مرن حسب الحاجة . إضافة لذلك ، أكثر الأجزاء الصلبة ، العظام ، غير متصلة بالأجزاء الصلبة الأخرى . منذ بضع سنين ، فإن الفنانين و المعماريين بدؤوا في استكشاف مثل هذه البنى . و المثال على تلك البنية ، برج مبين في الشكل 246 . و ينتج أن بنى مشابهة في بعض الأحيان تعرف بالبنى tensegrity (ذات 12 حركة) وهي نماذج جيدة من أجل العامود الفقري للإنسان مثلا . فقط ابحث في الإنترنت عن مزيد من الأمثلة

* *

أعمق ثقب حفر الأرض كان عمقه 12 km و في عام 2003 اقترح شخص ما تكبير مثل هذا الثقب و صب ملايين من الأطنان من الحديد السائل فيه . و قال بأن الحديد سيرسو باتجاه مركز الأرض . إذا وضع جهاز قياس ذو اتصال في الحديد هل يمكن أن يرسل القياسات للسطح باستخدام الأمواج الصوتية . هل يمكنك أن تعطي بعض الأسباب بعدم إمكانية هذا ؟

(تحدي 581s) .

* *

القوة الاقتصادية للأمة قد ارتبطت بشكل كبير بقدرتها على إنتاج الفولاذ عالي الجودة . في الحقيقة الثورة الصناعية بدأت بإنتاج كميات كبيرة من الفولاذ . و كل عالم يعرف الحقائق الأساسية حول الفولاذ . الفولاذ هو تشكيل من الحديد و الكربون الذي تضاف له بعض العناصر الأخرى ، معادن في الأغلب . و يمكن للمرء أن يميز ثلاثة أنواع أساسية من الفولاذ ، تبعا للبنية البلورية . الفولاذ الفريتي له بنية مكعبة مركزية الجسم كما هو مبين في الشكل 247 و الفولاذ الأوستنيتي له بنية مكعبة مركزية الوجوه ، و الفولاذ المارتنزيتي و له بنية رباعية الوجوه مركزية الجسم و يعطي الجدول 42 مزيدا من التفاصيل .

* *

الظاهرة البسيطة التي تتطلب شرحا معقدا هي تشقق السوط . منذ العمل التجريبي لبيتر كريل فقد كان من المعلوم أن السوط يتشقق عندما يصل الراس لسرعة تبلغ ضعفي سرعة الصوت (المرجع 264) . هل تستطيع أن تتخيل لماذا؟

(تحدي 582 ny)

* *

سلسلة الدراجة هي جسم ممتد بدون صلابة . لكن إذا تركت تدور بسرعة فإنها تكتسب صلابة ديناميكية و يمكن أن تتحرج عبر مستوي مائل أو على طول الأرضية , هذا الأثر المدهش يمكن مشاهدته في موقع www.iwf.de/iwf/medien/infothek?Signature=C+14825

* *

الأجهزة الميكانيكية غير مغطاة في هذا الكتاب , هناك الكثير من التقدم في هذا المجال حتى في الوقت الحالي (مرجع 265) مثلا بنى الناس روبوتات قادرة على الحركة بعجلة واحدة . و لكن حتى فيزياء العجلة الواحدة البشرية ليست بسيطة (مرجع 266) جربها ، إنها تمرين جيد لتبقى شابا .

* *

الجدول 42 أنواع الفولاذ ، خواصه و استخداماته

الفولاذ الفريتي	الفولاذ الأوستنيتيي	الفولاذ المارتنزيتي
التعريف		
فولاذ عادي ، بنية مكعبة مركزية الجسم (bbc) حديد و كربون	فولاذ طري ،بنية مكعبة مركزية الوجوه (fcc) حديد ، كروم ، نيكل ، منغنيز ، كربون	فولاذ مقسى ، قصف ، بنية رباعية الوجوه مركزية الجسم (bct) فولاذ كربوني و خلائطه
الأمثلة فولاذ الإنشاء فولاذ صاج السيارات فولاذ السفن ستانلس فريت 12% Cr	أكثر أنواع الستانلس ستيل 18/8) Cr/Ni) أدوات المطبخ فولاذ Cr/V للمفاعلات النووية	أنصال السكاكين اسطح الحفر فولاذ النوابض ، محاور أذرعة التدوير

الخواص الأطوار موصوفة بمخطط طور الحديد – كربون في الاتزان عند RT	الأطوار موصوفة بمخطط شافلر لبعض الخلائط في الاتزان عند RT	الأطوار موصوفة بمخطط الحديد – كربون و مخطط TTT (الزمن – درجة الحرارة – التحويل) ليست في اتزان عند RT و لكن مستقرة
الخواص الميكانيكية و حجم الحبيبات يعتمد على المعالجة الحرارية	الخواص الميكانيكية و حجم الحبيبات يعتمد على المعالجة الأولية الحرارية – الميكانيكية	الخواص الميكانيكية و حجم الحبيبات يعتمد على المعالجة الحرارية
يقسى بواسطة تخفيض حجم الحبيبات ، بالطرق ، بزايدة محتوى الكربون أو بالنترجة	بقسى بواسطة التشغيل البارد فقط	قاسي بأي حال – يصنع بواسطة التشعيع بالليزر ، التسخين التحريضي ...الخ
حبيبات الفريت و البيرليت مع سمنتيت (Fe_3C)	حبيبات الأوستنيت	حبيبات المارتنزيت
حديدي مغناطيسي	غير مغناطيسي أو ضعيف المغنطة	حديدي مغناطيسي

هناك العديد من المقولات ضد وجود الذرات ككرات صلبة . وضع تومسون – كلفين هذا خطيا و تحدث عن افتراض عظيم لقطع قوية بشكل لا متناهي و صلبة بشكل لا نهائي من المادة . (مرجع 267) حتى بالرغم من أن تومسون كان محقا في تعليقه الذرات موجودة ، لماذا ؟ (تحدي 583s) .

* *

الرمل له العديد من الطرق لتحريكه ، و الاكتشافات الجديدة ما تزال تتم بانتظام . في عام 2001 ، اكتشف سنجوردور ثورودسن و آمي شين أن كرة الفولاذ التي تسقط على سرير من الرمل تنتج بعد أن تغوص الكرة في الرمل نفثا الذي يقفز للأعلى من الرمل . يبين الشكل 248 تتابع صور لهذا الأثر . إن الاكتشاف أدى إلى تتابع من البحوث اللاحقة .



الشكل 247 فولاذ فريتي هو bcc (مكعب مركزي الجسم) كما هو مبين في الأتوميوم الشهير في بروكسل و هو مقطع من بلورة الحديد مكبرة بارتفاع أكثر من مائة متر

* *

الهندسة ليست جزءا من هذا الكتاب على أنها موضوع شيق ، بعض الأمثلة على ما يفعله المهندسون مبين في الشكل 249 و 250 .

ملخص عن الذرات

المادة ليست ثابتة القياس : بشكل خاص هي ليست صقيلة / ملساء / انسيابية (مستمرة) و لا فراكتال (كثيرة التعرج) .

ليس هناك أجزاء صغيرة اختياريا في المادة . المادة اليومية مكونة من عناصر معدودة : المادة العادية مكونة من ذرات . هذا أكد بالنسبة لكل الأجسام الصلبة ، السوائل و الغازات

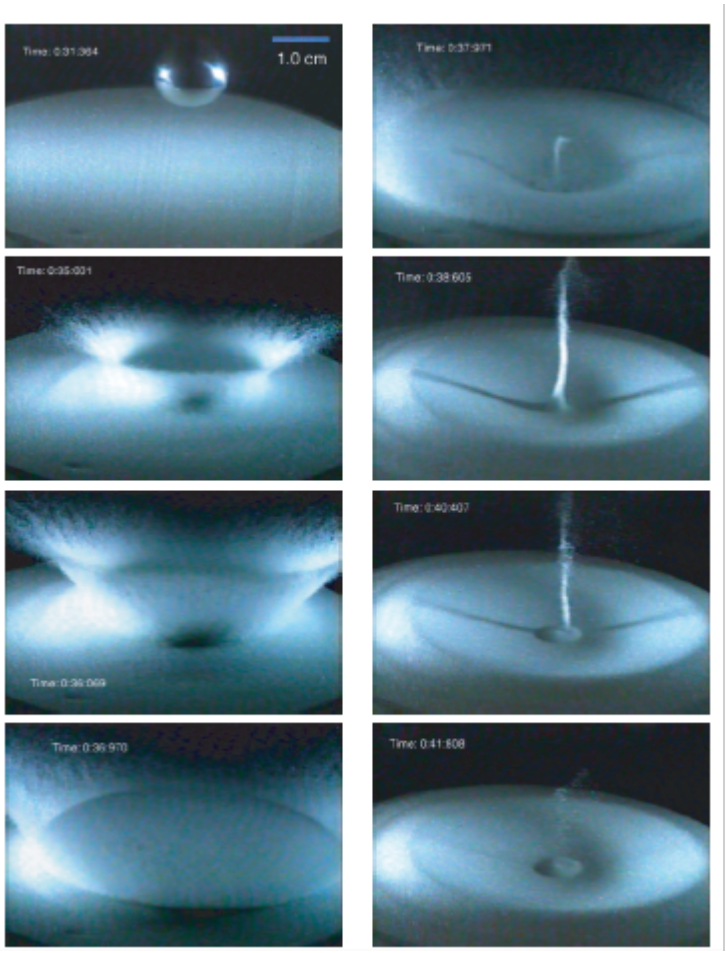
الصور من المجاهر ذات القوة الذرية تبين أن الحجم و ترتيب الذرات ينتج شكل و امتداد الأجسام مما يؤكد على نموذج الليجو الذي وضعه الإغريق القدماء . الأنواع المختلفة من الذرات و كذلك تشكيلاتها المختلفة ، تنتج أنواعا مختلفة من المواد .

إن دراسة المادة بمزيد من التفصيل – كما سيتم لاحقا – يعطي الآن الفكرة المعروفة جيدا بأن المادة ، عند تكبيرات أعلى و أعلى ، مكونة من جزيئات ، ذرات ، نوى ، بروتونات و نيوترونات و أخيرا كواركات . الذرات أيضا تحتوي إلكترونات

و النوع الأخير من المادة ، النيوترينو ، لوحظ بأنه يأتي من الشمس و من أنواع معينة من المواد المشعة . و حتى بالرغم من أن حجارة البناء الأساسية أصبحت أصغر في القرن العشرين ، فإن هذا لن يحدث في المستقبل . و الفكرة الأساسية للإغريق القدماء بقيت: المادة تتألف من أصغر الاشياء ، الآن تعرف بالجسيمات الأولية . (المجلد V ، صفحة 261)

في اجزاء من مغامرتنا حول نظرية الكم فإننا سنستكشف النتائج بالتفصيل . وسوف نكتشف لاحقا أن تقطع المادة هو نفسه نتيجة وجود أصغر تغير في الطبيعة .

بسبب وجود الذرات ، فإن وصف الحركة اليومية للأجسام الممتدة يمكن أن يستنتج من وصف حركة ذراتها



الشكل 248 مثال على حركة مدهشة للرمل : نافثات حبيبية



الشكل 249 منجزات هندسية حديثة : آلة تصنيع (بالطباعة البلورية) لإنتاج دارات متكاملة و آلة صنع الورق

و الحركة الذرية ستكون موضوعا رئيسيا في الصفحات التالية . إن اثنتين من النتائج المهمين بشكل خاص : الضغط و الحرارة سوف ندرسهما الآن .



الشكل 250 بعض الأحيان أجسام متحركة غير عادية تعبر الطرق الألمانية

الموائع و حركتها

المرجع 269 : الموائع يمكن أن تكون سوائل أو غازات بما فيها البلازما . و حركة الموائع يمكن أن تكون معقدة بشكل متزايد كما يبين الشكل 251 . في الحقيقة حركة المائع شائعة و مهمة - فكر بالتنفس ، حركة الدم ، أو الطقس . إن دراستها لأمر يستحق العناء .

ماذا يمكن أن يتحرك في الطبيعة – تدفقات من كل الأنواع

قبل أن نستمر في دراسة الموائع لنلقي نظرة أقرب عن كل الأنواع المتعددة من الحركة في العالم حولنا . إن استعراضا لانواع الحركة في الطبيعة معطى في الجدول 43 و هو يورد الحركة في مجالات مختلفة من العلوم الطبيعية التي تنتمي للحياة اليومية : حركة الموائع ، المادة ، أنواع المادة ، الحرارة ، الضوء و الشحنة .

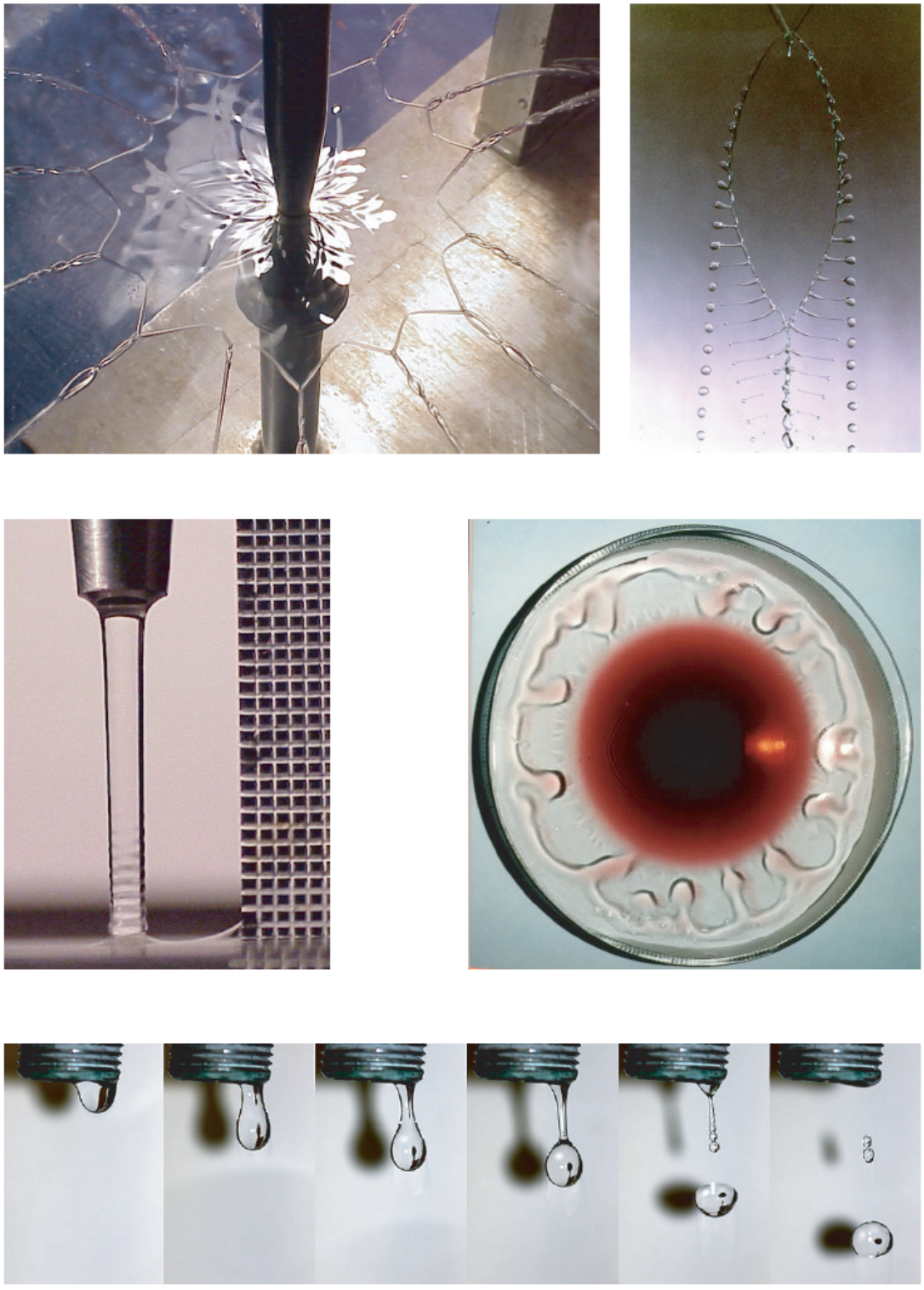
كل هذه الأنواع للحركة هي مجالات فيزياء التسلسل / الاستمرار . من أجل كل مجال يعطي الجدول الكمية التي حركتها أساسية لذلك لمجال . الكمية المتحركة – سواء كانت كتلة ، حجم ، إنتروبي أو شحنة – توصف بمقدار قابل للقياس شامل أي قيمة قابلة للقياس يمكن أن تتراكم . إن حركة الكمية القابلة للقياس الشاملة تعرف بالتدفق . كل نوع من الحركة في الطبيعة هو تدفق . الكمية الشاملة هي الشيء / المادة التي تتدفق .

ضمن فيزياء الاستمرار هناك مجالين لم يدرسا بعد : حركة الشحنة و الضوء ، التي تعرف بالديناميك / التحريك الكهربائي و حركة الحرارة التي تعرف بالترموديناميك . حالما يتم دراسة هذين المجالين سوف نكون قد أكملنا الخطوة الأولى من وصف الحركة : الفيزياء المستمرة . في الفيزياء المستمرة ،الحركة و الأشياء المتحركة توصف بكميات مستمرة التي يمكن أن تأخذ أي قيمة بما فيها القيم الصغيرة الاختيارية أو الكبيرة الاختيارية .

ولكن الطبيعة ليست مستمرة . لقد رأينا للتو أن المادة لا يمكن تقسيمها إلى أشياء أصغر باستمرارا . في الحقيقة ، سوف نكتشف أن هناك تجارب دقيقة التي تعطي حدود للقيم المقاسة من أجل كل مجال من الفيزياء المستمرة .

سوف نكتشف أن هناك حدود دنيا و عليا للكتلة ، السرعة ، كمية الحركة الزاوية ، القوة ، الإنتروبي و الشحنة . نتائج هذه الاكتشافات تؤدي إلى السياقات التالية لوصف الحركة عندنا : النسبية و نظرية الكم . النسبية تستند للحدود العليا ، نظرية الكم للحدود الدنيا . بالمناسبة هل يمكنك القول أن كل الكميات الممتدة / الشاملة لها أصغر قيمة ؟ آخر سياق لوصفنا للحركة سندرس توحيد نظرية الكم و النسبية العامة .

كل مجال من الفيزياء بغض النظر أي السياقات أعلاه تنتمي إليه ، يصف التغير بدلالة مميزات الكمية الممتدة / الشاملة للمجال و الطاقة . إن الكمية القابلة للقياس تدعى شاملة إذا كانت تزداد مع حجم الجملة . (المرجع 298) .



الشكل 251 الأمثلة على حركة المائع الصفحي : نفث الماء الشاقولي يضرب صادم أفقي ، نافثين لمزيج الغليسرول –الماء يصطدمان بزاوية مائلة ، نفث الماء يرتطم بحوض في حركة ثابتة ، كأس نبيذ يبين قطرات دامعة و صنبور ماء ينقط .

الجدول 43 التدفقات في الطبيعة : كل الكميات الشاملة أي الكميات القابلة للقياس التي تتراكم وبالتالي تتحرك و تتدفق

المجال	الكمية الممتدة (حامل الطاقة)	التيار (معدل التدفق)	الكمية الشدية (قوة الدفع/ القيادة)	تدفق الطاقة (الاستطاعة)	المقاومة للنقل (شدة توليد الإنتروبي)
الأنهار	الكتلة m	تدفق الكتلة m/t	الارتفاع (الفرق) gh	P= ghm/t	R_m =ght/m [m^2 /s kg]
الغازات	الحجم V	تدفق الحجم V/t	الضغط p	P =pV/t	R_V = pt/V [kg/s m^5]
الميكانيك	كمية الحركة p	القوة F= dp/dt	السرعة v	P= v F	R_p = ΔV/ F= t/m [s/kg]
	كمية الحركة الزاوية L	العزم M= dL/ dt	السرعة الزاوية ω	P= ω M	R_L = t/m r^2 [s/kg m^2]
الكيمياء	كمية المادة n	تدفق المادة I_n = dn/dt	الكمون الكيماوي μ	P =μ I_n	R_n = μt/n [Js/ mol^2]
الترموديناميك	الإنتروبي S	تدفق الإنتروبي I_S = dS/dt	درجة الحرارة T	P =T I_S	R_S = Tt/s [K^2/ W]
الكهرباء	الشحنة q	التيار الكهربائي I = dq/dt	الكمون الكهربائي U	P = U.I	R = U/I [Ω]
المغناطيسية	لا يوجد مصادر مغناطيسية تراكمية في الطبيعة				
الضوء	مثل كل الإشعاع عديم الكتلة ، يمكن أن يتدفق و لكن لا يمكن أن يتراكم				
الفيزياء النووية	توجد كميات شاملة لكن لا تظهر في الحياة اليومية				
الجاذبية	الفضاء الفراغ يمكن أن يتحرك و يتدفق لكن لا يظهر في الحياة اليومية				

- الكمية الشاملة تصف ما يمكن أن يتدفق في الطبيعة

الأمثلة هي الكتلة ، الحجم ، كمية الحركة ، الشحنة و الإنتروبي . الجدول 43 يعطي عرضا كاملا لها .وفي كل تدفق هناك أيضا قيمة فيزيائية قابلة للقياس التي تجعل الأشياء تتحرك :

- الكمية الشاملة تصف القوة الدافعة للتدفق و هي تحدد كمية ما يتدفق

الأمثلة هي فرق الارتفاع ، الضغط ، السرعة ، الكمون أو درجة الحرارة .

من أجل كل جملة فيزيائية الحالة توصف بمجموعة من القيم القابلة للقياس الشاملة و المكثفة . أي وصف كامل للحركة و أي قياس كامل لجملة بالتالي يتطلب دائما كلا النوعين من القيم القابلة للقياس .

الكميات الشاملة و المكثفة - ماذا يتدفق و لماذا يتدفق – من أجل حالة الموائع هي الحجم و الضغط . و هي أساسية لوصف وفهم تدفقات الموائع . في حال الحرارة الكمية الشاملة و المكثفة هي الإنتروبي – الكمية التي تتدفق – ودرجة الحرارة الكمية التي تجعل الحرارة تتدفق . و سوف ندرس ذلك قريبا . و نلاحظ أيضا :

- جداء المقدار الشامل و المكثف هو دائما طاقة في الزمن أي دائما استطاعة التدفق المقابل

التشابهات في الجدول 43 يمكن أيضا الاستمرار بها أكثر . في كل المجالات

- سعة الجملة تعرف بأنها الكمية الشاملة مقسمة على كمية مكثفة .

السعة تعني كم سهولة جعل المادة تتدفق في الجملة . من أجل الشحنة الكهربائية ، السعة عاة تعرف بالسعة الكهربائية . و إذا كان العدد كبيرا جدا ، فإنه من السهل جدا إضافة شحنة . من أجل كمية الحركة ، السعة تعرف بالكتلة ، الكتلة تقيس كم سهولة إضافة كمية الحركة لجملة . هل يمكن أن تحدد المقادير التي تقيس السعة في حالات أخرى ؟ (تحدي e 584)

في كل الحقول من الممكن تخزين الطاقة باستخدام الكمية المكثفة – مثل $E = CU^2/2$ في مكثف في مكثف أو $E = mv^2/2$ في جسم متحرك أو باستخدام كمية شاملة مثل $E = LI^2/2$ في ملف أو $E = F^2 / 2k$ في نابض .

بجمع و تبادل طريقتي تخزين ، نحصل على اهتزازات .

- كل تدفق ينتج اهتزازات / تذبذبات

هل يمكنك أن تشرح التذبذبات لحالات أخرى من التدفق ؟ (التحدي ny 585)

حالة المائع

لوصف وسائل الحركة ، قبل كل شيء ، هو وصف حالة الجملة المتحركة . من أجل أكثر الموائع فإن الحالة توصف

بتحديد ، في كل نقطة من الفراغ ، كثافة الكتلة ، السرعة ، درجة الحرارة ، و الضغط . و بالتالي لدينا قيمتين جديدتين قابلتين للقياس : درجة الحرارة ، التي سندرسها في الفصل التالي و الضغط (صفحة دتين قابلتين للقياس : درجة الحرارة ، التي سندرسها في الفصل التالي و الضغط (صفحة 381) .

هاهنا تركيز للقيمة المقاسة الجديدة الأخرى :

- الضغط p عند نقطة في مائع هو القوة بالمساحة التي يشعر بها جسم ذو حجم مهمل عند تلك النقطة $p = F/A$

بشكل مكافئ :

- الضغط هو تغير كمية الحركة منسوبا للمساحة

وحدة الضغط هو الباسكال : باسكال واحد يعرف بأنه $1N/m^2$. اختيار قيم الضغط الذي يوجد في الطبيعة معطى في الجدول 44 .



الشكل 252 حساسات الضغط المختلف : مخطط ضغط قديم ، حساس ضغط ماء صناعي ، مقاومة حساسة للضغط ، الخط الجانبي لسمكة ، و حساسات ضغط MEMS حديثة .

الجدول 44 بعض قيم الضغط المقاسة

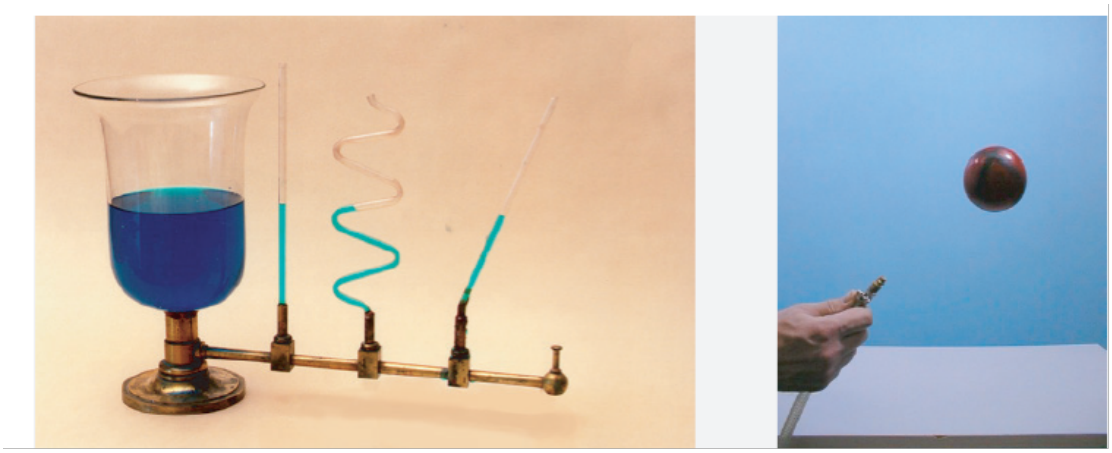
القيمة المقاسة	الضغط
القيمة القياسية للضغط السلبي (التوتر) المقاس في الماء بعد التنقية الدقيقة المرجع 270	-140 MPa = -1400 bar
الضغط السلبي المقاس في نسغ الشجر (الخشب) المرجع 271 & 254	حتى -10 MPa = -100 bar
الضغط السلبي في الغازات	لا يوجد
الضغط السلبي في الأجسام الصلبة	يعرف بالتوتر
القيمة القياسية للضغط الخلائي المحقق في المخبر	10 pPa (10^{-13} torr)
تغير الضغط عند عتبة السمع	20 µPa
تغير الضغط عند ألم السمع	100 Pa
الضغط الجوي في لاباز ، بوليفيا	51 kPa
الضغط الجوي في طائرة ركاب محلقة	75 kPa
المتوسط الزمني للضغط في تجويف الجنب في صدر الإنسان	0.5 kPa أو 5mbar أدنى من الضغط الجوي
الضغط الجوي القياسي عند سطح البحر	101.325 kPa أو 1013.25 mbar أو 760 torr
ضغط الدم الشرياني البشري لشخص سليم : الانبساطي / الانقباضي	17 kPaأو 11 kPa أعلى من الضغط الجوي
القيمة القياسية للضغط المنتج في المخبر باستخدام سندان ألماس	تقريبا 200 GPa
الضغط في مركز الأرض	تقريبا 370 (20)GPa
الضغط في مركز الشمس	تقريبا 24 PPa
الضغط في مركز نجم نيوتروني	تقريبا $4. 10^{33}$ Pa
ضغط بلانك (الضغط الأعظمي الممكن في الطبيعة)	$4.6 . 10^{113}$ Pa

يقاس الضغط بمساعدة البارومترات أو أدوات مشابهة مثل تلك المبينة في الشكل 252 . أيضا الجسم البشري مليء بحساسات الضغط ، خلايا ميركل في رؤوس الأصابع هي أمثلة على ذلك . سوف ندرسها لاحقا (المجلد V ، صفحة 39)

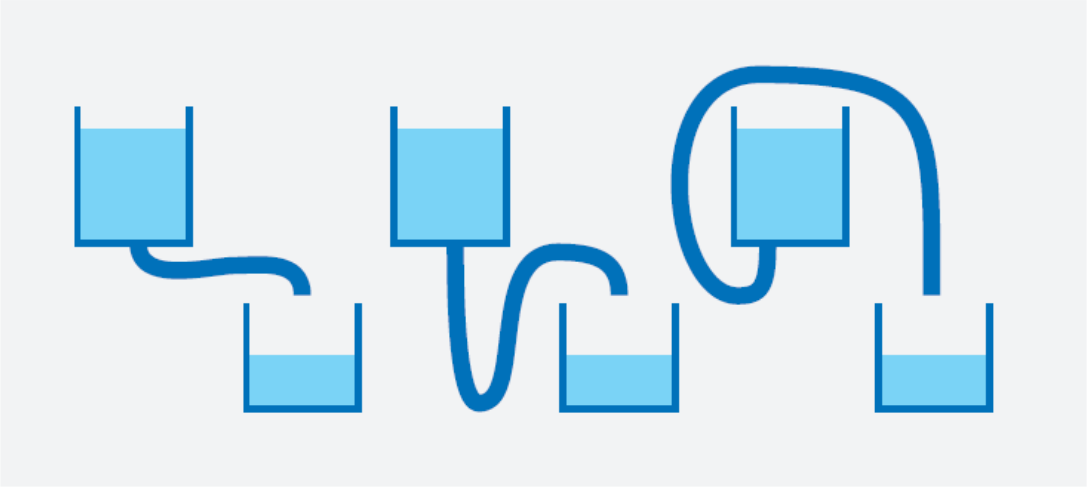
داخل مائع ، الضغط ليس له اتجاه مفضل . في حدود مائع ، الضغط يؤثر على جدران الحاوية . الضغط ليس خاصة بسيطة . هل يمكنك شرح القياسات في الشكل 254 ؟ إذا كانت المفارقة الهيدروستاتيكية – وهي تأثير ما يعرف بآنية الاتصال – سوف لن تكون صالحة و سيكون من السهل صنع حركات دائمة .



الشكل 253 دانييل بيرونولي (1700-1782)



الشكل 254 المفارقة الهيدروستاتيكية و الهيدروديناميكية



الشكل 255 أحجية : أي طريقة لإفراغ الحاوية هي الأسرع ؟ هل الطريقة إلى اليمين ستعمل ؟ (تحدي 586s)

هل يمكنك التفكيربمثال ؟ (تحدي e 587) الأحجية الأخرى حول الضغط معطاة في الشكل 255 .

الهواء حولنا له ضغط كبير ، من مرتبة 100 kPa و بالنتيجة ليس من السهل صنع خلاء ، و في الحقيقة القوى اليومية غالبا تكون ضعيفة جاد للتغلب على ضغط الهواء . هذا معروف منذ قرون عديدة كما يبين الشكل 256 .







الشكل 256 ضغط الهواء يؤدي إلى قوى كبيرة بشكل مدهش ، خاصة من أجل الأجسام الكبيرة التي تحيط بالخلاء . وهذا أظهر بانتظام في السنوات من 1654 فصاعدا من قبل أوتو فون جويريك بمساعدة ما يعرف بأنصاف كرة ماجديبورغ و قبل كل شيء مضخات الخلاء التي اخترعها

إن مخبرك الفيزيائي المفضل سيملك مضخة خلاء و زوج من أنصاف كرات ماجديبورغ (الأصغر) و استمتع بإجراء التجربة بنفسك .

التدفق الصفحي و الدوامي

مثل كل الحركة ، تخضع حركة الموائع إلى مصونية الطاقة و من أجل الموائع التي لا تحول فيها أي طاقة إلى حرارة ، فإن مصونية الطاقة تكون بسيطة بشكل خاص . الحركة التي لا تولد الحرارة هي حركة بدون دوامات ، مثل هذه الحركة للمائع تعرف بالصفحية . و في الحالة الخاصة حيث أنه بالإضافة لذلك فإن سرعة المائع لا تعتمد على الزمن عن كل الوضعيات و حركة المائع تعرف بالثابتة . و التدفق غير الصفحي يعرف بالدوامي . يبين الشكل 257 & 251 أمثلة علبى ذلك .

من أجل الحركة التي هي صفحية و ثابتة فإن مصونية الطاقة يمكن التعبير عنها بمساعدة السرعة v و الضغط p .

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + p + \rho g h = \text{const} \qquad (110)$$

حيث h الارتفاع فوق سطح الأرض ، ρ كثافة الكتلة و $g = 9.8\ m/s^2$ تسارع الجذابية . وهذا يعرف بمعادلة بيرنولي * في هذه المعادلة ، الحد الأخير هو فقط مهم إذا ارتفع المائع فوق الأرض .

---

*دانييل بيرنولي (ولد في بال عام 1700 و توفي فيها عام 1782) رياضي و فيزيائي هام أيضا أبوه يوهان و عمله يعقوب كانوا رياضيين مشهورين و كذلك إخوته و بعض أولاد إخوته . نشر دانيل بيرنولي العديد من النتائج الرياضية و الفيزيائية وفي الفيزياء درس فصل الحركة المركبة إلى انسحابية و دورانية . في عام 1738 ، نشر كتاب الهيدروديناميك الذي استنتج فيه كل النتائج من المبدأ الأساسي و هو مصونية الطاقة . و إن ما يعرف بمعادلة بيرنولي تبين كيف يتناقص ضغط مائع عندما تزداد سرعته . و قد درس المد و الجزر و العديد من المسائل الميكانيكية المعقدة وشرح قانون الغاز لبويل و ماريوت وقد فاز بسبب منشوراته بجائزة رفيعة من الأكاديمية الفرنسية للعلوم و هي سابقة لجائزة نوبل عشر مرات .




الشكل 257 يسار : التدفقات الصفحية غير الساكنة و الساكنة ، يمين : مثال عن تدفق دوامي

الحد الأول في معادلة بيرنولي هو الطاقة الحركية (نسبة للحجم) للمائع و الحدين الآخرين هما الطاقات الكامنة (نسبة للحجم) و في الواقع الحد الثاني هو الطاقة الكامنة (نسبة للحجم) التي تنتج من انضغاط المائع (تحدي 588e) . و هذا ناتج عن الطريقة الأخرى لتعريف الضغط :

- الضغط هو طاقة كامنة نسبة للحجم

مصونية الطاقة تقتضي أنه كلما كان الضغط أخفض كلما كانت سرعة المائع أكبر . و يمكننا استخدام هذه العلاقة لقياس سرعة تدفق ماء ثابت في أنبوب . حيث علينا فقط تضييق الأنبوب بعض الشيء في موقع ما على طول الأنبوب و نقيس فرق الضغط قبل و بعد التضيق . و السرعة v بعيدا عن التضيق تعطى بالتالي بالشكل $v = k\sqrt{p_1 - p_2}$ (ما هو الثابت k ؟) الجهاز الذي يستخدم هذه الطريقة بعرف بمقياس فينتوري . (تحدي 589s) .

الآن لنفكر بالماء المتدفق . إذا بقي الشكل الهندسي ثابتا و سرعة الماء ازدادت – أو السرعة النسبية لجسم في الماء ازدادت – بسرعة معينة فإننا نلاحظ انتقال : الماء يفقط نقاءه و التدفق لا يعود ثابتا و لا صفحيا و نلاحظ الانتقال عندما نفتح صنبور الماء عند سرعة معينة فإن التدفق يتغير من صفحي إلى دوامي و من هذه النقطة فصاعدا لن تكون معادلة بيونولي (110) صالحة بعد الآن .



الشكل 258 درجة الإبحار العثة : قارب وزن 30 kg الذي يبحر أعلى الماء باستخدام صفائح مائية أي أجنحة تحت الماء

الوصف الدقيق للدوامية لم يتم وضعه بعد . هذا يمكن أن يكون اصعب من كل المسائل المفتوحة في الفيزياء . عندما طلب من فيرنر هايزنبرغ الشاب أن يستمر في البحث عن الدوامية ، رفض - و هذا صائب – قائلا إنه من الصعب جدا وقد تحول لشيء ما أسهل و اكتشف و طور نظرية الكن بدلا من ذلك . الاضطرابية/ الدوامية هي موضوع واسع جدا ، حيث العديد من مفاهيمه لم تستقر بعد ، بالرغم من أن عدد و أهمية تطبيقاته ، فقط الآن ، في بداية القرن الحادي و العشرين بدات في الكشف عن أسراها . (المرجع 272)

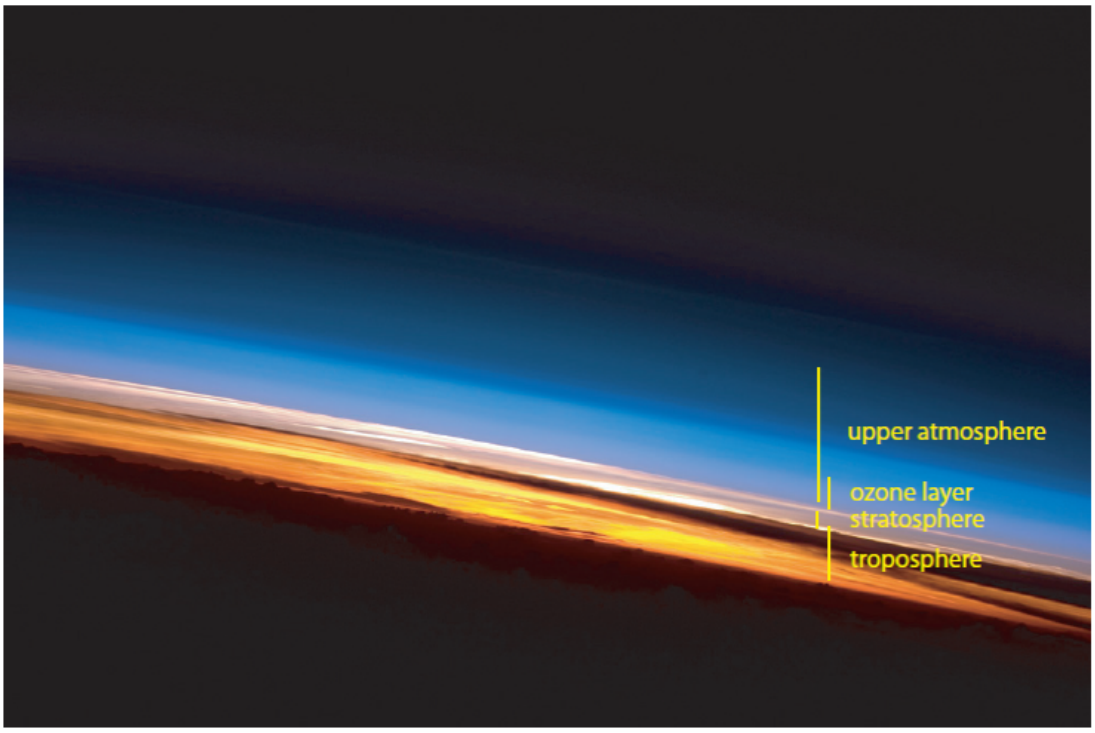
يعتقد أن معادلات الحركة التي تصف الموائع بشكل عام تماما ، و هي ما يعرف بمعادلات نافييه – ستوكس كافية لفهم الدوامية * لكن الرياضيات وراء هذه المعادلات هي مسببة لصداع . و هناك حتى جائزة بمليون دولار مقدمة من قبل معهد كلاي للرياضيات لإتمام خطوات معينة في طريقة حل المعادلات .

الجمل المهمة التي تبين التدفق الصفحي ، الدوامات و الدوامية في نفس الوقت هي الأجنحة و الأشرعة (أنظر الشكل 258) كل الأجنحة و الأشرعة تعمل بشكل أفضل في النمط الصفحي . و أصل الجناح هو أنه يعطي الهواء سرعة للأسفل ذات دوامية قليلة قدر الإمكان . (الهدف من تقليل الدوامية هو سبب أن الأجنحة منحنية . إذا كان المحرك قويا جدا ، فإن الجناح المسطح بزاوية أيضا يبقي الطائرة في الهواء . لكن استهلاك الوقود يزداد بشكل كبير . و من ناحية أخرى الدوامية القوية هي ميزة للهبوط بأمان) . حول الجناح لطائر يطير أو طائرة فإن السرعة السفلية / باتجاه الأسفل تؤدي لقوة نابذة تؤثر في الهواء التي تمر فوق الجناح (المرجع 273) . و هذا يؤدي إلى ضغط أخفض و بالتالي إلى رفع .(الأجنحة بالتالي لا تعتمد على معادلة بيرنولي ، حيث الضغط الأخفض على طول التدفق يؤدي إلى سرعة هواء أعلى ، كما لسوء الحظ تقول الكثير من الكتب . فوق الجناح السرعة الأعلى مرتبطة بالضغط الأخفض عبر التدفق) .

السرعات المختلفة للهواء فوق و اسفل الجناح يؤدي إلى دوامات في نهاية كل جناح . هذه الدوامات مهمة بشكل خاص من أجل إقلاع أي حشرة ، طائر و طائرة . مزيد من الامور حول الأجنحة ستدرس لاحقا (المجلد V ، صفحة 278)

---

*سميت نسبة إلى كلود نافييه (ولد في ديجون 1785 و توفي في باريس 1836) وهو مهندس مهم و باني جسور ، و جورج جابرييل ستوكي (ولد في سكرين 1819 و توفي في كامبريدج 1903) وهو فيزيائي و رياضي مهم .



الشكل 259 طبقات عديدة للغلاف الجوي مرئية في صورة غروب الشمس مأخوذة من محطة الفضاء الدولية ، التي تطير على ارتفاع مئات الكيلومترات

الغلاف الجوي

الغلاف الجزي هو طبقة رقيقة حول كوكبنا المبينة في الشكل 259 و هو يبقينا أحياء .

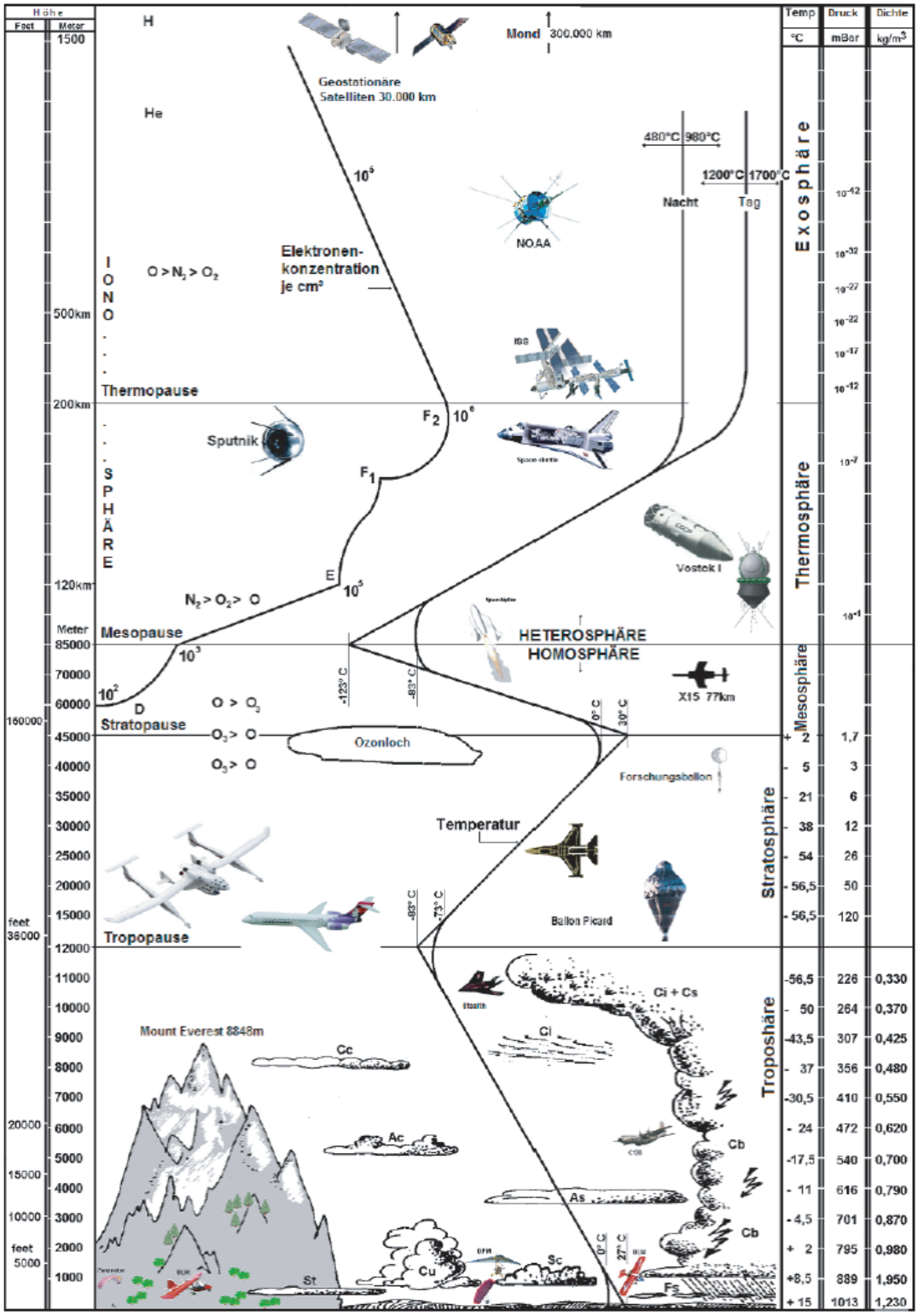
الغلاف الجوي هو مائع الذي يحيط بالأرض و يتكون من 5.10^{18} kg من الغاز . و كثافته تتناقص مع الارتفاع : 50% من الكتلة هي بارتفاع أدنى من 5.6 km و 75% هي ضمن 11 km و 90% ضمن 16 km و 99.99997% هي ضمن 100 km *.

عند مستوى سطح البحر ، فإن الكثافة الجوية في المتوسط هي $1.29\ kg/m^3$ وهذا حوالي 1/800 من كثافة الماء و الضغط 101.3 kPa و كلاهما يتناقصان مع الارتفاع . إن تركيب الغلاف الجوي عند سطح البحر معطى في الصفحة 512 . أيضا التركيب يختلف حسب الارتفاع و بالتالي يعتمد التركيب على الطقس و على مستوى التلوث .

إن بنية الغلاف الجوي معطاة في الجدول 45 و يتوقف الغلاف الجوي عن التصرف كغاز أعلى من الفاصل الحراري و هذا بين 500-1000 km و أعلى من هذا الارتفاع لا يعود هناك اصطدامات بين الذرات . و في الحقيقة يمكننا القول أن الغلاف الجوي يتوقف عن التصرف كغاز معروف أعلى من 150 km و حيث لا يمكن إرسال أي صوت مسموع و لا حتى تردد 20 Hz بسبب الكثافة الذرية المنخفضة .

---

*الارتفاع الأخير يسمى خط كارمان و هو الارتفاع التقليدي الذي لا يمكن أن تستخدمه جملة طائرة للارتفاع لأكثر من ذلك لذا فإنه غالبا يستخدم كحد بين الطيران الجوي و الطيران الفضائي .



الشكل 260 الطبقات الرئيسية للغلاف الجوي

الجدول 45 طبقات الغلاف الجوي

الطبقة	الارتفاع	التفاصيل
الغلاف الجوي الخارجي / الإكسوسفير	>500-10000km	مكون بشكل أساسي من الهيدروجين و الهليوم و يشمل الماغنيتوسفير ، درجة الحرارة أعلى من 1000 °C و يحتوي العديد من الأقمار الصناعية و في بعض الأحيان ظواهر الأورورا / المطالع التي تتضمن في قمته الجيوكورونا الساطعة / المضيئة
الحدود : الفاصل الحراري أو الإكسوبيز (القاعدة الخارجية)	500-1000 km	أعلى : لا يوجد خواص غاز ، لا يوجد اصدامات ذرية الأسفل : خواص غاز ، احتكاك للأقمار الصناعية ، الارتفاع يتغير مع النشاط الشمسي
الغلاف الجوي الحراري / الثيرموسفير	من 85 km إلى الفاصل الحراري	مكون من الأكسجين ، الهليوم ، الهيدروجين و شوارد بدرجة حرارة تصل إلى 2500 °C ، ضغط 1-10 µPa ، سرعة ماتحت الصوت حوالي 1000 m/s و لايوجد نقل للصوت أعلى من 20 Hz عند ارتفاعات أعلى من 150 Hz يحتوي المحطة الفضائية الدولية و العديد من الأقمار ، مثل سبوتنيك و المكوك الفضائي
الهتروسفير	كلها أعلى من فاصل التوربو	مفاهيم منفصلة التي تتضمن كل الطبقات التي تبين المزج الانتشاري أي أكثر الثيرموسفير و الإكسوسفير
الحد : فاصل التوربو أو الهوموبوز	85km	درجة الحرارة بين 85- °C & 100- وهي أخفض درجة حرارة على الأرض و تعتمد درجة الحرارة على الفصل ، تحتوي شوارد تشمل طبقة صوديوم التي تستخدم لتوجيه النجوم للمناظير
الميزوسفير	من الستراتوسفير إلى فاصل الميزو	تتناقص درجة الحرارة مع الارتفاع ، في الأغلب مكونة من هيدروجين ، تحتوي غيوم ساطعة نهارا ، ظلال ، وأشباح شوارد ، تحرق أكثر النيازك ، تبين المد و الجزر الجوي ، و الدورات من قطب الصيف إلى الشتاء
الأيونوسفير أو الماغنيتوسفير	60-1000 km	مفهوم منفصل الذي يشمل كل الطبقات التي تحتوي شوارد ، بالتالي الإكسوسفير ، الثيرموسفير ، و جزء كبير من الميزوسفير
الحدود : فاصل الستراتو (أو ذورة الميزو)	50-55 km	درجة الحرارة الأعظمية بين الستراتوسفير و الميزوسفير ، الضغط حوالي 100 Pa ، درجة الحرارة 3 °C – 15- °C
الستراتوسفير	حتى فاصل الستراتو	مكونة من طبقات ، بدون ظواهر ، تزداد درجة الحرارة مع الارتفاع ، جافة ، و تبدي تذبذبات شبه حولية ، تحتوي طبقة الأوزون في أخفض 20 km منها و أيضا الطائرات و بعض المناطيد

الجدول 45 (تابع) طبقات الغلاف الجوي

الطبقة	الارتفاع	التفاصيل

الحدود : فاصل التروبو	6 -9 km عند القطبين ، 17-20 km عند خط الاستواء	درجة الحرارة 50 °C – ، يتناقص / يتلاشى تدرج درجة الحرارة ، لا يعود هناك ماء
التروبوسفير	حتى فاصل التروبو	تحتوي ماء و تبدي ظواهر طقس ، تحتوي حياة ، جبال ، طائرات و تجعل النجوم تومض ، سرعة الصوت حوالي 340 m/s
الحدوجد : طبقة حدود الكواكب أو البيبلوسفير	0.2 -2 km	جزء من التروبوسفير الذي يتأثر بالاحتكاك مع سطح الأرض و تعتمد السماكة على المنظر الطبيعي و زمن اليوم

فيزياء الدم و التنفس

حركة المائع ذات أهمية كبيرة . هناك على الأقل أربعة أجهزة دوران موائع في الجسم البشري . أولا يتدفق الدم عبر جهاز الدم بواسطة القلب . ثانيا ، الهواء يتدفق داخل الرئتين بواسطة الحجاب وعضلات الصدر الأخرى . ثالثا اللمف يتدفق عبر الأوعية اللمفاوية و يتحرك بشكل غير فعال عبر عضلات الجسم رابعا السائل الدماغي الشوكي يدور بين الدماغ و النخاع الشوكي و يتحرك بواسطة حركات الرأس . لهذا السبب الأطباء يحبون العبارة البسيطة : كل مرض في النهاية هو ناتج عن خلل في الدوران .

لماذا الأحياء لديهم اجهزة دوران ؟ الدوران ضروري لأن الانتشار بطيء جدا . هل يمكنك أن تعطي تفاصيل ذلك ؟ (تحدي e 590) سندرس الآن جهازي دوران رئيسيين في الجسم البشري .

الدم يبقينا أحياء : هو ينقل أكثر المواد الكيماوية المطلوبة من أجل استقلابنا و من أجزاء مختلفة من جسدنا . و تدفق الدائم دائما تقريبا صفحي .

الدوامية موجودة فقط في الوريد الأجوف ، قرب القلب . و القلب يضخ حوالي 80 ml في كل ضربة قلب ، حيث هناك 51/min ضربة . عند الراحة ، ضربة القلب تستهلك حوالي 1.2 J و الاستهلاك متغير لأن اللزوجة الديناميكية للدم تتغير بين $3.5 \cdot 10^{-3}$ Pa s (هذا أعلى بـ 3.5 مرة من الماء) و 10^{-2} Pa تبعا لقطر الوعاء الدموي ، و يكون أعلى ما يمكن في الأوعية الشعرية . إن سرعة الدم تكون أعلى ما يمكن في الأبهر ، حيث يتدفق بسرعة 0.5 m/s و أخفض ما يكون في الأوعية الشعرية حيث السرعة تصل إلى 0.3 m/s و بالنتيجة المادة التي تحقن في الذراع تصل إلى القدمين بين 60 & 20 s بعد الحقن .

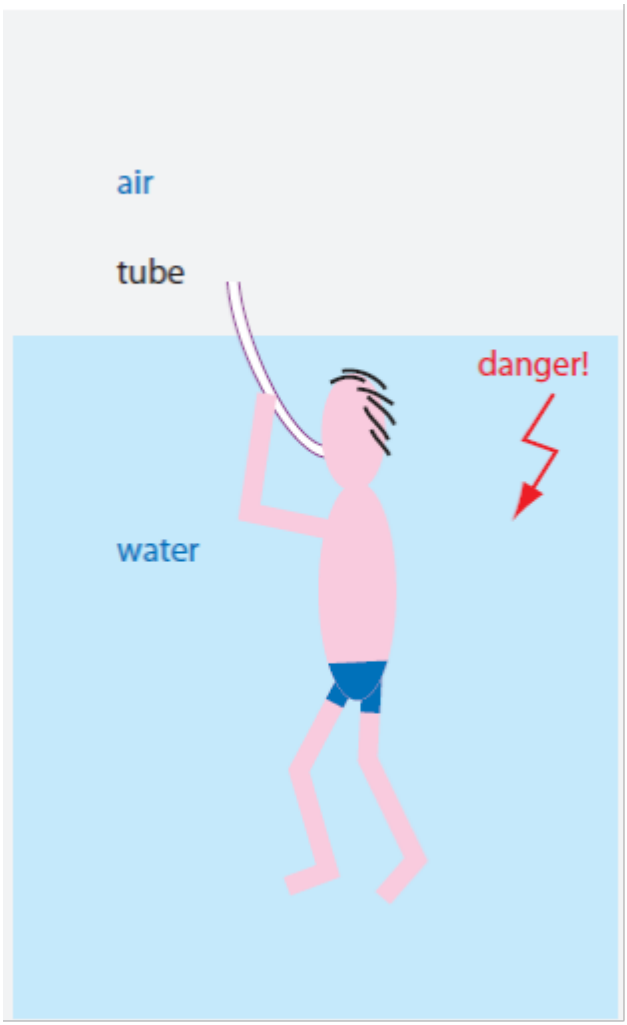
في الحقيقة كل الحيوانات لها سرعات دم متشابهة ، عادة بين 0.4 m/s & 0.2 m/s . لماذا ؟ (تحدي ny 591)

لتحقيق دوران الدم ، فإن القلب ينتج ضغطا (انقباضيا) يبلغ حوالي 16kPa، يوافق ارتفاع حوالي 1.6 m من الدم .

هذه القيمة لازمة من قبل القلب ليضخ الدم عبر الدماغ . و عندما يسترخي القلب ، فإن مرونة الشرايين تبقي ضغط (الانبساط) حوالي 10 kPa . وهاتين القيمتين تقاسان بارتفاع القلب * و القيم تختلف بشكل كبير مع الموضع و توضع الجسم الذي تقاس فيه

---

*قيم ضغط الدم المقاسة في الذراعين العلويين أيضا يختلفان من أجل الناس الأيامن الضغط في الذراع الأيمن يكون أعلى



الشكل 261 انتباه ، خطر لا تحاول فعل هذا هذا سيدمر رئتيك بدون فرصة في الشفاء و ربما يقتلك

الضغط الانقباضي عند القدمين لشخص بالغ واقف يصل إلى 30 kPa بينما يكون 16 kPa في قدمي شخص مستلقي . من أجل الإنسان الواقف الضغط في الأوردة في القدم هو 18 kPa و هو أكبر من الضغط الانقباضي للقلب . قيم الضغط العالية في القدمين و الساقين هي أحد اسباب تؤدي لدوالي الأوردة . تستخدم الطبيعة العديد من الحيل لتجنب مشاكل دوران الدم في الساقين . أوردة سيقان البشر لها صمامات لتجنب تدفق الدم للخلف ، الزرافات لها سيقان رفيعة جدا ذات جلد قوي و كثيم في الساقين لنفس السبب . نفس الشيء يحدث من أجل الحيوانات الأكبر .

في نهاية الأوعية الشعرية ، الضغط يكون فقط حوالي 2 kPa و إن أخفض ضغط دم يوجد في الأوردة التي تعود من الرأس إلى القلب حيث الضغط يمكن أن يكون سلبيا بشكل طفيف . بسبب ضغط الدم عندما يتلقى المريض تسريب (ضمن الوريد) فإن الكيس يجب أن يكون على ارتفاع أصغري أعلى من نقطة التسريب حيث تدخل الإبرة في الجسم و القيم حوالي 0.8 -1 m لا تسبب أي مشاكل . (هل فرق الارتفاع أيضا لازم من أجل نقل الدم من شخص لشخص ؟) نظرا لأن الشرايين لها ضغط دم أعلى ، بالنسبة لنقل الدم الشرياني الأكثر ندرة ، فإن المشافي تستخدم مضخات شريانية لتجنب الحاجة لارتفاعات غير عملية تبلغ 2m أو أكثر .

المرجع 274 : الأبحاث الأخيرة بينت أن ما كان يشتبه به من وقت طويل : في الأوعية الشعرية يتغير شكل و حركة خلايا الدم الحمراء . و يتغير الشكل تبعا لقطر الوعاء الشعري و سرعة التدفق . و في الأوعية الكبيرة ، فإن خلايا الدم الحمراء عادة تتراكم في مجرى الدم . و في الأوعية الدموية الأصغر ، فإنها تتحرج أما في الأصغر فإنها تتشوه بطرق متعددة . هذه التغيرات تشرح كيف يتدفق الدم بشكل اسهل أي بلزوجة أخفض في الأوعية الأرفع ، و حتى قيل أن الخلل في تغير هذا الشكل يمكن أن يتعلق بالأعراض الخاصة و الأمراض .

إن فيزياء التنفس مهمة أيضا . البشر لا يمكن أن يتنفسوا عند أي عمق تحت الماء حتى لو كان هناك أنبوب يصل للسطح كما هو مبين في الشكل 261 . عند عمق بضعة أمتار ، إن محاولة فعل ذلك هو أمر قاتل . حتى على عمق 50 cm فقط فإن الجسم البشري يمكن فقط أن بهذا الشكل لبضع دقائق و يمكن أن يتأذى بشدة مدى الحياة . لماذا ؟ (تحدي 592s)

داخل الرئتين التبادل الغازي مع الدم يحدث في حوالي 300 مليون كرة صغيرة ، الأسناخ ، بقطر بين 0.2 & 0.6 mm وهي مبينة في الشكل 245 (صفحة 346) . و لتجنب أن تكبر الأسناخ الكبيرة و تتقوض الصغيرة – كما في التجربة في الشكل 276 فإن الأسناخ مغطاة بمادة فوسفوشحمية فعالة سطحيا التي تخفض توترها السطح (صفحة 387). في المواليد الجدد نصف القطر الصغير للأسناخ و المستوى المنخفض من المادة الفعالة سطحيا هو سبب أن أولى الأنفاس و في بعض الأحيان اللاحقة تتطلب جهدا كبيرا .

و نحن نحتاج حوالي 2% من طاقتنا للتنفس فقط . و سرعة الهواء في الحلق هي 3 m/s من أجل التنفس العادي و عند السعال يمكن أن ترتفع إلى 50 m/s و تدفق الهواء في القضبات هو دوامي ، و الضجيج يمكن أن يسمع في بيئة هادئة

في التنفس العادي ، عضلات التنفس في الصدر و في البطن تؤدي لتبادل 0.5 لتر من الهواء في التنفس العميق و الحجم يمكن أن يصل إلى أربعة لترات .

التنفس هو مخادع بشكل خاص في حالات غير عادية و بعد جهاز تنفس الغوص scuba * عند أعماق كبيرة أكثر من بضع أمتار لمدة أكثر من بضع دقائق من المهم الارتفاع ببطء ، لتجنب إمكانية الانصمام القاتل . لماذا ؟ (تحدي e 593). نفس الشيء يمكن أن يحدث في المشاركين في الطيران على ارتفاعات عالية بالمناطيد او الطائرات ، أو المظليين في ارتفاع عالي و رواد الفضاء .

فضول و تحديات حول الموائع

ماذا يحدث إذا لم يعرف الناس قوانين الطبيعة ؟ الجواب هو نفسه منذ مائتي عام : مال دافع الضريبة يضيع أو تكون الصحة في خطر . أحد أقدم الأمثلة هي القنوات المائية من العصر الروماني المبينة في الشكل 262 . القنوات المائية فقط موجودة لأن الرومان لم يكونوا يعملون كيفية حركة الموائع . و الشكل يخبرنا لماذا لم يعد هناك أي نوات مائية بعد الآن

نلاحظ أنه باستخدام خرطوم بطول متر أو مترين في الطريق المبين في الشكل 262 أو في الشكل 255 لنقل البنزين يمكن أني كون خطرا . لماذا ؟ (تحدي 594s) .

* *

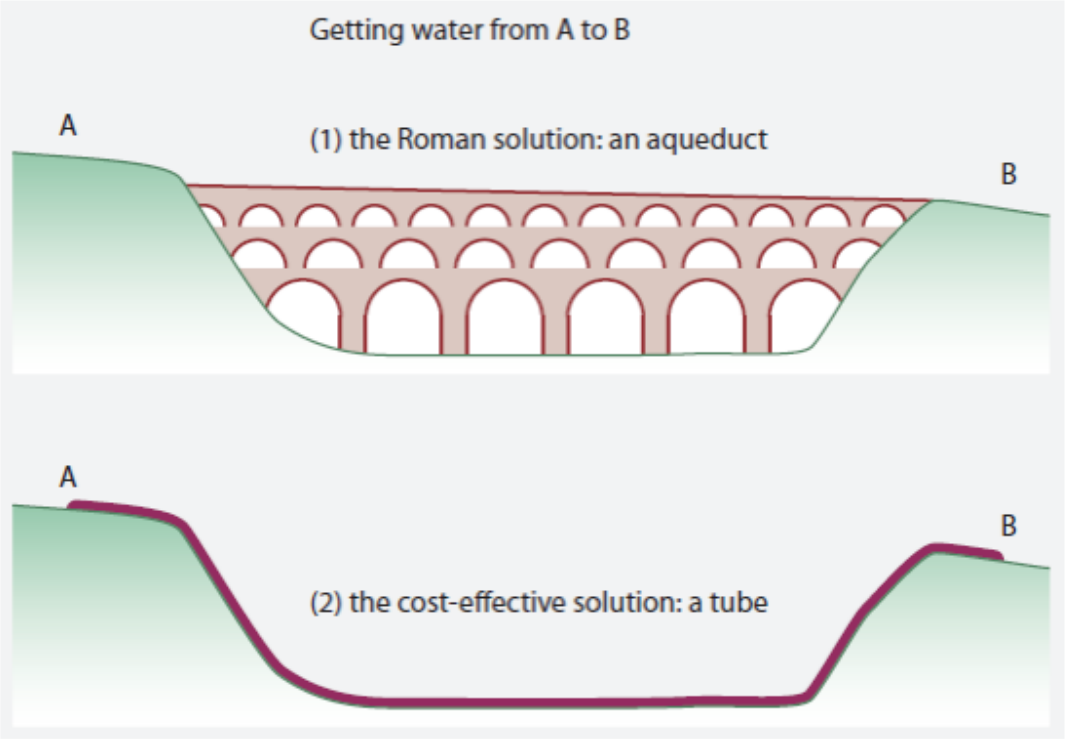
خذ علبة حليب فارغة و اصنع ثقبا فيها من طرف ، أعلى بسنتمتر واحد من القاع . بعدها اعمل ثقبين أعلاه كل منهم أعلى بخمسة سنتمترات من السابق . إذا ملأت العلبة بالماء ووضعتها على الطاولة أي من الجريانات الثلاث ستكون أبعد ؟ و ذا وضعت العلبة على حافة الطاولة بحيث أن الجريان يسقط على الأرض ؟ (تحدي e 595)

* *

ليكن حوض الاستحمام لديك مليء بالماء . لديك حاوة غير معلمة سعة ثلاث ليترات و حاوية أخرى غير معلمة بسعة خمسة لترات كيف يمكن أن تحصل على أربعة لترات من الماء من حوض الاستحمام ؟ (تحدي e 596)

---

*أصلا scuba هو اختصار لجهاز التنفس المحتوى ذاتيا تحت الماء و الجهاز المركزي فيه هو الرئة المائية ، وقد اخترع من قبل إميل جانيان و جاك كوستو و هو يبقي ضغط الهواء دائما عند نفس المستوى الذي لضغط الماء .



الشكل 262 إضاعة المال بسبب قلة المعرفة بالموائع

* *

ما هي أسهل طريقة لتشكيل نافورة فوق صوتية من الهواء ؟ ببساطة أسقط كرة بلياردو في سطل مليء بالماء ؟ هذا استغرق وقتا طويلا لاكتشاف هذه الطريقة البسيطة . استمتع بالبحث عن الموضوع (المرجع 275)

* *

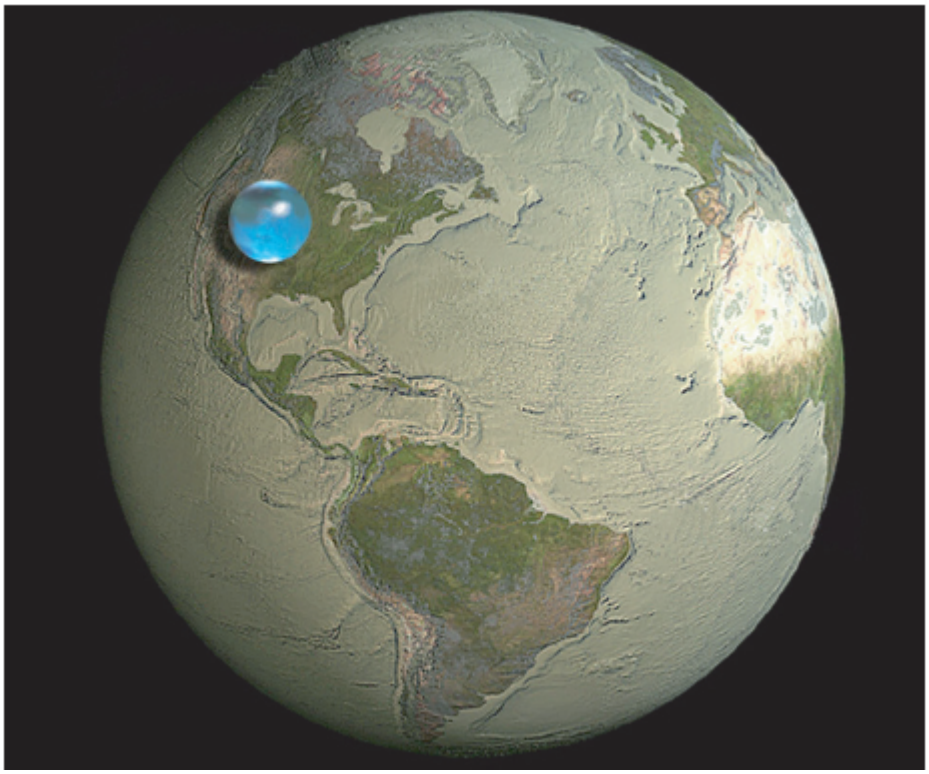
الموائع مهمة للحركة . العناكب لديها عضلات لثني سيقانها و لكن ليس لديها عضلات كي تبسطها . كيف إذن تبسطها؟

في عام 1944 اكتشف إيليس أن العناكب تبسط سيقانها بوسائل هيدروليكية : وهي تزيد ضغط السائل داخل سيقانها و هذا الضغط يبسط الساق مثل ضغط الماء الذي يقسي خرطوم الحديقة (مرجع 276) . وغذا كنت تفضل ، فإن سيقان العناكب تعمل مثل ذراع الحفارة . هذا يبين لماذا أن العناكب لديها أرجل مثنية عندما تموت . الآلية المائعة تعمل جيدا و هي أيضا تستخدم من قبل العناكب النطاطة .

* *

من أين يأتي الماء في المحيطات – الذي كميته موضحة في الشكل 263 ؟ من المدهش أن هذا السؤال لم يتم الإجابة عليه بشكل كامل وفي العصور الأولى من عمر الأرض ، فإن درجة الحرارة العالية عملت على تبخير كل الماء و إطلاقه في الفضاء . وهكذا من أين أتى الماء الموجود اليوم ؟ (مثلا هل يمكن أن الهيدروجين أتي من النشاط الإشعاعي لقلب الأرض ؟) المقترح الأكثر منطقية هو أن الماء أتى من المذنبات . المذنبات مكونة بدرجة كبيرة من الجليد . و المذنبات التي كانت تضرب الأرض في الماضي السحيق شكلت المحيطات . في عام 2011 تبين لأول مرة من قبل منظار هيرشل الفضائي ذو الأمواج تحت الحمراء العائد لوكالة الفضاء الأوربية أن المذنبات من حزام كويبر (المرجع 277) – على عكس المذنبات من المجموعة الشمسية الداخلية فيها جليد بنفس النظير للأوكسجين الكائن في تركيب محيطات البحر . و كون أصل المحيطات من المذنبات أمر يبدو مقبولا .

* *



الشكل 263 كل الماء على الأرض يمكن أن يشكل كرة بنصف قطر حوالي 700 km كما هو موضح في هذه الصورة المولدة بالحاسب .

فيزياء الغوص تحت الماء بشكل خاص فيزياء الغوص بلا تنفس مليئة بالأعاجيب و الآثار التي لم تفهم بعد (مرجع 278)

مثلا كل بطل غوص بلا تنفس يعلم أنه من الصعب تماما أن يحبس المرء نفسه لمدة خمس أو ست دقائق بينما يجلس في كرسي و لكن إذا نفس الشيء حدث في بركة سباحة فإن هذا يصبح ممكن بسهولة من أجل أبطال الغوص بلاتنفس الحديثين.

و من غير الواضح بشكل كامل حتى الآن لماذا يحدث هذا . و هناك العديد من ضوابط و أنواع الغوص بلا تنفس . في عام 2009 سجل رقم قياسي في مسابقة الغوص بلا تنفس بدون حدود على عمق مذهل يبلغ 214 m و الذي حققه هيربرت نيتش ، الرقم القياسي لزمن الغوص الستاتيكي بلا تنفس كان أكثر من 11 دقيقة و بواسطة فرط التهوية بالأكسجين النقي كان أكثر من 22 دقيقة . و الرقم القياسي للغوص بلا تنفس ، بدون زعانف كان 213 m .

عندما يصل غواص بلا تنفس لعمق 100 m فإن ضغط الماء يقابل وزن أكثر من 11 kg لكل سنتمتر مربع من جلده

و لتجنب مشاكل تعويض ضغط الأذن على أعماق كبيرة ، على الغواص أن يملأ الفم و الرغامى بالماء , وتكون رئتيه قد انكمشتا إلى 1/11 من حجمهما الأصلي و يصبحا بحجم تفاحتين . . ويزيح ضغط الماء تقريبا كل الدم من الساقين و الذراعين إلى الصدر و الدماغ . و عند عمق 150 m لا يوجد ضوء ، و لا صوت - فقط ضربات القلب . و ضربات القلب تكون بطيئة : يكون هناك ضربة واحدة فقط كل سبعة أو ثمانية ثواني . وقد أصبح مسترخيا و منتشيا بنفس الوقت . و لا واحدة من هذه الملاحظات المذهلة مفهومة بالكامل .

* *

الحيتان المنوية ، physeter macrocephalus يمكن أن تبقى تحت الماء أكثر من نصف ساعة و تغوص لعمق أكثر من 3000 m . عجول بحر ويدل Leptonychotes wedelli يمكن أن تبقى تحت الماء لساعة و نصف . و الآليات غير واضحة و لكن يبدو أنها تتضمن الهيموغلوبين و النيوروغلوبين . و البحث ايضا يتضمن آليات مهمة لأنه يلاحظ أن إمكانية الغوص تقوي الدماغ . مثلا ، حيتان ذات رأس القوس ، Balaena mysticetus لا تعاني من سكتة دماغية و لا تنكس دماغي ، حتى بالرغم من أنها تصل لأكثر من 200 عام من العمر .

* *

إن الأرقام القياسية للبقاء بلا تنفس تبين تأثيرات مفيدة للأكسجين على الصحة البشرية . زجاجة الأكجسين بالتالي هي عنصر شائع في تجهيزات الإسعاف الطبي الاحترافية .

* *

ما هو الرقم القياسي لسرعة الحركة تحت الماء ؟ ربما فقط بعض الناس يعرفون ذلك : هذا سر عسكري . في الحقيقة الجواب بحاجة لأن يقسم لجزئين . أكبر سرعة منشورة لمقذوف تحت الماء تقريبا محاطة بشكل كامل بفقاعة غاز هي 1550 m/s ، أسرع من الصوت في الماء ، وقد حققت مسافة بضعة أمتار في المخبر العسكري في 1990s .

أسرع جملة ذات محرك يبدو أنها الطوربيد ، أيضا تتحرك بشكل أساسي في فقاعة غاز وتصل سرعتها أكثر من 120 m/ s

و بالتالي هي أسرع من أي سيارة سباق فورميولا 1 . والسرعة الدقيقة المحققة هي أعلى و هي سرية ، حيث أن طريقة إحاطة الأجسام تحت الماء في فقاعات غازية ، تعرف بالتكهف الفائق ، و هي موضوع بحثي لدى المهندسين العسكريين في كل العالم .

أسرع سمكة هي سمكة السيف Istiophorus platypterus تصل إلى 22 m/s لكنها تصل لسرعة 30 m/s كما يشتبه بذلك . و تحت الماء ، فإن أسرع الأشياء المأهولة هي الغواصات العسكرية التي سرعتها سرية و لكن يعتقد أنها 21 m/s (كل المهندسين البحريين العسكريين) في العالم بميزانيات ضخمة لديها ، غير قادرة على صنع غواصات أكثر سرعة من السمك . و سبب أن الطائرات أسرع من الطيور واضح : الطائرات لم تطور من قبل مهندسين عسكريين ، و لكن من قبل مهندسين مدنيين) . إن الغواصات الأسرع التي يحركها البشر تصل لحوالي 4 m/s . و يمكننا تقدير أنه إذا كان مطوري الغواصات المحركة بشريا لديهم نفس ميزانية التطوير التي للمهندسين العسكريين فإن آلاتهم ربما ستكون اسرع من الغواصات النووية .

* *

ليس هناك قوائم أرقام قياسية تحت الماء . و السباحة تحت الماء هي أسرع من شوط الصدر أعلى الماء ، و الشوط لسباحة الظهر أو شوط الدلفين : هي سبب أن السباحة تحت الماء عبر مسافات طويلة ممنوعة في المنافسات في هذه الأنماط . ولكن من غير المعلوم فيما إذا كانت الأرقام القياسية لنمط الزحف هي أسرع أو أبطأ من الأرقام القياسية لاسرع نمط سباحة تحت الماء . أي طريقة اسرع في حالتك ؟ (تحدي e 597)

* *

كم مقدار الماء اللا زم لترطيب الهواء في غرفة في الشتاء ؟ عند درجة الحرارة صفر مئوية ، ضغط بخار الماء هو 6 mbar و عند عشرين درجة مئوية يبلغ 23 mbar و بالنتيجة تسخين الهواء في الشتاء يعطي في الأكثر رطوبة تبلغ 25% . و لزيادة الرطوبة بنسبة 50% يلزم حوالي لتر من الماء لكل مائة متر مكعب (تحدي e 598) .

* *

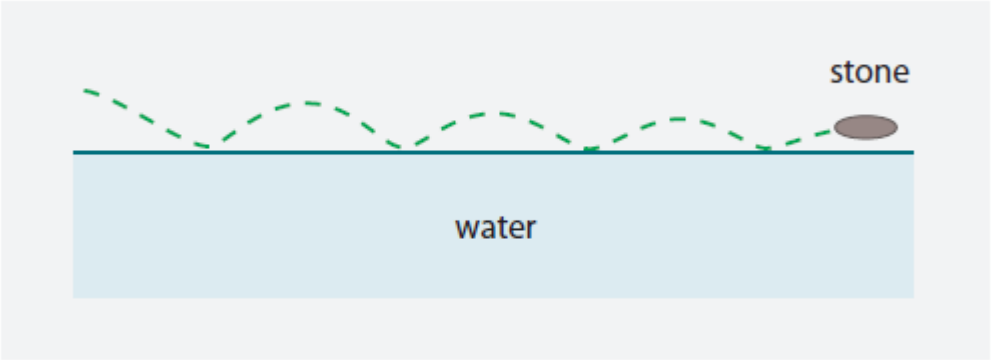
التوتر السطحي يمكن أن يكون خطرا . الرجل الخارج من بركة سباحة يكون رطبا . و هو يحمل حوالي نصف كيلوغرام

من الماء على جلده . و على العكس فإن الحشرة الرطبة ، مثل ذبابة الحصان ، تحمل العديد من المرات من وزنها الخاص و هي غير قادرة على الطيران و تموت عادة . و بالتالي أكثر الحشرات تبقى بعيدا عن الماء بالسرعة الممكنة أو على الأقل تستخدم خراطيم طويلة .

* *

القلب البشري يضخ بمعدل حوالي 0.1 لتر / ثانية و الوعا الشعري النوعي يملك قطر يبلغ خلية دم حمراء حوالي 7µm و فيه فإن الدم يتحرك بسرعة نصف ميليمتر بالثانية . كم عدد الأوعية الشعرية الموجودة في البشر ؟ (تحدي 599s) .

* *



الشكل 264 ما هو رقمك القياسي لرمي الحجر لديك ؟

أنت في قارب في بركة مع حجر ، و سطل الماء و قطعة من الخشب . ما الذي يحدث لمستوى الماء في البركة بعد أن ترميها فيها ؟ بعد أن ترمي الماء في البركة ؟ بعد أن ترمي قطعة الخشب ؟ (تحدي 600s)

* *

سفينة تغادر نهرا و تدخل البحر . ما الذي يحدث ؟ (تحدي 601s)

* *

ضع بالون هواء مطاطي فوق نهاية زجاجة و دعها تعلق داخل الزجاجة . كيف يمكنك أن تنتفخ البالون داخل الزجاجة ؟ (تحدي 602e)

* *

ضع بالون هليوم في سيارتك . بعد أن تتسارع و تقود عبر المنحنيات .في أي اتجاه يتحرك البالون ؟ (تحدي 603s)

* *

ضع كرة ورق صغيرة في عنق زجاجة أفقية و حاول دفعها في الزجاجة . الورقة ستطير باتجاهك لماذا؟(تحدي 604e)

* *

من الممكن دفع بيضة من كأس بيضة واحد إلى الثاني الذي هو خلفه تماما . هل يمكنك تنفيذ هذه الخدعة ؟(تحدي 605e)

* *

في القرن السابع عشر ، المهندسون ايضا الذين احتاجوا لضخ الماء واجهوا تحديا . لضخ الماء من دهاليز المناجم إلى السطح ، فإنه لا تتمكن أي مضخة ماء من تحقيق فرق ارتفاع أكثر من 10 m ، من أجل ضعف ذلك الارتفاع يلزم المرء دائما مضختين على التسلسل ، موصلتين بواسطة حوض وسيط لماذا ؟ كيف يمكن بالتالي ضخ الماء للأعلى لارتفاعات أكبر ؟(تحدي 606s)

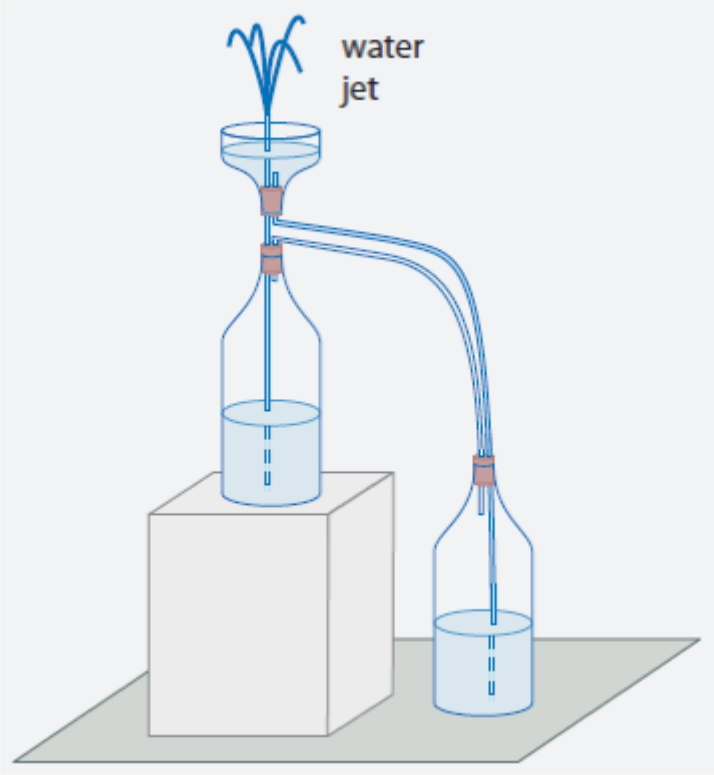
* *

متى يجمع الأكسجين و الهيدروجين لتشكيل الماء ، فإن كمية الهيدروجين اللازمة هي تماما ضعف كمية الأكسجين إذا لم يترك غاز بعد التفاعل . كيف تؤكد هذه الملاحظة قياس الذرات ؟ (تحدي 607s)

* *

كيف تصنع الشوكولا المملوءة بالكحول ؟ لاحظ أن الكحول لا يحقن فيها بعد ذلك ، لأنه لا يوجد طريقة لإبقاء النتيجة كتيمة كفاية . (تحدي 608s)

* *



الشكل 265 نافورة هيرون تعمل

كم مرة يمكن لحجر أن يقفز عندما يرمى فوق سطح الماء ؟ الرقم القياسي العالمي الحالي حقق في عام 2002 : هو 40 قفزة . مزيد من المعلومات معروفة حول الرقم القياسي العالمي السابق (مرجع 279) الذي حقق عام 1992 : حيث رمي حجر بحجم راحة اليد بشكل مثلثي و مسطح بسرعة 12 m/s (هناك مصادر أخرى تقول 20 m/s) و سرعة دوران تبلغ 14 دورة بالثانية على طول نهر يغطي مسافة 100 m تقريبا بـ 38 قفزة . (التتابع تم تصويره بواسطة مسجل فيديو من جسر) ما هي الزيادة اللازمة في عدد القفزات ؟ هل يمكنك بناء آلة التي هي رامية أفضل منك ؟ (تحدي 609 r)

* *

العنصر الأكثر توفرا في الهواء هو النتروجين (حوالي 78%) و العنصر الثاني هو الأكسجين (حوالي 21%) ما هو العنصر الثالث ؟ (تحدي 610s)

* *

أي جملة عادية لها ضغط أعلى من الضغط الجوي و عادة تقتل شخص إذا ارتفع الضغط عن القيمة الجوية المعتادة ؟

(تحدي 611s)

* *

الماء يمكن أن يتدفق للأعلى : تبين نافورة هيرون هذا بشكل أكثر وضوحا . إن هيرون الإسكندري (من 10 إلى 70) وصفها منذ 2000 عام مضت و هي تبنى بسهولة في المنزل ، باستخدام بعض الزجاجات البلاستيكية و أنبوب صغير

كيف تعمل ؟ كيف تقلع ؟ (تحدي 612s)

* *

يوضع مصباح ضوئي تحت الماء في أسطوانة فولاذية مستقرة ، ذات قطر 16 cm . سيارة فيات الأصلية 500 (500 kg) توضع على مكبس دفع إلى سطح الماء . هل المصباح سيقاوم ؟ (تحدي 613s)

* *



الشكل 266 جملتي قياس ريح : نظام سودار و نظام ليدار

ما هو الغاز الأكثر كثافة ؟ البخار الأكثر كثافة ؟ (تحدي 614s)

* *

كل عام معهد الأنظمة البحرية في رستوك / جامعة روستوك ينظم مسابقة . التحدي هو بناء قارب ورقي ذو أعلى طاقة حمل . القارب الورقي يجب في الأكثر أن يزن 10 g و يحقق بضع شروط إضافية ، طاقة الحمل تقاس بصب دفعة رصاص صغيرة به حتى يغرق القارب . الرقم القياسي العالمي في 2008 كان 5.1 kg . هل يمكنك تحقيق هذه القيمة ؟ (لمزيد من التفاصيل ، أنظر www.paperboat.de) (تحدي 615e)

* *

هل من الممكن استخدام الريح للحركة ضدها ، و بمواجهتها ؟ (تحدي 615s)

* *

قياس سرعة الريح هو عمل مهم . تسمح طريقتان بقياس سرعة الريح عند ارتفاع 100m تقريبا فوق الأرض : السودار و هي نظام كشف و تحديد مسافة الصوت و الليدار و هو نظام كشف و تحديد مسافة الضوء . الجهازين النوعيين مبينين في الشكل 266 يعمل السودار أيضا من أجل الهواء النقي بينما الليدار يحتاج رذاذ . (تحدي 601s)

* *

الشكل الحديث من السؤال القديم ، الذي طرحه أصلا الفيزيائي دانييل كولادون (ولد في 1802 في جنيف و توفي فيها عام 1893) هو التالي . سفينة بكتلة m في نهر تسحب بوساطة الخيول التي تسير على طول ضفة النهر مربوطة بحبال . وإذا كان النهر من الهليوم فائق الميوعة مما يعني أنه ليس هناك احتكاك بين السفينة و النهر ، ما هي الطاقة اللازمة لسحب السفينة ضد التيار على طول النهر حتى الوصول إلى ارتفاع h ؟ (تحدي 617s)

* *

الأسطورة الشعبية تقول بأنه في أسفل شلال كبير ليس هناك هوءا كافي للتنفس . لماذا هذا خاطئ ؟ (تحدي 618e)

* *

الفيزيائي السويسري و المخترع أوغست بيكارد (ولد في بازل عام 1884 وتوفي في لوزان 1962) كان مستكشفا شهيرا . من بين الأشياء الأخرى ، فقد استكشف الستراتوسفير : ووصل إلى وسجل ارتفاع 16km في منطاده و عو منطاد مملوء بغاز الهيدروجين . و داخل الكبين الكتيم للهواء المعلق تحت المنطاد ، فقد كان لديه ضغط طبيعي . لكنه احتاج لإدخال العديد من الحبال تربط المنطاد إلى الكبين من أجل المقدرة على سحبها و تحريرها ، حيث أنها تتحكم بمنطاده

كيف أدخل الحبال إلى الكبين بينما في نفس الوقت منع الهواء من المغادرة ؟ (تحدي 619s)

* *

الإنسان في الهواء تتحدد سرعته بحوالي 50 m/s (القيمة الدقيقة تعتمد على الملابس) كم المسافة التي يتم بها السقوط من طائرة على ارتفاع 3000m حتى ارتفاع 200m ؟(تحدي 620e)

* *

للحصول على فكرة عن حجم عدد أفوغادرو و لوشميدت ، فإنه عادة يطرح سؤالان . أولا في المتوسط كم عدد الجزيئات أو الذرات التي تتنفسها في كل نفس و التي تم سابقا زفرها من قبل قيصر ؟ ثانيا ، في المتوسط كم عدد الذرات التي تناولها المسيح كل يوم حتى بالرغم من أن الأرض كبيرة ، فإن الأعداد الناتجة ما تزال ذات معنى ؟ (تحدي 621s)

* *

بضع قطرات من الشاي عادة تتدفق على طول أسفل فم الإبريق (أو تقع على الطاولة) هذه الظاهرة تم محاكاتها باستخدام المحاكاة بالسوبركمبيوتر لحركة السوائل ، من قبل كيستلر و سكريفن ، باستخدام معادلات نافيير و ستوكس . (مرجع 280) اباريق الشاي ما تزال تعطي قطرات .

* *



الشكل 267 قطرة ماء على وعاء : مثال عن تأثير لايدنفروست

أفضل فقاعات صابون عملاقة يمكن أن تصنع بمزج 1.5 لتر من الماء و 200 من شراب الذرة و 450 ml من سائل غسيل الأيدي . امزج كل شيء معا و دعه يستريح لمدة أربع ساعات وبعدها اصنع أكبر الفقاعات بغمس حلقة معدنية قطرها حتى 100 mm في المزيج . ولكن لماذا تنفجر فقاعات الصابون ؟ (تحدي 622s)

* *

قطرة من الماء التي تقع في وعاء يحتي زيت ساخن بشكل معتدل يتبخر فورا و لكن إذا لم يكن الزيت فعلا ساخنا أي أعلى من 210 °C فإن قطرة الماء ترقص على سطح الزيت لفترة معتبرة من الزمن . الطباخون يختبرون درجة حرارة الزيت بهذه الطريقة . لماذا يحدث هذا الأثر المعروف بأثير لايدنفروست ؟ (تحدي 623s) الأثر سمي باسم الفيزيائي و عالم الأديان يوهان غوتلوب لايدنفروست (ولي في روسبرفيندا عام 1715 و توفي في دويسبورغ عام 1794) .من أجل عرض تعليمي و مبهر لتأثير لايدنفروست بواسطة قطرات الماء أنظر الفيديو www.thisiscolossal.com201403/ water-maze/ . الفيديو أيضا يبين قطرات ماء صاعدة و تجري عبر الذرة .

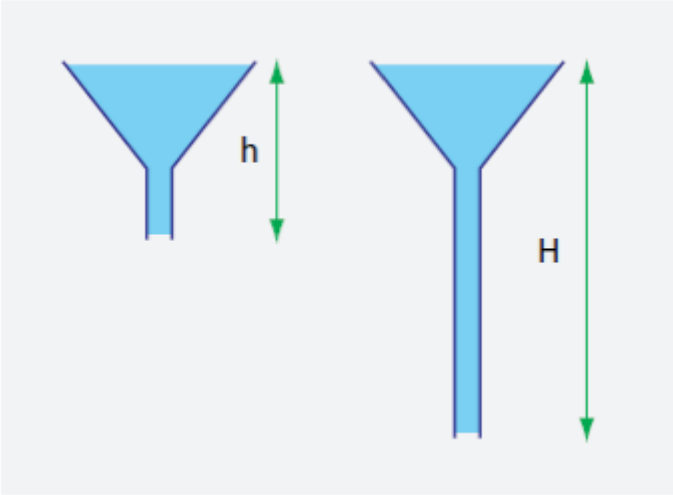
* *

تأثير لايدنفروست أيضا يسمح للمرء بأن يضع يديه العاريتين في رصاص مصهور أو نتروجين سائل ووضع النتروجين السائل في الفم ، ليتساءل فيما إذا كان كبس الحديد هو ساخن أو المشي على الفحم الساخن – إذا اتبع المرء العديد من قواعد السلامة كما يشرح جيرل واكر (المرجع 281) . (لا تجرب هذا بنفسك ! العديد من الأشياء يمكن أن تحدث) . الشرط الأساسي هو أن اليد ، الفم أو الرجل يجب أن تكون رطبة . فقد واكر اثنين من أسنانه في عرض و أحرق بشكل كبير قدميه بالمشي عندما لم يتحقق الشرط . و يمكنك أن ترى بعض الفيديوهات لتأثير اليد في النتروجين السائل من www.popsci.com/diy/article/2010-08/cool-hand-theo ومن أجل الإصبع في الرصاص المصهور في www.popsci.com/science/article/2012-02/our-columnist-tests-his-trust-science-dipping-his-finger-molten-lead

* *

تحدي 624 s : لماذا لا تسقط جزيئات الهواء تجاه قعر الحاوية و تبقى هناك ؟

* *



الشكل 268 أي قمع يفرغ بشكل أسرع ؟

* *

تحدي 625s : أي قمعي الماء في الشكل 268 يفرغ بشكل اسرع ؟ طبق مصونية الطاقة على حركة المائع (معادلة بيرنولي) لإيجاد الجواب . (المرجع 282) .

* *

كما راينا فإن التدفق السريع يولد ضغط ناقص . كيف يمكن للسمك أن يمنع عينيه من الجحوظ عندما يسمح بسرعة ؟ (تحدي 626s)

* *

كرات الجولف لها نقر لنفس الأسباب التي تجعل كرات التنس مشعرة و أن جلد القرش و الدلفين غير مسطح : الانحرافات عن التسطح يخفض مقاومة التدفق لأن العديد من التيارات الإعصارية الصغيرة تنتج احتكاكا أقل من التيارات القليلة الكبيرة ؟ لماذا ؟ (تحدي 627ny)

* *

إن الرقم القياسي المعترف به للارتفاع التي تصله حوامة كان 12442 m اعلى من مستوى سطح البحر بالرغم من أنه أدعي بالوصول إلى 12945 m . (أول ارتفاع تم الوصول إليه في عام 1972 ، الثاني عام 2002 وكلاهما من قبل طياريين فرنسيين في حوامات فرنسية) لماذا ، بالتالي ما يزال الناس يستمرون في استخدام سيقانهم للوصول لأعلى قمة جبل إيفرست ، أعلى جبل في العالم ؟ (تحدي 628s)

* *

إن خيط الخياطة المعقود بشكل رخو يقع على سطح وعاء مملوء بالماء . بوضع كمية صغيرة من سائل تنظيف في المنطقة المحاطة بالخيط يجعله فورا يصبح دائريا . لماذا ؟ (تحدي 629e)

* *

كيف يمكن وضع منديل تحت الماء باستخدام كاس ، بينما نبقيه جافا ؟ (تحدي 630s)

* *

هل تقدر على دفع كرة طاولة من خارج قمع ؟ ما الذي يحدث إذا نفخت عبر قمع باتجاه شمعة تحترق ؟

* *



الشكل 269 حلقة دخان بحجم حوالي 100 m ، لفظت من جبل إيتنا بوكا نوفا في عام 2000

إن سقوط ورقة ، بمسار معقد ، ما يزال موضوع بحث . و نحن بعيدون عن كوننا قادرين على التنبؤ بالزمن الذي تستغرقه الورقة للوصول للأرض ، حركة الهواء حول الورقة ليست سهلة الوصف . أحد الظواهر الأبسط للهيدروديناميك تبقة أحد المسائل الأكثر صعوبة .

* *

الموائع تبدي العديد من التأثيرات المهمة ، فقاعات الصابون في الهواء مكونة من طبقة كروية رقيقة من السائل حيث يوجد هواء من كلا الجانبين . في عام 1932 فإن طبقات مضادة للفقاعات الكروية الرقيقة من الهواء تحتوي سائل من كلا الطرفين لوحظت لأول مرة (المرجع 283) و في عام 2004 بين لأول مرة الفيزيائي البلجيكي ستيفان دوربولو و فريقه أنه من الممكن إنتاجها بواسطة تجارب بسيطة و بشكل خاص البيرة البلجيكية .

* *

هل أوقعت قط حلوى النعناع في علبة كوكاكولا دايت ؟ هل حصلت على الأثر الممتع . (افعل ذلك على مسؤوليتك). هل من الممكن بناء صاروخ بهذا الشكل ؟ (تحدي 631e)

* *

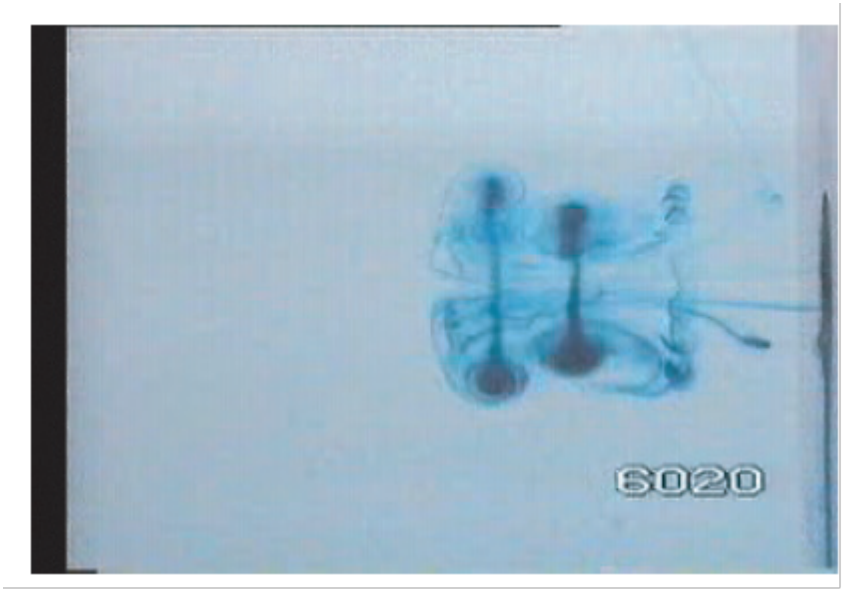
إبرة يمكن أن تسبح في الماء إذا وضعتها بعناية . فقط حاول ، باستخدام شوكة .لماذا تعوم ؟ (تحدي 632e)

* *

يصدر نهر الراين حوالي 2300 m^3/s في بحر الشمال ، نهر الأمازون حوالي 120 000 m^3/s في الاطلسي . كم هذا أقل من $4G/c^3$ ؟ (تحدي 633e)

* *

الموائع تبدي العديد من الحركات المعقدة . لرؤية عرض عن ذلك ، أنظر إلى



الشكل 270 حلقتي دوامة نطاطتين

المجموعة الجميلة في الموقع serve.me.nus.edu.sg/limtt . من بين حركة الموائع فإن حلقات الدوامة كما تصدر عن المدخنين أو البراكين ، غاليا تقدح الخيال . (أنظر الشكل 269) .

أحد أكثر الأمثلة شهرة ، لحركة المائع هي النط لحلقة دوامية ، المبينة في الشكل 270 . يشرح ليم و تاي المزيد عن النطات و التي من الصعب جدا تحقيقها ، لأن أبسط عدم تطابق دوامة يؤدي لتقوض النظام . (مرجع284) .

(تحدي 634e)

* *

إن التأثير المدهش الذي يمكن ملاحظته عند صب الشامبو على صفيحة : في بعض الأحيان يلفظ جريان رقيق من المنطقة حيث الشامبو يضرب الصفيحة . هذا يسمى تأثير كاي و يتم الاستمتاع بشكل أفضل بمشاهدته في الفيلم الجميل المنتج من جامعة تورنتي الموجود على youtube.com/watch?v=GX4_3Cv_3Mw

* *

أكثر الثدييات تستغرق حوالي 30 ثانية كي تتبول . هل يمكن أن تعرف لماذا ؟ (تحدي 635e)

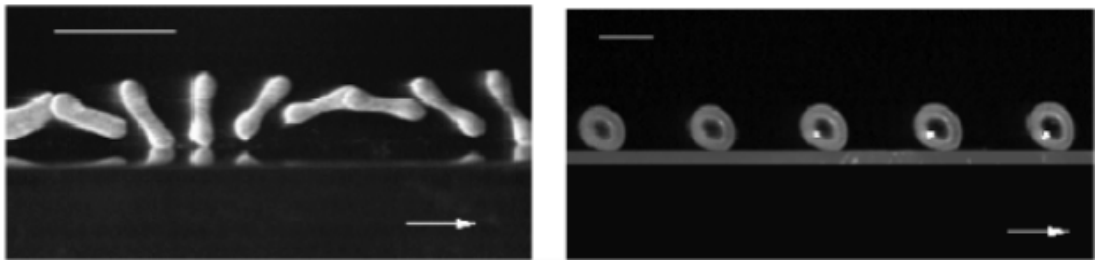
* *

مراحيض الطائرات هي أماكن خطرة . في 1990s جلس شخص سمين على مقعد دورة مياه وضغط زر ضخ الماء اثناء الجلوس (لا تفعل هذا أبدا بنفسك) . إن الضغط المنخفض المطبق بواسطة المرحاض كان قويا بحيث سحب أمعاء الشخص و جعله يدخل المستشفى (كل شيء صار على ما يرام بعد ذلك) .

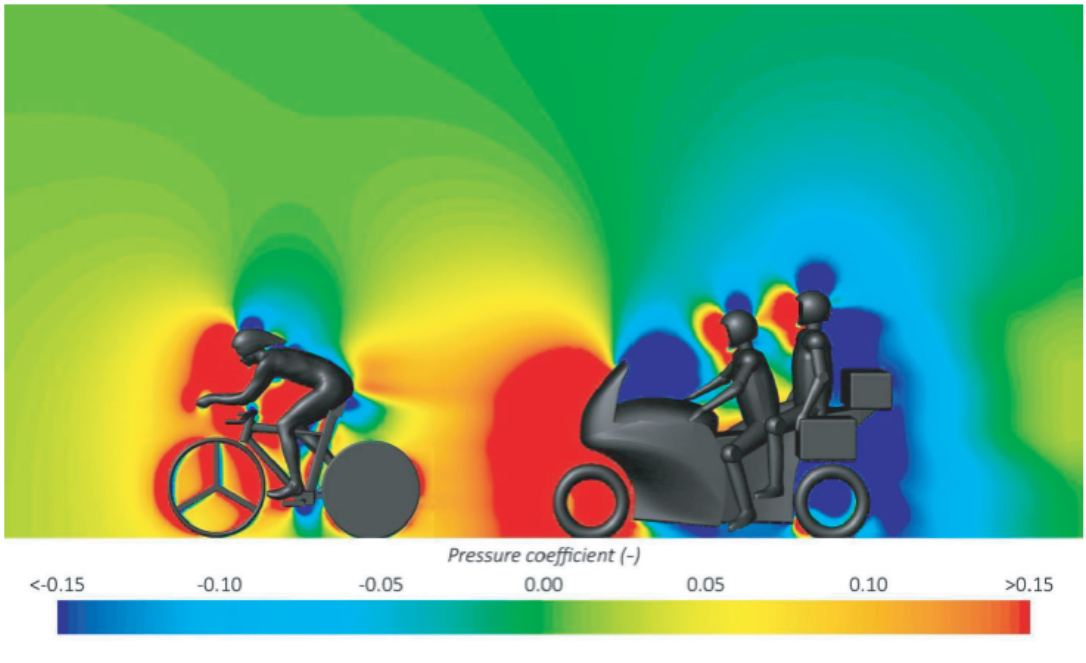
* *

إذا أحاط المرء قطرات الماء بنوع صحيح من الغبار ، فإن القطرات ستتدحرج على طول المستويات المائلة . و هي يمكن أن تتدحرج بسرعة تصل إلى 1m/s بينما على نفس السطح ، الماء سيتدفق مئات المرات ابطأ . و عندما تكون القطرات سريعة جدا فإنها تصيح أقراصا مسطحة ، عند سرعة أعلى و تصبح بشكل الدونات . مثل هذه القطرات يمكن أن تقفز و تسبح . (مرجع 285)

* *



الشكل 271 قطرات الماء مغطاة بالطلع تتدحرج فوق مستويات مائلة عند 35 درجة (الميل غير مبين) لها أشكال غير متوقعة . الخطوط الرمادية لها طول 1cm و القطرات الكروبة لها نصف قطر أولي 2.5 mm & 1.3 على الترتيب و الصور أخذت عند فواصل زمنية 23 ms & 9 .



الشكل 272 عرض حاسوبي لمناطق الضغط المحيطة بدراجة سباق و دراجة نارية تتبعها

من المعروف جيدا أنه من الأسهل ركوب دراجة خلف شاحنة ،سيارة أو دراجة نارية لأن جر الريح أخفض في مثل هذه الحالات . في الواقع ، الرقم القياسي لسرعة الدراجة حقق من قبل فريد رومبيلبيرغ في 1990 وهو 74.4 m/s أو 268.8 km/h و قد تحقق حيث سيارة تسير أمام الدراجة (مرجع 297) . و إنه من الأكثر دهشة أن الدراجة النارية التي تسير خلف الدراجة أيضا خفضت الجر حتى تسعة بالمائة . و في عام 2016 أكد بيرت بلوكين و فريقه هذا الأثر في نفق الرياح بواسطة المحاكاة العددية . و التأثير بالتالي كافي لتحديد الرابح في السباقات التمهيدية أو التجارب الزمنية .

و في الحقيقة إن ثلاثة دراجات نارية تسير في صف وراء الدراجة يمكن أن تخفض الجر / المقاومة للدراجة التي تسير في الأمام بنسبة تصل إلى 14% .و الأثر يحدث لأن الدراجات النارية التالية تسبب انخفاض في منطقة الضغط المنخفض – المبينة بالأحمر في الشكل 272 – خلف الراكب ، و هذا يخفض المقاومة الديناميكية الهوائية لراكب الدراجة .

* *

كل الموائع يمكن أن يحدث فيها دوامات . أول مثال في الهواء هناك الزوابع ، الأعاصير و في البحر الخراطيم ، و لكن الدوامات أيضا توجد في البحر . و هي ذات حجم بين 100 m & 10 km و إن عمرها القصير يدوم من بضع ساعات إلى يوم . و الدوامات البحرية تمزج طبقات الماء في البحر و تنقل الحرارة ، المغذيات و الأعشاب البحرية و البحث في خولصها و تأثيراتها هو فقط في بداياته .

ملخص عن الموائع

حركة الموائع هي حركة جسيماتها المكونة لها . و حركة الموائع تسمح بالسباحة ، الطيران ، التنفس ، دوران الدم ، الدوامات و الاضطراب . حركة المائع يمكن أن تكون صفحية ، أو دوامية . التدفق الصفحي الذي لا يوجد فيه احتكاك داخلي يوصف بواسطة معادلة بيرنولي أي بمصونية الطاقة و التدفق الصفحي مع احتكاك داخلي هو خارج نطاق هذا الكتاب و كذلك التدفق الدوامي إن الوصف الدقيق لحركة المائع الدوامي هو أكثر مسائل الفيزياء تعقيدا و لم يتم حلها بعد .

الفصل الثالث عشر

حول الحرارة و ثبات انعكاس الحركة

الحليب المنسكب لا يعود ابدا إلى وعائه و أي جسم ساخن ، يترك لوحده ، يبدأ في البرودة مع الزمن أي لا يعود يسخن ابدا

و هذه و الكثير من الملاحظات الأخرى تبين أن العمليات الكثيرة في الطبيعة غير قابلة للانعكاس . و من ناحية أخرى من أجل كل حجر يطير عبر مسار من الممكن رمي حجر يتبع الماء في الاتجاه المعاكس . و حركة الأحجار قابلة للانعكاس . مزيد من الملاحظات تبين أن عدم قابلية الانعكاس توجد فقط في الجمل المكونة من العديد من الجسيمات و أن كل الجمل غير القابلة للانعكاس (أي الرجوع لحالتها الأساسية) تتضمن حرارة .

إن خبرتنا اليومية الت يتضمن الدفء البشري ، الأفران و المواقد تبين أن الحرارة تتدفق . إن الحرارة تتحرك . لكن عدم وجود قابلة الانعكاس أيضا يبين أن الحرارة تتحرك في طريقة خاصة . نظرا لأن الحرارة تظهر في الجمل ذات الجسيمات العديدة ، فإننا مضطرون لدراسة الطريقة العامة التالية من أجل وصف الحركة : الفيزياء الإحصائية

الفيزياء الإحصائية ، التي تتضمن الثيرموديناميك ، هي دراسة الحرارة و درجة الحرارة و تشرح أصل العديد من خواص المادة ، و أيضا تلاحظ عدم قابلية الانعكاس لتدفق الحرارة .

هل عدم قابلية الانعكاس يعني أن الحركة على المستوى الأساسي ليست ثابتة تحت الانعكاس كما اعتقد الفائز بجائزة نوبل إيليا بريجوجين وهو أحد لآباء التنظيم الذاتي ؟ و في هذا الفصل سنبين أنه بالرغم من انجازاته الأخرى فإنه كان على خطأ**

لاستنتاج هذه النتيجة ، فإننا أولا بحاجة لمعرفة الحقائق الأساسية حول درجة الحرارة و الحرارة و بعدت سنناقش عدم قابلية الانعكاس و انعكاس الحركة . (مرجع 286)

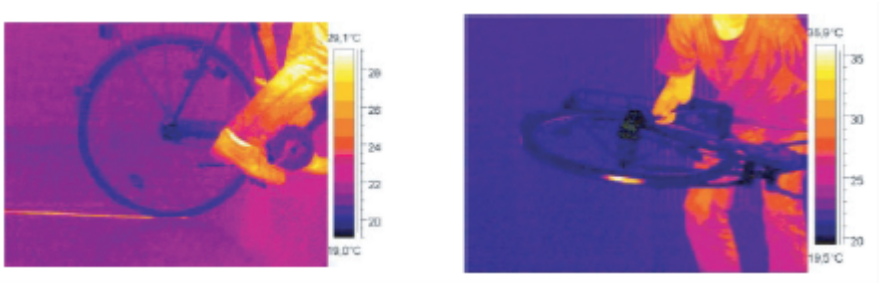
درجة الحرارة

الأجسام الماكروسكوبية أي المكونة من العديد من الذرات ، تملك درجة حرارة . فقط الأجسام المكونة من بضع ذرات (ذرات قليلة) لا تملك درجة حرارة . الأفران لها درجة حرارة عالية ، البرادات لها درجة حرارة منخفضة . و تغيرات درجة الحرارة لها تأثيرات مهمة : تتغير المادة من حالة الصلب إلى سائل إلى غاز إلى بلازما . و مع التغير في درجة الحرارة المادة ايضا تغير حجمها ، خواصها المغناطيسية ، و صلابتها و العديد من الخواص الأخرى .

درجة الحرارة هي ناحية من نواحي حالة الجسم ، بمعنى آخر ، إن جسمين متطابقين يمكن تمييزها و تفريقهما بواسطة درجة حرارتيهما . و هذا معروف جيدا بالنسبة للمنظمات الإجرامية حول العامل التي تتلاعب باليانصيب . عندما الطفل المعصوب العينين يطلب منه سحب كرة مرقمة من مجموعة من مثل هذه الكرات ، كما في الشكل 274 غالبا يطلب منه مسبقا أن يسحب الكرات فقط الساخنة أو الباردة . و عصب العينين أيضا يساعد على إخفاء الدموع التي في العينين (مرجع 288)

--

**العديد منهم حتى المفكرون الجادون غالبا يطرحون السؤال بالشكل التالي : هل الحركة ثابتة زمنيا ؟ النشر الرخيص يمضي حتى أكثر و يسأل فيما إذا كان للحركة سهم أو فيما إذا كان الزمن له اتجه تدفق مفضل (صفحة 48) و لقد بينا أعلاه أن هذا هراء . و نحن نربأ بنفسنا عن مثل هذه العبارات فيما يلي .



الشكل 273 الكبح يولد حرارة على الأرض و في الإطار



الشكل 274 اليانصيب المخادع يبين أن درجة الحرارة هي ناحية / جانب من الجسم

إن درجة الحرارة لجسم ماكروسكوبي هو جانب من حالته . و بشكل خاص درجة الحرارة هي كمية مكثفة / مركزة أو متحول . و باختصار درجة الحرارة تصف شدة تدفق الحرارة . إن عرضا لقيم درجة الحرارة المقاسة معطى في الجدول 46 .

نلاحظ أن أي جسمين في تماس مع بعضهما يميلان لامتلاك نفس درجة الحرارة : إذن درجة الحرارة معدية . بمعنى آخر درجة الحرارة تصف حالة من الاتزان . و درجة الحرارة تتصرف بالتالي مثل الضغط و أي متحول آخر مكثف : هي نفسها بالنسبة لكل أجزاء الجملة . و نسمي التسخين زيادة درجة الحرارة و التبريد إنقاصها .

كيف تقاس درجة الحرارة ؟ أنتج القرن الثامن عشر أوضح إجابة : تعرف درجة الحرارة بشكل أفضل و تقاس بواسطة تمدد الغازات . من أجل أبسط الغازات و هو ما يعرف بالغازات المثالية ، فإن جداء الضغط بالحجم متناسب مع درجة الحرارة :

$$pV \sim T . \qquad \text{(III)}$$

و ثابت التناسب هو ثابت بمقدار الغاز المستخدم (المزيد عنه سيأتي لاحقا) . علاقة الغاز المثالي تسمح لنا لتحديد درجة الحرارة بقياس الضغط و الحجم .

هذه هي الطريقة التي عرّفت بها درجة الحرارة (المطلقة) و قيست لمدة قرن تقريبا . (مرجع 287) و لتعريف واحدة درجة الحرارة ، علينا فقط تثبيت مقدار الغاز المستخدم . و من المعتاد تثبيت كمية الغاز عند مول واحد مثلا بالنسبة للأكسجين هذا يعادل 32 g و ثابت التناسب لمول واحد يعرف بثابت الغاز المثالي R و يعرف بأنه (صفحة 449) :

$$R = 8.314\,4598(48)\ \mathrm{J/mol\,K}\ . \qquad (112)$$

هذه القيمة العددية تم اختيارها لتعطي أفضل تقريب لتبعية مقياس درجة الحرارة سيلزيوس / المئوية المحددة. و تثبيت ثابت الغاز المثالي بهذه الطريقة يعرّف 1K ، أو كلفين واحد ، كوحدة لدرجة الحرارة .

بشكل عام إذا احتجنا لتحديد درجة حرارة جسم فإننا بالتالي بحاجة لأخذ مول واحد من الغاز المثالي و تضعه في تماس مع الجسم ، و ننتظر فترة ، وبعدها نقيس الضغط و حجم الغاز . علاقة الغاز المثالي (111) بالتالي تعطي درجة حرارة الجسم .

من أجل كل مادة ، فإن خاصة المادة المميزة هي النقطة الثلاثية . النقطة الثلاثية هي فقط درجة الحرارة التي عندها يوجد الطور الصلب و السائل و الغازي معا . من أجل الماء هذه تقع عند 0.01 °C (و ضغط بخار جزئي يبلغ 611.657Pa)

باستخدام النقطة الثلاثية للماء يمكننا تعريف الكلفين في عبارات بسيطة : زيادة درجة الحرارة بمقدار كلفين واحد هو زيادة درجة الحرارة التي تجعل الغاز المثالي عند النقطة الثلاثية للماء يزداد حجمه مع إبقاء الضغط ثابتا بنسبة 1/273.16 أو 0.36609% (تحدي 636e) .

من الأكثر أهمية أن علاقة الغاز المثالي تبين أن هناك أخفض درجة حرارة في الطبيعة و هي درجة الحرارة التي عندها سيكون للغاز المثالي حجم متلاشي . من أجل الغاز المثالي سيحدث هذا عند الصفر كلفين . و في الحقيقة التأثيرات الأخرى مثل حجم الذرات نفسها ، تمنع حجم الغاز المثالي من الوصول للصفر تماما .

- إن عدم إمكانية الوصول لدرجة الحرارة صفر يعرف بالمبدأ الثالث في الترموديناميك .

في الحقيقة قيم درجة الحرارة التي تم التوصل إليها من قبل الحضارة يمكن استخدامها كقياس لإنجازاتها التكنولوجية .و يمكننا أن نعرف بهذا الشكل العصر البرونزي بأنه (3500 BCE, 1.1 kK) و العصر الحديدي (1000 BCE, 1.8 kK) و العصر الكهربائي (1880, 3 kK) و العصر النووي (عدة MK ، من 1944) بهذا الشكل . بالأخذ بالحسبان أيضا الطلب على درجات الحرارة الأخفض يمكننا تعرف العصر الكوانتي (4K بدءا من 1908) . كل هذه الأفكار تؤدي إلى سؤال بسيط : ما هو تماما التسخين و التبريد ؟ ما الذي يحدث في هذه العمليات؟

الجدول 46 بعض قيم درجة الحرارة

القياس	درجة الحرارة
أخفض درجة حرارة لكن لا يمكن التوصل إليها	0K = -273.15°C
في سياق الليزرات يمكن أن يكون للحديث معنى (تقريبا) عن درجة الحرارة الثابتة	
درجة حرارة خلاء تام ستكون عند سطح الأرض 40 zK المجلد V ، صفحة 146	
غاز الصوديوم في تجارب مخبرية معينة – جملة أبرد مادة 0.45 nK تم تحقيقها من قبل الإنسان و ربما في الكون	
درجة حرارة خلفية النيوترينو في الكون	2K

الجدول 46 (تابع) بعض قيم درجة الحرارة

القياس	درجة الحرارة
درجة حرارة إشعاع الخلفية الكونية (الفوتون) في الكون	2.7 K
الهليوم السائل	4.2 K
النقطة الثلاثية للأكسجين	54.3584K
النتروجين السائل	77K
أبرد طقس تم قياسه قط (القارة المتجمدة)	185 K = -88 °C
نقطة تجمد الماء عند الضغط القياسي	273.15 K = 0 °C
النقطة الثلاثية للماء	273.16 K = 0.01 °C
درجة الحرارة المتوسطة لسطح الأرض	287.2 K
أصغر درجة حرارة للجلد غير المريحة	316 K (أعلى بـ 10K من الطبيعي)
داخل الجسم البشري	310.0±0.5 K =36.8± 0.5 °C
جدرجة حرارة أكثر الثدييات البرية	310± 3K =36.8± 2 °C
أكثر طقس حرارة قيس قط	343.8 K =70.7 °C
نقطة غليان الماء عند الضغط النظامي	33.13 K أو 99.975 °C
درجة حرارة أسخن الأحياء : البكتريا المحبة للحرارة	395K = 122°C
حرائق الغابات الضخمة	تقريبا 1100K
نقطة التجمد للذهب	1337.33K
الحديد النقي السائل	1810 K
لهب حراق البنزن	حتى 1870 K
فتيلة المصباح الضوئي	2.9kK
نقطة الانصهار لكربيد الهفينيوم	4.16 kK

مركز الأرض	5(1)kK
سطح الشمس	5.8kK
الهواء في ضربة البرق	30kK
سطح أسخن نجم (مركز NGC 2240)	250 kK
الفضاء بين الأرض و القمر (غير النوعي)	حتى 1 MK
مركز القزم الأبيض	5-20 MK
مركز الشمس	20 MK
مركز قرص التزايد في نجوم ثنائية ذات اشعة سينية	10-100 MK
مركز أسخن النجوم	1 GK
درجة الحرارة العظمى لجمل بدون توليد أزواج إلكترون – بوزيترون	تقريبا 6 GK
الكون عندما كان بعمر ثانية واحد	1.9 TK
الاصطدامات الشاردية الثقيلة – أعلى قيمة من صنع الإنسان	حتى 3.6 TK
درجة حرارة بلانك – حد درجة الحرارة الأعلى في الطبيعة	10^{32} K



الشكل 275 مقاييس الحرارة : مقياس حرارة غاليلي (يسار) ، صف من الحساسات تحت الحمراء في فك أفعى الشجر البوا الزمردية Corallus caninus ، مقياس حرارة بالأشعة تحت الحمراء لقياس درجة حرارة الجسم في الأذن ، مقياس حرارة بحري / ملاحي يستخدم مزدوجة معدنية ، مقياس حرارة زئبقي ، و مزدوجة حرارية المتصلة بمقياس فولت من أجل القراءة

الطاقة الحرارية

حولنا يبطئ الاحتكاك الأجسام المتحركة وبينما يفعل ذلك فإنه يسخن المحيط . و تشكيل الحرارة بالاحتكاك يمكن ملاحظته في العديد من التجارب . و المثال مبين في الشكل 273 (مرجع 290) . و مثل هذه التجارب تبين أن الحرارة يمكن توليدها من الاحتكاك فقط بالفرك / الحك المستمر ، بدون أي حدود . و هذا التشكيل الذي لا نهاية له للحرارة يقتضي أن الحرارة ليست مائع مادي و لا مادة مستخرجة من الجسم – الذي في هذه الحالة سيستهلك بعد زمن معين و لكنها شيء آخر

في الواقع اليوم نحن نعلم أن الحرارة حتى بالرغم من أنها تتصرف كالمائع ، فهي ناتجة عن حركة غير منتظمة للجسيمات و النتيجة من كل هذه الاستقصاءات هي أن :

- الاحتكاك هو تحويل الطاقة الميكانيكية (المنتظمة) إلى طاقة حرارية (غير منتظمة) أي في حركة غير منتظمة للجسيمات التي تشكل المادة .

التسخين و التبريد بالتالي هو تدفق الطاقة غير المنتظمة . من أجل زيادة درجة حرارة كيلو غرام من الماء درجة كلفين واحدة باستخدام الاحتكاك ، فإنه يجب تزويده بمقدار 4.2 kJ من الطاقة الميكانيكية . و أول من قاس هذه الكمية بدقة في عام 1842 كان الفيزيائي يوليوس روبرت ماير (ولد في هايلبورن عام 1814 و توفي فيها عام 1878)

وقد وصف تجاربه كأدلة على مصونية الطاقة و في الواقع كن أول شخص يقول أن بمصونية الطاقة وإنه شيء محرج للفيزياء الحديثة أن طبيبا كان أول من قال بمصونية الطاقة ، و ايضا تم السخرية منه من قبل الفيزيائيين في ذلك الوقت . و الأسوأ أن مصونية الطاقة قبل من قبل العلماء فقط عندما نشر لاحقا بسنوات عديدة من قبل جهتين : هيرمان فون هيلموهولتز هو نفسه أيضا طبيب تحول إلى فيزيائي وويليام ثومسون الذي أيضا استشهد بتجارب مشابهة و لكن لاحقة من قبل جيمس جول * وكلهم أقروا بأولوية ماير . و إن التسويق من قبل ويليام ثومسون في النهاية أدى إلى تسمية الوحدة باسم جول . و باختصار فإن الأطباء قد أثبتوا أنهم كلهم خبراء في الحركة :

- في جملة مغلقة ، مجموع الطاقة الميكانيكية و الحرارية ثابتة. وهذا يعرف بالمبدأ الأول في الثرموديناميك بشكل مكافئ ، من المستحيل إنتاج طاقة ميكانيكية بدون دفع قيمتها بشكل آخر من الطاقة . و هذه عبارة مهمة لأن من بين الاشياء الأخرى فإنه يعني أن البشرية ستتوقف عن الحياة يوميا ما . و في الحقيقة نحن نعيش في الأغلب على الطاقة من الشمس ، نظرا لأن الشمس ذات حجم منتهي ، فإن محتواها من الطاقة سيتسهلك في النهاية .

هل يمكنك تقدير متى سيحصل ذلك ؟ (تحدي 637 s)

صفحة 10 : أول مبدأ في الثيرموديناميك ، مصونية الطاقة يقتضي :

- ليس هناك ديمومة في الحركة على الإطلاق

بشكل خاص لا يوجد آلة يمكن أن تدور بدون دخل من الطاقة . ولهذا السبب فإننا بحاجة لتناول الطعام . الطاقة التي في الطعام تبقينا أحياء . و إذا توقفنا عن الأكل فسوف نموت . و مصونية الطاقة أيضا تجعل أكثر ما يسمى بالعجائب مستحيلا وفي الطبيعة الطاقة لا يمكن أن تخلق و لكنها مصونة .

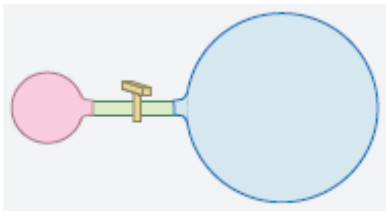
الطاقة الحرارية هي شكل من الطاقة . الطاقة الحرارية يمن تخزينها ، تراكمها ، نقلها ، تحويلها إلى طاقة ميكانيكية ، طاقة كهربائية أو ضوء . باختصار ، الطاقة الحرارية يمكن تحويلها إلى حركة ، إلى عمل و بالتالي إلى مال .

أول مبدأ في الثيرموديناميك يجعلنا نصيغ ما يفعله محرك سيارة . محركات السيارات هي أجهزة تحول المادة الساخنة – الوقود الساخن المتفجر داخل الأسطوانات على حركة عجلات السيارة . و محركات السيارات مثل محركات البخار ، هي بالتالي أمثلة على المحركات الحرارية .

---

* هيرمان فون هيلموهولتز (ولد في بوتسدام عام 1821وتوفي في برليم 1894) هو عالم مهم . ويليام ثومسون

كلفين (ولد في بلفاست 1824 و توفي في نذرهال 1907) و هو فيزيائي مهم . جيمس بريسكوت جول (ولد في سالفورد 1818 و توفي في سال 1889) ، فيزيائي . جول تلفظ على وزن كول ، كما يحب أسلافه أن يفخموا اللفظ . (لفط اسم جول يختلف من عائلة لأخرى) .



الشكل 276 أي البالونات يربح عندما يفتح الصمام ؟ ملاحظة : هذه أيضا الطريقة التي تنمو بها أمهات الدم في الشرايين

دراسة الحرارة و درجة الحرارة تعرف بالثيرموستاتيك إذا كانت الجمل المعنية في حال اتزان و تسمى بالثيرموديناميك إذا كان أي من الجمل ليس في حالة اتزان . في الحالة الأخيرة نميز حالات قرب الاتزان عندما مفاهيم الاتزان مثل درجة الحرارة ما يزال بالإمكان استخدامها ، من أجل حالات بعيدة عن الاتزام حيث مثل هذه المفاهيم غالبا لا يمكن تطبيقها (صفحة 413)هل من المفيد و المفهوم التمييز بين الطاقة الحرارية و الحرارة ؟ نعم . الكثير من الكتب القديمة ، تستخدم مصطلح حرارة ليعني نفس معنى الطاقة الحرارية . و لكن هذا مدعاة للخلط بالنسبة للطلاب و الخبراء :

- في هذا الكتاب تستخدم الحرارة بالطرق الحديثة مثل معني المصطلح المعروف الإنتروبي

وكل من الطاقة الحرارية و الحرارة تتدفق من جسم لآخر وكلاهما تتراكمان . و كلاهما ليس له كتلة قابلة للقياس *

كلا من مقدار الطاقة الحرارية و مقدار الحرارة داخل جسم يزيدان مع زيادة درجة الحرارة . و العلاقة الدقيقة ستعطى قريبا .

و لكن الحرارة لها العديد من الخواص المهمة الأخرى والقصص لتقولها . بالطبع اثنتين منهما مهمتان : الأولى الحرارة الناتجة عن الجسيمات و الثانية الحرارة هي في قلب الفرق بين الماضي و المستقبل و هانين القصتين مترابطتين .

لماذا تصعد البالونات في الفضاء ؟ - نهاية الاستمرارية

إن خواص الحرارة تابعة للمادة . دراسة الخواص الحرارية بالتالي يجب أن يمكننا من فهم شيء ما عن مكونات المادة . الآن ، أبسط المواد على الإطلاق هي الغازات ** الغازات تحتاج لفراغ : و أي مقدار من الغاز له ضغط و حجم . و لا يستغرق الأمر وقتا طويلا لإظهار أن الغازات لا يمكن أن تكون مستمرة . و أول العلماء الذي اعتقدوا أن الغازات مكونة من ذرات أو جزيئات كان دانييل بيرنولي .

و علل بيرونولي أنه إذا كانت الغازات مكونة من جسيمات صغيرة ، بكتلة و كمية حركة ، فإنه سيكون قادر على إعطاء بعض التوقعات الكمية حول سلوك الغازات و التأكد منها بالتجربة . و إذا كانت الجسيمات ستتحرك في الغاز ، بالتالي ضغط الغاز في الحاوية ينتج بواسطة التدفق المستمر للجسيمات التي تضرب الجدار . وفهم بيرونولي أنه إذا خفض الحجم للنصف فإن الجسيمات سيكون عليها أن تتحرك نصف المسافة لتضرب الجدار : وبالتالي ضغط الغاز سيتضاعف .

---

*هذا يمكن أن يتغير في المستقبل عندما قياسات الكتلة تتحسن في دقتها و بالتالي تسمح بكشف التأثيرات النسبية . (مجلد II ، صفحة 58) و في هذه الحالة ، تزايد درجة الحرارة يمكن كشفه عن طريق زيادة كتلتها . لكن مثل هذه التغيرات يمكن لحظها فقط بواسطة دقة ذات اثني عشرة خانة أو أكثر في قياسات الكتلة .

**بالمناسبة ، كلمة غاز هي كلمة حديثة . وقد نحتت من قبل الخيميائي و الفيزيائي يوهان بابتيستا

فان هيلمونت (ولد في بروكسل 1579 و توفي في فيلفورد 1644) وهذا يبدو مشابها لكلمة " كايوس " و هي إحدى الكلمات القليلة التي تم اختراعها من قبل شخص واحد و بعدها اعتمدت من قبل العالم كله



الشكل 277 ماذا يحدث هنا ؟

لقد فهم أيضا أن درجة حرارة غاز تزداد بينما حجمه يبقى ثابتا ، وسرعة الجسيمات ستزيد . و بجمع هاتين النتيجتين ، خلص بيرونولي إلى أنه إذا كانت الجسيمات قد افترض أنها تتصرف ككرات مرنة مثالية و صغيرة و صلبة ، فإن الضغط p و الحجم V و درجة الحرارة T يجب أن ترتبط بالشكل : (تحدي 638 s)

$$pV = nRT = kNT \,. \qquad (113)$$

في هذه العلاقة التي تعرف بعلاقة الغاز المثالي ، R هي ثابت الغاز المثالي ، ولها القيمة R = 8.3144598(48)J/(mol K) و n عدد المولات . و في الكتابة المغايرة لعلاقة الغاز ، N هي عدد الجسيمات المحتواة في الغاز و k ثابت بولتزمان ، و هو أحد الثوابت الأساسية في الطبيعة و يعطى بالشكل $k = 1.38064852(79).10^{-23}$ J/K (المزيد حول هذا الثابت معطى فيما يلي) . (صفحة 390) . إن الغاز المكون من جسيمات مثل سلوك الكتب تعرف بالغاز المثالي . العلاقة (113) غالبا أيضا تعرف بقانون الغاز المثالي و هي معروفة قبل بيرنولي ، و العلاقة أكدت بواسطة تجارب عند درجات حرارة الغرفة و أعلى من أجل كل الغازات المعروفة .

استنتج بيرنولي علاقة الغاز المثالي بتوقع خاص من أجل ثابت التناسب R من افتراض وحيد أن الغازات مكونة من جسيمات صغيرة ذات كتلة . و هذا الاستنتاج بعطي حجة واضحة من أجل وجود الذرات و من أجل سلوكها كأجسام عادية وصغيرة . و في الواقع لقد رأينا أعلاه كيف أن N يمكن تحديدها تجريبيا (صفحة 338) .

إن نموذج الغاز المثالي يساعدنا في الإجابة على أسئلة مثل المبين في الشكل 267 . حيث منطادين مطاطكيين متطابقين ، مملوئين بحيث أن أحدهما أكبر من الآخر و موصلين إلى بعضهما بواسطة صمام و أنبوب . عندما الصمام يفتح . من الذي سيفرغ من الهواء ؟ (تحدي 639 s) .

العلاقة بالتالي تفسر لماذا توجد الريح و الأعاصير ، لماذا ترتقع مناطيد الهواء – حتى تلك المبينة في الشكل 277 – لماذا تعمل محركات السيارات ، و لماذا تخرب طبقة الأوزون بواسطة غازات معينة أو لماذا خلال الصيف الحار جدا في عام 2001 في جنوب تركيا كانت أقنعة الأكسجين ضرورية للمشي خارجا أثناء النهار .

إن علاقة الغاز المثالي أيضا تشرح لماذا في الحادي و العشرين من آب 1986 أكثر من الف شخص و ثلاثة آلاف رأس من الماشية وجدوا ميتين في منازلهم في الكاميرون . و لقد كانوا يعيشون أسفل بركان الذي تحوي فوهته بحيرة ، بحيرة نيوس و تبين أن البركان كان باستمرار يصدر ثاني أكسيد الكربن أو CO_2 في البحيرة , و ثاني أكسيد الكربون انحل في الماء و لكن في آب1986 فإن حدثا مجهولا بدأ تحرير فقاعة تبلغ حوالي مليون طن من CO_2 في حجم كيلو متر مكعب في الغلاف الجوي . و لأن ثاني أكسيد الكربون ($2.0kg/m^3$) هو أكثر كثافة من الهواء ($1.2kg/m^3$) فإن الغاز تدفق إلى الوديان و القرى أسفل البركان وليس للغاز لون و لا رائحة ، و هو يؤدي للاختناق . و من غير الواضح فيما إذا كان نظام إزالة الغاز المركب في البحيرة بعد الحادث كافي ليتجنب حدوث هذا مرة أخرى .

و باستخدام علاقة الغاز المثالي فإنك الآن قادر على شرح لماذا المناطيد يزداد حجمها عندما ترتفع في الجو حتى بالرغم من أن الهواء أبرد هناك . و أكبر منطاد بني حتى الآن قطره ، عند ارتفاع عالي ، يبلغ 170 m ، لكن هذا جزء من القيمة عند الإقلاع . كم هذه القيمة ؟ (تحدي 641 ny) .

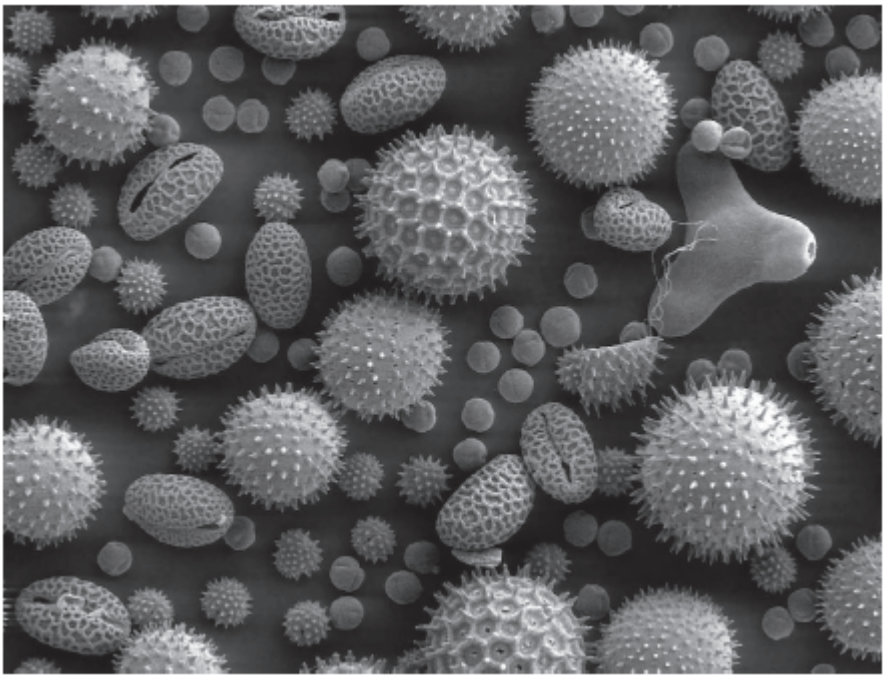
الآن يمكنك أن تأخذ التحدي التالي : هل يمكنك قياس وزن سيارة أو دراجة بواسطة مسطرة فقط ؟ (تحدي 642s)

إن صورة الغازات بأنها مكونة من عناصر صلبة بدون تبادلات تأثير على مسافة طويلة تتفكك عند درجات حرارة منخفضة . و لكن علاقة الغاز المثالي (113) يمكن تحسينها للتغلب على هذه القيود (مرجع 292) ، بالأخذ في الحسبان الانحرافات الناتجة عن تبادلات التأثير بين الذرات و الجزيئات (مرجع 293) . و هذه الطريقة الآن هي الممارسة القياسية و تسمح لنا بقياس درجات الحرارة حتى عند قيم منخفضة قصوى . التأثيرات الملحوظة أدنى من 80 K مثل تصلب الهواء ، النقل بلا احتكاك للتيار الكهربائي ـ أو التدفق بلا احتكاك للسوائل ، تشكيل عالم رائع من صنعك .، و المجال الجميل لفيزياء درجات الحرارة المنخفضة (مجلد V ، صفحة 108) و المجال سيتم دراسته لاحقا (مجلد V ، صفحة 103) بعد بيرنولي بوقت غير طويل وجد الكيميائيون حججا قوية تؤكد وجود الذرات و قد اكتشفوا أن التفاعلات الكيميائية تحدث تحت نسب ثابتة : فقط نسبة خاصة لكميات من المواد الكيميائية تتفاعل . العديد من البحاثة ، بما فيهم جون دالتون استنتجوا أن هذه الخاصة تحدث لأنه في الكيمياء كل التفاعلات تحدث ذرة تلو الأخرى . مثلا ذرتي هيدروجين وذرة أكسجين تعطي جزيئ ماء واحد و بهذا الشكل – بالرغم من أن هذه المصطلحات لم تكن موجودة في ذلك الوقت . العلاقة يمكن التعبير عنها بالصيغة الكيماوية H_2O . و هذه المقولات قوية ، و لكنها لا تقنع الجميع . أخيرا وجود الذرات أكد بواسطة ملاحظة تأثيرات حركتها حتى بشكل أكثر مباشرة .

الحركة البراونية

إذا كانت الموائع مكونة من جسيمات متحركة بشكل عشوائي فإن هذه الحركة العشوائية يجب أن يكون لها تاثيرات قابلة للقياس . الكثال على الحركة القابلة للقياس مبينة في الشكل 280 . إن الجسيمات يبدو أنها تتبع حركة زيج زاج عشوائية . أول وصف لذلك تم من قبل لوكريتيوس ، في عام 60 BCE في قصيدته الطبيعة المربية ، و فيها يخبر لوكريتوس عن الملاحظة الشائعة : في الهواء الذي يضاء بالشمس ، و جسيمات الغبار يبدو أنها ترقص .

في عام 1785 ، رأى Jan Ingenhousz أن غبار الفحم لا يتوقف أبدا . و في الحقيقة ، تحت المجهر من السهل مرحظة أن غبار الفحم أو الجسيمات الصغيرة الأخرى في أو على سائل لا تسكن ابدا . و قد اكتشف Ingenhousz ما يعرف اليوم بالحركة البراونية و بعد أربعين عاما منه ، كان عالم النبات روبرت براون أول إنجليزي يكرر القياس ، هذا الوقت من أجل الجسيمات الصغيرة العائمة في حويصلات داخل الطلع .



الشكل 278 صورة حبيبات الطلع – قياس المجال حوالي 0.3 mm – بواسطة مجهر إلكتروني (مجلد III ، صفحة 151)

و مزيد من التجارب تمت من قبل باحثين آخرين بينت أن ملاحظة الحركة العشوائية مستقل عن نوع الجسيم و نوع السائل . بمعنى آخر اكتشف Ingenhousz شكلا اساسيا للضجيج في الطبيعة .

حوالي عام 1860 فإن الحركة العشوائية للجسيمات في السوائل نسبت من قبل باحثين مختلفين لجزيئات السائل التي كانت تصطدم بالجسيمات . في عام 1905 و 1906 (المرجع 293) قام Marian von Smoluchowski و بشكل مستقل ألبرت أينشتاين بأن هذا الأمر يمكن اختباره تجريبيا ، بالرغم من أنه في ذلك الوقت لم يكن هناك أحد قادر على مراقبة الجزيئات مباشرة . و الاختبار استخدم الخواص الخاصة بالضجيج الحراري . وقد كان من الواضح لفترة طويلة أنه إذا كانت الجزيئات أن جسيمات المادة غير القابلة للانقسام موجودة فعلا ، و بالتالي الطاقة الحرارية يجب أن تكون حركة غير منتظمة لهذه المكونات و درجة الحرارة يجب أن تكون الطاقة المتوسطة لكل درجة من الحرية للمكونات (صفحة 391)

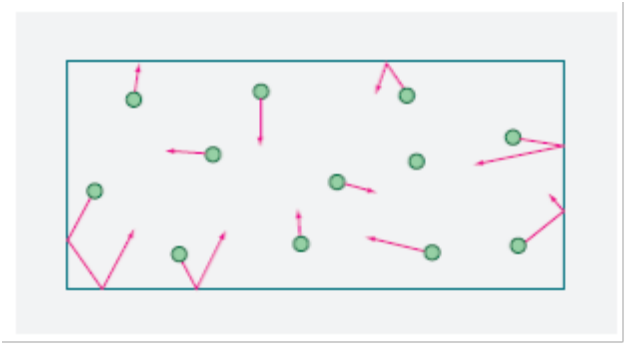
إن نموذج بيرنولي في الشكل 279 يقتضي أنه من أجل الغازات أحادية الذرة فإن الطاقة الحركية T_{kin} لكل جسيم تعطي بالشكل : (تحدي 643 ny) :

$$T_{kin} = \frac{3}{2}kT \qquad (114)$$

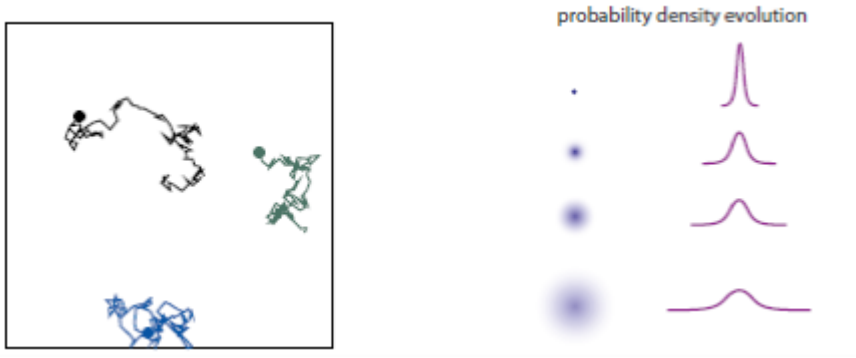
حيث T درجة الحرارة . إن ما يعرف بثابت بولتزمان $k = 1.4 .10^{-23}$ J/K هو عامل التحويل القياسي بين درجة الحرارة و الطاقة * . و في درجة حرارة الغرفة

---

*ثابت بولتزمات k اكتشف من قبل ماكس بلانك في نفس العمل الذي أيضا اكتشف ما يعرف الآن بثابت بلانك $\hbar$ و هو كم الفعل . لمزيد من التفاصيل عن ثابت بلانك أنظر لاحقا (مجلد III ، صفحة 114) .



الشكل 279 الفكرة الأساسية للميكانيك الإحصائي حول الغازات : الغازات هي جمل جسيمات متحركة و الضغط ناتج عن اصطداماتها مع الحاوية



الشكل 280 مثال عن مسارات الجسيمات في الحركة البراونية و توزع إزاحتها

البالغ 293 K ، الطاقة الحركية للجسيم هي بالتالي 6 zJ .

إذا استخدمت العلاقة (114) لحساب سرعة جزيئات الهواء في درجة حرارة الغرفة ، فإنك تحصل على قيمة عدة مئات من الأمتار بالثانية ، و هذه تقريبا سرعة الصوت . (تحدي 644e)

في هذه السرعة العالية ، لماذا الدخان من قنديل يأخذ وقتا طويلا للانتشار عبر غرفة التي ليس فيها تيارات هواء ؟

أجاب رودولف كلاوسيوس (ولد في كوسلين 1822 و توفي في بون 1888) على هذا السؤال في منتصف القرن التاسع عشر : انتشار الدخان يبطؤ بواسطة الاصدامات مع جزيئات الهواء ، بنفس الشكل الذي تصطدم به حبات الطلع مع الجزيئات في سائل . نظرا لأن التدفقات عادة تكون أكثر فعالية من الانتشار ، فإن المواد التي لا تبدي تدفق على الإطلاق هي تلك التي يكون فيها أهمية الانتشار الأكثر وضوحا : المواد الصلبة . تصلب المعادن و إنتاج أنصاف النواقل هي أمثلة على ذلك .

إن وصف الحركة البروانية يمكن أن يختبر بمتابعة الإزاحة لجسيمات الطلع تحت المجر . و في النظرة الأولى يمكننا أن نخمن أن المسافة المتوسطة لجسيم الطلع قد تحركت بعد n اصطدام يجب أن تكون صفر لأن سرعات الجزيئات عشوائية و لكن هذا خطأ كما تبين التجارب .

سمى بلانك ثابت بولتزمان على اسم الفيزيائي المهم لودفيغ بولتزمان (ولد في 1844في فينا و توفي في دوينو 1905)

و الذي كان أكثر شهرة في عمله حول الثيرموديناميك . و شرح بولتزمات كل الظواهر الثيرموديناميكية و الأشياء القابلة للقياس ، وأهم شيء الإنتروبي نفسه ، كنتائج لسلوك الجزيئات . و يبدو أن بولتزمان انتخر جزيئا بسبب حقد نظرائه الفيزيائيين تجاه أفكاره و تجاهه . و الآن أعماله تشكل مواد لكتب قياسية كاملة . إن مربع الإزاحة المتوسط الذي يكتب بالشكل $\langle d^2 \rangle$ يلاحظ من أجل حبيبات الطلع . لا يمكن توقع اتجاه حركة الجسيم و لكنها تتحرك . إذا كانت مسافة الجسيم المتحرك بعد اصطدام واحد هي l فإن مربع الإزاحة المتوسط بعد n اصطدام يعطى كما يمكن أن تبين بنفسك (تحدي 645 ny) بالشكل

$$\langle d^2 \rangle = nl^2 . \qquad (115)$$

من أجل جزيئات ذات سرعة متوسطة v خلال الزمن t هذا يعطي

$$\langle d^2 \rangle = nl^2 = vlt . \qquad (116)$$

بمعنى آخر مربع الإزاحة المتوسط يزداد بشكل طردي مع الزمن . و بالطبع فإن هذا غير صالح لأن السائل مكون من جزيئات منفصلة . و القياس المتكرر لموضع جسيم يجب ان يعطي التوزع المبين في الشكل 280 من أجل احتمال كون الجسيم موجود على مسافة معينة من نقطة البدء . هذا يعرف بالتوزع النظامي (الغوصي) (مرجع 294) و في عام 1908 أجرى جان بيرين * تجارب واسعة من أجل اختبرا هذا التوقع . و قد وجد أن المعادلة (116) توافق بشكل كامل القياسات ، وبالتالي تقنع الجميع أن الحركة البراونية في الحقيقة ناتجة عن الجزيئات للسائل المحيط ، كما هو متوقع **

وقد حاز بيرين على جائزة نوبل في الفيزياء بسبب تجاربه . وقد بين أينشتاين أيضا أن نفس التجربة يمكن أن تستخدم لتحديد عدد الجزيئات في لتر من الماء (أو بشكل مكافئ ثابت بولتزمان k) . هل يمكنك أن تبين كيف فعل ذلك ؟(تحدي 646d)

لماذا الأحجار يمكن ألا تكون ملساء و لا فراكتال و لا مكونة من كرات صلبة صغيرة .

إن دراسة درجة الحرارة تؤدي إلى نتيجة مهمة أخرى . الباحثون درسوا أولا الغازات و قاسوا مقدار الطاقة اللازمة لتسخينها بمقدار درجة كلفين واحدة . و النتيجة هي بسيطة : كل الغازات تشترك ببضع قيم فقط ، عندما عدد الجزيئات N يؤخذ بالحسبان . الغازات وحيدة الذرة (في الحاوية ذات الحجم الثابت و عند درجة حرارة ثابتة)تتطلب 3Nk/2 ، الغازات ثنائية الذرة (وتلك ذات الجزيئة الخطية) 5Nk/2 ، و تقريبا كل الغازات الأخرى 3Nk ، حيث $k = 1.4 . 10^{-23}$ J/K ثابت بولتزمان . (صفحة 390).

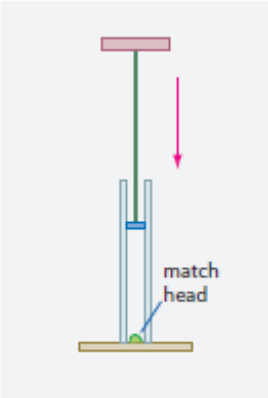
شرح هذه النتيجة سيأتي قريبا : كل درجة ثيرموديناميكية من الحرية *** تحتوي الطاقة kT/2 للطاقة الكلية حيث T درجة الحرارة .

---

*جان بيرين (ولد في ليل عام 1870 ، توفي في نيويورك عام 1942) ، فيزيائي مهم ، خصص أكثر إنجازاته للإثبات التجريبي للفرضية الذرية و تحديد عدد أفوغادرو ، سعيا وراء هدفه الذي وضعه باستخدام المستحلبات ، الحركة البروانية و طبقات رقيقة من الزيت . و إن خطابه في جائزة نوبل (nobelprize.org/physics/laureats/1926/perrin-lecture.html) يخبر قصة ممتعة عن بحثه . وقد كتب كتابه البارز الذرات ، وأوجد المركز القومي للبحث العلمي . وقد كان اول من تصور في عام 1901 أن الذرة يمكن أن تكون مشابهة للمجموعة الشمسية الصغيرة .

**في جزء ممتع من البحث ، (مرجع 295) بين بيير جاسبارد و فريقه في 1998 أن الحركة البراونية هو أيضا عشوائي ، في معنى فيزيائي دقيق سيعطى لاحقا (صفحة 422) .

***الدرجة الثيرموديناميكية للحرية هي من أجل كل جزيئة في جملة ، عدد الأبعاد هو



الشكل 281 مضخة الحريق

لذا فإن عدد درجات الحرية في الأجسام المادية هو منتهي . و الأجسام ليست مستمرة و لا فراكتالات : إذا كانت كذلك فإن الطاقة الحرارية الخاصة ستكون لا نهائي . المادة في الواقع مكونة من اشياء أساسية صغيرة .

كل درجات الحرية تسهم في الطاقة الحرارية الخاصة . على الأقل هذا ما تتوقعه الفيزياء الكلاسيكية . الأجسام الصلبة ،مثل الأحجار لديها ستة درجات حرية ثيرموديناميكية و تبدي طاقة حراري خاصة تبلغ 3Nk . عند درجات حرارة عالية ، هذا يلاحظ في الواقع و لكن القياسات للأجسام الصلبة عند درجة حرارة الغرفة تعطي قيما أخفض ، و كلما كانت درجة الحرراة أخفض كلما كانت القيم أخفض . وحتى الغازات تبدي قيم أخفض من تلك المذكورة ، عندما تكون درجة الحرارة منخفضة بشكل كافي . بمعنى آخر ، الجزيئات و الذرات تتصرف بشكل مختلف عند طاقات منخفضة : الذرات ليست عبارة عن كرات صلبة صغيرة ثابتة . و الانحراف عن هذه القيم هو أحد القضايا المهمة في نظرية الكم .

الإنتروبي

- إنه قابل للانعكاس
- مثل معطفي المطري ، ميل بروكس ، الكرات الفضائية 1987

كل مجال في الفيزياء يصف التغير بدلالة ثلاث كميات : الطاقة و أيضا المقدار المميز المكثف و الشامل للمجال (مرجع 298) . في مجال الفيزياء الحرارية ، فإن الكمية المكثفة هي درجة الحرارة . ما هي الكمية الشاملة الموافقة ؟

إن التخمين الواضح سيكون الحرارة . لسوء الحظ ، فإن الكمية التي عادة يسميها الفيزيائيون عادة الحرارة ليست نفس ما نسميه الحرارة في كلامنا اليومي . من أجل هذا السبب التاريخي فإننا بحاجة لطرح مصطلح جديد . إن الكمية الشاملة المقابلة هي ما نسميه الحراة في الكلام اليومي يعرف بالإنتروبي في الفيزياء . *

يمكن أن يتحرك إضافة إلى عدد أبعاد التي تبقى في كمون . الذرات في جسم صلب فيه ستة جسيمات في الغازات أحادية الذرة لها فقط ثلاث جسيمات ، الجسيمات في الغازات ثنائية الذرة أو الجزيئات الخطية الصلبة لها خمس .

عدد درجات الحرية للجزيئات الأكبر تعتمد على شكلها (المرجع 296)

*المصطلح " إنتروبي " تم اختراعه من قبل الفيزيائي رودولف كلاوسيوس (ولد في كوسلين 1822 و توفي في بون عام 1888) في عام 1865 . وقد شكّله من الكلمة اليونانية " إنت " التي تعني " في " و تروبي التي تعني " اتجاه" لجعلها متوافقة مع الطاقة . إن المصطلح يصف الإنتروبي مقدار الحرارة اليومية . و الإنتروبي يقاس بالجول لكل كيلفن أو J/K ، بعض أمثلة القيم (لكل مقدار من المادة) واردة في الجدول 47 و الجدول 48 . يصف الإنتروبي الحرارة اليومية بنفس الشكل الذي يصف به كمية الحركة في الحركة اليومية . و بشكل مقابل درجة الحرارة تصف شدة الحرارة اليومية أو الإنتروبي ، بنفس الشكل الذي تصف به السرعة شدة الحركة .

عندما يصطدم جسمان بسرعتين مختلفتين ، يحدث تدفق كمية حركة بينهما . بشكل مشابه عندما جسمين يختلفان في درجة الحرارة يتلامسان فإنه يحدث تدفق الإنتروبي بينهما . و نحن الآن نعرّف مفهوم الإنتروبي – " الحرارة اليومية " – بشكل أكثر دقة و ندرس خواصه بتفصيل أكثر .

يقيس الإنتروبي الدرجة التي تمزج بها الحرارة داخل جسم ، أي الدرجة التي تنتشر بها الحرارة أو تتشارك بين مكونات الجملة . و عندما كل مكونات الجملة تتحرك بشكل مستقل كامل ، عشوائيا ، يكون الإنتروبي كبير . باختصار ، يقيس الإنتروبي مقدار محتوى الطاقة المضطربة / غير المنتظمة لكل درجة حرارة في الجملة . و هذا هو سبب أنه يقاس بـ J/K.

الإنتروبي هو كمية شاملة ، مثل الشحنة و كمية الحركة ، و هي تقاس بتحويلها إلى جهاز قياس .

و أبسط جهاز قياس هو مزيج من الماء و الجليد . و عندما مقدار الإنتروبي S يحول / ينقل إلى مزيج فإن مقدار الجليد المصهور هو مقياس للإنتروبي المنقول / المحول .

بشكل أكثر دقة فإن الإنتروبي ΔS المتدفق في جملة يقاس بقياس الطاقة E المتدفق في الجملة و تسجيل درجة الحرارة T التي تحدث خلال العملية :

$$\Delta S = \int_{T_{start}}^{T_{end}} \frac{dE}{T} . \qquad (117)$$

غالبا هذا يقرب بالشكل $\Delta S = P\,\Delta t/\overline{T}$ حيث p استطاعة جهاز التسخين ، Δt زمن التسخين و $\overline{T}$ درجة الحرارة المتوسطة .

نظرا لأن الإنتروبي يقيس مقدار ، مقدار شامل و ليس مكثف ، فإن الإنتروبي يضاف عندما الجمل المتطابقة تجمع في جملة واحدة . و عندما زجاجتين بسعة لتر واحد من الماء عند نفس درجة حرارة تصبان معا ، فإن إنتروبي الماء يجمع و مرة ثانية هذا يوافق سلوك كمية الحركة : و هو أيضا يجمع عندما تجمع الجمل .

مثل أي كمية شاملة أخرى الإنتروبي يمكن أن يتراكم في جسم ، و الإنتروبي يمكن أن يتدفق إلى و من الأجسام . و عندما نحول الماء إلى بخار بتسخينه ، فإننا نقول أننا نجمع الإنتروبي للماء . و يمكننا أيضا أن نضيف الإنتروبي عندما نحول الجليد إلى ماء سائل . و بعد أي من التحويلين ، فإن الإنتروبي المضاف يكون محتوى في الطور الأكثر دفئا ، و في الحقيقة يمكننا قياس الإنتروبي الذي نضيفه / نجمعه بقياس مقدار الجليد المنصهر أو مقدار الماء المتبخر . باختصار ، الإنتروبي هو المصطلح الدقيق لما نسميه الحرارة في الحديث اليومي .

متى حللنا كتلة من الملح في الماء ، فإن إنتروبي الجملة الكلية يجب أن يزداد ، لأن الاضطراب يزداد . و سوف ندرس الآن هذه العملية .

الإنتروبي دائما له المعنى المعطى هنا .

على عكس ما يسميه الفيزيائيون تقليديا الحرارة ، هو شكل من الطاقة و ليس كمية شاملة بشكل عام .

الجدول 47 بعض قيم الإنتروبي المقاسة الخاصة

العملية / الجملة	قيمة الإنتروبي
الكربون ، صلب ، بشكل ألماس	2.43J/K mol
الكربون ، صلب ، بشكل غرافيت	5.69J/K mol
صهر الجليد	1.21kJ/K kg= 21.99 J/K mol
الحديد ، الصلب تحت الشروط القياسية	27.2J/K mol

المغنيزيوم ، الصلب تحت الشروط القياسية	32.7J/K mol
الماء ، سائل ، تحت الشروط القياسية	70.1(2)J/K mol
غلي كيلو غرام من الماء السائل عند 101.3 kPa	6.03kJ/K=110J/K mol
الهليوم ، غاز تحت الشروط القياسية	126.15 J/K mol
الهيدروجين ، غاز تحت الشروط القياسية	130.58 J/K mol
الكربون ، غاز تحت الشروط القياسية	158 J/K mol
بخار الماء تحت الشروط القياسية	188.83 J/K mol
الأكسجين O_2 تحت الشروط القياسية	205.1 J/K mol
غاز C_2H_6 تحت الشروط القياسية	230 J/K mol
غاز C_3H_8 تحت الشروط القياسية	270 J/K mol
غاز C_4H_{10} تحت الشروط القياسية	310 J/K mol
غاز C_5H_{12} تحت الشروط القياسية	348.9 J/K mol
غاز $Ti\ Cl_4$ تحت الشروط القياسية	354.8 J/K mol

جدول 48 بعض قيم الإنتروبي النوعية لكل جسيم عند درجة حرارة قياسية و ضغط كمضاعفات لثابت بولتزمان

المادة	**الإنتروبي لكل جسيمة**
الأجسام الصلبة وحيدة الذرة	0.3 k -10 k
الألماس	0.29 k
الغرافيت	0.68 k
الرصاص	7.79 k
الغازات وحيدة الذرة	15 k -25 k
الهليوم	15.2 k
الرادون	21.2 k
الغازات ثنائية الذرة	15 k -30 k

الأجسام الصلبة متعددة الذرات	10 k -60 k
السوائل متعددة الذرات	10 k -80 k
الغازات متعددة الذرات	20 k -60 k
الإيكوزان	112 k

الإنتروبي من الجسيمات

حالما يصبح من الواضح أن الحرارة و درجة الحرارة هما ناتجان عن حركة الجسيمات الميكروسكوبية ، ويسأل الناس ما الإنتروبي الذي كان ميكروسكوبيا . و الجواب يمكن أن يصاغ بطرق مختلفة . و الجوابين الأكثر تطرفا هما :

- الإنتروبي يقيس (لوغاريتم) العدد W للحالات الميكروسكوبية الممكنة . و الحالة الماكروسكوبية المعينة يمكن أن يكون لها العديد من التحقيقات / التكوينات الميكروسكوبية . لوغاريتم هذا العدد مضروبا بثابت بولتزمان k يعطي الإنتروبي *
- الإنتروبي هو العدد المتوقع من الأسئلة التي جوابها نعم أو لا مضروبا بـ k ln 2 ، و الإجابات التي ستخبرنا كل شيء عن الجملة أي عن حالتها الميكروسكوبية

باختصار ، كلما كان الإنتروبي أعلى ، كلما كانت الحالات الدقيقة الممكنة أكثر . عن طريق إما هذين التعريفين فإن الإنتروبي يقيس كمية العشوائية في نظام . بمعنى آخر يقيس الإنتروبي قابلية التحويل للطاقة : الإنتروبي الأعلى يعني قابلية التحخويل الأخفض .

بشكل مغاير ، يقيس الإنتروبي الحرية في اختيار الحالة الدقيقة . مثلا عندما جزيئة الغلوكوز (نوع من السكر) ينتج بواسطة التركيب الضوئي ، يتم تحرير حوالي 40 بت من الإنتروبي . و هذا يعني أنه بعد تشكل الغلوكوز ، فإن أربعين سؤال نعم أو لا يجب أن يتم الإجابة عليه من أجل تحديد الحالة الميكروسكوبية الكاملة للجملة . و الفيزيائيون غالبا يستخدمون الواحدة الماكروسكوبية ، و أكثر الجمل المهمة هي كبيرة و بالتالي إنتروبي بـ 10^{23} bit تكتب بالشكل 1 J/K (هذا تقريب فقط ، هل يمكنك أن تجد القيمة الدقيقة ؟) (تحدي 647 ny) .

للإحاطة ، الإنتروبي هو بالتالي قياس مميز لاضطراب الجمل الحرارية . (المرجع 299) . و إن ثلاثة نقاط جديرة بالتوضيح هنا . قبل كل شيء ، الإنتروبي ليس مقياس للاضطراب ، و لكنه أحد مقاييس الاضطراب؟ و بالتالي ليس من الصحيح استخدام الإنتروبي كمرادف لمفهوم الاضطراب ، كما يتم غالبا في المراجع الشائعة . و الإنتروبي يعرف فقط للجمل التي لها درجة حرارة ، بمعنى آخر. فقط للجمل التي في أو قرب التوازن . (بالنسبة للجمل البعيدة عن التوازن لا يوجد مقياس للاضطراب بعد ، ربما لا يمكن إيجاد ذلك) . في الحقيقة استخدام مصطلح إنتروبي قد قل بشكل كبير بحيث أنه في بعض الأحيان على المرء تسميته بالإنتروبي الثيرموديناميكي للتوضيح .

ثانيا ، الإنتروبي يرتبط بالمعلومات فقط إذا عرفت المعلومات أيضا بشكل – k ln W . و لجعل هذه النقطة واضحة ، خذ كتابا بكتلة كيلو غرام . عند درجة حرارة الغرفة ، إن محتواه من الإنتروبي هو حوالي 4 kJ/K و المعلومات المطبوعة داخل الكتاب ، ليكن خمسمائة صفحة بكل صفحة تحوي أربعين سطرا و كل سطر يحوي ثمانين رمزا من 64 احتمالا ، في الحياة اليومية هذا نسبة مهملة مما يسميه الفزيائيون معلومات . الإنتروبي يعرف باستخدام المفهوم الفيزيائي للمعلومات .

أخيرا الإنتروبي ليس مقياسا لما هو عادي في الحياة و يعرف بتعقيد الوضع / الحالة . (مرجع 300) و في الحقيقة لا يوجد شيء بعد في المقدار الذي يصف هذه الحركة اليومية . و المهمة صعبة بشكل مدهش ؟ حاول !(تحدي 648 ny)

في ملخص ، إذا سمعت مصطلح إنتروبي بمعنى مختلف غير العلاقة S = k ln W ، انتبه بعض الأشخصا يحاولون أن يقنعوك بفكر ما .

الإنتروبي الأصغري للطبيعة – كم المعلومات

قبل أن نكما مناقشتنا للفيزياء الحرارية ، علينا أن نشير بطريقة أخرى لأهمية ثابت بولتزمان . لقد رأينا أن هذا الثابت يظهر

متى حبيبية المادة تلعب دورا و هو يعبر عن حقيقة أن المادة مكونة من أشياء أساسية صغيرة . و الطريقة الأكثر تعبيرا في صياغة هذا هو التالي :

- هناك إنتروبي أصغر ما يكون من الطبيعة : $S \geq k$

هذه النتيجة تقريبا عمرها مائة عام و قد عبر عنها بشكل أكثر وضوحا (بعامل عددي مختلف) من قبل ليو سيزيلارد (المرجع 301) . نفس النقطة بينها بيون بريلوين (مرة ثانية بعامل عددي مختلف) (المرجع 302) و العبارة يمكن أيضا أن تؤخذ كتعريف لثابت بولتزمان k .

إن وجود أصغر إنتروبي في الطبيعة هي فكرة قوية . و هو يزيل إمكانية استمرار المادة و أيضا كثرة تعرجاتها . و إن أصغر إنتروبي يقتضي أن المادة مكونة من عدد منته من المكونات الصغيرة . و الحد الأدنى للإنتروبي يعبر عن حقيقة أن المادة مكونة من جسيمات *.

حد الإنتروبي أيضا يبين أن فيزياء غاليليو لا يمكن أن يكون صحيحا : فيزياء غاليليو تفترض أن الاختيارية في الكميات الصغيرة موجودة . حد الإنتروبي هو أول الحدود العديدة للحركة التي سنصادفها في مغامرتنا . بعد أن وجدنا كل الحدود يمكننا أن نطلق الساق النهائية المؤدية إلى وصف موحد للحركة .

إن وجود أصغر كمية يقتضي وجود حد على دقة القياسات . و القياسات لا يمكن أن تكون بدقة لا نهائية . و هذا الحد عادة يصرح عنه بشكل علاقة عدم تحديد و في الحقيقة وجود أصغر إنتروبي يمكن أن يعاد صياغتها كعلاقة غير محددة بين درجة الحرارة T و الطاقة الداخلية U لجملة :

$$\Delta\frac{1}{T}\,\Delta U \geqslant \frac{k}{2}\,. \qquad (118)$$

هذه العلاقة ** (مرجع 304) أعطيت من قبل نيلز بور و قد نوقشت من قبل فيرنر هايزنبيرغ الذي سماه أحد علاقات عدم التحديد الأساسية للطبيعة (مجلد VI ، صفحة 30) . و ثابت بولتزمان (مقسمة على 2) بالتالي يثبت قيمة أصغر إنتروبي ممكن في الطبيعة (مرجع 305) . لهذا السبب فإن جيل كوهين – تانودجي يسميه كم المعلومات و هيربرت تسيمرمان يسميه كم الإنتروبي (المرجع 302) .

إن العلاقة (118) تشير باتجاه النموذج الأكثر عمومية . من أجل كل قيمة دنيا لقيمة قابلة للقياس ، هناك علاقة عدم تحديد موافقة . وسوف يمر معنا هذا عدة مرات في بقية مغامرتنا ، و بشكل أكثر أهمية في نظرية الكم لفعل علاقة عدم تحديد هايزنبيرغ . (مجلد IV ، صفحة 15) .

---

*القيمة الدنيا للإنتروبير تقتضي أن المادة مكونة من كرات صغيرة ، و الفعل الأصغري الذي سنصادفه في نظرية الكم ، يقتضي أن هذه الكرات هي فعلا غيوم صغيرة .

** يبدو أن القيمة التاريخية للطرف الأيمن ، k يجب تصحيحه إلى k/2 ، لنفس السبب الذي يظهر فيه كم الفعل $\hbar$ بعامل 1/2 في علاقات عدم تحديد هايزنبيرغ (مرجع 303) .

إن وجود أصغر إنتروبي له تتابعات كثيرة . قبل كل شيء ، هو يلقي الضوء على المبدأ الثالث للثيرموديناميك . إن الإنتروبي الأصغر يقتضي أن الصفر المطلق لا يمكن تحقيقه . وثانيا ، الإنتروبي الأصغر يشرح لماذا قيم الإنتروبي كانت نهائية بدلا من كونها لانهائية .

ثالثا ، يثبت القيمة المطلقة للإنتروبي من أجل كل جملة ، في الفيزياء المستمرة فإن الإنتروبي مثل الطاقة ، هي فقط تعرّف ثابت تجميعي . كم الإنتروبي يقوم بتسوية هذه القضايا .

إن وجود القيمة الدنيا لقيمة قابلة للقياس يقتضي أن علاقة عدم التحديد تظهر من أجل أي مقدارين اللذين جداؤهما يعطي تلك القيمة القابلة للقياس . مثلا ، معدل إنتاج الإنتروبي و الزمن هما مثل هذا الزوج . في الحقيقة ، علاقة عدم التحديد تربط معدل إنتاج الإنتروبي P = dS/dt و الزمن t :

$$\Delta P \, \Delta t \geqslant \frac{k}{2} . \qquad (119)$$

من هذه العلاقة و العلاقة السابقة (118) من الممكن استنتاج كل الفيزياء الإحصائية أي النظرية الدقيقة للثيرموستاتيك و الثيرموديناميك . (المرجع 305 ، المرجع 303) . وسوف لن ندرس هذا أكثر من ذلك هنا . (هل يمكن أن تبين أن المبدأ الثالث يتبع وجود الإنتروبي الأصغر ؟) (تحدي ny 649) . و سوف نقيد أنفسنا بواحد من الركائز الأساسية للثيرموديناميك : المبدأ الثاني .

هل كل شيء مكون من الجسيمات ؟

" الفيزيائي هو طريقة الذرة في المعرفة حول الذرات "

جورج فالد

المرجع 306

تاريخيا ، دراسة الميكانيك الإحصائي كان له أهمية أساسية في الفيزياء . و هو يعطي أول بيان أن الأجسام الفيزيائية مكونة من جسيمات متبادلة التأثير . إن قصة هذا الموضوع هو حقيقة أن السلسلة الطويلة من الحجج تبين أن كل الخواص التي ننسبها للأجسام ، مثل الحجم ، الصلابة ، اللون ، كثافة الكتلة المغناطيسية ، الناقلية الحرارية أو الكهربائية ، تنتج من تبادل تأثير العديد من الجسيمات المكونة من .

- كل الأجسام مكونة من جسيمات متبادلة التأثير

إن الاكتشاف كان غالبا يسمى النتيجة الأساسية للعلم الحديث .

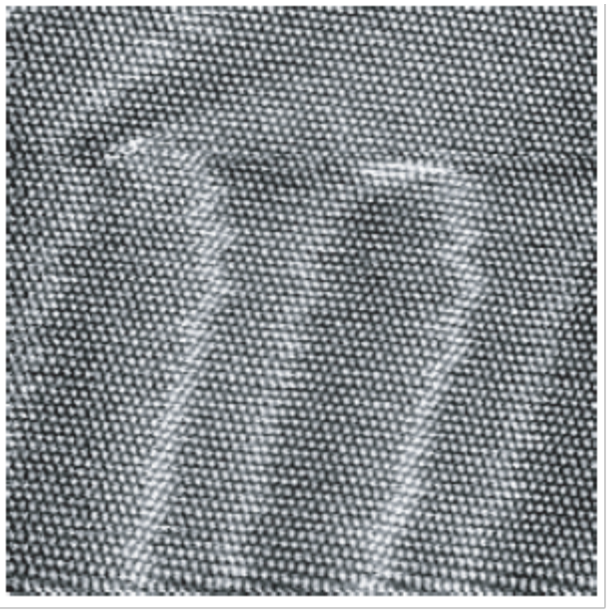
كيف تم هذا الاكتشاف ؟ (صفحة 354) يورد الجدول 43 الكميات الشاملة الرئيسية المستخدمة في الفيزياء . الكيمات الشاملة قادرة على التدفق . و ينتج أن كل التدفقات في الطبيعة مكونة من عمليات أولية كما هو مبين في الجدول 49 . ولقد رأينا للتور أن التدفقات للكتلة ، الحجم ، الشحنة ، الإنتروبي ، و المادة هي مجمعة . لاحقا ، نظرية الكم ستبين نفس الشيء للتدفقات لكمية الحركة الزاوية و أعداد الكم النووي .

- كل التدفقات مكونة من جسيمات

الجدول 49 قيم التدفق الأصغري التي توجد في الطبيعة

القياس	التدفق الأصغري
تدفق المادة	جزيئة واحدة أو ذرة واحدة أو جسيم واحد
تدفق الحجم	جزيئة واحدة أو ذرة واحدة أو جسيم واحد
تدفق كمية الحركة الزاوية	كم بلانك للفعل
مقدار المادة الكيماوية	جزيئة واحدة أو ذرة واحدة أو جسيم واحد
تدفق الإنتروبي	الإنتروبي الأصغري

تدفق الشحنة	شحنة أولية واحدة
تدفق الضوء	فوتون وحيد ، كم بلانك للفعل



الشكل 282 سطح بلورة 111 لبلورة وحيدة ذهبية ، كل نقطة ساطعة هي ذرة ذات انخلاع سطحي .

نجاح هذه الفكرة أدى بالكثير من الناس لتعميمها بالعبارة : كل شيء نقيسه / نلاحظه مكون من أجزاء و هذه الطريقة طبقت بنجاح على الكيمياء بواسطة الجزيئات ، علم المواد و الجيولوجيا بواسطة البلورات ، الكهرباء بواسطة الإلكترونات ، الذرات بواسطة الجسيمات الأولية ، الفراغ بواسطة النقاط ، الزمن بواسطة اللحظات الزمنية ، الضوء بواسطة الفوتونات ، البيولوجيا بواسطة الخلايا ، الجينات بواسطة الجينات ، العصبية بواسطة العصبونات ، الرياضيات بواسطة المجموعات و العلاقات ، المنطقة بواسطة الفرضيات / القضايا الأولية و حتى اللغويات بواسطة الوحدات الصوتية و الوحدات اللفظية.

كل هذه العلوم قد ازدهرت على فكرة أن كل شيء مكون من أجزاء مترابطة . و الفكرة الأساسية تبدو أنها واضحة و التي نجد من الصعب حتى صياغة بديل ، حاول! (تحدي e 650) .

لكن في حال كل الطبيعة ، فإن فكرة أن الطبيعة هي مجموع الأجزاء المترابطة هو غير صحيح و فقط تقريبي . (مجلد VI ، صفحة 105) و ينتج أن هذا تمييز و تمييز متضمنة بقوة بحيث أنه أخر التطورات اللاحقة في الفيزياء في العقود المتأخرة للقرن العشرين . بشكل خاص لا يطبق على الجسيمات الابتدائية / الأولية أو على الفضاء :

- الجسيمات الأولية و الفضاء ليست مكونة من أجزاء

إن إيجاد الوصف الصحيح لكل الطبيعة ، من أجل الجسيمات الأولية و من أجل الفضاء هو أكبر التحديات في مغامرتنا و هو يتطلب تغير كامل في عادات التفكير . و هناك الكثير من ذلك لاحقا .

"كل عبارة حول التعقيدات يمكن تحويلها إلى عبارة حول مكوناتها و إلى تناسبات التي تصف التعقيدات بشكل كامل "

لودفيغ فيتيجنشتاين ، تراكتاتوس ، 2.0201

المبدأ الثاني في الثيرموديناميك

على عكس العديد من الكميات الشاملة المهمة ، الإنتروبي غير مصون . من ناحية ، في الجمل المغلقة ، الإنتروبي يتراكم و لا يتناقص أبدا و تقاسم أو مزج الطاقة بين مكونات الجملة لا يمكن ألا يتم . و من ناحية أخرى ، التقاسم أو المزج يمكن

أن يزداد تلقائيا مع الزمن . و الإنتروبي بالتالي مصون نصفيا / شبه مصون ، إن ما نسميه الاتزان الحراري هو ببساطة نتيجة أعلى مزج ممكن . الإنتروبي يسمح لنا بتعريف مبدأ الاتزان بشكل أكثر دقة كحالة للإنتروبي الأعظمي أو الطاقة الأعظمية التي يتم تقاسمها بين مكونات الجملة . باختصار الإنتروبي في جملة مغلقة يزداد حتى يصل إلى القيمة العظمى الممكنة ، قيمة الاتزان .

إن عدم مصونية الإنتروبي له نتائج بعيدة التأثير . عندما تنفصل قطعة من الصخر عن جبل ، فإنها تسقط و تتدحرج إلى الوادي و تسخن قليلا ، و في النهاية تتوقف . إن العملية المعاكسة ، حيث يبرد الصخر و يتدحرج للأعلى لا تلاحظ أبدا ؟

يمكننا القول أن الحركة المعاكسة لا تتعارض مع أي قاعدة أو نظام حول الحركة الذي استنتجناه حتى الآن . (تحدي 651s) .

الصخور لا تصعد أبدا لأن الجبال ، الوديان ، و الصخور مكونة من العديد من الجسيمات . حركات الجمل المكونة من العديد من الجسيمات خاصة في مجال الثيرموديناميك يعرف بالعمليات . و الشيء الأساسي في الثيرموديناميك هو التمييز بين العمليات القابلة للانعكاس ، مثل حركة رمي الحجر ، و العمليات غير القابلة للانعكاس مثل الصخرة سابقة الذكر . العمليات غير القابلة للانعكاس هي تلك العمليات التي يلعب فيها الاحتكاك و تعميماته دورا . والعمليات غير القابلة للانعكاس هي تلك العمليات التي تزيد تقاسم أو مزج الطاقة . و هي مهمة : إذا لم يكن هناك احتكاك ، أزرار للقمصان ، و رباطات للأحذية فإنها لن تثبت و لا يمكننا أن نسير أو نركض (مرجع 308)، و آلات القهوة لن تعمل قهوة ، و ربما الأهم من هذا كله أنه لن يكون لدينا ذاكرة (مجلد IV ، صفحة 158) .

العمليات غير القابلة للانعكاس / غير العكوسة بالمعنى للمصطلح الذي يستخدم في الثيرموديناميك تحول الحركة الماكروسكوبية إلى حركة غير منظمة لكل المكونات الميكروسكوبية الصغيرة الموجودة : وهي تزي\د تقاسم و مزج الطاقة. العمليات غير العكوسة بالتالي هي ليست غير عكوسة بشكل تام و لكن انعكاسها غير محتمل جدا . و يمكننا القول أن الإنتروبي يقيس مقدار عدم العكوسية : وهو يقيس درجة المزج أو التناقص الذي حدث للحركة الكلية .

---

*"كل عبارة حول التعقيدات يمكن تحويلها إلى عبارة حول مكوناتها و إلى تناسبات التي تصف التعقيدات بشكل كامل "

الإنتروبي غير مصون . في الواقع الإنتروبي يمكن أن يظهر من المجهول ، تلقائيا ، لأن تقاسم / تشارك الطاقة أو مزجها يمكن أن يحدث بذاته . مثلا ، عندما يمزج سائلان لهما نفس درجة الحرارة – مثل الماء و حمض الكبريت – فإن درجة حرارة المزيج النهائي يمكن أن تختلف . بشكل مشابه عندما تتدفق التيارات الكهربائية عبر المادة عند درجة حرارة الغرفة فإن الجملة يمكن أن تسخن أو تبرد تبعا للمادة .

كل التجارب حول الحرارة تتفق مع ما يعرف بالمبدأ الثاني في الثيرموديناميك الذي ينص على أن :

- الإنتروبي في جملة مغلقة يميل لأن يصبح أعظميا

في عبارات بسيطة فإن الإنتروبي ليس ما هو عليه . في هذه العبارة ، الجملة المغلقة هي جملة التي لا تتبادل الطاقة أو المادة مع بيئتها . هل يمكنك التفكير بمثال ؟ (تحدي 652s) .

في جملة مغلقة ، الإنتروبي لايتناقص ابدا . حتى أن الحياة اليومية تبين لنا أنه في جملة مغلقة ، مثل غرفة ، فإن الاضطراب يزداد مع الزمن حتى يصل إلى قيمة عظمى ما . و لتخفيض الاضطراب ، فإننا بحاجة لجهد ، أي عمل و طاقة . بمعنى آخر من أجل تخفيض الاضطراب في نظام فإننا بحاجة لوصل النظام إلى مصدر طاقة بطريقة ذكية ما . لهذا السبب فإن البرادات بحاجة لتيار كهربائي أو مصدر طاقة آخر ما .

في عام 1866 بيّن لودفيغ بولتزمان أن المبدا الثاني في الثيرموديناميك ينتج من مبدأ أقل الفعل (المرجع 309)

هل تستطيع تخيل ورسم الأفكار العامة ؟ (تحدي 653 ny) . هل يمكنك تخيل ورسم الأفكار العامة ؟

لأن الإنتروبي لا يتناقص أبدا في الجمل المغلقة ، فإن اللون الأبيض لا يدوم . و عندما يزداد الاضطراب ، فإن اللون الأبيض يصبح متسخا ، عادة بلون رمادي أو بني . ربما لهذا السبب الأشياء البيضاء مثل الملابس البيضاء ، البيوت البيضاء و الملابس الداخلية البيضاء لها قيمة في مجتمعنا . الأجسام البيضاء تقاوم التحلل .

المبدأ الثاني يقتضي أن الحرارة لا يمكن تحويلها لعلم بشكل كامل . بمعنى آخر كل محرك حراري يحتاج لتبريد : وهذا هو سبب وجود الفتحات في مقدمة السيارة . المبدأ الأول في الثيرموديناميك بالتالي ينص على أن الاستطاعة الميكانيكية

للمحرك الحراري هي الفرق بين التدفق الداخل للطاقة الحرارية عند درجة حرارة عالية و التدفق الخارج للطاقة الحرارية عند درجة حرارة منخفضة .

إذا كان التبريد غير كافي مثلا لأن الطقس حار جدا أو أن السيارة بطيئة جدا – فإن استطاعة المحرك تنحفض و كل سائق يعرف هذا من الخبرة .

في الملخص ، مفهوم الإنتروبي ، الموافق لماذ يعرف بالحرارة في الحياة اليومية ولكن ليس ما هو يعرف تقليديا بالمادة . الإنتروبي غير مصون : في جملة مغلقة ، فإن الإنتروبي لا ينقص أبدا ، و لكن يزداد حتى يصل إلى القيمة العظمى . و عدم مصونية الإنتروبي هو ناتج عن العديد من المكونات داخل الجمل اليومية . و العدد الكبير من المكونات يؤدي إلى عدم مصونية الإنتروبي و بالتالي يشرح من بين العديد من الأشياء الأخرى أن العديد من العمليات في الطبيعة لا تحدث للخلف أبدا ، حتى بالرغم من أنها يمكن أن تفعل ذلك من حيث المبدأ .

لماذا لا نستطيع تذكر المستقبل ؟

" إنه نوع ضعيف من الذاكرة الذي يعمل فقط للخلف "

لويس كارول ، أليس في بلاد العجائب

صفحة 40 : عندما ناقشناها لأول مرة ، فإننا تجاهلنا الفرق بين الماضي و المستقبل . و لكن من الواضح أن هناك فرقا ، حيث أننا لا نملك القدرة على تذكر المستقبل . و هذا ليس حدا مفروضا على دماغنا لوحده و لكن كل الأجهزة التي اخترعناها مثل

مسجلات الشرائط ، كاميرات التصوير الفوتوغرافية ، الصحف و الكتب كلها تخبرنا عن الماضي . هل هناك طريقة لصنع مسجل فيديو ذو زر مستقبلي ؟ مثل هذا الجهاز يمكنه حل مشكلة عميقة : كيف سيميز بين المستقبل القريب و البعيد ؟ (تحدي 654 e) و هو لا يحتاج لكثير من التفكير ليرى أن طريقة لفعل هذا تتعارض مع المبدأ الثاني في الثيرموديناميك . وهذا لسوء الحظ ، حيث أنا بحاجة بدقة لنفس الجهاز لنبين أن هناك حركة أسرع من الضوء . هل يمكنك أن تجد الرابط ؟ (تحدي 655 ny) .

في الملخص ، المستقبل لا يمكن تذكره لأن الإنتروبي في الجمل المغلقة يميل باتجاه القيمة العظمى ، و بشكل أكثر بساطة ، الذاكرة توجد لأن الدماغ مكون من العديد من الجسيمات ، وهكذا الدماغ محدود بالماضي . و لكن من أجل أكثر أنواع الحركة بساطة عندما بعض الجسيمات تكونة موجودة فقط ، فإن الفرق بين الماضي و المستقبل يختفي . من أجل الجمل ذات الجسيمات القليلة ، ليس هناك فرق بين الأزمنة الماضية و القادمة . و نحن نقول بأن المستقبل يختلف عن الماضي فقط في دماغنا ، أو بشكل مكافئ فقط بسبب الاحتكاك . و بالتالي الفرق بين الماضي و المستقبل غير مذكور كثيرا في هذه المسيرة ، حتى بالرغم من أنه جزء مهم من الخبرة الإنسانية . و لكن المتعة في المغامرة الحالية هي بدقة التغلب على محدودياتنا .

تدفق الإنتروبي

نحن نعلم من الخبرة اليومية أن نقل كمية شاملة دئاما يتضم احتكاك . الاحتكاك يقتضي توليد الإنتروبي ، و بشكل خاص تدفق الإنتروبي نفسه ينتج إنتروبي إضافي . مثلا عندما يسخن بيت ، ينتج إنتروبي في الجدار . التسخين يعني إبقاء فرق درجة الحرارة ΔT بين داخل و خارج البيت . و تدفق الحرارة J الذي يعبر متر مربع من الجدار يعطى بالشكل :

$$J = \kappa \Delta T = \kappa (T_i - T_e) \qquad (120)$$

حيث k ثابت يميز مقدرة الجدار على نقل الحرارة . وبينما يتم نقل الحرارة ، فإن الجدار أيضا ينتج إنتروبي ، و إنتاج الإنتروبي σ متناسب مع الفرق بين تدفقي الإنتروبي للداخل و الخارج . و بمعنى آخر ، يكون لدينا

$$\sigma = \frac{J}{T_e} - \frac{J}{T_i} = \kappa \frac{(T_i - T_e)^2}{T_i T_e} . \qquad (121)$$

لاحظ أننا افترضنا في هذا الحساب أن كل شيء قرب الاتزان في كل شريحة متوازية من الجدار ، و هذا افتراض مقبول في الحياة اليومية .

و الحالة النوعية لجدار جيد يملك $k = 1\ W/m^2K$ في مجال درجة الحرارة بين في مجال درجة الحرارة بين & 373 K 292 K . حيث يحصل المرء على إنتاج الإنتروبي البالغ

$$\sigma = 5 \cdot 10^{-3}\ W/m^2K . \qquad (122)$$

هل يمكنك مقارنة مقدار الإنتروبي المنتج في تدفق مع المقدار المنقول ؟ (تحدي 656ny) بالمقارنة ، فإن ريش البجعة الجيد يملك $k = 1.5\ W/m^2K$ ، الذي يسمى في المتاجر بـالملابس 15 * .

إن استطاعة العزل للمواد عادة تقاس بثابت $\lambda = kd$ الذي هو مستقل عن السماكة d لطبقة العزل . و القيم في الطبيعة تتراوح من حوالي 2000 W/K من أجل الألماس ، الذي هو أفضل ناقل على الإطلاق ، حتى بين 0.2 & 0.1 W/K للخشب و بين 0.05W/K & 0.015 من أجل الصوف ، القلين و الرغويات ، و قيمة صغيرة تساوي 5.10^{-3} W/K من أجل غاز الكريبتون .

الإ،تروبي يمكن أن ينقل في ثلاثة طرق : عن طريق النقل الحراري ، كما ذكرنا للتو ،عن طريق التصعيد المستخدم لتدفئة المنازل ، و عن طريق الإشعاع ، الممكن أيضا عن طريق فراغ الإنتروبي . مثلا ، الأرض تشع حوالي 1.2 W/m^2 K في الفضاء ، و إجمالا حوالي 0.51 PW/ K . الإنتروبي تقريبا هو نفس الذي تتلقاه الأرض من الشمس . إذا كان سيتم إشعاع مزيد من الإنتروبي أكثر مما يستقبل ، فإن درجة حرارة سطح الأرض ستزداد . هذا يسمى بتأثير البيت الزجاجي أو الدفيئة الأرضية . لنأمل أن يبقى هذا صغيرا في المستبل القريب .

هل الجمل المعزولة موجودة ؟

في كل مناقشاتنا حتى الآن ، فلقد افترضنا أنه بإمكاننا تمييز الجملة قيد الدرس عن بيئتها و لكن هل مثل هذه الجمل المعزولة أو المغلقة أي الجمل التي لا تتبادل التأثير مع بيئتها موجودة فعلا ؟

ربما إن حالتنا البشرية كانت النموذج الأصلي للمفهوم : نحن نختبر إمكانية العمل بشكل مستقل لبيئتنا . و إن الجملة المعزولة يمكن أن تعرف ببساطة بأنها جملة لا تتبادل أي طاقة أو مادة مع بيئتها ، و للعديد من القرون ، لم ير العلماء أي سبب للتساؤل عن هذا التعريف .

إن مفهوم الجملة المعزولة يجب أن يدقق بعض الشيء مع حلول ميكانيك الكم . على أن مفهوم الجملة المعزولة يعطي أوصاف مفيدة و دقيقة للطبيعة التي أيضا هي في نطاق الكم ، إذا تم استخدام بعض الحذر . و فقط في الجزء الأخير من مسيرتنا سيتغير الوضع بشكل كبير . و هناك دراسة فيما إذا كان الكون جملة معزولة سيؤدي إلى نتائج مدهشة (ماذا تعتقد ؟ (تحدي 657s) . ملاحظة غريبة : إجابتك في الأغلب بالتأكيد خاطئة) سوف نسير أولى الخطوات باتجاه الجواب قريبا .

فضول و تحديات مرحة حول العكوسية و الحرارة

إن الجري للخلف هو رياضة ممتعة . الرقم القياسي العالمي في عام 2006 للجري للخلف يمكن أن يوجد من www.recordholders.org-list-backwards-running.html و ستندهش كيف أن هذه الأرقام القياسية هي أسرع من أفضل جري شخصي للأمام (تحدي 658 e) .

واحدة الملابس ليست سيئة كواحدة رسمية (ليست مزحة) حيث يستخدم BthU.h/sqft/cm/°F في بعض المقاطعات النائية من مجرتنا

* *

مرجع 312 : في عام 1912 لاحظ إميل بوريل أنه إذا أزيح غرام من المادة على كوكب سيريوس بمقدار سنتمتر واحد ، فإنه سيغير حقل الجاذبية على الأرض بقيمة صغيرة فقط . لكن هذا التغير الصغير سيكون كافيا ليجعل من المستحيل حساب مسار الجزيئات في غاز بعد احتكاك لمدة ثانية .

* *

إذا كانت الحرارة فعلا تؤدي لاضطراب الذرات ، تظهر مشكلة كبيرة . عندما تصطدم ذرتين معا ، في لحظة أصغر مساقة ،

لا تملك أي منهما سرعة . أين تذهب الطاقة الحركية ؟ من الواضح أنها تتحول إلى طاقة كامنة . و لكن هذا يقتضي أن الذرات ستتشوه . و أن لها بنية داخلية ، و أنها تملك أجزاء ، و بالتالي يمكن من حيث المبدأ أن تنقسم . وباختصار ، إذا كانت الحرارة تؤدي لاضطراب الحركة الذرية ، فإن الذرات لا تكون قابلة للانقسام . في القرن التاسع عشر هذه المقولة طرحت من أجل بيان أ، الحرارة لا يمكن أن تكون حركة ذرية ولكن يجب أن تكون نوع من مائع . و لكن نظرا لأننا نعرف أن الحرارة فعلا هي طاقة حركية ،فإن الذرات يجب أن تكون قابلة للانقسام ، حتى بالرغم من أن اسمها يعني غير قابلة للانقسام . و نحن لسنا بحاجة لتجربة مكلفة لبيان هذا .

سوف نكتشف المزيد عن ذلك لاحقا في دراستنا (المجلد IV ، صفحة 78).

* *

انضغاط الهواء يزيد من درجة حرارته . هذا مبين مباشرة بمضخة الحريق ، وهي شكل من مضخة الدراجة المبينة في الشكل 281 (من أجل مثال عمل ، أنظر صفحة الإنترنت www.de-monstrare.nl) و إن رأس كبريت في أسفل مضخة الهواء مكون من مادة شفافة من السهل إشعاله بضغط الهواء فوقه . و درجة حرارة الهواء بعد الانضغاط تكون عالية جدا بحيث أن الكبريت يشتعل تلقائيا .

* *

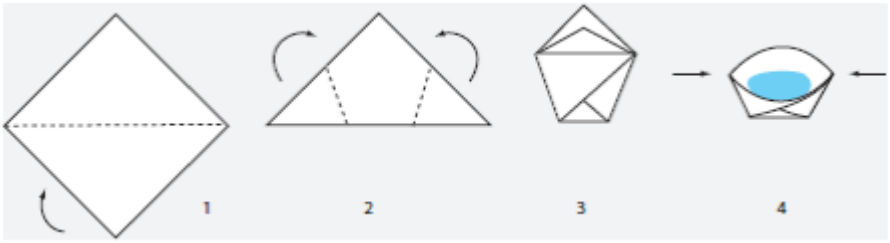
في الصيف درجة حرارة الهواء يمكن أن تقاس بواسطة ساعة ، في الحقيقة معدل الصفير لأكثر صراصير الليل يعتمد على درجة الحرارة . مثلا من أجل أكثر أنواع صراصير الليل شيوعا في الولايات المتحدة (المرجع 310) فإنه بعد عدد الصفرات خلال ثمانية ثواني و إضافة أربعة نحصل على درجة حرارة الهواء بالدرجات المئوية .

* *

كم يستغرق طهو بيضة ؟ هذه القضية قد تم البحث فيها بتفصيل وساع ، بالطبع الزمن يعتمد على نوع البيضة المطهوة التي تريدها ، كبر البيضة و فيما إذا كانت آتية من البراد أو لا . و هناك حتى علاقة لحساب زمن الطهو ! (المرجع 311) البيض أثناء بدئه في التصلب عند درجة الحرارة 62 درجة مئوية ، فإن المح (الصفار) يتصلب عند 65°C . أفضل طعم بيض مسلوق قياسي يتم عند 69 °C و المسلوق الرخو (الطري / برشت) عند 63 °C . إذا طهوت البيض عند 100 °C (لفترة طويلة) فإن البياض سيملك قوام المطاط و المح سيصبح سطحه أخضر و رائحته سيئة ، لأن درجة الحرارة العالية تؤدي إلى تشكيل H_2S كريه الرائحة و الذي يتحد مع الحديد و يشكل FeS الأخضر . لاحظ أنه عندما يتم التحكم بدرجة الحرارة ، الزمن لا يلعب أي دور ، الظهور للبيض يكون عند 65°C لمدة عشر دقائق أو عشر ساعات يعطي نفس النتيجة

*

من الممكن طهو بيضة بحيث أن البياض يكون قاسي و المح يبقى سائل . هل يمكنك تحقيق العكس ؟ (تحدي 659s) البحث يبين حتى كيف يمكنك طهو البيض بحيث يبقى المح في المركز . هل تتخيل الطريقة ؟ (تحدي 660 e) .



الشكل 283 هل تستطيع غلي الماء في هذا الكأس الورقي ؟

* *

ليس فقط الغازات و لكن أيضا أكثر المواد تتمدد عندما ترتفع درجة الحرارة .بالنتيجة ، الأسلاك الكهربائية التي تحملها الأعمدة و الأبراج تتمدد فتصبح أخفض في الصيف عما هو عليه في الشتاء . هل هذا صحيح ؟ (تحدي 661s)

* *

(مرجع 313) فيما يلي مسألة شهيرة طرحت من قبل فيرمي . بمعرفة أن الجسم الشبري يبرد في خلال أربع ساعات بعد الموت ، ما هو العدد الأصغري من الحريرات اللازمة باليوم في طعامنا ؟ (تحدي 662ny)

* *

الطاقة المحتواة في الحركة الحرارية مهملة . مثلا رصاصة بوزن غرام واحد تسير بسرعة الصوت لها طاقة حركية فقط 0.04 kJ =0.01 kcal . ما هو محتواها من الطاقة الحرارية ؟

* *

كيف يعمل بالون / منطاد نوعي بالهواء الساخن حجمه $1500\ m^3$ ؟ (تحدي 664s)

* *

إذا كنت لا تحب هذا الكتاب ، هاهنا اقارح لك . يمكنك استخدام الورق لصنع كاس كالمبين في الشكل 283 و تغلي الماء في لهب مباشر ولكن لتنجح عليك أن تكون حذرا بعض الشيء . هل يمكنك إيجاد ما هي الطريقة ؟ (تحدي 665s)

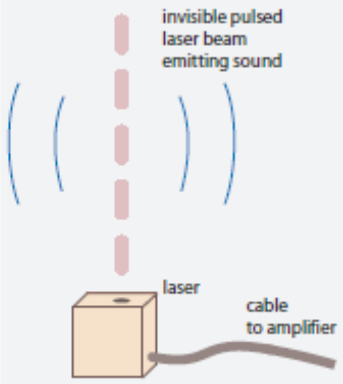
* *

مزج كيلو غرام واحد من الماء عند 0°C و كيلو غرام من الماء عند 100 °C يعطي كيلوغرامين من الماء عند 50 °C . ما هي نتيجة مزج كيلو غرام من الجليد عند 0°C و كيلو غرام من الماء عند 100°C ؟ (تحدي 666s)

* *

درجة الحرارة لها الكثير من التأثيرات . في السنوات الماضية ، وجدت منظمة الصحة العالمية أن تناول سوائل بدرجة حرارة أعلى من 65 °C بما فيها القهوة ، الشكوكولا أو الشاي يسب السرطان في المرئ بشكل مستقل عن نوع السائل

* *



الشكل 284 السماعة غير المرئية

مرجع 314 : إن أعلى درجة حرارة هواء مسجلة التي بقي فيها الإنسان حيا هي 127 °C و هذا اختبر في عام 1755 في لندن من قبل سكرتبر الجمعية الملكية ، تشارلز بلاجدين ، مع بعض أصدقائه ، و الذين بقوا في درجة الحرارة تلك لمدة 45 دقيقة . ومن المدهش أن شريحة اللحم النيئة التي كانت معهم قد طهيت (بشكل جيد) عندما غادر هو و أصدقاؤه الغرفة

ما هو الشرط الذي تم تحقيقه بدقة من أجل تجنب ظهر الناس بنفس طريقة اللحم ؟ (تحدي 667s)

* *

هل ثابت بولتزمان k هو فعلا أصغر قيمة ممكنة للإنتروبي في الطبيعة ؟ كيف بالتالي يمكن للإنتروبي لكل جزيئة من الكريبتون أن يكون منخفضا حتى 0.3 لكل جسيم ؟ الجواب على هذه المتناقضة هو أن الجسيم الحر الوحيد له إنتروبي أكثر في الحقيقة أكثر من k ، أكثر من المقيد ؟ و حد الإنتروبي k صالح بالتالي لجملة فيزيائية مثل البلورة ككل ، و لكن ليس بشكل منفصل للإنتروبي من أجل كل جسيم مقيد الذي هو جزء من الجملة .

* *

الفلكي البارز أندريس سيلزيوس (ولد في أوبسالا عام 1701 و توفي فيها في 1744) أصلا حدد نقطة تجمد الماء بأنها 100 درجة و نقطة الغليان صفر درجة . و بعد وقت قصير من ذلك تم عكس المقياس بالشكل الذي نستخدمه الآن . و لكن هذا ليس كل القصة (المرجع 315) . بتعريف رسمي لكيلفن و الدرجة سيلزيوس ، في الضغط المعياري البالغ 101 325 Pa يغلي الماء عند 99.874 °C . هل يمكنك تفسير لماذا لا يحدث هذا عند 100 °C بعد الآن ؟ (تحدي 668s)

* *

هل يمكنك ملء زجاجة تماما بـ 1 ± 10^{-30} kg من الماء ؟

* *

إن غرام واحد من الدسم ، سواء كان زبدة أو دهن بشري ، يتألف من 38kJ من الطاقة الكيماوية (أو بواحدات قديمة الأكثر شيوعا لدى علماء التغذية 9 kcal) . وهذه نفس قيمة البترول ؟ لماذا الناس و الزبدة أقل خطرا من البرتول ؟ (تحدي 670s)

* *

في عام 1992 اخترع الفيزيائي الهولندي مارتن فان دير مارك سماعة التي تعمل بتسخين الهواء بواسطة حظمة ليزر. وقد أظهر أنه بواسطة طول موجة مناسب و بتعديل مناسب للشدة فإن حزمة الليزر في الهواء يمكن أن تولد صوتا . و التأثير في أساس هذا الجهاز يعرف بالأثر الضوئي الصوتي و يظهر في العديد من المواد . إن أفضل طول موجة ليزر للهواء هو في المجال تحت الأحمر ، في أحد خطوط الامتصاص القليلة لبخار الماء . بمعنى آخر ، إن حزمة الليزر تحت الحمراء المعدلة بشكل مناسب التي تشع عبر الهواء تولد صوت و مثل هذا الضوء يمكن أن يصدر من ليزر نصف ناقل بحجم علبة الكبريت الصغيرة المخفية في سقف و التي تشع لأسفل . و الصوت يصدر في كل الاتجاهات المتعامدة مع الحزمة و نظرا

لأن ضوء الليزر تحت الأحمر ليس (عادة) مرئيا فإن مارتن فان دير مارك اخترع بالتالي سماعة غير مرئية و لسءو الحظ مردود الأشكال الحالية منها ما يزال منخفضا ، بحيث أن استطاعة السماعة ليست كافية للتطبيقات العملية . و التقدم في تكنولوجيا الليزر يمكن أن يحدث تغير في هذا بحيث أنه في المستقبل سنكون قادين على سماع صوت صادر عن مركز غرفة فارغة .

* *

سؤال امتحاني شهير : كيف يمكنك قياس ارتفاع بناء بواسطة بارومتر ، حبل و مسطرة ؟ أوجد ست طرق ممكنة (تحدي 671s) .

* *

ما هو الاحتمال التقريبي أن واحدا من مليون رمية لقطعة نقدية ستحصل فيها على 500 000 طرة تماما و عدد من النقوش ؟ (تحدي 672s) هل تريد استخدام علاقة ستيرلنج $\sqrt{2\pi n}(n/e)^n n! \approx$ لحساب النتيجة * (تحدي 672s)

* *

هل هناك معنى للحديث عن الإنتروبي في الكون؟ (تحدي 673s)

* *

هل يمكن لمنطاد هليوم أن يرفع خزان مملوء به ؟ (تحدي 674 ny)

* *

كل عمليات الاحتكاك مثل الحلول ، الانتشار ، التبخر ، أو التحلل بطيئة . و هي تأخذ زمنا مميزا . ينتج أن أي عملية (ماكروسكوبية) ذات مقياس زمني هي عكوسة . و هذا ليس مدهش : حيث أننا نعلم حدسا أن عدم فعل الأشياء يستغرق أطول من فعلها و هذا ثانية هو المبدأ الثاني في الثيرموديناميك .

* *

ينتج أن تخزين المعلومات ممكن بتوليد إنتروبي مهمل . لكن مسح المعلومات يتطلب إنتروبي . (المرجع 316) و هذا هو السبب الأساسي لماذا الحواسب و أيضا الأدمغة تحتاج مصادر طاقة و أنظمة تبريد حتى إذا كانت آلياتها لا تحتاج لطاقة على الإطلاق .

هنلك العديد من التحسينات في علاقة ستيرلنج . العلاقة البسيطة هي علاقة جاسبر $\sqrt{(2n+1/3)\pi}(n/e)^n n! \approx$

العلاقة الأخرى $\sqrt{2\pi n}(n/e)^n e^{1/(12n+1)} < n! < \sqrt{2\pi n}(n/e)^n e^{1/(12n)}$

* *

عند مزج روم ساخن وماء بارد ، كيف تكون الزيادة في الإنتروبي الناتجة عن المزيج مقارنة مع زيادة الإنتروبي الناتجة عن فرق درجة الحرارة ؟ (تحدي 675 ny) .

* *

لماذا ليس هناك أي بشر صغار ، مثلا بحجم 10 mm كما في قصص الجنيات ؟ في الحقيقة ليس هناك حيوانات دم حار بهذا الحجم على الإطلاق . لماذا لا ؟ (تحدي 676s)

* *

إن إضاءة جسم بوضء و التبديل المتكرر بين التشغيل و الإطفاء ينتج صوتا . هذا يمسة بالتأثير الضوئي الصوتي و هو ناتج عن التمدد الحراري للمادة . و بتغيير تردد الضوء ، و قياس شدة الضجيج ، يمكن للمرء أن يتبين الطيف الضوئي الصوتي المميز للمادة . وهذه الطريقة تسمح لنا بكشف تراكيز الغاز الصادر عن النباتات . النباتات تصدر الميتان ، الكحول و الأسيتيا ألدهيد بكميات صغيرة ، الأثر الضوئئ الصوتي يمكن أن يكشف هذه الغازات و يساعدنا في فهم العمليات وراء الانبعاث .

* *

ما هو تقريبا احتمال أن كل جزيئات الأكسجين في الهواء ستتحرك بعيدا عن مدينة معينة لبضع دقائق مما يقتل كل سكانها ؟

(تحدي 677 ny)

* *

إذا صببت لترا من الماء في البحر وحركته كل المحيطات و بعدها أخذت لترا من المزيج كم من الذرات الأصلية ستجد ؟

(تحدي 677 ny)

* *

كم الفترة التي تستطيع بها التنفس في غرفة أنت فيها إذا كانت كتيمة بالنسبة للهواء ؟ (تحدي 679s)

* *

ضياع الحرارة هو مشكلة أكبر من أجل الحزيانات الصغيرة ، لأن نسبة السطح إلى الحجم تزداد عندما يتناقص الحجم و بالنتيجة ، الحيوانت الصغيرة توجد في المناخ الحار ، الحيوانات الكبيرة توجد في المناخ البارد . وهذا صحيح من أجل الدببة ، الطيور ، الأرانب ، الحشرات و العديد من عائلات الحيوانات . لنفس السبب ، الأحياء الصغيرة تحتاج كميات عالية من الغذاء باليوم عندما يحسب لوزن الجسم ، بينما الحيوانات الكبيرة تحتاج غذاء أقل بكثير .

* *

ما الذي يحدث إذا وضعت بعض الرماد على قطعة من السكر و أضرمت النار فيها ؟ (تحذير هذا خطر و ليس للأطفال)

(تحدي 680s)

* *

حسابات الإنتروبي غالبا مدهشة . من أجل جملة من N جسيم كل منها ذو حالتين لدينا $W_{all} = 2^N$ حالة . من أجل التشكيل الأكثر احتمالا لهذه الجملة ذو تماما نصف الجسيمات ذات حالة واحدة ، و النصف الآخر في الحالة الأخرى لدينا W_{max} = الآن من أجل جملة ماكروسكوبيةمن الجسيمات ، يمكن أن يكون لدينا نوعيا $N = 10^{24}$ وهذا يعطي $W_{all} >> W_{max}$ في الحقيقة الأول هو أكبر بمقدار 10^{12} مرة من الأخير . من ناحية أخرى ،

نجد أن $\ln W_{all}$ و $\ln W_{max}$ (تحدي 681 ny) يتفقان في أول عشرين خانة وحتى بالرغم من أن التشكيل ذو نصف الجسيمات تماما في كل حالة هو أكثر ندرة بكثير من الحالة العامة حيث يسمح للنسبة بالتغير ،و ينتج أن الإنتروبي نفسه . لماذا ؟ (تحدي 682 ny) .

* *

إذا كانت الحرارة ناتجة عن حركة ذرات ، فإن إحساساتنا الداخلية بالحرارة و البرودة هي ببساطة كواشف للحركة . كيف يمكن أن تعمل ؟ (تحدي 683 ny) .

بالمناسبة أحاسيس الشم و الذوق يمكن أيضا أن تعتبر كواشف للحركة ، حيث أن إشارة وجود الجزيئات تطير في الهواء أو في السوائل . هل توافق على ذلك ؟ (تحدي 684 ny)

* *

القمر يملك جوا ، بالرغم من أنه رقيق جدا ، فإنه مكون من الصوديوم و البوتاسيوم . و هذا الجز تم كشف أنه مكون من تسعة أنصاف أقطار قمرية عن سطحه . جو القمر يتولد عند السطح بواسطة أشعة تحت حمراء من الشمس . هل يمكنك تقدير كثافة الجو القمري؟

(تحدي 685s)

* *

هل من المجدي إضافة سطر في الجدول 43 من أجل مقدار الفعل الفيزيائي ؟ عامود ؟ لماذا ؟ (تحدي 686ny)

* *

الانتشار يعطي مقياس الطول . مثلا الحشرات تأخذ الأكسجين عبر جلدها . و بالنتيجة داخل أجسامها لايمكن أن يكون بعيدا جدا عن سطحها بأكثر من سنتمتر . هل يمكن أن تورد بعض مقاييس الطول الأخرى في الطبيعة التي تقتضيها عمليات الانتشار ؟ (تحدي 687s)

* *

رفع الهواء الساخن هو سبب أن العديد من الحشرات توجد في الغيوم العالية في المساء . العديد من الحشرات خاصة التي تبحث عن الدم في الحيوانات تجذب للهواء الدافئ و الرطب .

* *

مقاييس الحرارة الزئبقية يمكن أن تصل إلى 750 °C كم هذا ممكن إذا علمنا أن الزئبق يغلي في 357 °C ؟

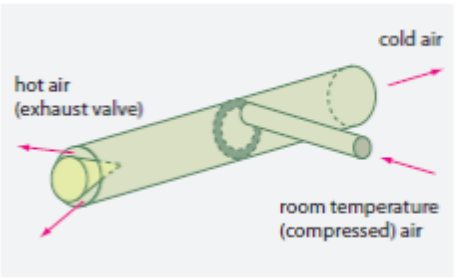
(تحدي 688s)

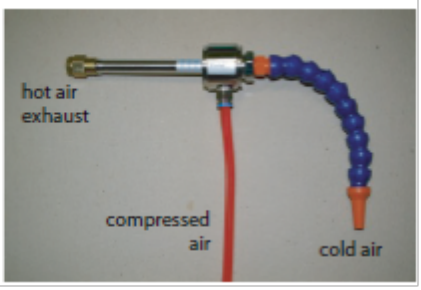
* *

كيف يبدو القنديل المشتعل في شروط انعدام الوزن ؟ (تحدي 689s)

* *

من الممكن بناء محطة طاقة ببناء مدخنة كبيرة بحيث أن الهواء المسخن بواسطة الشمس يتدفق للأعلى فيها و تشغل عنفة أثناء عملها ذلك . و أيضا من الممكن صنع محطة طاقة ببناء أنبوب شاقولي طويل ، وجعل الغاز مثل الأمونيا يرتفع فيها والذي بالتالي يتحول إلى سائل في الأعلى بواسطة درجات الحرارة المنخفضة في الغلاف الجوي العلوي وعندما يهبط ثانية في أنبوب ثان كسائل – تماما مثل المطر – فإنه يشغل عنفة . لماذا مثل هذه الأنظمة التي هي تقريبا بدون تلوث تماما لم تستخدم بعد ؟(تحدي 690s)





الشكل 285 تصميم أنبوب دوامة Wirbelrohr أو Ranque –Hilsch و شكل تجاري له بقياس 40 cm تقريبا يستخدم لتبريد عمليات التصنيع

* *

إحدى الأجهزة الأكثر إدهاشا المخترعة حتى الآن هي أنبوب دوامة Wirbelrohr أو Ranque –Hilsch و بضخ هواء مضغوط عند درجة حرارة الغرفة فيه عند منتصفه ، فإن تدفقين من الهواء يتشكلان في نهايته . أحدهما بارد جدا و الذي يصل بسهولة إلى °C 50- و الثاني حار جدا يصل إلى °C 200 . و لا يوجد أجزاء متحركة و لا أجهزة تسخين داخله .

كيف يعمل ؟ (تحدي 691s)

* *

المحركات الحرارية الصوتية ، المضخات و البرادات تعطي العديد من التطبيقات الغريبة الرائعة في الحرارة . مثلا من الممكن استخدام صوت عالي في حجرات معدنية مغلقة لتحريك الحرارة من مكان بارد إلى ساخن .ومثل هذه الأجهزة تملك القليل من الأجزاء المتحركة و يتم دراستها بأمل إيجاد تطبيقات عملية في المستقبل . (المرجع 317)

* *

هل الجملة المغلقة ذات الجسيمات القليلة تتعارض مع المبدأ الثاني في الثيرموديناميك ؟ (تحدي 692s)

* *

ما الذي يحدث للإنتروبي عندما يتم أخذ الجاذبية بالحسبان ؟ نحن نترك الجاذبية بحذر خارج مناقشتنا . في الحقيقة الجاذبية تؤدي للعديد من المشاكل الجديدة – فقط حاول التفكير بالقضية . مثلا ، جاكوب بيكنشتاين اكتشف أن المادة تصل لأعلى إنتروبي ممكن لها عندما تشكل ثقبا أسود . هل يمكنك إثبات هذا ؟ (تحدي 693s)

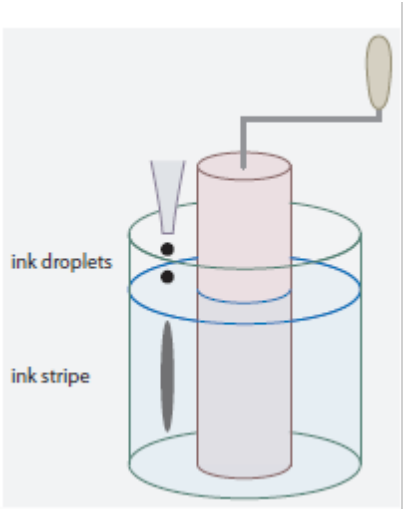
* *

القيم العددية – لكن ليس الواحدات – لثابت بولتزمان $k = 1.38 .10^{-23}$ J/K و التشكيل h/ce حيث h ثابت بلانك ، c سرعة الضوء و e شحنة الإلكترون – تتفق في أسها و في أول ثلاثة أرقام . كيف يمكنك القول بأن هذا مجرد مصادفة ؟ (تحدي 694s)

* *

المزج لا يتم دائما بسهولة . تجربة الشكل 286 تعطي نتائج مختلفة بشكل كامل بواسطة الماء و الغليسيرين . هل يمكنك تخمينها ؟(تحدي 695s)

* *



الشكل 286 ما الذي يحدث لنقاط الحبر إذا دورت الأسطوانة الداخلية بضع دقائق في اتجاه و بعدها دورت للخلف بنفس الفترة ؟

* *

كيف يمكنك التخلص من العلكة الملتصقة بالملابس ؟ (تحدي 696s)

* *

بمعرفة أن الهواء يتكون من جزيئات فقد حسب ماكسويل أن كل جسيم يعمل 8 077 200 000 اصطدام بالثانية . كيف وجد هذا ؟ (تحدي 697ny)

* *

الحركة المستمرة من النوع الثاني ، هي آلة تحول الحرارة إلى حركة بدون استخدام حمام ثاني أبرد . و يقتضي الإنتروبي أن مثل هذا الجهاز غير موجود . هل يمكنك تبيان هذا ؟ (تحدي 698ny)

* *

هناك حجج أقل انتشارا تثبت وجود الذرات . في الحقيقة اثنتين من الملاحظات اليومية تثبت وجود الذرات : التكاثر و الذاكرة .لماذا ؟ (تحدي 699ny) .

* *

في سياق الليزرات و جمل البرم ، من الممتع الحديث عن درجة الحرارة السالبة . لماذا هذا ليس معقولا فعلا ؟ (تحدي 700s)

* *

ملخص فهم الحرارة و الثبات الزمني

الحركة الميكروسكوبية الناتجة عن الجاذبية و تبادلات التأثير الكهربائية وب التالي كل الحركة الميكروسكوبية في الحياة اليومية ، هي عكوسة : مثل هذه الحركة يمكن أن تحدث للخلف في الزمن . بمعنى آخر الحركة الناتجة عن الجاذبية و الكهرطيسية هي متناظرة تحت عكوسية الحركة أو كما يبين غالبا تحت عكوسية الزمن .

على أن كل حركة هي غير عكوسة لأنه ليس هناك جمل مغلقة بشكل كامل في الحياة اليومية . إن عدم وجود الإغلاق ، التذبذبات يؤدي إلى احتكاك . و بشكل مكافئ عدم قابلية الانعكاس ينتج من الاحتمال المنخفض جدا لعكوسية الحركة في الجمل العديد الجسيمات . العكوسية الماكروسكوبية لا تتناقض مع العكوسي الميكروسكوبية .

لهذه الأسباب في الحياة اليومية ، الإنتروبي في الجمل المغلقة لا يتناقص أبدا . و هذا يؤدي إلى قضية شهيرة : كيف يمكن توفيق التطور البيولوجي مع زيادة الإنتروبي ؟ لنلقي نظرة .

الفصل الرابع عشر

التنظيم الذاتي و العشوائية – بساطة التعقيد

" الحديث عن الفيزياء غير الخطية هو مثل الطلب من علم الحيوان دراسة الحيوانات التي ليست فيلة "

ستانيسلاف أولام

المرجع 318

(صفحة 241) في قائمتنا للأوصاف العامة للحركة فإن دراسة التنظيم الذاتي تقع في الأعلى . و التنظيم الذاتي هو ظهور الترتيب و النظام . في الفيزياء النظام هو مصطلح يتضمن الأشكال ، مثل التناظر المعقد لندف الثلج ، النماذج (المرجع 319) ، مثل خطوط حمر الوحش و التموجات على الرمل والدورات مثل تشكيل الصوت أثناء الغناء . وعندما ننظر حولنا فإننا نلاحظ أن كل مثال لما نسميه الجمال هو تشكيل من الأشكال ، النماذج و الدورات . (هل توافق ؟) (تحدي 701s) . إن التنظيم الذاتي يمكن بالتالي أن يسمى دراسة اصل الجمال . يبين الجدول 50 تكرار ظهور الأشكال المنتظمة في بيئتنا .

الجدول 50 بعض الإيقاعات ، النماذج و الأشكال الملاحظة في الطبيعة

القياس	القوة القائدة	القوة المستعيدة	نوع المقياس
بصمة الإصبع	تفاعلات كيماوية	انتشار	0.1mm
تكة الساعة	الوزن الساقط	احتكاك	1s
صرير الطباشير بسبب عدم استقرار الالتصاق - الانزلاق	الحركة	احتكاك	600 Hz
توليد النوطة الموسيقية في الكمان	حركة القوس	الاحتكاك	600 Hz
توليد النوطة الموسيقية في الفلوت	تدفق الهواء	الدوامية	400 Hz

اهتزازات القطار العرضانية بالنسبة للخط	الحركة	احتاك	0.3 Hz
بنى التدفق في الشلالات و النوافير	تدفق الماء	الدوامية	10 cm
الانفصال المتقلب لشريط لاصق	سرعة السحب	احتكاك اللصق	0.1 Hz
اهتزازات قطرية في السباجيتي و إنتاج ألياف البوليمير	سرعة البثق	احتكاك	10 cm
النماذج على الصفائح المعدنية المقوسة و الرقائق	تشوه	صلابة	يعتمد على الثخن

الجدول 50 (تابع) بعض الإيقاعات ، النماذج و الأشكال الملحوظة في الطبيعة

القياس	القوة القائدة	القوة المستعيدة	نوع المقياس
خفقان العلم في الريح الثابتة	تدفق الهواء	الصلابة	20 cm
تنقيط الماء من صنبور ماء	تدفق الماء	توتر سطحي	1 Hz
جريان الفقاعات من عدم انتظام زجاجة بيرة	ضغط الغاز المنحل	التوتر السطحي	0.1 Hz , 1 mm
عدم استقرار رايليه – بينارد	تدرج درجة الحرارة	انتشار	0.1 Hz , 1 mm
تدفق كويت – تايلور	تدرج السرعة	الاحتكاك	0.1 Hz , 1 mm
توليد أمواج البحر بتدفق بينارد – مارغونول	توتر سطحي	لزوجة	0.1 Hz , 1 mm
آثار كارمان ، بقع إيمون ، تدفق أوزبورن رينولدز	كمية الحركة	اللزوجة	من ميلي متر إلى كيلو متر
الانفجارات المنتظمة في أنابيب عادم السيارة	التدفق	تجاوبات الضغط	0.3 Hz
ترتيبات الغيوم المنتظمة	التدفق	الانتشار	0.5 km
النينو	التدفق	الانتشار	5-7 سنوات
أقواس النبيذ على جدران الزجاج	التوتر السطحي	المزيج الثنائي	0.1 Hz , 1 mm
أسطح الموائع الحديدية في الحقول المغناطيسية	الطاقة المغناطيسية	الجاذبية	3mm
النماذج في البلورات السائلة	الطاقة الكهربائية	الإجهاد	3mm , 1s
خفقان الأضواء المتوهجة القديمة	تدفق الإلكترونات	الانتشار	1 Hz
عدم الاستقرار السطحي للحام	تدفق الإلكترونات	الانتشار	1 cm

عدم استقرار بلازما توكاماك	تدفق الإلكترونات	الانتشار	10s
تشكيل ندفة الثلج و عمليات النمو الأخرى الشجرية / التفرعية	تدرج التركيز	الانتشار السطحي	10 μm
نماذج سطح فصل التصلب مثلا في CBr_4	تدفق الإنتروبي	التوتر السطحي	1mm
الطبقات الدورية في تآكل المعدن	تدرجات التركيز	الانتشار	10 μm
تصلب الفولاذ بالعمل البارد	الانفعال	حركة الانخلاع	5 μm
بنى المتاهة في المعادن المشععة بالبروتون	تدفق الجسيمات	حركة الانخلاع	5 μm
نماذج في خلائط / سبائك كادميوم – سيلينيوم Se-Cd مشععة بالليزر	تشعيع ليزري	انتشار	50 μm

الجدول 50 (تابع) بعض الإيقاعات ، النماذج و الأشكال الملحوظة في الطبيعة

القياس	**القوة القائدة**	**القوة المستعيدة**	**نوع المقياس**
نماذج الانخلاع وكثافة الاهتزازات في بلورات نحاس وحيدة معرضة للتعب	الانفعال	حركة الانخلاع	10 μm , 100s
إصدار ضوء الليزر ، دوراته / نوباته و أنظمته العشوائية	طاقة الضخ	ضياعات الضوء	10 ps – 10 ms
نماذج الدوران من ضوء الليزر الساطع على سطح إلكتروليتات معينة	طاقة الضوء	الانتشار	1mm
نماذج تفاعل Belousov-Zhabottinski و دوراته	تدرجات التركيز	الانتشار	1 mm , 10 s
خفقان شمعة تحترق	الحرارة و تدرجات التركيز	الانتشار الحراري و انتشار المادة	0.1 s
تتابع منتظم للهب الساخن و البارد في احتراق الكربوهيدرات	الحرارة و تدرجات التركيز	الانتشار الحراري و انتشار المادة	1 cm
صفرة التلقيم الراجع من ميكروفرون إلى سماعة	مضخمات	ضياعات كهربائية	1 kHz
أي هزاز إلكتروني / مذبذب في جهاز راديو ، تلفاز ، حاسب ، هاتف نقال ...الخ	تغذية	ضياعات مقاومة	1 kHz -30 GHz

انبعاثات المياه الساخنة الجوفية الدورية	التسخين تحت الأرض	التبخر	10 min
الزلازل الدورية عند صدوع معينة	الحركة التكتونية	التمزقات	1 Ms
النماذج السداسية الأضلاع في الصخور البازلتية	التسخين	الانتشار الحراري	1m
النماذج السداسية الأضلاع في التربة الجافة	تغيرات درجة الحرارة المنتظمة	انتشار الماء	0.5m
تغيرات الشدة الدورية للنجوم المتغيرة و النجوم الأخرى	الاندماج النووي	إصدار الطاقة	3 Ms
خلايا الحمل الحراري على سطح الشمس	الاندماج النووي	إصدار الطاقة	1000 km
تشكل و تذبذبات الحقل المغناطيسي للأرض و الأجسام الكوكبية الأخرى	فصل الشحنة بسبب الحمل الحراري و الاحتكاك	الضياعات المقاومة	100 ka
انتقال التجعد / التغضن	الانفعال	الصلابة	1 mm

الجدول 50 (تابع) بعض الإيقاعات ، النماذج و الأشكال الملحوظة في الطبيعة

القياس	القوة القائدة	القوة المستعيدة	نوع المقياس
نماذج الفرو الحيواني	التركيز الكيماوي	الانتشار	1cm
نمو الأصابع و الأطراف	التركيز الكيماوي	الانتشار	1cm
التقسيم المتناظر في التكون الجنيني مثل القلب إلى اليسار	ربما عدم التناظر المرآتي للجزيئات أو الأعضاء خلال النمو	الانتشار	1m
تمايز الخلايا و ظهور الأعضاء خلال النمو	التركيز الكيماوي	الانتشار	10 µm – 30 m
تذبذبات الفريسة – المفترس / الضاري	التكاثر	الجوع	3-17 a
التفكير	إطلاق العصبونات	تبديد الحرارة	1 ms , 100 µm

شكل / مظهر النظام

إن شكل النظام هو المصونية العامة عبر الطبيعة . الموائع بشكل خاص تبدي العديد من الظواهر حيث يظهر النظام و يختفي . الأمثلة تشمل الخفقان الأكثر أو الأقل المنتظم لشمعة تحترق ، و رفرفة العلم في الريح ، و الجريان المنتظم لفقاعات تظهر من عدم انتظام صغير في سطح البيرة أو كاس الشمبانيا (صفحة (صفحة 353) و التنقيط المنتظم أو غير المنتظم لصنبور الماء . يبين الشكل 251 بعض الأمثلة الإضافية وهكذا تفعل الأشكال في هذا الفصل , الأمثلة الأخرى تشمل شكل الغيوم و الترتيبات المنتظمة للغيوم في السماء . يمكن أن يكون من الرائع التفكر خلال ر حلة جوية مملة ،

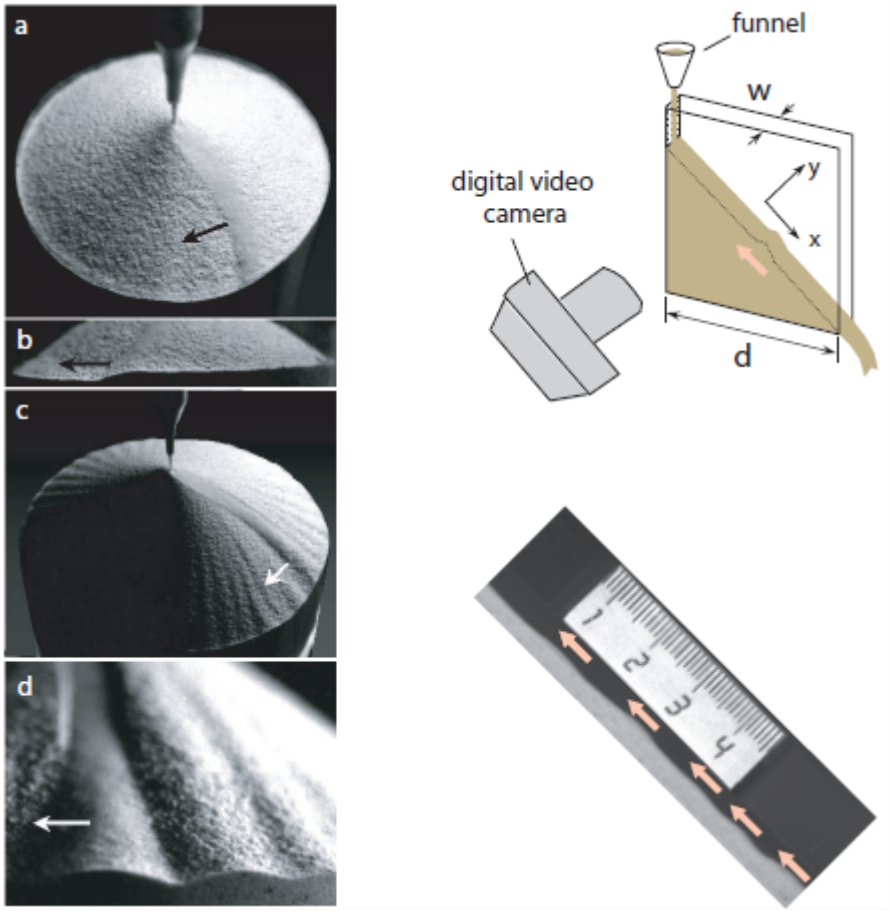
الآلية وراء تشكيل أشكال الغيوم ، و النماذج التي تراها من الطائرة (تحدي e 702). إن الغيمة النوعية لها كتلة تبلغ 5 -1 g/m^3 بحيث أن الغيمة الكبيرة يمكن أن تحتوي عدة آلاف من الأطنان من الماء .

الحالات الأخرى للتنظيم الذاتي هي الميكانيكية مثل تشكيل سلاسل الجبال عندما تتحرك القارات ، و تشكيل الزلازل ، أو تشكيل طيات الضحك عند زوايا العين البشرية .

كل عمليات النمو هي ظواهر تنظيم ذاتي . شكل النظام يوجد من تمايز الخلايا في الجنين داخل جسد المرأة ، و تشكيل نماذج الألوان على النمور ، السمك الاستوائي و الفراشات ، و الترتيبات المتناظرة لبتلات الأزهار ، و تشكيل الإيقاعات الحيوية وهكذا (صفحة 46).

هل تفكرت قط بالطريقة المذهلة التي تنمو بها الأسنان؟ إن المادة غير العضوية عمليا تشكل أشكال في الصفوف العليا و السفلى التي تتطابق تماما مع بعضها البعض . (المجلد III ، صفحة 172) . إن كيفية التحكم بهذه العملية ما يزال موضوع بحث . أيضا تشكيل ، قبل و بعد الولادة ، للشبكات العصبونية في الدماغ هو عملية أخرى للتنظيم الذاتي . و حتى العمليات الفيزيائية على أساس التفكير ، تتضمن تغيير الإشارات الكهربائية التي ستوصف بدلالة التنظيم الذاتي .

التطور البيولوجي هو حالة خاصة من النمو . خذ تطور الأشكال الحيوانية . ينتج أن ألسنة الثعابين المنشعبة بسبب أن هذا هو الشكل الأكثر فعالية من أجل اتباع الأثر الكيماوي المتروك من قبل الفريسة و الثعابين الأخرى من نفس النوع (المرجع 320) .



الشكل 287 أمثلة على التنظيم الذاتي للرمل : الشكل التلقائي للدورة الزمنية (a & b) الشكل التلقائي للنموذج الدوري (b & c) الشكل التقائي لنموذج فراغي زمني ، هو الأمواج المنفردة (يمين)

(تشم الأفاعي بمساعدة ألسنتها) . كم عدد رؤوس الألسن اللازمة للزواحف الطائرة ،مثل التنين الطائر ؟ (تحدي 703 e) .

إن العدد الثابت من الأصابع في الأيدي البشرية هو أيضا نتيجة التنظيم الذاتي (مرجع 321). إن عدد بتلات الأزهار يمكن أو لا يمكن أن يكون ناتجا عن التنظيم الذاتي (المجلد III ، صفحة 224) . و الدراسات حول الشروط المطلوبة لظهور أو اختفاء النظام تبين أن وصفها يتطلب فقط بعض مفاهيم شائع مستقلة عن تفاصيل الجملة الفيزيائية . وهذا يرى بشكل أفضل بالنظر إلى بعض الأمثلة البسيطة .

الجدول 51 نماذج ودورة الرمل الأفقي و الأسطح المشابهة للرمل في البحر و على البر

النموذج / الدورة	الدور	المطال	الأصل
تحت الماء			
التموجات	5 cm	5 mm	أمواج الماء
التموجات الضخمة	1 m	0.1 m	المد و الجزر
أمواج الرمل	100-800 m	5 m	المد و الجزر
ضفاف الرمل	2-10 km	2-20 m	المد و الجزر
في الهواء / الجو			
التموجات	0.1 m	0.05 m	الريح
الرمل السطحي	65-110 Hz	حتى 105 dB	الريح على كثبان الرمل ، الانهيارات التي تجعل الكثبان تهتز
تجعدات الطرق	0.3 -0.9 m	0.05 m	العجلات
تغيرات مسار التزلج	5-6 m	حتى 1m	المتزلجين
في أي مكان آخر على المريخ	بضع كيلو مترات	بضع عشرات من المتر	الريح



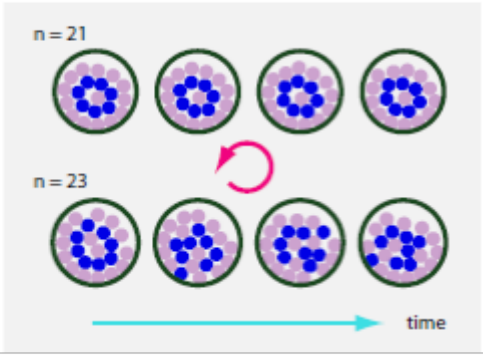
الشكل 288 تجعدات الطرق

التنظيم الذاتي في الرمل

كل غنى التنظيم الذاتي يجلي نفسه في دراسة الرمل البسيط . لماذا كثبان الرمل تتموج ، كما تفعل الأرضية الرملية في قعر البحر ؟ كيف تحدث الانهيارات في الأكوام / التلال المنحدرة من الرمل ؟ كيف يتصرف الرمل في الساعات الرملية ، في الجبّالات ، أو في حاويات رجاجة ؟ النتائج غالبا تكون مدهشة .

إن عرضا لظواهر التنظيم الذاتي معطى في الجدول 51 . مثلا منذ 2006 اكتشفت مجموعة البحث الكوبية لإرنستو ألتشولر و زملائه أمواجا منفردة على تدفقات الرمل (المرجع 322) (المبين في الشكل 287) . و قد اكتشفوا حتى الآن تأثير النهر الدوار على تلال الرمل المبين في نفس الشكل في عام 2002 .





الشكل 290 الأرقام السحرية : 21 كرة عندما تدور في صحن ، تتصرف بشكل مختلف عن الأعداد غير السحرية ، مثل 23 ، للكرات .	الشكل 289 الأوسيلونات المشكلة بواسطة هز كرات برونز الحجم الأفقي هو حوالي 2cm

حتى بشكل أكثر إدهاشا فإن هذه التأثيرات تحدث فقط في الرمل الكوبي و بعض الأنواع الأخرى النادرة من الرمل . الأسباب ما تزال غير واضحة .

بشكل مشابه في عام 1996 وجد باول أومبنهاور و زملاؤه أنه عندما تحتوي حاوية مسطحة كرات برونزية صغيرة (بقطر حوالي 0.165 مم) وتهز في خلاء بترددات معينة فإنه يتشكل على سطح الرمل البرونزي أكواما مستقرة . وهي مبينة في الشكل 289 ، وهذه الأكوام تعرف بالأوسيلونات و أيضا تهتز للأعلى و الأسفل .

الأوسيلونات يمكن أن تتحرك و تتبادل التأثير مع بعضها البعض .

الأوسيلونات في الرمل البرونزي هي أمثلة بسيطة عن التأثير العام في الطبيعة:

- الأنظمة المتقطعة ذات التأثيرات المتبادلة غير الخطية يمكن أن تبدي تهييجات موضعية (المرجع 324)

هذا الموضوع الرائع هو فقط في بداية البحث . و ربما يعطي يوما ما نتائج متصلة بفهم نمو الأحياء .

يبدي الرمل العديد من العمليات المشكلة لنماذج أخرى .

- مزيج الرمل و السكر عندما يصب في كومة ، يشكل بنى طبقية منتظمة التي تبدو من حيث المقطع العرضي مثل خطوط حمار الوحش

- السلندرات الدوارة بشكل أفقي ذات مزيج ثنائي داخلها تفصل المزيج مع الزمن

- خذ حاوية فيها حجرتين مفصولتين بجدار 1 cm . املأ كلاهما للنصف بالرمل و رج بسرعة كل الحاوية بواسطة آلة . مع الزمن كل الرمل سيتراكم في النهاية في نصف الحاوية

- في الرمل ، الناس درسوا أنواعا عديدة من الكثبان الرملية التي تغني عندما تهب الريح عليها (المرجع 325)



الشكل 291 التنظيم الذاتي : ندفة ثلج تنمو

- أيضا التجعدات المشكلة بواسطة السير على الطرقات بدون تدرج ، مثل الطرقات ذات إزار الحائط المبينة في الشكل 288 هي أمثلة على التنظيم الذاتي (المرجع 326) و نماذج التجعدات هذه غالبا تتحرك ، مع الزمن ضد حركة السير . هل يمكنك أن تفسر لماذا ؟ (تحدي 704s) . إن الارتفاعات المتحركة في التزلج المذكورة أعلاه تنتمي إلى هنا .

في الحقيقة سلوك الرمل و الغبار يثبت أن مثل هذا الموضوع الجميل و الرائع متعلق بعودة كل إنسان للغبار و أن عليه ألا يبدو متعجرفا أبدا .

التنظيم الذاتي للكرات

إن مثالا بسيطا بشكل مميز و جميل للتنظيم الذاتي هو التأثير المكتشف في عام 1999 من قبل كارستن كوتر ، و مجموعته (المرجع (المرجع 327) و قد وجدوا أن سلوك مجموعة من الكرات التي تدور في صحن يعتمد على عدد الكرات المستخدمة . عادة الكرات تمزج باستمرار و لكن من أجل أعداد سحرية معينة مثل 21 ، فإن نماذج حلقية مستقرة تظهر التي تبقى من أجلها الكرات الخارجية في الخارج و الداخلية تبقى في الداخل . والحلقات التي ترى بشكل أفضل بواسطة تلوين الكرات مبينة في الشكل 290 .

شروط من أجل ظهور النظام

العديد من الدراسات لأنظمة التنظيم الذاتي غيرت فهمنا للطبيعة بعدة طرق . أولا ، لقد بينت أن النماذج والأشكال مشابهة للدورات : كلها ناتجة عن الحركة . و بدون الحركة ، وبالتالي بدون تاريخ ، ليس هناك نظام . و لا كذلك نماذج و لا أشكال و لا إيقاعات (المرجع 328) . كل نموذج له تاريخ ، و كل نموذج هو نتيجة الحركة . كمثال الشكل 291 يبين كيف تنمو ندفة الثلج .

ثانيا ، النماذج ، الأشكال و الإيقاعات هي ناتجة عن الحركة المنظمة لأعداد كبيرة من المكونات الصغيرة . و الجمل التي لها تنظيم ذاتي هي دائما مركبة ، و هي بنى تعاونية .

ثالثا ، كل هذه الجمل التي تخضع لمعادلات التطور التي هي غير خطية في متحولات التشكيل الماكروسكوبي . الجمل الخطية ليست منظمة ذاتيا .

رابعا ، ظهور و اختفاء النظام يعتمد على قوة القوة الدافعة أو العملية الدافعة ، وهذا ما يعرف ببارامتر النظام .

أخيرا كل النظام و كل البنية تظهر عندما نوعين عامين من الحركة يكتملان مع بعضهما البعض و هما العملية المضيفة للطاقة الدافعة / القائدة و آلية الكبح المبددة .

الثيرموديناميك يلعب بالتالي دورا في التنظيم الذاتي . إن جمل التنظيم الذاتي هي دائما جمل تبديدية ، و هي دائما بعيدة عن الاتزان و عندما تكون القيادة و التبديد من نفس مرتبة القيمة و عندما السلوك الأساسي للجملة ليست تابعا خطيا للفعل القائد فإن النظام يمكن أن يظهر * .

رياضيات ظهور النظام

كل نموذج ، كل شكل و كل إيقاع أو دورة يمكن وصفه بكمية قابلة للقياس A التي تصف مطال النموذج ، الشكل أو الإيقاع. مثلا المطال A لطول نماذج الرمل أو التركيز الكيماوي للجمل البيولوجية ، أو ضغط الصوت لظهور الصوت .

النظام يظهر عندما المطال A يختلف عن الصفر . لفهم ظهور النظام ، علينا أن نفهم تطور المطال A. إن دراسة النظام قد بينت أن هذا المطال دائما يتبع معادلات تطور متشابهة ، بشكل مستقل عن الآلية الفيزيائية للجملة . و هذه النتيجة المدهشة توحد كل حقل التنظيم الذاتي .

كل جمل التنظيم الذاتي في بداية ظهورها يمكن وصفها بمعادلة من أجل مطال النموذج A بالشكل العام :

$$\frac{\partial A(t,x)}{\partial t} = \lambda A - \mu|A|^2 A + \kappa\,\Delta A + \text{higher orders}\,. \qquad (123)$$

هنا القيمة القابلة للقياس A التي يمكن أن تكون عدد حقيقي أو عقدي (مركب) من أجل وصف تأثيرات الطور – هي القيمة القابلة للقياس التي تظهر عندما يظهر النظام مثل مطال الاهتزاز أو مطال النموذج .

الحد الأول λA هو حد القيادة ، الذي فيه λ بارامتر يصف قوة القيادة . و الحد الثاني هو عدم الخطية النوعية في A

حيث μ بارامتر يصف قوته و الحد الثالث $\kappa\,\Delta A = \kappa(\partial^2 A/\partial x^2 + \partial^2 A/\partial y^2 + \partial^2 A/\partial z^2)$ هو انتشاري نوعي و بالتالي حد تبديدي .

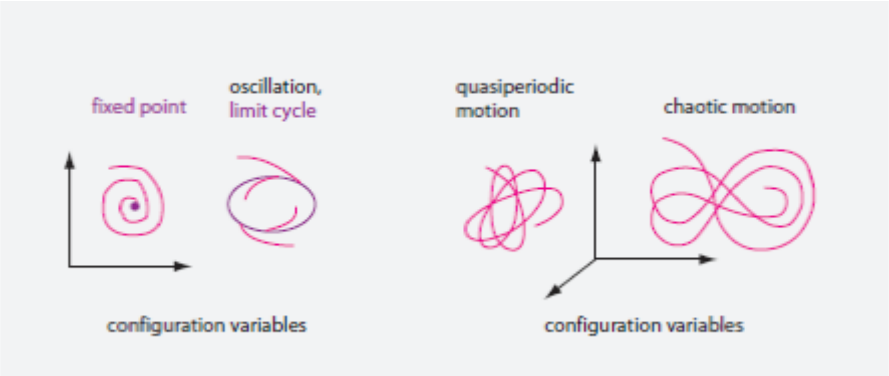
يمكننا تمييز حالتين . في الحالات التي لا يلعب فيها الحد التبديدي دور (κ =0) نجد أنه عندما يزداد بارامتر القيادة λ أعلى من الصفر ، فإنه يظهر اهتزاز زمني (تحدي 705 ny) أي يظهر دورة تحديد مستقرة ذات مطال غير متناقص

و في الحالات التي يكون فيها الحد الانتشاري يلعب دورا ، فإن المعادلة (123) تصف كيف مطال الاهتزاز الفراغي يظهر عندما بارامتر القيادة λ يصبح موجب ، كما أن الحل A=0 بالتالي يصبح غير مستقر فراغيا (تحدي 706 ny).

في كلا الحالتين فإن بدء النظام يسمى الانشعاب ، لأن هذه القيمة الحرجة لبارامتر القيادة ذو المطال صفر ، أي حالة متجانسة (أو بلا نظام) تصبح غير مستقرة . و في الجمل غير الخطية النظام مستقر . و هذه هي النتيجة المبدئية الأساسية لهذا المجال . و المعادلة (123) و أشكالها الكثيرة تسمح لنا بوصف العديد من الظواهر ، التي تتراوح من المغازل / الحلزونات ،

--

لوصف لغز الحياة البشرية فإن مصطلحات مثل النار ، النهر ، أو الشجرة غالبا تستخدم كتناظرات . و هذه كلها أمثلة لجمل تنظيم ذاتي : وهي تملك العديد من درجات الحرية ، و لها قوى قيادة وكبح منافسة و تعتمد بشكل حرج على شروطها الابتدائية و تبدي عشوائية و سلوك غير منتظم ، و في بعض الأحيان تبدي دورات من السلوك المنتظم . و إن البشر و الحياة البشرية تشبهها في كل هذه النواحي ، وبالتالي هناك أساس قوي لكونها مستخدمة كأمثولات . و يمكننا حتى أن نمضي أكثر من ذلك و نتصور أن الجمال الصرف هي تنظيم ذاتي صرف . إن عدم وجود الجمال غالبا ينتج في الحقيقة عن اضطراب التوازن بين الكبح الخارجي و القيادة الخارجية .



الشكل 292 أمثلة على أنواع مختلفة من الحركة في فراغ التشكيل

الأمواج ، النماذج السداسية الأضلاع ، و العيوب الطبولوجية ، لأشكال معينة من الاضطراب / الدوامية . (مرجع 329)

من أجل كل جملة فيزيائية قيد الدراسة ، فإن المهمة الأساسية هي فصل القيمة القابلة للقياس A و البارامتر λ ، μ و κ من العمليات الفيزيائية القائمة .

في الملخص ، فإن ظهور النظام يمكن وصفه لمعادلات صالحة بشكل عام . التنظيم الذاتي ، أساسا هو عملية بسيطة . باختصار : الجمال بسيط .

التنظيم الذاتي هو حقل واسع الذي يعطي نتائج جديدة تقريبا كل أسبوع . لاكتشاف مواضيع جديدة للدراسة غالبا يكفي إبقاء عينيك مفتوحتان ، أكثر التأثيرات شاملة بدون رياضيات متقدمة . استمتع بالصيد (تحدي e 707) .

العشوائية

أكثر الجمل التي تبدي تنظيم ذاتي أيضا تبين نوع الحركة . عندما بارامترات قيادة جملة للتنظيم الذاتي تزداد لقيم أعلى فأعلى فإن النظام يصبح أكثر فأكثر غير منتظم ، و في النهاية يجد المرء العشوائية .

بالنسبة للفيزيائيين ، الحركة العشوائية هي النوع غير المنتظم الأكثر للحركة . * و العشوائية يمكن أن تعرف بشكل مستقل عن الشروط الابتدائية التي تتطور إلى التغيرات الكبيرة للحركة (أسيا مع الزمن) وهذا موضح في الشكل 293 و بشكل أكثر دقة ،

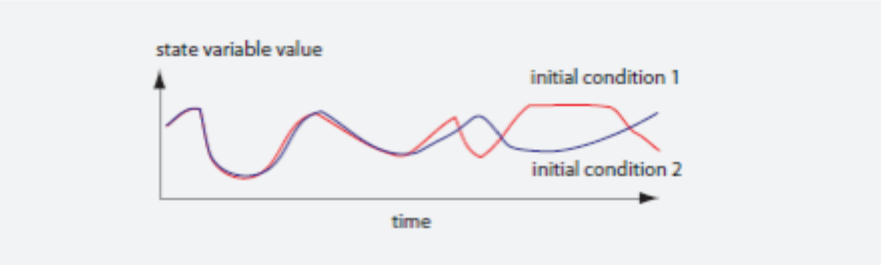
- العشوائية (الفيزيائية) هي حركة غير منتظمة تتميز بأس ليابنوف إيجابي بوجود تطور مقبول بشكل صارم

إن الجملة العشوائية البسيطة هي نواس مخمد فوق ثلاثة مغانط . يبين الشكل 294 كيف أن مناطق قابلية التوقع (حول مواضع المغانط الثلاث) تتغير تدريجيا إلى منطقة عشوائية أي منقطة عدم قابلية توقع فعالة ، من أجل المطالات الابتدائية الأعلى . إن الطقس أيضا هو جملة عشوائية مثل تنقيط صنابير الماء ، رمي حجر النرد ، و العديد من الجمل اليومية الأخرى .

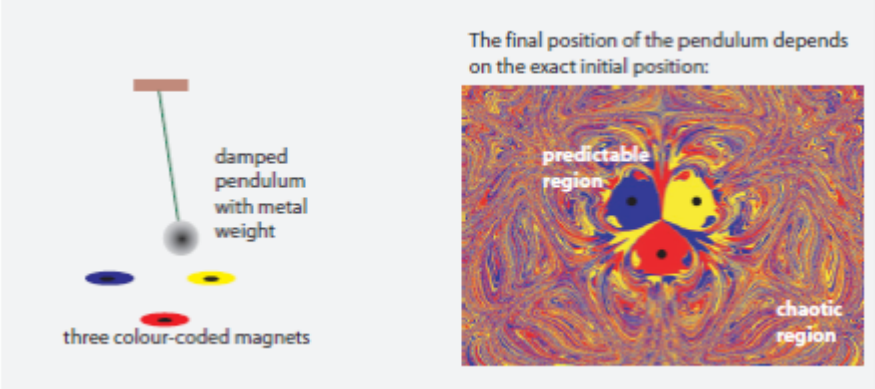
---

*فـي مـوضـوع الـعشوائـية أنـظر الـكتاب الجـميل مـن قـبل HEINTZ – OTTO PETIGEN , HARTMUT JÜRGENS & DIETMAR SAUPE ، العشوائية و الرفراكتالات ، Springer Verlag , 1992 و هو يشمل على صور و الخلفية الرياضية اللازمة ، وبعض برامج الحاسب التي تسمح بالاستكشاف الشخصي للموضوع .

العشوائية هي كلمة قديمة : وفق الأسطورة اليونانية ، كبيرة الآلهة جايا ، الأرض ، ظهرت من العشوائية التي وجدت في البداية . وقد ولدت الآلهة الأخرى ، الحيوانات و أول البشر .



الشكل 293 العشوائية كحساسية للشروط الابتدائية



الشكل 294 الجملة العشوائية البسيطة : النواس المعدني فوق ثلاثة مغانط

مثلا ، البحث حول الآليات التي تولد بها ضربة القلب تبين أن القلب ليس هزاز ، و لكن الجملة العشوائية ذات دورات غير منتظمة . هذا يسمح للقلب بأن يكون جاهزا باستمرار لتلبية متطلبات الحاجة للتغيرات في ضربات القلب التي تظهر حالما يحتاج الجسم لزيادة أو إنقاص جهده . (المرجع 330) .

هناك حركة عشوائية أيضا في الآلات : العشوائية تظهر في حركة القطارات على السكك ، في آليات المسننات ، وفي خراطيم إطفاء الحريق . إن الدراسة الدقيقة للحركة في ولاعة السجائر المتوهجة / زيبو ربما أيضا تعطي مثالا عن

العشوائية . (تحدي ny 708) . إن الوصف الرياضي للعشوائية – بسيطة من أجل بعض الأمثلة في الكتب ، لكن متضمنة جدا من أجل الأمثلة الأخرى – تبقى موضوعا مهما في البحث .

بالمناسبة ، هل تستطيع أن تعطي حجة بسيطة تبين ما يعرف بتأثير الفراشة ؟ هذا الأثر غالبا يستشهد به في الصحف . الحجة هي أن عدم الخطية تقتضي أن التغير الصغير في الشروط الابتدائية يمكن أن تؤدي إلى تأثيرات كبيرة ، و بالتالي ضربة جناح الفراشة يقال بأنه قادر على تحريض إعصار . بالرغم من أن عدم الخطية تؤدي لنمو الاضطرابات ، فإن تأثير الفراشة لم يلاحظ أبدا . بالتالي هي غير موجودة . وهذا الأثر موجود فقط لبيع الكتب و الحصول على تمويل .

كل الخطوات من الاضطراب إلى النظام بشكل شبه دوري و في النهاية للعشوائية ، هي أمثلة على التنظيم الذاتي و هذه الأنواع من الحركة موضحة في الشكل 292 تلاحظ في العديد من الأنظمة المائعة . و إن دراستها ستؤدي في يوم ما لفهم أعمق لغرائب الاضطراب . (المرجع 331) . بالرغم من أن هذا الموضوع سوف لن ندرسه أكثر لأنه لا يساعد في حل غموض الحركة .

الظهور

" من قطرة الماء يمكن لعالم المنطق أن يتوقع سلوك المحيط الأطلسي أو شلالات نياغارا "

آرثر كونان ديول ، دراسة في القرمزية "

إن التنظيم الذاتي مهم أيضا لسبب أكثر عمومية . في بعض الأحيان يقال بأن مقدرتنا على صياغة نماذج أو قواعد للطبيعة من الملاحظات / القياسات التي لا تقتضي المقدرة على توقع كل القياسات من هذه القواعد . وفقا لهذه الرؤية ، توجد ما يعرف بخواص الظهور أي الخواص التي تظهر في الجمل المعقدة كشيء جديد الذي لا يمكن استنتاجه من خواص أجزائها و تأثيراتها المتبادلة . (الجانب الخفي الإيديولوجي لهذا الرأي واضح ، هو آخر محاولة لمحاربة فكرة التحديد) دراسة التنظيم الذاتي قد قامت بتسوية هذا الجدل . و إن خواص جزيئات الماء تسمح لنا بتوقع سلوك شلالات نياغارا *

بشكل مشابه ، إن انتشار جزيئات الإشارة لتحديد تطوير خلية وحيدة إلى كائن بشري كامل : بشكل خاص ، الظواهر التعاونية تحدد الأماكن حيث تتشكل الذراعين و الساقين ، وهي تضمن (تقريبا) التناظر الأيمن – الأيسر للأجسام البشرية ، منع امتزاج الوصلات عندما يتم توصيل الخلايا في الشبكية إلى الدماغ ، و تشرح نماذج الفرو على حمر الوحش و النمور و هذه بعض الأمثلة فقط (مرجع 333) . بشكل مشابه إن الآليات في منشأ القلب و العديد من الدورات الأخرى قد تم كشفها . العديد من ظواهر الموائع التعاونية تم محاكاتها حتى للمستوى الجزيئي .

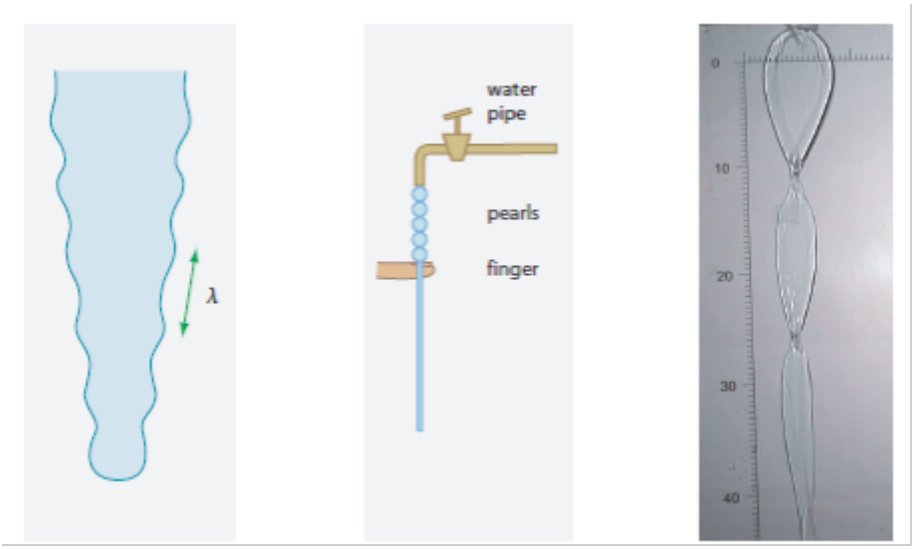
يعطي التنظيم الذاتي المبادئ العامة التي تسمح لنا من حيث المبدأ بتوقع سلوك الجمل المعقدة من أي نوع . و هي حاليا تطبق على أكثر الجمل تعقيدا في الكون المعلوم : دماغ البشر . إن تفاصيل كيفية تعلم التنسيق لحركة الجسم ، وكيفية استخلاص المعلومات من الصور في العين يتم دراستها بشكل مكثف . إن العمل الجاري في هذا المجال رائع (مرجع 334) . (الحالة المختارة للتنظيم الذاتي هي الضحك و لكن أيضا المرح نفسه) إذا خططت لتصبح عالما ، اعتبر أخذ هذا المسار . (تحدي e 711) .

أبحاث التنظيم الذاتي أعطت الحجج النهائية التي أكدت ما قاله J. Offrey de la Mettrie و درسه في كتابه الشهير الإنسان الآلة في عام 1748 : البشر هم آلات معقدة . في الحقيقة قصور الفهم للجمل المعقدة في الماضي كان ناتجا عن التعليم المحدود لموضوع الحركة ، الذي عادة يركز – كما نفعل في مسيرتنا هذه – على أمثلة الحركة للجمل البسيطة .

إن مفاهيم التنظيم الذاتي تسمح لنا بفهم و وصف ما يحدث خلال عمل و نمو الأحياء . وهذا تحديدا دراسة أساسيات الحركة.

---

*نحن لدينا أشكال مصغرة من شلالات نياغارا ، وهي صنابير الماء التي تنقط ، التي تبدي مجالا أكبر من الظواهر التعاونية ، التي تتضمن العشوائي أي السقوط غير الدوري لقطرات الماء (مرجع 332) و هذا يحدث عندما يتدفق الماء بمعدل له قيمة صحيحة كما يمكن أن تتحقق بذلك في مطبخك (تحدي e 710)



الشكل 295 سطح متموج للنازلة الجليدية –الشكل 296 لألئ الماء - الشكل 297 جدول ماء ساري

"أقول لكم بأن الإنسان يجب أن يمتلك الفوضى / العشوائية ، كي يتمكن من ولادة نجم راقص . أقول لكم : أنتم ليس فيكم إلا العشوائية في دواخلكم "

فريديريك نيتشه ، هكذا تكلم زراداشت

فضول و تحديات ممتعة حول التنظيم الذاتي

كل النوازل الجليدية ، هي ذات مسافة قمة إلى القمة التي تبلغ حوالي 1 cm ، كما هو مبين في الشكل 295 (مرجع 335)

المسافة تحدد بواسطة التأثير المتبادل بين تدفق الماء و التبريد السطحي . كيف ؟ (تحدي 712 ny) (في الحقيقة الصواعد و النوازل لا تبدي مثل هذا التأثير) .

* *

عندما يخرج جريان من الماء من صنبور ، فإن وضع الإصبع في الجريان يؤدي على شكل متموج كما هو مبين في الشكل 296 لماذا ؟ (تحدي 713 ny)

* *

البحث في الرمل بين أنه غالبا من المفيد إدخال مفهوم درجة الحرارة الحبيبية ، التي تحدد كم هي سرعة تحرك منطقة الرمل . و البحث في هذا المجال ما يزال متأرجحا .

"أقول لكم بأن الإنسان يجب أن يمتلك الفوضى / العشوائية ، كي يتمكن من ولادة نجم راقص . أقول لكم : أنتم ليس فيكم إلا العشوائية في دواخلكم "



الشكل 298 تفاعل Belousov – Zhabtinski : السائل يغير دوريا لونه في كل من الفراغ و الزمن

* *

عندما يظهر الماء من فتحة مستطيلة ، فإن الجريان يشكل نموذج مجدول كما هو مبين في الشكل 297 . هذا التأثير ينتج من التأثير المتبادل و المنافسة بين العطالة و التوتر السطحي (المرجع من التأثير المتبادل و المنافسة بين العطالة و التوتر السطحي (المرجع 336): العطالة تميل لأن توسع الجريان ، بينما التوتر السطحي يميل ليضيقه .

إن توقع المسافة من منقطة ضيقة للمنطقة التالية ما يزال موضوع بحث . إذا تمت التجربة في الهواء الحر ، بدون صفيحة ، يلاحظ المرء عادة تأثيرا إضافيا : هناك جدل عديم التناظر المرآتي عند المناطق الضيقة ، المتحرض عن عدم التناظر في تدفق الماء . يمكنك ملاحظة هذا التأثير في دورة المياه ! الفضول العلمي لا يعرف حدودا : هل أنت مستدير نحو اليمين أو نحو اليسار أو كلاهما ؟ في كل يوم ؟ (تحدي 714 e)

* *

عندما يجعل النبيذ يصول في زجاجة نبيذ بعد أن تهدأ الحركة ، النبيذ يتدفق عبر جدران الزجاجة مشكلا أقواسا صغيرة .هل يمكنك التفسير ببضع كلمات ما يشكلها ؟ (تحدي 715 ny)

* *

كيف المسافة بين السيارات المركونة على طول شارع تتغير مع الزمن بافتراض معدل ثابت لوصول و مغادرة السيارات (تحدي 716 ny)

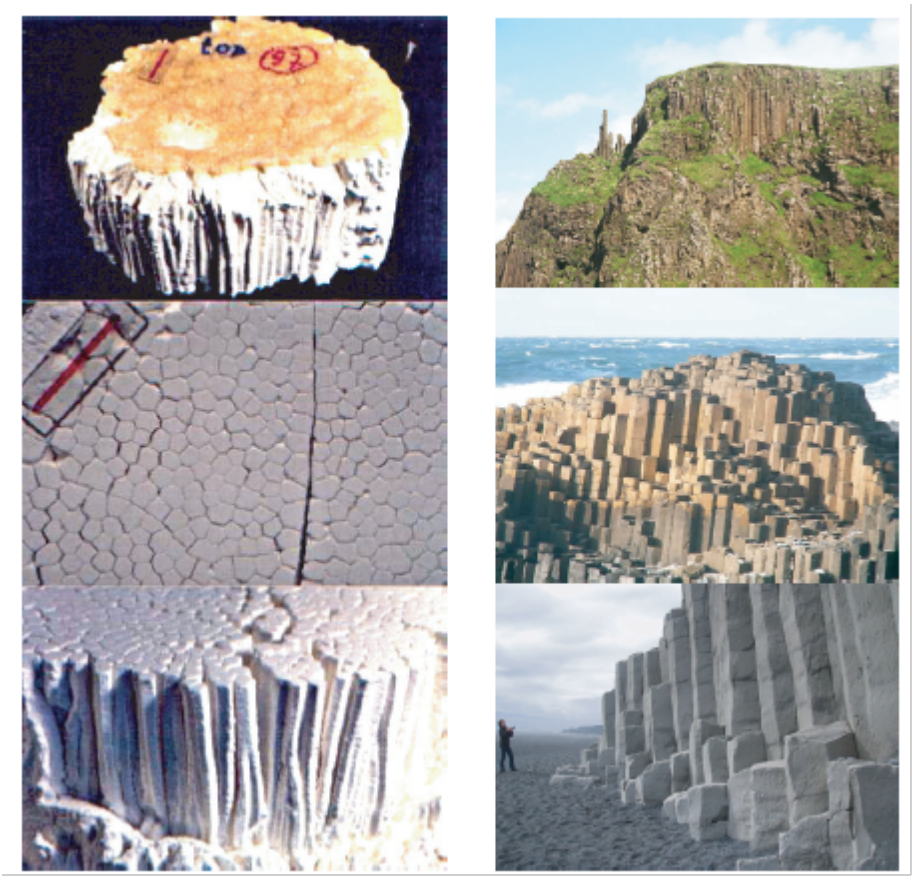
* *

إن الحالة الشهيرة لظهور النظام هي تفاعل Belousov – Zhabtinski . هذا المزيج للمواد الكيماوية ينتج تلقائيا نماذج فراغية و زمنية . الطبقات الرقيقة تنتج ببطء نماذج دوارة ببطء ذات عدم تناظر مرآتي كما هو مبين في الشكل 298 ، الأحجام الكبيرة المحركة تهتز جيئة و ذهابا بين لونين . إن الفيلم الجميل للتذبابات يمكن أن يشاهد من www.uni.r.de/ Frkultaten/nat_Fak_IV/Organische_Chemie/Didaktik/Keusch/D-oscill-d.htm

إن دراسة هذا البحث أدت إلى جائزة نوبل في الكيمياء بالنسبة Ilya Prigogine في عام 1997

* *

اكتشف جيرهارد مولر طريقة بسيطة لكن جميلة لقياس التنظيم الذاتي في الأجسام الصلبة . و إن نظامه أيضا يعطي نموذجا لعملية جيولوجية شهيرة و هي تشكل



الشكل 299 التوافق الشهير : إلى اليسار ، أعمدة مسدسة الأضلاع من النشاء ، منماة في وعاء في المطبخ (الخطوط الحمراء بطول 1cm) و في اليمين أعمدة مسدسة من البزلت ، منماة من الماغما في شمال إيرلندا (أعلى اليمين ، منظر لحوالي) و في اليمين أعمدة مسدسة من البازلت ، منماة من الماغما في شمال إيرلندا (أعلى اليمين ، منظر لحوالي 300 m و يمين وسط منظر حوالي 40m) وفي أيسلندة (منظر حوالي 30 m - يمين أسفل)

للأعمدة المسدسة مثل كوزواي العملاقة في شمال إيرلندا . التشكيلات لمشابهة توجد في أماكن أخرى عديدة من الأرض

تماما مثل بعض طحين الأرز أو نشاء الذرة ، حيث يمزج بحوالي نصف مقدار من الماء (مرجع 337) و يوضع المزيج في وعاء و يجفف بواسطة مصباح : تتشكل الأعمدة المسدسة (تحدي e 717) . التشابه مع بنى البازلت ممكن لأن جفاف النشاء و تبريد الحمم هي عملية انتشارية يحكمها نفس المعادلات ، لأن الشروط المحيطية هي نفسها ، و لأن كلا المادتين يستجيب للبرودة بواسطة تخفيض صغير في الحجم .

* *

تدفق الماء يمكن أن يكون صفحيا (انسيابيا) أو دواميا (غير منتظم أو مضطرب) .

الانتقال يعتمد على القطر d للأنبوب و سرعة الماء v . إن الانتقال عادة يحدث عندما ما يعرف بعدد رينولدز الذي هو Re = vd/η يصبح أكبر من حوالي 2000 . (عدد رينولدز هو أحد بعض القيم الفيزيائية القليلة القابلة للقياس معبر عنه بواسطة اختصار تقليدي مكون من حرفين) هنا η هي اللزوجة الكينماتيكية للماء و هي حوالي 1 mm^2/s . على عكس اللزوجة الديناميكية التي تعرف بالشكل : $\mu=\eta\rho$ حيث ρ كثافة المائع . إن عدد زينولدز العالي يعني نسبة عالية بين التأثيرات العطالية و التبديدية ، و يحدد تدفق دوامي ، و عدد رينولدز المنخفض هو نوعي للتدفق اللزج .

إن التجارب الحديثة الدقيقة تبين أن التعامل الأفضل مع التدفقات الصفحية يمكن أن ينتج حتى Re = 100 000 . التحليل الخطي لمعادلات الحركة للمائع ، معادلات Navier- Stokes حتى يمكن أن تتوقع استقرار التدفق الصفحي لكل أعداد رينولدز . هذا اللغز تم حله في السنوات 2004 & 2003 , أولا ، بين التحليل الرياضي المعقد أن التدفق الصفحي ليس دائما مستقرا ، و أن الانتقال إلى التدفق الدوامي في أنبوب طويل يحدث مع أمواج انتقالية . و بالتالي في عام 2004 فقد

بينت تجربة دقيقة أن هذه الأمواج المنتقلة في الواقع تظهر عندما يتدفق الماء عبر أنبوب ذو عدد رينولدز كبير (المرجع 339) .

* *

من أجل صور جميلة عن التنظيم الذاتي في الموائع أنظر موقع الإنترنت المذكور serve.me.nus.edu.sg/limit

* *

العشوائي يمكن أيضا ملاحظتها في دارات إلكترونية بسيطة (و معقدة) . إذا كانت الدائرة الإلكترونية التي لديك مصممة كي تتصرف بشكل غير مستقر ، تأكد من هذا الخيار .

* *

أيضا الرقص هو مثال عن التنظيم الذاتي . هذا النوع من التنظيم الذاتي يحدث في الدماغ . مثل كل الحركات المعقدة ، التعلم منها غالبا هو تحدي . في هذه الأيام هناك كتب جميلة التي تخبرنا كيف يمكننا مساعدتكم في تحسين مهاراتكم في الرقص و تحسين حركاتكم (مرجع 340) .

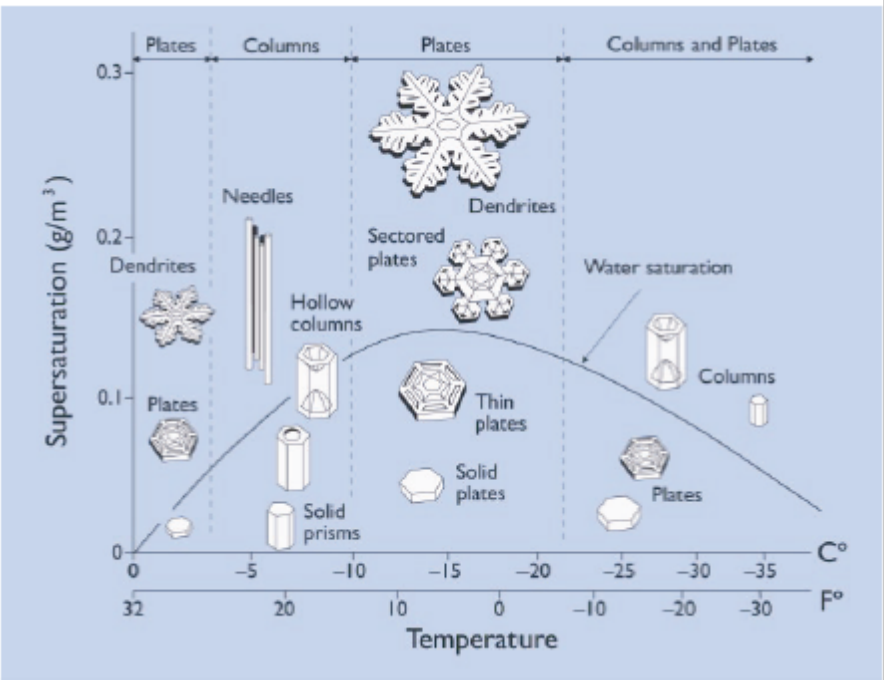
هل تريد الاستمتاع بالعمل على درجة دكتوراه ؟ اذهب إلى متجر الألعاب العلمية و ابحث عن أي لعبة تتحرك بشكل معقد . هناك فرص عالية أن تكون الحركة عشوائية ، ادرس الحركة و قدم اطروحة حولها . مثلا اذهب إلى أقصى حد : ادرس حركة حبل معلق الذي تقاد نهايته العليا خارجيا . هذه الجملة البسيطة رائعة في مجال سلوكها المعقد في الحركة

* *

التنظيم الذاتي أيضا يلاحظ في سائل مزيج نشاء الذرة – الماء . استمتع بالفيلم في www.youtube.com/watch?v=f2XQ97XHjVw وراقب حتى التأثيرات الغريبة من أجل مشي البشر فوق بركة مملوءة بسائل على www.youtube.com/watch?v=nq3ZjY0Uf-g

* *

ندف الثلج و بلورات الثلج قد ذكرت كأمثلة عن التنظيم الذاتي



الشكل 300 كيف يعتمد شكل بلورات الثلج على درجة الحرارة و الإشباع

يبين الشكل 300 الرابط العام . لتعلم المزيد عن هذا الموضوع الشيق ، ابحث في الموقع الرائع snowcrystals.com من قبل كينيث لبريشت . التصنيف الكامل لبلورات الثلج أيضا تم وضعه (مرجع 341)

* *

إن المثال الشهير على التنظيم الذاتي التي آلياتها معروفة جيدا حتى الآن هو الفواق / الحازوقة ، ومن المعروف الآن أن العصب المبهم يلعب دورا فيه . مثل العديد من الأمثلة الأخرى للتنظيم الذاتي . هذا يأخذ بعض الطاقة فللتخلص من الفواق .البحث التجريبي الحديث اثبت أن الرعشات التي تنبه بقوة العصب المبهم هي طرق ممتازة للتغلب على الفواق ، و إحدى مثل هذه الأبحاث حازت على جائزة نوبل للطب لهذا العمل

* *

المثال المهم الآخر على التنظيم الذاتي هو الطقس . إذا كنت تريد معرفة المزيد عن الارتباطات المعروفة بين الطقس و جودة الحياة البشرية على الأرض ، بعيدا عن الإيديولوجيا ، اقرأ الكتاب الرائع لـ Reichholf وهو يشرح كيف أن الطقس بين القارات مرتبط و يصف كيف و لماذا تغير الطقس في الألف سنة الماضية .

* *



الشكل 301 أسراب من طائر الزرزور التي يشاهدها زوار روما كل خريف

* *

هل التنظيم الذاتي أو التطور البيولوجي يتعارض مع المبدأ الثاني في الثيرموديناميك ؟ بالطبع لا .

إن جمل التنظيم الذاتي هي بالتعريف ، جمل مفتوحة ، و غالبا بعيدة عن الاتزان . و إن مفهوم الإنتروبي لا يمكن تعريفه ، بشكل عام من أجل مثل هذه الجمل و المبدأ الثاني في الثيرموديناميك لا يطبق عليها . لكن الإنتروبي يمكن تعريفه بالنسبة للجمل قرب الاتزان . و في مثل هذه الجمل ، فإن المبدأ الثاني للثيرموديناميك يجب أن يعدل وبالتالي من الممكن دراسة و تأكيد أن التنظيم الذاتي لا يتعارض و لكن في الحقيقة لا يتبع المبدأ الثاني المعدل .

بشكل خاص التطور لا يتعارض مع الثيرموديناميك حيث أن الأرض ليست جملة ثيرموديناميكية مغلقة في اتزان . المقولات حول عكس ذلك تتم فقط من قبل مخادعين . (المرجع المقولات حول عكس ذلك تتم فقط من قبل مخادعين . (المرجع 343)

* *

(مرجع 344) في عام 2015 توقع ثلاثة فيزيائيين أن هناك أكبر أس ليابونوف في الطبيعة

بحيث يكون لدينا دائما

$$\lambda \leqslant e\pi\frac{kT}{\hbar} \qquad (124)$$

حيث T درجة الحرارة ، k ثابت بولتزمان و $\hbar$ كم الفعل . و نمو الاضطراب بالتالي محدود

* *

هل الجمل التي تبدي تنظيم ذاتي هي الأكثر تعقيدا التي يمكن دراستها بمعادلات التطور ؟ لا . الجمل الأكثر تعقيدا هي تلك التي تتألف من العديد من الجمل ذات التنظيم الذاتي متبادلة التأثير . و المثال الواضح هو الأسراب . أسراب الطيور كالتي ترى في الشكل ترى في الشكل 301 (مرجع 345) أسراب السمك ، الحشرات و الناس ، مثلا في استاد أو في سيارات على طريق عام (المرجع السمك ، الحشرات و الناس ، مثلا في استاد أو في سيارات على طريق عام (المرجع 346) و التي درست بشكل واسع و ما تزال موضوع بحث . إن جمالها رائع

* *

المثال الآخر هو العديد من الجمل المترابطة ذات التنظيم الذاتي هو الدماغ ، دراسة كيفية عمل العصوبنات المترابطة لتعطي أفكارنا سيشغل الباحثين لسنوات عديدة . سوف ندرس بعض جوانب ذلك في المجلدات التالية .

ملخص عن التنظيم الذاتي و العشوائية

إن ظهور النظام ، بشكل نماذج ، أشكال و دورات ، هو ليس ناتج عن تناقص في الإنتروبي و لكن عن التنافس بين الأسباب القائدة و التأثيرات المبددة في الجمل المفتوحة . مثل هذا الظهور للنظام هو عملية شائعة و غالبا يكون آلي و قابل للتوقع (تماما) بمعادلات بسيطة . أيضا النمو في الجمل الحية و التطور البيولوجي هي أمثلة عن ظهور النظام

العشوائية ، الحساسية للتطور للشروط الابتدائية ، هو شائع في الجمل المفتوحة المقادة بقوة . العشوائية هي في أساس الرقص اليومي ، و غالبا يوصف بمعادلات بسيطة أيضا . في الطبيعة التعقيد ظاهر . الحركة هي بسيطة .

الفصل الخامس عشر

من حدود الفيزياء إلى حدود الحركة

" أنا أعلم أنني لا أعلم أي شيء "

سقراط كما استشهد بقوله أفلاطون

لقد درسنا في بيئتنا مفهوم الحركة . و لقد سمينا هذا دراسة الأجسام المتحركة و الموائع في الفيزياء الغاليلية . وقد وجدنا أنه في الحياة اليومية ، الحركة هي قابلة للتوقع : الطبيعة لا تبدي أي عجائب . و بشكل خاص لقد وجدنا ستة نواحي مهمة لقابلة التوقع هذه :

1. الحركة اليومية مستمرة . الحركة تسمح لنا بتعريف الفراغ و الزمن .
2. الحركة اليومية تصون الكتلة ، كمية الحركة ، الطاقة و العزم الزاوي . لا شيء يظهر من لا شيء
3. الحركة اليومية نسبية : الحركة تعتمد على المراقب
4. الحركة اليومية عكوسة : الحركة اليومية يمكن أن تحدث للخلف
5. الحركة اليومية هي ثابتة مرآتيا : الحركة اليومية يمكن أن تحدث بشكل معكوس في المرآة

الخاصة الأخيرة هو الشيء الأكثر أهمية ، بالإضافة لذلك تحتوي الخمس السابقة

6. الحركة اليومية كسولة : الحركة تحدث بطريقة تقلل التغير أي الفعل الفيزيائي

هذا الوصف الغاليلي للطبيعة يجعل الهندسة ممكنة . آلات النسيج ، محركات البخار ، محركات الاحتراق ، أجهزة المطبخ ، العديد من لعب الأطفال ، آلات الرشاقة ، الأجهزة الطبية و كل التقدم في جودة الحياة بواسطة هذه الأجهزة ناتج عن فيزياء غاليليو . لكن بالرغم من هذه النجاحات فإن سقراط يقول في القول المنقول عنه أعلاه الذي ما يزال ينطبق على فيزياء غاليليو :نحن لا نزال لا نعرف شيئا . لنرى لماذا .

مواضيع البحث في الديناميك التقليدي

حتى بالرغم من أن الميكانيك و الثيرموديناميك هي الآن بعمر عدة مئات من السنين ، فإن البحث في تفاصيلها ما يزال جاريا . مثلا لقد ذكرنا للتو أعلاه أنه من غير الواضح إذا كانت المجموعة الشمسية مستقرة . إن المستقبل الطويل الأمد للكواكب مجهول . بشكل عام سلوك الجمل المكون من قلة من الأجسام ، تتبادل التأثير فيما بينها عن طريق الجاذبية ما يزال موضوع بحث في الفيزياء الرياضية . (المرجع 347) الإجابة على سؤال بسيط حول كم الفترة التي مجموعة معينة من الأجسام التي تنجذب حول بعضها البعض ما تزال تبقى معا هو تحدي رائع . إن تاريخ ما يعرف بمسألة الجسم المتعدد طويلة و متشعب .

الجدول 52 الأمثلة على الأخطاء في القياسات الحديثة (الأعداد بين قوسين تعطي انحرافا معياريا واحدا في آخر الخانات) مأخوذة جزئيا من physics.nist.gov/constants

الملاحظة	القياس	الضبط (الإحكام) / الدقة
أعلى إحكام محقق : النسبة بين العزم المغناطيسي للإلكترون و ماغنترون بوهلر	-1.001 159 652 180 76(24)	$2.6 \cdot 10^{-13}$
الإحكام / الضبط العالي : ثابت ريدبورج	10973731.568539(55) m^{-1}	$5.0 \cdot 10^{-12}$
الإحكام / الضبط العالي : الوحدة الفلكية	149597870.691(30)km	$2.0 \cdot 10^{-10}$
الإحكام / الضبط العالي : سماح البعد للجزء النوعي في محرك السيارة	2 µm من 20 cm	$5 \cdot 10^{-6}$
الإحكام / الضبط المنخفض : ثابت الجاذبية G	6.67428(67) $\cdot 10^{-11}$ Nm^2/kg^2	$1.0 \cdot 10^{-4}$
الإحكام / الضبط اليومي : الساعة اليومية البشرية التي تحكم النوم	15 – 75 ساعة	2

إن التقدم المهم قد تحقق ولكن الإجابة النهائية ما تزال مراوغة . العديد من التحديات تبقى في حقول التنظيم الذاتي ، لمعادلات التطور غير الخطية و الحركة العشوائية . و في هذه الحقول فإن الدوامية هي مثال شهير : الوصف الدقيق للدوامية لم يتم التوصل له بعد ، بالرغم من الجهود الكثيفة . الجوائز الكبيرة مقدمة لحل ذلك .

العديد من التحديات الأخرى حفزت الكثير من الباحثين في الرياضيات ، الفيزياء ، الكيمياء ، البيولوجيا ، الطب و العلوم الطبيعية الأخرى . ولكن بعيدا عن هذه المواضيع البحثية فإن الفيزياء الكلاسيكية تركت الكثير من الأسئلة الأساسية بلا إجابة

ما هو التماس ؟

" ديموقرطيوس صرح أن هناك نوع فريد من الحركة :: الذي ينشأ من التصادم "

سيمبليكوس ، تعليق حول فيزياء أرسطو 42,10

(المرجع 348)

من الأسئلة التي لم يتم الإجابة عليها من قبل الفيزياء الكلاسيكية فإن تفاصيل التماس و الاصطدامات هي الأكثر أهمية . وفي الواقع لقد عرفنا الكتلة بدلالة تغيرات السرعة خلال الاصطدامات (المرجع 100) . ولكن لماذا تغير الأجسام حركتها في مثل هذه اللحظات / الحالات ؟ لماذا الاصطدامات بين كرتين مصنوعتين من العلكة تختلف عن تلك التي بين كرتين من الستانلس ستيل ؟ ما الذي يحدث خلال هذه اللحظات من التماس ؟

التماس مرتبط بخواص المادة ، الذي بدوره يؤثر على الحركة بشكل معقد . إن التعقيد في مثل هذه الحالة يعني أن علم خواص المواد قد تطور بشكل مستقل عن بقية الفيزياء لفترة طويلة ، مثلا تقنيات التعدين (غالبا هي أقدم علم معروف على الإطلاق) الكيمياء ، و الطبخ ربطت بخواص الحركة فقط في القرن العشرين و بعد أن كانت تدرس بشكل مستقل لمئات السنين . منذ أن حددت خواص المواد أصل التماس ، فإننا نحتاج لمعرفة أمور حول المادة و المواد الأخرى لفهم مفهوم الكتلة ، التماس و بالتالي الحركة . إن أجزاء مغامرتنا التي ستتعامل مع نظرية الكم ستكشف عن هذه الارتباطات .

ما الذي يحدد الإحكام / الضبط و الدقة ؟

(المرجع 349) الإحكام / الضبط له روعته . كم عدد خانات π ، النسبة بين محيط وقطر الدائرة التي يمكنك حفظها غيبا ؟ (تحدي 718s) ما هو العدد الأكبر من حيث الخانات لـ π الذي قمت بحسابه بنفسك ؟

من الممكن رسم أو قص مستطيل الذي نسبة أطواله هو عدد ليكن من الشكل : 0.13152009151400131521142001091….. الذي أرقامه ترمز كتابا كاملا ؟ (تحدي 719s) (الطريقة البسيطة سترمز فراغ بالشكل 00 و الحرف a هو 01 و b هو 02 و c هو 03 وهكذا . حتى الأكثر أهمية ، يمكن للرقم أن يطبع داخل كتباتك الخاص ؟)

لماذا العديد من نتائج القياسات مثل تلك الواردة في الجدول 52 ، للإحكام المحدود ، حتى إذا كانت الميزانية المالية المتوفرة لشراء جهاز قياس غير محدودة ؟ هذه كلها أسئلة حول الإحكام .

عندما بدأنا في تسلق جبل الحركة ، لقد شرحنا أن الوصول لارتفاعات يعني زيادة الإحكام لوصفنا للطبيعة . و حتى لجعل هذه العبارة بنفسها أكثر دقة ، فإننا نميز بين المصطلحين : الإحكام هو درجة إمكانية تكرار القياس / الحصول على نفس القيمة و الدقة هي الدرجة توافق قيمة القياس مع القيمة الفعلية . كلا المفهومين يطبقان على القياسات * على المقولات و المفاهيم الفيزيائية .

العبارات ذات الدقة الخاطئة و الإحكام الخاطئ مرتبطة . ماذا يجب أن نفكر بشركة سيارات – فورد – التي تقول بأن معامل الجر / الإعاقة للحركة c_w لنموذج معين هو 0.375 ؟ (تحدي 720 s) أو الإدعاء الرسمي أن الرقم القياسي العالمي في استهلاك الوقود للسيارات هو 2315.473 km/l ؟ أو مقولة أن 70.3% من كل المواطنين يتشاركون بفكرة معينة ؟ إن أحد الدروس التي نتعلمها من دراساتنا في أخطاء القياس هو أننا يجب ألا نعطي أبدا أرقام أكبر من أجل نتيجة عما يمكن أن نضع أيدينا في النار .

(المرجع 449) باختصار الإحكام و الدقة محدودان . في الوقت الحالي ، الرقم القياسي السجل للأرقام الموثوقة المقاسة قط لكمية فيزيائية هو 13 . لماذا هذا العدد القليل ؟ . إن فيزياء غاليليو لا تعطي أي إجابة على الإطلاق . ما هو العدد الأعظمي من الأرقام التي يمكن أن نتوقعها في القياسات ، ما الذي يحددها و كيف يمكننا تحقيقها ؟ هذه الأسئلة ما تزال مفتوحة عند هذه النقطة في مغامرتنا . هذا سيغطى في الأجزاء عن نظرية الكم . في مسيرتنا فإننا نتوجه إلى أعلى إحكام ممكن ، و دقة بينما نتجنب الدقة الخاطئة/ الزائفة ، . بالتالي المفاهيم يجب أن تكون بشكل أساسي محكمة و الأوصاف يجب أن تكون دقيقة . أي عدم دقة هو دليل على نقص الفهم . لتوضيح هذا بشكل مباشر في مغامرتنا فإن عدم الدقة يعنى خطأ .

زيادة الدقة و الإحكام لوصفنا للطبيعة يقتضي أن نترك خلفنا كل الأخطاء و التي قمنا بها حتى الآن . هذا السعي يطرح العديد من القضايا .

هل يمكن للطبيعة أن توصف في كتاب ؟

" لا يمكن أن يكون هناك مفاجأة في المنطق "

لودفيغ فيتنجسشتاين ، تراكتاتوس 6.1251

هل يمكن لمنشور فيزياء مثالي الذي يصف الطبيعة أن يوجد ؟ إذا و جد ، يجب أيضا أن يصف نفسه بما فيه قرائه و مؤلفه ، وقبل كل شيء أهمية ، أن يصف محتوياته . هل مثل هذا الكتاب ممكن ؟ باستخدام مفهوم للمعلومات ، يمكننا القول أن مثل هذا الكتاب يجب أن يحتوي كل المعلومات المحتواة في الكون . هل هذا ممكن ؟ لنفحص أولا الخيارات .

---

*من أجل القياسات ، كل من الإحكام و الدقة توصفان بشكل أفضل بواسطة انحرافهما المعياري كما هو مشروح في الصفحة 455 .

**" لا يمكن أن يكون هناك مفاجأة في المنطق "

إذا كان الطبيعة تتطلب كتابا بطول لا نهائي ، مثل هذا الكتاب من الواضح أنه لا يمكن أن يوجد . و في هذه الحالة ، الأوصاف التقريبية فقط للطبيعة هي ممكنة و كتاب الفيزياء المثالي مستحيل .

الطبيعة تتطلب قدرا منتهيا من المعلومات لوصفها ، و هناك خيارين . الأول هو أن المعلومات في الكون هي كبيرة جدا بحيث لا يمكن تلخيصها في كتاب ، وبالتالي كتاب الفيزياء المثالي مرة ثانية مستحيل . و الخيار الثاني هو أن الكون يحتوي قدر منتهي من المعلومات و أنه يمكن تلخيصها في بضع عبارات قصيرة . هذا سيقتضي أن بقية الكون لن يضيف شيئا للمعلومات المحتواة حاليا في كتاب الفيزياء التام .

نلاحظ أن الإجابة على هذه الأحجية أيضا تقتضي الإجابة على أحجية أخرى : فيما إذا كان الدماغ يمكن أن يحتوي وصف كامل للطبيعة . بمعنى آخر ، السؤال الحقيقي هو :هل يمكننا فهم الطبيعة . هل يمكننا الوصول إلى هدفنا بفهم الحركة ؟ نحن عادة نعتقد هذا و لكن الحجج التي نعطيها تقتضي أننا نعتقد بشكل فعال أن الكون لا يحتوي معلومات أكثر مما يمكن أن يحتويها دماغنا أو حتى يحتويها للتو (مجلد III ، صفحة 109) ماذا تعتقد ؟ ستحل هذه المسألة لاحقا في مغامرتنا . حتى ذلك الحين قم بتشكيل أفكارك (تحدي ny 721).

شيء ما خطأ حول وصف الحركة

" أقول فقط أنه ليس هناك نقطة في الفراغ ، و لا نقطة من المادة و أن الفراغ نفسه ليس نقطة حقيقية مطلقة "

ليبتنيز

إن تحوير التعريف الدائري لفيزياء غاليليلو هو أحد أهداف بقية مشوارنا . و البحث عن حل هو جزء من آخر ساق من المغامرة . و لتحقيق الحل ، فإننا بحاجة لزيادة مستوى الإحكام بشكل أساسي في وصفنا للحركة .

متى ازدادت الدقة ، يتقيد الخيال . و سوف نكتشف أن العديد من أنواع الحركات التي يبدو أنها ممكنة هي ليست كذلك

و الطبيعة تحد من السرعة ، الحجم ، التسارع ، الكتلة ، القوة ، الاستطاعة و العديد من المقادير الأخرى . استمر في قراءة الأجزاء الأخرى من المغامرة فقط إذا كنت جاهزا لتبادل الخيال مقابل الإحكام . و سوف لن تخسر ، لأن دراسة العمل الدقيق للطبيعة سيتحول إلى شيء أكثر روعة من أي خيال .

لماذا القياس مستحيل ؟

في وصف الجاذبية المعطى حتى الآن ، فإن الذي يتعلمه كل شخص - أو يجب أن يتعلمه – في المدرسة هو أن التسارع المرتبط بالكتلة و المسافة عن طريق $a=GM/r^2$ هذا كل شيء .

و لكن التبسيط خادع . من أجل أن نتأكد فيما إذا كان هذا الوصف صحيحا ، فإن علينا حساب الأطوال و الأزمنة . و لكن من المستحيل قياس الأطوال و الفواصل الزمنية بأي ساعة أو أي مسطرة استنادا إلى تبادل التأثير بالجاذبية لوحده .

حاول ابتكار مثل هذا الجهاز و سوف تخيب . (تحدي 724s) و أنت دائما بحاجة لطريقة غير متعلقة بالجاذبية لتشغيل و إيقاف ساعة التوقيت .

بشكل مشابه عندما تقيس الطول ، مثلا طاولة ، فإن عليك أن تمسك المسطرة أو أداة ما أخرى قربها . التأثير المتبادل الضروري لوضع المسطرة و الطاولة لا يمكن أن يكون مرتبط بالجاذبية .

التحديد المشابه يطبق حتى عند قياس الكتلة . حاول قياس الكتلة باستخدام الجاذبية لوحدها . (تحدي 725s) أي ميزان أو مقياس يحتاج لتبادل تأثير آخر – عادة ميكانيكي ، كهرطيسي أو ضوئي – لتحقيق وظيفته . هل يمكن أن تثبت أن نفس الشيء ينطبق على قياسات الزاوية ؟ (تحدي 726s) في الملخص مهما كانت الطريقة التي نستخدمها

- من أجل قياس السرعة ، الطول ، الزمن و الكتلة فإن تأثيرات متبادلة أخرى غير الجاذبية تكون لازمة

إن مقدرتنا على قياس الجاذبية ليست كل ما هو موجود . و في الحقيقة ، نحن ما نزال بحاجة لفهم الشحنة و الألوان

باختصار إن فيزياء غاليليو لا تشرح مقدرتنا على القياس ،و في الحقيقة هي حتى لا تشرح وجود معايير القياس . لماذا للأشياء طول ثابت ؟ و لماذا تعمل الساعات بانتظام ؟ فيزياء غاليليو لا يمكن أن تفسر هذه الملاحظات و سوف نحتاج إلى النسبية و فيزياء الكم لإيجاد ذلك .

هل الحركة غير محدودة ؟

فيزياء غاليليو تعني أن الحركة الخطية يمكن أن تستمر للأبد . و في الحقيقة فيزياء غاليليو تفترض تكتيكيا أن الكون لا نهائي في الفراغ والزمن . و في الواقع الانتهائية من أي نوع تتعارض مع وصف غاليليو للحركة . من ناحية أخرى نحن نعلم من الملاحظة أن الكون ليس لا نهائي : إذا كان لا نهائيا فإن الليل سوف لن يكون مظلما (تحدي 277 e).

إن فيزياء غاليليو أيضا تقول بأن السرعات يمكن أن يكون لها أي قيمة . لكن وجود السرعات المنتهية في الطبيعة لا يسمح لنا بتحديد تتابع الزمن . الساعات سيتكون مستحيلة , بمعنى آخر ، وصف الطبيعة بأنها تسمح بالسرعات غير المنتهية ه غير محكم . الإحكام و القياسات تتطلب حدود .

لأن فيزياء غاليليو لا تهتم بنهايات : تحديدات الحركة فإنها غير دقيقة و بالتالي خاطئة .

لتحقيق أعلى إحكام ممكن و بالتالي إيجاد الوصف الصحيح للحركة ، فإننا بحاجة لاكتشاف كل حدود الحركة . حتى الآن لقد اكتشفنا واحد : هناك أصغر قدر من الإنتروبي في الطبيعة . و نحن نتحول الآن إلى حد آخر و هو الحد الأكثر قوة : حد السرعة للطاقة ، الأجسام و الإشارات . لملاحظة و فهم حد السرعة ، المجلد التالي يدرس الحركة الأكثر سرعة للطاقة ، الأجسام و الإشارات المعروفة : حركة الضوء .

الملحق (أ)

مفاهيم و اصطلاحات

سيتم بيان المفاهيم المطروحة حديثا في كل هذا الكتاب بواسطة الطباعة المائلة . التعاريف الجديدة سيشار لها في الفهرس .في هذا الكتاب نحن نستخدم بشكل طبيعي وحدات الجملة الدولية للقياسات SI وهي معرفة في الملحق (ب) .

(صفحة 449) النتائج التجريبية مبينة بضبط / إحكام محدود ، عادة برقمين (خانتين بعد الفاصلة) حيث أن هذا غالبا كاف لتحقيق أغراضنا . إن القيم المرجعية عالية الإحكام من أجل الكميات المهمة يمكن أيضا أن توجد في الملحق (ب) . القيم ذات الإحكام الإضافي حول الجمل الفيزيائية المركبة معطاة في المجلد V . (المجلد V ، صفحة 342) .

لكن المعلومات المعطاة في هذا المجلد تستخدم بعض الاصطلاحات الإضافية التي يجدر إلقاء نظرة ثانية عليها .

الأبجدية اللاتينية

المرجع 350 : " ما هو مكتوب بدون جهد هو للقراءة العامة بدون متعة "

صاموئيل جونسون

الكتب هي مجموعات من الرموز . الكتابة ربما اخترعت بين 3300 BCE & 3400 من قبل السومريين في بلاد ما بين النهرين (ربما هناك احتمالات أخرى يتم مناقشتها) . و بعدها استغرق الأمر ألف عام قبل أن يبدأ الناس باستخدام الرموز ليمثلوا الأصوات بدلا من المفاهيم : وهذه هي الطريقة التي تم بها إيجاد أول أبجدية . هذا حدث بين 1600 & 2000 BCE (ربما في مصر) و أدى إلى الأبجدية السامية . إن استخدام الأبجدية كان له العديد من الفوائد بحيث تم اعتمادها بسرعة في كل الحضارات المجاورة ، بالرغم من أن هذا اتخذ أشكالا مختلفة . و بالنتيجة الأبجدية السامية هي أصل كل الأبجديات المستخدمة في العالم .

هذا الكتاب كتب باستخدام الأبجدية اللاتينية . في النظرة الأولى يبدو أن هذا يقتضي أن لفها لا يمكن أن يفسر طباعة ، على عكس الأبجديات الأخرى أو الأبجدية الصوتية العالمية (IPA) . (هذا يمكن شرحه باستخدام أبجدية النص الأساسي) .

لكن من حيث المبدأ من الممكن كتابة نص الذي يصف تماما كيف تتحرك الشفتان ، الفم و اللسان مع كل حرف ، باستخدام مفاهيم فيزيائية عند اللزوم . و أوصاف الألفاظ التي توجد في القواميس تمكّن من الاستخدام غير المباشر لهذه الطريقة : حيث يرجعون إلى ذاكرة الكلمات الملفوظة أو الأصوات الموجودة في الطبيعة .

تاريخيا الأبجدية اللاتينية كانت مشتقة من الأتروسكية ، التي هي نفسها مشتقة من الأبجدية الإغريقية و هناك شكلين رئيسيين لها .

الأبجدية اللاتينية القديمة المستخدمة في القرن السادس قبل الميلاد فصاعدا :

A B C D E F Z H I K L M N O P Q R S T V X

و الأبجدية اللاتينية الكلاسيكية ، المستخدمة من القرن الثاني قبل الميلاد حتى القرن الحادي عشر :

A B C D E F G H I K L M N O P Q R S T V X Y Z

الحرف G أضيف في القرن الثالث قبل الميلاد من قبل أوائل الرومان الذين افتتحوا مدرسة خاصة ، Spurius Carvilius Ruga وقد أضاف شحطة أفقية للحرف C و بدله بالحرف Z الذي لم يعد يستخدم في اللاتينية بعد ذلك ، من أجل هذا الحرف الجديد . في القرن الثاني قبل الميلاد بعد غزو اليونان فإن الرومان أدخلوا الحروف Y & Z من الأبجدية الإغريقية في نهاية أبجديتهم (بالتالي أعادة بشكل فعال إدخال Z) من أجل التمكن من كتابة الكلمات الإغريقية . و هذه الأبجدية اللاتينية الإغريقية كانت مستقرة لألف سنة قادمة .*

إن الأبجدية اللاتينية الكلاسيكية انتشرت في كل أوربا ، أفريقيا و آسيا من قبل الرمان خلال غزوهم لهذه المناطق ، بسبب بساطتها فقد بدأت في أن تستخدم من أجل الكتابة بلغات كثيرة أخرى . و أكثر الأبجديات اللاتينية الحديثة تشمل بعض الأحرف الأخرى . إن الحرف W أدخل في القرن الحادي عشر في الفرنسية و بعدها اعتمد في أغلب اللغات الأوربية ** أدخل الحرف U في منتصف القرن الخامس عشر في إيطاليا ، و الحرف J في نهاية ذلك القرن في إسبانيا (المرجع 351) لتمييز أصوات معينة التي كانت سابقا تمثل بالحرف V &I . و التمييز اثبت نجاحه و قد صار شائعا في أكثر اللغات الأوربية في القرن السادس عشر . و الاندماجات æ و œ تعود للعصور الوسطى . الأبجدية الألمانية شملت حرف s

الحاد أو ß كدمج لـ 'ss' أو 'sz' و الأبجديات الشمالية أضافت الحرف ذو الشوكة Þ أو þ و eth الذي يكتب Ð أو ð

وكلاهما مأخوذان من الأبجدية الرونية *** و إشارات أخرى (المرجع 352).

إن الأحرف الصغيرة لم تكن تستخدم في اللاتينية الكلاسيكية و هي تعود فقط للعصور الوسطى ، من زمن شارملان ، و مثل أكثر التفخيمات مثل ê, ç أو ä التي كانت أيضا أول ما استخدمت في العصور الوسطى و الأحرف الصغيرة أدخلت لتوفير الورق الغالي وقتئذ بتقصير الأحرف المكتوبة .

" باستثناء الكلب الكتاب هو أفضل صديق للإنسان ، داخل الكلب إنه من المظلم جدا القراءة "

غروكو ماركس

---

*لمقابلة متحدثين باللاتينية و الكاتبين بها اذهب إلى www.alcuinus.net

** في تركيا ، ما يزال في عام 2013 بإمكانك أن تمثل أمام قاض إذا استخدمت الأحرف q , w أو x في رسالة رسمية ، هذه الأحرف موجودة فقط في اللغة الكردية ، و ليس في التركية و استخدامها هو سلوك غير تركي ، و دعم للإرهاب و يعاقب عليه القانون ، و لا يعرف عموما كم أن مدرسي الفيزياء و الرياضيات يعانون من هذه المشكلة

***النص الروني Runic يعرف أيضا بـ Futhark أو Futhorc و هو نوع من الأبجدية مستخدم في العصور الوسطى في البلدان الجرمانية ، الإنجلوساكسونية و الشمالية ربما مشتقة من الأبجدية الأتروكسية . إن الاسم مشتق من أول ستة أحرف : f , u , th, a(o) , r , k (c) و الحرف الثالث هو الحرف الشوكي المذكور أعلاه و غالبا يكتب بالشكل 'Y' في الإنجليزية القديمة ، كما في 'YeOldeShoppe' من الأبجدية الرونية أخذت الإنجليزية القديمة أيضا الحرف wyn ليمثل الصوت 'w' و الـ eth المذكور . (الأحرف الأخرى المستخدمة في الإنجليزية القديمة - ليست من الرونية – كانت yogh و هو شكل قديم لـ g و الأحرف المدمجة æ و Æ المسماة ash و œ أو Œ المسمى ethel) .

الجدول 53 الأبجدية القديمة و الكلاسيكية الإغريقية ، و الأحرف اللاتينية المقابلة و الأرقام الهندية

القديمة	الكلاسيكية	الاسم	المقابل	القديمة	الكلاسيكية	الاسم	المقابل
A	A α	alpha	a 1	N	N ν	nu	n 50
B	B β	beta	b 2	Ξ	Ξ ξ	xi	x 60
Γ	Γ γ	gamma	g, n[1] 3	O	O o	omicron	o 70
Δ	Δ δ	delta	d 4	Π	Π π	pi	p 80
E	E ε	epsilon	e 5	Ϙ ϙ, ϟ		qoppa[3]	q 90
F ϝ, ς		digamma, stigma[2]	w 6	P	P ρ	rho	r, rh 100
				Σ	Σ σ, ς	sigma[4]	s 200
Z	Z ζ	zeta	z 7	T	T τ	tau	t 300
H	H η	eta	e 8		Υ υ	upsilon	y, u[5] 400
Θ	Θ θ	theta	th 9		Φ φ	phi	ph, f 500
I	I ι	iota	i, j 10		Χ χ	chi	ch 600
K	K κ	kappa	k 20		Ψ ψ	psi	ps 700
Λ	Λ λ	lambda	l 30		Ω ω	omega	o 800
M	M μ	mu	m 40	Ϡ ϡ		sampi[6]	s 900

الأحرف القديمة الإقليمية مثل yot & san لم تضف في الجدول . الحرف san كان أصل sampi

1. إذا فقط كان قبل الأحرف الحلقية أي قبل kappa , gamma , xi & chi

2. إن Digmma هو اسم يستخدم بشكل F . و قد كان يستخدم بشكل أساسي كحرف (لكن أيضا في بعض الأحيان في شكل حرف صغير كرقم) بينما الشكل و الاسم stigma ، يستخدم فقط من أجل الرقم

   كلا الاسمين اشتقا من الأشكال الموافقة ، في الحقيقة ، stigma هو شكل حرف كبير من العصور الوسطى لـ digmma . و اسم stigma اشتق من حقيقة أن الحرف يبدو مثل sigma مع tau متصلة به تحته – بالرغم من أنه لسوء الحظ ليس في الفونطات الحديثة . و اسم الحرف الصلي أيضا يعطيه لفطه وقد كان waw

3. شكل qoppa الذي يبدو مثل z معكوس و مدور ما يزال يستخدم في بعض الأحيان في اللغة اليونانية الحديثة . تسمي اليوني كود هذا الشكل ' koppa '

4. الشكل الثاني من sigma يستخدم فقط في نهاية الكلمات

5. يوافق Upsilon لحرف ' u ' كحرف ثاني في الإدغام

6. في الأزمنة القديمة الحرف sampi كان يوضع بين pi & qoppa

الأبجدية الإغريقية / اليونانية

إن الأبجدية الإغريقية / اليونانية هي أساسية في الحضارة الحديثة و الثقافة . و هي أصل الأبجدية الأتروسكية التي اشتقت منها الأبجدية اللاتينية .

الأبجدية الإغريقية / اليونانية نفسها اشتقت من الفينيقية أو أبجدية سامية شمالية مشابهة في القرن العاشر قبل الميلاد (المرجع (المرجع 354) . و الأبجدية الإغريقية / اليونانية لأول مرة شملت أحرف صوتية ، التي كانت غير موجودة في الأبجديات السامية (وغالبا ما تزال غير موجودة) .

في الأبجدية الفينيقية و في العديد من مشتقاتها مثل الأبجدية الإغريقية / اليونانية ، كل حرف له اسم خاص . وهذا عل عكس البجدية الأتروكسية و اللاتينية . و اسم أول حرفين إغريقيين هما بالطبع أصل الأبجدية نفسها

في القرن العاشر قبل الميلاد ، فإن الأبجدية الإغريقية الإيزنية أو القديمة (الشرقية) تكونت من الأحرف الكبيرة فقط . في القرن السادس قبل الميلاد فإن أحرفا عديدة قد أسقطت بينما بعض الأحرف الجديدة و الأشكال الصغيرة قد أضيفت و التي أعطت الأبجدية الإغريقية الكلاسيكية . و ما يزال بعد ذلك ، التفخيم / التشديد ، الأدلة و اللفظات قد أضيفت .

الجدول 53 أيضا يعطي القيم المحددة للأحرف عندما تستخدم كأرقام . من أجل هذا الاستخدام الخاص فإن الأحرف القديمة المهملة أبقيت خلال الفترة الكلاسيكية و بالتالي هي أيضا أخذت أشكالا صغيرة .

إن المقابل اللاتيني في الجدول هو الكلاسيكي القياسي المستخدم في كتابة الكلمات الإغريقية و قضية اللفظ الصحيح للإغريقية كانت موضع جدل شديد في دوائر المختصين ، حيث أن اللفظ الإراسمي التقليدي لا يقابل لا نتائج البحث اللغوي أو الإغريقية الحديثة . و في الإغريقية الكلاسيكية الصوت الذي تعمله الأغنام كان βn-βn (اللفظ الإرسماني يصر بشكل خاطئ على لفظ η ضيقة التي الآن تلفظ بشكل i ' – ' i: طويلة) و من الواضح أن لفظ اليونانية اختلف من منطقة لأخرى ومع الزمن . من أجل الإغريقية الأتيكية / لغة أثينا ، اللهجة الأساسية المحكية في الفترة الكلاسيكية فإنه تم تسوية هذه المسألة . و البحث اللغوي قد بين أن chi , phi & theta كانت ألفاظ أقل سحبا للهواء مما تلفظ به عادة في الإنجليزية و تعطي صوت مثل الأصوات الأولية لـ cat , perfect & tin ، أيضا zeta يبدو أنه كان يلفظ مثل zd كما في buzzed . كما في الأحرف الصوتية على عكس ما هو تقليدي فإن epsilon هو مغلق و قصير بينما eta مفتوح و طويل و omicron مغلق و قصير بينما omega واسع وطويل و upsilon هو فعلا بصوت مثل u الفرنسي أو ü الألماني .

إن الأحرف الصوتية الإغريقية أو ذات اللفظ الانسيابي ، الأدلة ، و اللفظ الحاد ، الخفيض ، الممدود أو التشديد ذو العلامة

إن اللفظات – المستخدمة أيضا في ρ – تحدد فيما إذا كان الحرف ذو سحب / مدة . التشديد الذي يفسر على أنه إدغام في اللفظ الإرسماني في الحقيقة هو ممثل لنغمة / طبقة الصوت . الإغريقية الكلاسيكية يمكن أن يكون لها حتى ثلاث إشارات مضافة لكل حرف ، الإغريقية الحديثة لا تملك أبدا أكثر من واحد .

الأصل الآخر للأبجدية الإغريقية * هو الأبجدية السيريلية ، التي تستخدم مع تغيرات طفيفة في في العديد من اللغات السلافية مثل الروسية و البلغارية . ليس هناك نسخ قياسي من السيريلية إلى اللاتينية بحيث أن الاسم الروسي غالبا يلفظ بشكل مختلف في بلدان مختلفة أو حتى في نفس البلد في مناسبات مختلفة .

الأبجدية العبرية و النصوص المكتوبة الأخرى

إن الأبجدية الفينيقية هي أيضا الأبجدية الساكنة العبرية أو الأبجد . و إن أحرفها الأولى معطاة في الجدول 54 (المرجع 355) و فقط الحرف ألف يستخدم بشكل شائع في الرياضيات بالرغم من أنع تم اقتراح أحرف أخرى (المجلد III ، صفحة 215) .

حوالي مائة نظام كتابة يستخدم في كل العالم . الخبراء يصنفونها في خمس مجموعات . الأبجديات الفونيمية مثل اللاتينية أو الإغريقية ، والتي لها إشارة من أجل كل ساكن و صوتي . و الأبجدات أو الأبجديات الساكنة ، مثل العبرية أو العربية ،

---

*إن الأبجدية الإغريقية هي أيضا أصل الأبجدية القوطية و التي عرفت في القرن الرابع من قبل ولفيلا من أجل اللغة القوطية باستخدام أيضا بعض افشارات من اللاتينية و النصوص المكتوبة الأخرى الرونية .

إن الأبجدية القوطية يجب ألا يخلط بينها و بين ما يعرف بالأحرف القوطية ، وهي نمط من الأبجدية اللاتينية المستخدمة في كل أوربا من القرن الحادي عشر فصاعدا . و في البلدان اللاتينية فإن الأحرف القوطية استبدلت في القرن السادس عشر بالأنتيكا ، و هي أصل النوع الذي كتب به هذا الكتاب . و في بلدان أخرى ، فإن الأحرف القوطية بقيت مستخدمة لفترة أطول بكثير . و قد استخدمت في الطباعة و الكتابة اليدوية في ألمانيا حتى 1941 ، عندما قامت الحكومة الاشتراكية الوطنية فجأة بإلغائها من أجل الالتزام بالطلب العام , و قد بقين مستخدمة بشكل منفرد في أوربا و في العديد من كتب الفيزياء و الرياضيات ، تستخدم الأحرف القوطية لتشير للكميات الشعاعية .

الجدول 54 بداية الأبجد العبري

الحرف	الاسم	المقابل	
א	aleph	1	a
ב	beth	2	b
ג	gimel	3	g
ד	daleth	4	d
etc.			

التي لها إشارة لكل ساكن (في بعض الأحيان تشمل بعض الأصوتيات مثل الألف) و صوتيات لا تكتب (في الأغلب) و أكثر الأبجدات تكتب من اليمين لليسار . و الأبوجيدات أيضا تعرف بالأبجديات المقطعية مثل البالينزية ، البروميزية ، الديفنجارية ، التاجالوجية ، التايلندية ، التايبية أو اللاوسية و تكتب فيها أحرف ساكنة و صوتية وكل ساكن له صوتي خاص به ، الذي يمكن تغييره إلى أحرف أخرى بواسطة الفوارق . اللغات المقاطعية ، مثل الهيراجانا ، أو الإثيوبية ،لها إشارة لكل مقطع من اللغة . أخيرا النصوص المكتوبة المعقدة مثل الصينية ، المايية ، أو الهيروغليفية المصرية تستخدم إشارات التي لها صوت و معنى . أنظمة الكتابة يمكن أن يكون لها تدفق نصي من اليمين لليسار ، من الأسفل للأعلى و يمكن أن تعد صفحات الكتاب بالاتجاه المعاكس لهذا الكتاب .

حتى بالرغم من أن حوالي ستة آلاف لغة موجودة على الأرض ، هناك فقط مائة نظام كتابة فق تستخدم اليوم . حوالي خمسين من نظم الكتابة الأخرى قد توقف استخدامها * . (المرجع 356) من أجل العلاقات الفيزيائية و الرياضية بالرغم من أن نظام الإشارات المستخدم في هذا الكتاب يستند للأحرف اللاتينية و الإغريقية وهي مكتوبة من اليسار لليمين و من الأعلى للأسفل فهي المعيار العالمي . و هي تستخدم بشكل مستقل عن نظام الكتابة للكتاب الذي تحتويه .

الأعداد و الأرقام الهندية

إن كلا من الأرقام و الطريقة المستخدمة بها في هذا الكتاب هي كتابة الأرقام ذات الأصل الهندي ، و الأرقام الهندية تعود لحوالي 600 قبل الميلاد ، وقد أتت للشرق الأوسط من قبل الرياضيين العرب في العصور الوسطى (مرجع 357) . و نظام الأعداد في هذا الكتاب بالتالي هو أصغر عمرا من الأبجدية . إن الأعداد الهندية انتشرت في أوربا من قبل ليوناردو من بيزا ، المسمى فيبوناتشي ** و في كتابه "كتاب الحساب " الذي نشر عام 1202 فإن هذا الكتاب أحدث ثورة في

الرياضيات . و أي شخص لديه ورقة وقلم (القلم لم يتم اختراعه بعد) كان قادرا على حساب و كتابة الأعداد الكبيرة حسبما يستوعب أو حتى الأكبر ، وأن يقوم بالحسابات عليها . يبدأ كتاب فيبوناتشي :

Novem figure indorum he sunt 9 8 7 6 5 4 3 2 1. Cum his itaque novem figuris, et cum hoc signo 0, quod arabice zephirum appellatur, scribitur quilibet

---

*إن الموقع المصمم جيدا في الإنترنت حول هذا الموضوع هو www.omniglot.com . أنظمة الكتابة الحالية الرئيسية و الماضية مرمزة في معيار اليونيكود ، التي في الوقت الحالي تحتوي52 نظام كتابة . أنظر www.unicode.org

إن المثال الجميل عن نظام الكتابة هو الأبجدية المقترحة من قبل جورج بيرنارد شو ، الواردة في /en.wilkipedia.org . wiki/Shavian_alphabet

**

ليونارد بيزا ، سمي فيبوناتشي (ولد في 1175 في بيوا و توفي فيها 1250) كان أكثر الرياضيين أهمية في عصره

numerus, ut inferius demonstratur.*

إن الطريقة الهندية لكتابة الأعداد ، نظام الأعداد الهندي طرح مفهومين : الكبير ، و هو النظام الموضعي ، و صغير ، الرقم صفر **

إن النظام الموضعي كما هو موصوف من قبل فيبوناتشي كان أكثر فعالية بكثير بحيث حل كليا محل نظام الأعداد الروماني السابق ، الذي يكتب 1996 بالشكل IVMM أو MCMIVC أو MCMXCVI و أيضا نظام الأعداد الإغريقي لذي كانت تستخدم فيه الأحرف الإغريقية لكتابة الأعداد بالشكل المبين في الجدول 53 بالتالي كتابة 1996 كان يتم بالشكل αϡϛ' مقارنة مع هذه الأنظمة الأعداد الهندية هي تكنولوجيا أفضل بكثير .

إن نظام الأعداد الهندية أثبت أنه عملي جدا بحيث أن الحسابات تتم على الورق بشكل كامل وتزيل لاستخدام أداة الحساب / المحسب الذي لم يعد بالتالي يستخدم . إن المحسب ما يزال يستخدم في بلدان في آسيا ، أمريكا أو أفريقيا ، و من قبل الناس الذين لا يستخدمون النظام الموضعي لكتابة الأعداد . و هو أيضا مفيد لفاقدي البصر.

إن نظام الأعداد الهندية أيضا أزال الحاجة لأنظمة لتمثيل الأعداد بواسطة الأصابع ، مثل هذه الأنظمة القديمة التي ستبين الأعداد حتى 10000 و أكبر ، قد تركت فقط أثرا واحدا : المصطلح " رقم " نفسه الذي اشتق من كلمة لاتينية تعني الإصبع .

إن قوة النظام الموضعي غالبا تنسى ، مثلا فقط نظام الأعداد الموضعي يسمح بالحسابات الذهنية و يجعل الحسابات الصعبة ممكنة ***

الرموز المستخدمة في الكتاب

" لتجنب التكرار الممل لهذه الكلمات يساوي إلى ، سوف أضع غالبا و أستخدم زوج من الخطوط المتوازية أو خطوط Gemowe بطول واحد و هي = و هي تعني أن شيئين متساويين

روبرت ريكورد

إلى جانب الكتاب و الأعداد ، كتب الفيزياء تحتوي رموز أخرى . أكثر الرموز تم تطويرها خلال مئات السنين بحيث أن فقط الأوضح منها و الأبسط تستخدم الآن . في هذه المغامرة ، الرموز المستخدمة كاختصارات من أجل الكميات الفيزيائية كلها مأخوذة من الأبجدية اللاتينية و الإغريقية و هي دائما معرفة في سياق الذي تستخدم فيه . إن الرموز التي تتعلق بالواحدات ،الثوابت ، الجسيمات معرفة في الملحق B .

---

*الأرقام التسعة الهندية هي : 987654321 وبواسطة هذه الأرقام التسعة وبواسطة إشارة 0 الذي يعرف بالعربية الصفر يمكن كتابة الأعداد كما سنبين أدناه

**بالتالي من غير الصحيح أن نسمي الأرقام من 0 إلى 9 بالعربية . كل الأرقام المستخدمة في النصوص العربية و النصوص اللاتينية مثل هذا الكتاب مشتقة من الأرقام الهندية . يمكنك التأكد من هذا بنفسك : فقط الأرقام 7 & 2,3, 0 تشبه تلك المستخدمة في الكتابة العربية وبعد إذا فقط دورت باتجاه عقارب الساعة بمقدار تسعين درجة .

***حاليا ، أقصر زمن لإيجاد جذر من الرتبة الثلاثين (صحيح) لعدد مكون من مائة رقم (صحيح) بنتيجة ثمانية أرقام هو أقل من أربع ثواني و 7.02 لعدد مكون من 200 رقم و الذي نتيجته ستة عشر رقما . و كلا الرقمين القياسيين مسجلين باسم أليكسيس لومير . للمزيد عن قصص و طرق الحساب السحرية أنظر مسرد المراجع (المرجع 358) .

***روبرت ريكورد (ولد في تيندي 1510 و توفي في لندن 1558) رياضي و فيزيائي وقد توفي في سجن بسبب ديونه. و الاقتباس من كتابه ويستستون

ويتي 1557 . الصورة التي تبين الاستشهاد موجودة في en.wikipedia.org/wiki/Equals_sign وعادة يقال أن الاستشهاد هو أول مقدمة عن إشارة المساواة و يقال أن الرياضيين الإيطاليين استخدموا إشارة المساواة قبل ريكورد و هذا غير مؤكد بأدلة مقنعة (مرجع 359)

جدول 55 تاريخ المفاهيم و الرموز الرياضية

الرمز	المعنى	الأصل
+ , -	زائد ، ناقص	يوهانس فيدمان 1489 ، إشارة الزائد مشتقة من اللاتينية et (تعني و)
$\sqrt{\ }$	تقرأ جذر تربيعي	استخدمت من قبل كريستو رودولف في 1525 ، الإشارة تطورت من نقطة
=	يساوي إلى	روبرت ريكورد 1557
( ) , [ ] , { }	تجميع الرموز / أقواس	استخدمت في بداية القرن السادس عشر
< , >	أكبر من ، أصغر من	توماس هاريوت 1631
×	مضروب بـ ، ضرب / جداء	إنجلترا ، تقريبا 1600 و انتشرت من قبل ويليلم أوترايد 1631
a^n	a مرفوعة للقوة n ، a.....a (n مرة)	رينيه ديكارت 1631
x , y ,z	الإحداثيات ، مجاهيل	رينيه ديكارت 1637
ax+by+c=0	ثوابت , معادلات لمجاهيل	رينيه ديكارت 1637
∞	اللانهاية	جون واليس 1655
$\int y\,dx$,d/dx,dx,	مشتق ، تفاضل ، تكامل	جوتفريد فيلهيلم ليبتنيز 1675
:	مقسم على	جوتفريد فيلهيلم ليبتنيز 1684
.	مضروب بـ ، مرة	جوتفريد فيلهيلم ليبتنيز تقريبا 1690
a_1 ,a_n	أدلة	جوتفريد فيلهيلم ليبتنيز تقريبا 1690
~	مشابه لـ / بالمثل	جوتفريد فيلهيلم ليبتنيز تقريبا 1690
π	رمز الدائرة ، 4 arctan 1	ويليام جونز 1706

φx	تابع لـ x	يوهان بيرنولي 1718
f x , f(x)	تابع لـ x	ليونارد أويلر 1734
e	$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!} = \lim_{n\to\infty}(1+1/n)^n$	ليونارد أويلر 1736
f'(x)	مشتق التابع عند x	جيوسيبه لاغرانجيا
Δx ,Σ	الفرق ، مجموع	ليونارد أويلر 1755
Π	جداء	كارل فريريش غوص 1812
i	الوحدة التخيلية ، $+\sqrt{-1}$	ليونارد أويلر 1777
≠	مختلف عن	ليونارد أويلر ، القرن الثامن عشر

جدول 55 (تابع) تاريخ المفاهيم و الرموز الرياضية

الرمز	المعنى	الأصل
$\partial/\partial x$	المشتق الجزئي ، تقرا مثل ' d/dx '	لقد اشتق من الشكل الكتابي المعروف لـ ' d ' أو الحرف ' dey ' من الأبجدية السيريلية من قبل أدريان ماري لوجاندر في 1786 و انتشر من قبل كار غوستاف جاكوبي في 1841
n!	العاملي ، 1.2....	كريستيان كرامب 1808
Δ	عامل لابلاس	روبرت مورفي 1833
|x|	القيمة المطلقة	كارل فيليشتراس1841
∇	تقرأ " نابلا " (أو ' del ')	طرحت من قبل ويليام هاميلتون في 1853 و بيتر تيت في 1867 ، سميت باسم شكل الأداة الموسيقية المصرية القديمة
⊂, ⊃	احتواء المجموعة	إرنست شرودر 1890
∪, ∩	اجتماع و تقاطع المجموعة	جيوسيبه بيينو 1888
∈	عنصر من	جيوسيبه بيينو 1888
⊗	جداء زوجي / ثنائي ، أو جداء تنسور أو جدار خارجي	مجهول
$\langle\psi\vert, \vert\psi\rangle$	شعاعي الحالة برا و كيت	باول ديراك 1930
∅	المجموعة الخالية	أندريه ويل كعضو في مجموعة نيكولاس بورباكي في بداية القرن العشرين
[x]	قياس وحدة كمية x	القرن العشرين

الإشارات الأخرى المستخدمة هنا لها أصل أكثر تعقيدا . إن إشارة & هي اختصار للكلمة اللاتينية et و تعني " و " و غالبا ترى بشكل أوضح في أشكالها المختلفة مثل 🙰 ، الشكل المائل الشائع .

كل فواصل الإشارات المستخدمة في الجمل في الأبجدية اللاتينية الحديثة مثل » « ’ ‘ ? ! : ; . , ( ) – لها تاريخها الخاص . العديد منها هي من الإغريقية القديمة ، و لكن علامة الاستفهام هي من محكمة شارملان (مرجع 361) و علامة التعجب ظهرت أولا في القرن السادس عشر .*

إن الإشارة @ أو إشارة at ربما أتت من المختصر المستخدم في العصور الوسطى من اللاتينية ad الذي يعني at ، بشكل مشابه لكيفية تطور إشارة & من اللاتينية et (مرجع 362) . و في السنوات الأخيرة فإن الأوجه البسامة 😊 smiley و أشكالها المختلفة أصبحت شائعة . و إن الأوجه المبتسمة في الحقيقة شكل جديد من السخرية الذي اقترح في 1899 بدو نجاح ، من قبل الشاعر أكانتر دو براهم (ولد في مولهاوس 1868 و توفي في باريس 1942) .

إن إشارة المقطع / الفقرة § تعود إلى القرن الثالث عشر في شمال إيطاليا ، حيث كانت تعرض من قبل عالم الكتابات القديمة باول ليمان . وقد اشتقت من الأشكال التزيينية للحرف الكبير C تعبيرا عن capitulum أي الرأس الصغير أو الفصل . إن الإشارة ظهرت أولا في النصوص القانونية حيث ما تزال تستخدم اليوم و بعدها انتشرت إلى مجالات أخرى .

إشارة الفقرة ¶ اشتقت من الشكل الأبسط القديم الذي يبدو مثل الحرف الإغريقي Γ و هي إشارة كانت تستخدم في المخطوطات من اليونان القديمة و ما تزال مستخدمة في

---

*حول الأقواس أنظر الكتاب الجميل لـ J.LEENARD ، لكني أستطرد ، منشورات جامعة أكسفورد 1991

العصور الوسطى لتشير إلى بداية فقرة نصية جديدة . وفي العصور الوسطى أخذت شكلا جديدا ، ربما لأن الحرف c أضيف أمامها .

أحد الإشارات الأكثر أهمية على الإطلاق هي الفراغ الأبيض ، الذي يباعد و يفصل بين الكلمات وكان ناتج عن التأثيرات السلتية و الجرمانية عندما بدأ هؤلاء الناس باستخدام الأبجدية اللاتينية .

وقد أصبح شائعا بين القرن التاسع و الثالث عشر تبعا للغة المعنية .

التقاويم

الطرق العددية لمتابعة الزمن تختلف بشدة من حضارة لأخرى . و إن التقويم الأكثر شيوعا هو المستخدم في هذا الكتاب ، و هو أيضا الأكثر ثقة ، حيث أنه توفيق بين القوى السياسية العديدة التي حاولت تشكيله .

في الأزمنة القديمة ، فإن الهيئات المحلية المستقلة ، مثل القبائل أو المدن فضلن استخدام الشهر كوحدة تقويم ، و الدول المركزية فرضت التقاويم الشمسية استنادا إلى السنة. و التقاويم الشمسية تحتاج لفلكيين و بالتالي سلطة مركزية لتمويلهم و لأسباب متعددة ، فإن المزارعين ، السياسيين ، جامعي الضرائب ، الفلكيين و بعض و ليس كل المجموعات الدينية أرادوا تقويما يتبع السنة الشمسية بالدقة الممكنة . و التوفيقات اللازمة بين الأيام و السنين هي أصل الأيام الكبيسة . و إن التوفيقات اللازمة بين الأشهر و السنة أدت إلى اختلاف طول الأشهر و هي مختلفة في تقاويم مختلفة . البنية الأكثر شيوعا المستخدمة للسنة – الشهر نظمت نحو 2000 سنة خلت من قبل قيصر و بالتالي يسمى بتقويم جوليان .

دمر هذا النظام فقط بعد بضع سنين : وقد أطيل شهر أغسطس / آب إلى 31 يوما عندما سميت باستخدام أوغسطوس .

في الأصل الشهر كان فقط ثلاثين يوما و لكن من أجل بيان أن أغسطس كان قيصرا مهما ، الذي سمي شهر يوليو فإن أطوال الشهور الأخرى للسنة تم تغييرها في النصف الثاني من السنة و قصر فبراير بيوم إضافي واحد .

الأسبوع هو اختراع للبابليين (مرجع 365) وفقط كان يوم واحد من الأسبوع البابلي هو يوم شر أو نحس وهكذا كان من الأفضل عدم فعل شيء في هذا اليوم . و الدورة الأسبوعية الحديثة مع يوم الاستراحة ينحدر من ذلك التشاؤم الخرافي

(الطريقة التي تعاونت بها الخرافة و الفلك لتحديد ترتيب أيام الأسبوع مشروحة في الفقرة حول الجاذبية) . بالرغم من أن هذا بعمر ثلاثة آلاف سنة ، فإن الأسبوع قد شمل بشكل كامل في تقويم جوليان فقط حوالي السنة 300 باتجاه نهاية الإمبراطورية الرومانية الغربية . و التغيير النهائي في تقويم جوليان حدث بين 1917 & 1582 (تبعا للبلد) عندما استخدمت أدوات أكثر إحكاما للسنة الشمسية لوضع طريقة جديدة لتحديد الأيام الكبيسة ، و هي طريقة ما تزال مستخدمة اليوم .

مع بقية التأريخ و تثبيت إيقاع الأسبوع هذا المعيار يسمى بالتقويم الغريغوري أو ببساطة التقويم الحديث .وهو يستخدم من قبل أكثرية سكان العالم :

بالرغم من تعقيده فإن التقويم الحديث يسمح لك بتحديد يوم الأسبوع لتاريخ معين في رأسك . فقط عليك تنفيذ الخطوات الست التالية :

1. خذ آخر رقمين من السنة وقسمها على أربعة مع طرح الكسور
2. اجمع آخر رقمين من السنة
3. اطرح واحد من أجل كانون الثاني أو شباط للسنة الكبيسة
4. أضف 6 من أجل أعوام 1600s , 2000s و 4 من أجل أعوام 1700s أو 2100s

   2 من أجل أعوام 1800s & 2200s و صفر من أجل أعوام 1900s أو 1500s
5. اجمع يوم الشهر
6. اجمع القيمة الرئيسية للشهر و هي 146 036 025 144 من أجل JFM AMJ JAS OND .

الباقي بعد التقسيم على 7 يعطي يوم الأسبوع وفق التقابل 0-6-5-4-3-2-1 مما يعني الأحد – الاثنين – الثلاثاء – الأربعاء – الخميس – الجمعة – السبت .*

متى تبدأ في عد السنوات فإن هذا أمر اختياري . أقدم طريقة غير مرتبطة ببنى السلطة السياسية المستخدمة في اليونان القديمة ، عندما كانت السنوات تعد من أول الألعاب الأولمبية . اعتاد الناس على القول ، مثلا أنهم ولدوا في أول سنة من الأولمبياد الثالث و العشرين . لاحقا السلطات السياسية داما فرضت العد من سنوات بعض الأحداث المهمة فصاعدا . ** ربما إعادة طرح العد الأولمبي هو أمر جدير بالاعتبار ؟

أسماء الناس

في الشرق الأقصى ، مثل كوريا Corea *** ، اليابان أو الصين أسماء العائلات توضع أمام الأسماء للأشخاص . مثلا أول فائز ياباني بجازة نوبل في الفيزياء كان يوكاوا هيديكي . في الهند غالبا و لكن ليس دائما ، ليس هناك اسم للعائلة ، في هذه الحالات اسم الأب الأول هو المستخدم . في روسيا اسم العائلة نادرا ما يستخدم في المحادثة و اسم أول أب هو المستخدم .

مثلا ليف لانداو يسمى بليف دايفيدوفيتش (ابن ديفيد) بالإضافة لذلك فإن النسخ بحروف أخرى ليس قياسيا و هو يختلف من بلد لآخر ومن تقليد لتقليد . مثلا يجد المرء كتابة دويستوفسكي مكتوبة بأحد الأشكال التالية , Dostojewski Dostoevskij , Dostoïevski & Dostoyevsky لاسم الشخص . في هولندا الأسماء الرسمية لا تستخدم أبدا ، كل شخص له

---

*تذكر النتيجة المتوسطة للسنة الحالية يمكن أن تبسط الأشياء حتى أكثر خاصة نظرا التواريخ , 10.10 ,8.8, 6.6 , 4.4 11.7 ,7.11 , 9.5, 12.12 و آخر يوم من شباط كلها تقع في نفس يوم الأسبوع و هي نتيجة السنة المتوسطة زائد أربعة

** العد الحالي للسنوات حدد في العصور الوسطى بوضع تاريخ تأسيس روما بالعام 753 BCE أو 753 قبل العصر الشائع / المشترك ، وبعدها العد للخلف بحيث أن سنوات BCE تتصرف تقريبا مثل الأرقام السلبية . لكن السنة 1 تلي مباشرة السنة 1 BCE : ليس هناك سنة صفر

بعض المعايير الموضوعة من قبل الإمبراطورية الرومانية تشرح العديد من الاختصارات في الكتاب:

- c هي اختصار لا تيني لكلمة circa تعني" تقريبا "
- i.e. اختصار لا تيني لكلمة id est تعني " أي أن "
- e.g. اختصار لا تيني لكلمة exempli gratia تعني "على سبيل المثال "
- ibid. اختصار لا تيني لكلمة ibidem تعني " في نفس المكان "
- inf. اختصار لا تيني لكلمة infra تعني (أنظر) " أدناه"
- op. اختصار لا تيني لكلمة opus citatum تعني " العمل المستشهد به "
- et al. اختصار لا تيني لكلمة et alii تعني " و آخرون"

بالمناسبة ، idem تعني " نفس الشيء " و passim تعني " هنا و هناك " أو " في كل مكان " و العديد من المصطلحات المستخدمة في الفيزياء ، مثل التردد ، التسارع ، السرعة ، الكتلة ، القوة ، كمية الحركة ، العطالة ، الجاذبية و درجة الحرارة مشتقة من اللاتينية . في الحقيقة يقال أن لغة العلم كانت لاتينية لأكثر من ألف عام و في العصور الرومانية كانت المفردات اللاتينية مع القواعد اللاتينية ، و في العصور الحديثة تحولت إلى المفردات اللاتينية و القواعد الفرنسية ، وبعدها لفترة قصيرة إلى المفردات اللاتينية و القواعد الألمانية و بعدها تغيرت إلى المفردات اللاتينية ذات القواعد البريطانية / الأمريكية .

العددي من واحدات القياس أيضا تعود للأزمنة الرومانية و هي مشروحة في الملحق التالي . حتى السحر بالمصطلحات الفنية

اللاتينية كما هو مبين في نحت الكلمات مثل ' gyroscope ' ، 'entropy' أو 'proton ' يعود للأزمنة الرومانية (مرجع 366)

*** Corea أجبرت على تغيير كتابة اسمها إلى Korea من قبل الجيش الياباني لأن الجنرالات لا يتحملون أن يسبق اسم Corea اليابان Japan في الأبجدية . وهذه ليست نكتة .

شبه رسمية و هي الاسم الذي يسمى به . مثلا الاسم الرسمي المعطى لـ 'Gerard t' Hooft هو Gerardus وفي ألمانيا بعض أسماء العائلات لها كتابة خاصة . مثلا Voigt تلفظ 'Fohgt ' و في إيطاليا خلال العصور الوسطى و النهضة ، كان يسمى الناس بأسمائهم الأولى مثل مايكل أنجيلو ، أو غاليليو ، أو غالبا بالاسم الأول إضافة إلى الاسم الثاني الشخصي الذي لم يكن اسم عائلتهم ،ولكن يستخدم مثل اسم العائلة ، مثل نيكلولو تارتاليا ، أو ليوناردو فيبوناتشي . في روما القديمة ، الاسم الذي كان يعرف به الناس عادة هو اسمهم الثاني . و اسم العائلة كان الاسم المتوسط مثلا اسم عائلة Cicero كان Tullius و القانون الذي طرح من قبل Cicero كان بالتالي يعرف ' lex Tullia ' . في اليونان القديمة لم يكن هناك أسماء عائلات و الناس كلن لديهم فقط اسم واحد . في اللغة الإنجليزية ، الشكل اللاتيني للاسم الإغريقي يستخدم مثل Democritus

اختصارات و تسميات أو مفاهيم ؟

الجمل مثل الجمل التالية هي منتقدة في الفيزياء الحديثة :

تناقض EPR في صيغة Bohm يمكن ربما أن تحل باستخدام طريقة GRW ، بمساعدة تقريب WKB لمعادلة شرودنجر .

باستخدام مثل هذه المفردات الطريقة الأفضل هي جعل اللغة غير مفهومة لغير المختصين . (في الحقيقة ، الجملة لا معنى لها ، لأن طريقة GRW زائفة) . قبل كل شيء الجملة تستخدم اختصارات وهذا عار . و فوق كل هذا الجملة تستخدم أسماء أشخاص لتعبر عن مفاهيم أي تستخدم تسميات . في الأصل التسميات كانت تضاف كإشادات بالإنجازات البارزة . و اليوم صياغة قوانين جديدة جذريا أو متحولات أصبح مستحيلا تقريبا ، انتشار التسميات غير المفهومة بشكل متناقص بثبات للأشخاص ببساطة يعكس الدافع غير الفعال بشكل متزايد للشهرة .

التسميات هي دليل على نقص خيال العالم . و نحن نتجنبها بالقدر الممكن في مسيرتنا و نعطي الأسماء الشائعة للمعادلات الرياضية أو الكيانات عند الإمكان . أسماء الناس تستخدم بعد ذلك كبديل عن هذه الأسماء . مثلا " معادلة نيوتن في الحركة " لا تسمى أبدا " معادلة نيوتن " و معادلات الحقل لأينشتاين تستخدم بدلا من " معادلات أينشتاين " و معادلة هايزنبيرغ للحركة تستخدم بدلا من معادلة هايزنبيرغ .

لكن بعض الاستثناءات لا بد منها : بعض المصطلحات في الفيزياء الحديثة ليس لها بديل حقيقي . ثابت بولتزمان ، مقياس بلانك ، طول موجة كومبتون ، تأثير كازيمير ، و مجموعات لاي هي أمثلة على ذلك . تعويضا عن ذلك الكتاب يتأكد من أنه يمكنك البحث عن تعاريف هذه المفاهيم باستخدام الفهرس . بالإضافة لذلك الكتاب يحاول تقديم قراءة ممتعة (مرجع 367) .

الملحق(ب)

الواحدات ، القياسات و الثوابت

القياسات هي مقارنات مع المعايير . المعايير تستند للواحدات و العديد من جمل الواحدات يتم استخدامها في كل العالم .

كثر هذه المعايير تعطي القوة للمنظمة المسؤولة عنها . مثل هذه القوة يمكن أن يساء استخدامها وهذه هي الحالة اليوم مثلا في صناعة الحاسب و لم يكن الأمر كذلك في الماضي البعيد , الحل هو نفسه في كلا الحالتين : نظم معيار مستقل و شامل . من أجل واحدات القياس ، هذا حدث في القرن الثامن عشر: من أجل تجنب سوء الاستخدام من قبل المؤسسات المسؤولة / السلطوية ، لإزالة المشاكل المتعلقة بالمعايير المختلفة ، المتغيرة و غير المتكررة و هذه ليس مزحة – لتبسيط جمع الضرائب و جعلها أكثر عدلا ، فإن مجموعة من العلماء ، السياسيين و الاقتصاديين اتفقوا على مجموعة من الواحدات . و هي تعرف بالنظام الدولي للواحدات و يختصر SI و يعرف من قبل معاهدة دولية ، اتفاقية المتر .

الواحدات يحتفظ بها من قبل منظمة دولية / المؤتمر العام للأوزان و المقاييس ، و منظماته التابعة له ، اللجنة الدولية للوزان و المقاييس و المكتب الدولي للأوزان و المقاييس (BIPM) وكلها نشأت في أزمة تماما قبل الثورة الفرنسية (مرجع 368)

<u>وحدات SI</u>

كل وحدات SI مكونة من وحدات أساسية ، التي تعاريفها الرسمية مترجمة من الفرنسية إلى الإنجليزية ومعطاة فيما يلي مع تواريخ صياغتها :

- الثانية هي الفترة من 770 631 9192 فترة لإشعاع موافق للانتقال لمستويين فائقة الدقة للحالة الأرضية لذرة السيزيوم 133 (1967) *
- المتر هو طول مسار يقطعه الضوء في الخلاء خلال زمن يبلغ 458 792 299 1/ من الثانية (1983) *
- الكيلوغرام هو وحدة الكتلة و تساوي إلى كتلة الكيلوغرام النموذجي الأولي (1901)*
- الأمبير هو تيار ثابت الذي إذا سرى في ناقلين مستقيمين متوازيين بطول منتهي ، بمقطع عرضي مهمل ووضعا على مسافة متر واحد فيما بينهما في الخلاء ، سينتج بين هذين الناقلين قوة تساوي 2.10^{-7} نيوتن لكل متر طول (1948)*
- الكلفين ، واحدة درجة الحرارة الثيرموديناميكية ، و نسبتها 1/273.16 من درجة الحرارة الثيرموديناميكية لنقطة الماء الثلاثية (1967) *
- المول هو مقدار المادة لجملة الذي يحتوي عدد من المكونات بقدر عدد الذرات الموجودة في 0.012 كيلوغرام من الكربون 12 (1971)*
- الشمعة هي الشدة الضوئية في اتجاه معين لمنبع الذي يصدر إشعاع وحيد اللون بتردد 540.10^{12} هرتز و له شدة إشعاع في ذلك الاتجاه تساوي (1/683) وات لكل ستيراديان (1979) *

نلاحظ أن كلا من واحدات الزمن و الطول معرفة بخواص معينة لمثال قياسي للحركة ، وهي الضوء . بمعنى آخر ، المؤتمر العام للأوزان و المقاييس يبين أن قياس الحركة هو مطلب مسبق لتعريف و إنشاء الزمن و الفراغ

الحركة هي أساسية في كل ملاحظة و كل قياس . و بالمناسبة استخدام الضوء في التعاريف مقترح منذ 1827 من قبل جاك بابينيه . **

من هذه الواحدات الأساسية كل الواحدات الأخرى تعرف بالضرب و التقسيم . بالتالي واحدات SI تملك الخواص التالية :

- واحدات SI تشكل جملة بدقة أحدث ما يكون : كل الواحدات معرفة بإحكام أعلى من إحكام القياسات المستخدمة عادة . أيضا إحكام التعاريف يتم تحسينه بشكل منتظم . و الارتياب النسبي الحالي لتعريف الثانية هو حوالي 10^{-14} و للمتر حوالي 10^{-10} و الكيلو غرام حوالي 10^{-9} و للأمبير 10^{-7} و للمول أقل من 10^{-6} و للكلفين 10^{-6} و للشمعة 10^{-3} .
- واحدات SI تشكل جملة مطلقة : كل الواحدات معرفة بحيث أنه يمكن تكرارها في كل تجهيزات مخبرية مناسبة بشكل مستقل و بإحكام عالي . و هذا يجنب الكثير من إمكانية سوء الاستخدام من قبل المنظمة الواضعة للمعيار (الكيلوغرام ، ما يزال معرف بمساعدة مصطنعة جميلة ،هي آخر استثناء لهذا الشرط ، البحث الواسع جاري لإزالة هذه الحقائق المصطنعة من التعريف – سيأخذ هذا السابق الدولي بضع سنين أخرى . و هناك طريقتين : عد الجسيمات ، أو تثبيت h . الأول يمكن أن يتحقق في البلورات مثل البلورات المصنوعة من السيليكون النقي و الأخيرة باستخدام أي علاقة تظهر فيها h مثل علاقة طول موجة بروغلي أو تـأثير جوزيفسون) .
- إن واحدات SI تشكل نظاما عمليا : الواحدات الأساسية هي مقادير لكميات يومية . و الواحدات المستخدمة بشكل متكرر لها اسماء قياسية و اختصارات . القائمة الكاملة تشمل سبعة واحدات أساسية التي أعطيت للتو و الواحدات الإضافية ، هي واحدات مشتقة وواحدات مقبولة

إن الواحدات SIالإضافية هما اثنتين : واحدة الزاوية (المستوية) و تعرف بأنها نسبة القوس لنصف القطر وهي الراديان (rad) ، ومن أجل الزوايا المجسمة تعرف بانها نسبة المساحة المحتواة بالزاوية إلى مربع نصف لقطر و الوحدة هي ستيراديان (sr) .

الواحدات المشتقة ذات السماء الخاصة في كتابتها بالإنجليزية الرسمية أي بدون أحرف كبيرة و تشديد هي :

---

*الرموز الموافقة هي s , m , kg ,A ,K , mol & cd . النموذج الأولي الدولي للكيلوغرام هو أسطوانة من البلاتين – الإيريديوم محفوظة في BIPM في سيفر في فرنسا (صفحة 100)، مزيد من التفاصيل حول مستويات ذرة السيزيوم عد إلى كتاب حول الفيزياء الذرية . إن مقياس السيلزيوس لدرجة الحرارة θ يعرف بأنه θ/°C = T /K – 273.15 ، لاحظ الفرق الصغير في الرقم الذي يظهر في تعريف الكلفين . إن SI أيضا ينص على : " عندما يستخدم المول ، فإن الكيانات الابتدائية / الأولية يجب أن تحدد و يمكن أن تكون ذرات ، جزيئات ، شوارد ، إلكترونات ، جسيمات أخرى أو مجموعات محددة من مثل هذه الجسيمات . في تعريف المول ، يفهم أن ذرات الكربون 12 غير متحدة ، عند الراحة و في حالتها الأرضية . و في تعريف الشمعة فإن تردد الضوء يقابل 555.5 nm أي اللون الأخضر حوالي طول الموجة الذي تكون فيه العين أكثر حساسية .

**جاك بابينيه (ولد في لوسينيان 1794 و توفي في باريس 1874) فيزيائي ، نشر أعمال مهمة في البصريات .

الاسم	المختصر	الاسم	المختصر
هرتز	$Hz = 1/s$	نيوتن	$N = kg\,m/s^2$
باسكال	$Pa = N/m^2 = kg/m\,s^2$	جول	$J = Nm = kg\,m^2/s^2$
وات	$W = kg\,m^2/s^3$	كولومب	$C = As$
فولت	$V = kg\,m^2/As^3$	فاراد	$F = As/V = A^2s^4/kg\,m^2$
أوم	$\Omega = V/A = kg\,m^2/A^2s^3$	سيمنس	$S = 1/\Omega$
ويبر	$Wb = Vs = kg\,m^2/As^2$	تيسلا	$T = Wb/m^2 = kg/As^2 = kg/Cs$
هنري	$H = Vs/A = kg\,m^2/A^2s^2$	درجة مئوية	°C (see definition of kelvin)
لومن	$lm = cd\,sr$	لوكس	$lx = lm/m^2 = cd\,sr/m^2$
بيكريل	$Bq = 1/s$	غراي	$Gy = J/kg = m^2/s^2$
سيفرت	$Sv = J/kg = m^2/s^2$	كاتال	$kat = mol/s$

نلاحظ أن كل التعاريف للواحدات ، فإن الكيلوغرام فقط يظهر فقط في قوة 1 ، 0 و 1- . هل يمكنك تحديد السبب ؟ (تحدي 728s) . إن واحدات SI غير المقبولة هي الدقيقة ، الساعة ، اليوم (للزمن) ، الدرجة 1° = π /10 800 rad ، الثانية 1" = π /648 000 rad (للزوايا) ، اللتر و الطن . كل الواحدات الأخرى يجب تجنبها .

كل واحدات SI تجعل أكثر عملية بإدخال السماء المعيارية و المختصرات لقوى من عشرة و هذا ما يعرف بالسوابق : *

القوة	الاسم	القوة	الاسم	القوة	الاسم	القوة	الاسم
10^{1}	ديكا – de	10^{-1}	ديسي – d	10^{18}	إكسا – E	10^{-18}	أتو – a
10^{2}	هكتو – h	10^{-2}	سنتي – c	10^{21}	زيتا – Z	10^{-21}	زبتو – z
10^{3}	كيلو – k	10^{-3}	ميللي – m	10^{24}	يوتا – Y	10^{-24}	يوكتو – y
10^{6}	ميغا – M	10^{-6}	ميكرو – μ	غير رسمية		مرجع 370	
10^{9}	جيغا – G	10^{-9}	نانو – n	10^{27}	إكسنتا – X	10^{-27}	كسنتو – x
10^{12}	تيرا – T	10^{-12}	بيكو – p	10^{30}	ويكتا – W	10^{-30}	ويكو – w
10^{15}	بيتا – P	10^{-15}	فيمتو – f	10^{33}	فينديكتا – V	10^{-33}	فينديكو – v
				10^{36}	يوديكتا – U	10^{-36}	أوديكو - u

- واحدات SI تشكل جملة كاملة : هي تغطي بشكل منهجي المجموعة الكاملة من القيم القابلة للقياس في الفيزياء .أيضا هي تثبت الواحدات من أجل كل العلوم أيضا .

---

*بعض هذه الأسماء هي مخترعة (اليوكتو تبدو مشابهة للكلمة اللاتينية octo " ثمانية " ، الزيبتو تشبه الكلمة اللاتينية septum ، yotta و zetta تشبهها و exa & peta تسيه الكلمات الإغريقية ἑξάκις ، πεντάκις تعني ستة أضعاف و خمسة أضعاف / أمثال ، و المختصرات غير الرسمية مشابهة للكلمات اللاتينية المعبرة عن تسعة ، عشرة ، أحد عشر ، و اثنا عشر) وبعضها هي من الدانماركية / النرويجية (atto من atten " ثماني عشر " و femto من femten " خمسة عشر) و بعضها من اللاتينية (من mille " ألف " ، من centum " مائة " ، من decem "عشرة " ، من nanus " قزم" .وبعضها من الإيطالية (من piccolo تعني صغير) ، بعضها من اليونانية (ميكرو من μικρός تعني صغير ، deca-deka ، δέκα تعني عشرة ، hecto من ἑκατόν تعني مائة ، kilo من χίλιοι تعني ألف ، ميغا من μέγας تعني كبير ، جيغا من γίγας تعني عملاق ، تيرا من τέρας تعني فائق الضخامة)

ترجم : لقد علقت في زحمة السير بحيث احتجت إلى ميكرو قرن لمدة بيكو بار ثانية و استهلاك وقود سيارتي المتوسط كان ضخما : لقد كان عشري ميللي متر مربع . (تحدي e 729)

- واحدات SI تشكل جملة عالمية / شاملة : يمكن أن تستخدم في المهن ، في الصناعة ، في التبادل التجاري ، في البيت ، في التعليم و في البحث . و هي يمكن حتى أن تستخدم من قبل حضارات خارج الأرض إذا وجدت
- واحدات SI تشكل جملة متوافقة مع ذاتها : الجداء أو باقي القسمة لواحدتين من واحدات SI هو أيضا واحدة من واحدات SI وهذا يعني من حيث المبدأ نفس المختصر أي SI يمكن أن يستخدم لكل واحدة

واحدات SI ليست فقط المجموعة الممكنة التي تحقق كل هذه الشروط و لكن هي الجملة الوحيدة القائمة التي تحققها * في المستقبل القريب ، تخطط BIPM لإعادة تدقيق واحدات SI باستخدام مخطط مكعب الفيزياء المبين في الشكل 1 (صفحة 8) وهذا سيتحقق بالتثبيت بالإضافة إلى قيم c & K_{cd} و أيضا قيم h & N_A , k , e .

إن القيم المقترحة هي : $h = 6.626\,069\,57 \cdot 10^{-34}$ Js, $e = 1.602\,176\,565 \cdot 10^{-19}$ C, $k = 1.380\,648\,8 \cdot 10^{-23}$ J/K and $N_A = 6.022\,141\,29 \cdot 10^{23}$ 1/mol .

تعريف الثانية سيتم الاحتفاظ به ، من أجل تجنب الإحكام المنخفض لكل القياسات المعروفة لـ G . و تفاصيل هذا المستقبل لـ SI الجديدة واردة في www.bipm.org/en/measurement-units/new-si و www.bipm.org/utils/pdf/si-brochure-draft-2016.pdf

معنى القياس

كل قياس هو مقارنة مع معيار . بالتالي أي قياس يتطلب مادة لتحقيق المعيار (حتى معيار السرعة) و الإشعاع لتحقيق المقارنة (تحدي لتحقيق المقارنة (تحدي 730e) . مبدأ القياس بالتالي يفترض أن المادة و الإشعاع موجودة و يمكن فصلهما بوضوح عن بعضهما البعض .

كل قياس ينتج نتيجة قياس . بالتالي كل قياس يقتضي تخزين النتيجة . عملية القياس بالتالي تقتضي أن الوضع قبل و بعد القياس يمكن تمييزه . و بمعنى آخر ، كل قياس هو عملية غير عكوسة .

كل قياس هو عملية . و بالتالي كل قياس يأخذ قدرا معينا من الوقت و قدرا معينا من الفراغ .

كل هذه الخواص للقياسات بسيطة و لكنها مهمة . انتبه عندما يحاول أحد إنكارها .

فضول و تحديات مرحة حول الواحدات

إن عدم استخدام واحدات SI يمكن أن يكون مكلفا في عام 1999 فقدت ناسا قمرا صناعيا بسبب أن بعض مبرمجي البرمجيات استخدموا واحدات محلية بدلا واحدات SI في جزء من البرنامج . و نتيجة استخدام الأقدام بدلا من الأمتار

فإن قمر الدوران حول المريخ لاستقصاء مناخه تحطم في على الكوكب بدلا من أن يدور حوله ، و الخسارة كانت حوالي مائة مليون يورو.*

* *

---

*بعيدا عن الواحدات الدولية ، هناك أيضا واحدات محلية و أكثر الواحدات المحلية التي ما تزال تستخدم هي من العصر الروماني . الميل يأتي من milia passum الذي يستخدم ألف خطوة (مضاعفة) طول كل منها 1480 mm ، و اليوم الميل الفضائي كما تم تعريفه بأنه دقيقة من قوس سطح الأرض يعرف بأنه تماما 1852 m . البوصة تأتي من /unica onzia (جزء من اثني عشر – هي الآن قدم) الرطل (من pondere ، يزن) يستخدم كترجمة لليبرة – ميزان – و الذي هو أصل اختصاره lb . حتى عادة العد بالدزينات بدلا من العشرات هي من أصل روماني . و هذه و كل الوحدات الأخرى المضحكة مثل الجملة التي كل الواحدات فيها تبدأ بـ ' f ' و التي تستخدم furlong/fortnight كواحدة للسرعة هي الآن تعرف رسميا كمضاعفات لواحدات SI .

الثانية لا تقابل 1/ 86 400 جزء من اليوم بعد الآن بالرغم من أنها كانت كذلكم في عام 1900 ، الأرض الآن تستغرق حوالي 86.400.002 في دروتها بحيث أن خدمة دوران الأرض الدولية يجب أن تدخل بانتظام الثانية الكبيسة التي تضمن أن الشمس في أعلى نقطة لها في السماء في تمام الساعة الثانية عشر ** و الزمن المعرف بهذا الشكل هو إحداثيات الزمن العالمي ، و سرعة دوران الأرض أيضا تتغير بانتظام من يوم لآخر ، بسبب الطقس و السرعة الوسطية للدوران حتى تتغير من الشتاء للصيف بسبب التغيرات في القلنسوة الجليدية القطبية و بالإضافة لذلك التناقص المتوسط مع الزمن ، بسبب الاحتكاك الناتج عن المد و الجزر . معدل إدخال الثواني الكبيسة بالتالي هو أعلى من مرة كل 500 يوم و هذا ليس ثابت مع الزمن .

* *

الساعة الأكثر إحكاما التي بنيت قط باستخدام الأمواج الميكروية لها استقرار يبلغ 10^{-16} خلال وقت التشغيل مدة 500s (مرجع 371) و لفترات أطول من الزمن ، فإن القيمة القياسية في عام 1997 كانت حوالي 10^{-15} وكلن القيم حوالي 10^{-17} يبدو ضمن مطال التكنولوجيا (مرجع 372) . إن إحكام الساعات محدود بأزمنة القياس القصيرة ، و من أجل أزمنة قياس طويلة بواسطة الانزياحات ، أي بواسطة تأثيرات الأنظمة .إن منقطة أعلى استقرار تعتمد على نوع الساعة ،و عادة تقع بين 1ms و من أجل الساعات الضوئية و 5000 s للميزرات . النجوم النابضة هي النوع الوحيد من الساعات الذي من أجله هذه المنطقة غير معروفة بعد و بالتأكيد يقع عند أكثر من عشرين سنة ، و هو الزمن المنقضي وقت الكتابة منذ اكتشافها .

* *

الثوابت الأساسية المقاسة بشكل أقل إحكاما للفيزياء هي ثابت الجاذبية G و ثابت الاقتران القوي α_s . حتى المعلوم بشكل أقل إحكاما هو عمر الكون و كثافته (أنظر الجدول 60) . (مرجع 463) .

* *

إن إحكام قياسات الكتلة للأجسام الصلبة بواسطة محدود بمثل هذه التأثيرات البسيطة مثل امتصاص الماء . هل يمكنك تقدير كتلة طبقة وحيدة من الماء – طبقة بسماكة جزيئة واحدة – على معدن بوزن كيلو غرام واحد ؟ (تحدي 731s)

* *

في الألفية الماضية ، فإن الطاقة الحرارية كان يتم قياسها باستخدام واحدات الكالوري / الحريرة المكتوبة بالشكل cal و إن الحريرة الواحدة هي الطاقة اللازمة لتسخين غرام واحد من الماء درجة كلفين واحدة . و لعمل اضطراب فإن كيلو كالوري واحد 1 kcal غالبا يكتب بالشكل 1 Cal (أيضا يمكن للمرء الحديث عن كالوري كبيرة وصغيرة) . قيمة 1 kcal هي 4.1868 kJ .

* *

واحدات SI معتمدة للبشر : قيم ضربات القلب ، الحجم البشري ، الوزن البشري ،

---

*هذه القصة هي قديمة و لكن مزيفة عن أسطورة تدعي أن فقط ثلاثة بلدان في العالم لا تستخدم واحدات SI : ليبريا ، الولايات المتحدة و ميانمار .

**إن موقعهم على الإنترنت hpiers.obspm.fr يعطي مزيد من المعلومات حول تفاصيل هذه الإضافات كما maia.usno.navy.mil و هو أحد مواقع الإنترنت العسكرية المفيدة أنظر أيضا www.bipm.fr وهو موقع BIPM.

درجة الحرارة البشرية ، و المادة البشرية بما لا يزيد عن زوج مرتبة القيمة قرب قيمة الواحدة . بالتالي واحدات SI (تقريبا) تؤكد أن بروستاغوراس قال منذ 25 قرن خلت أن الإنسان هو مقياس لكل الأشياء .

* *

بهض الواحدات ملائمة بشكل سيء للبشر . الواحدة الأكثر غرابة هي قياس الأحذية S و هو عدد صرف محسوب بالشكل

$$S_{\text{France}} = 1.5\,\text{cm}^{-1}(l + (1 \pm 1)\,\text{cm})$$
$$S_{\text{central Europe}} = 1.5748\,\text{cm}^{-1}(l + (1 \pm 1)\,\text{cm})$$
$$S_{\text{Anglo-saxon men}} = 1.181\,\text{cm}^{-1}(l + (1 \pm 1)\,\text{cm}) - 22 \qquad (125)$$

حيث l طول القدم و طول التصحيح يعتمد على الشركة الصانعة . بالإضافة لذلك فإن علاقة الدول الإنكلوساكسونية غير صالحة للنساء و الأطفال ، حيث أول عامل يعتمد لأسباب تسويقية على كل من الشركة الصانعة و القياس نفسه . و إن معيار ISO من أجل قياس الأحذية يشترط ، بشكل طبيعي ، استخدام طول القدم بالميليمتر .

* *

إن جدول سوابق واحدات SI يغطي 72 مرتبة من القيمة . كم سيلزم مزيد من السوابق الإضافية ؟ حتى القائمة الموسعة ستشمل فقط جزءا صغيرا من المجال اللانهائي من الاحتمالات . هل سيقوم المؤتمر العام للأوزان و القياسات بأن يمضي للأبد في تعريف عدد لانهائي من سوابق SI ؟ لماذا ؟ (تحدي 732s)

* *

في القرن الحادي و العشرين فإن صناعة النسيج تستخدم ثلاثة أنظمة قياس للتعبير عن نعومة الخيط . و كل الثلاثة تستخدم كثافة الكتلة الخطية m/l . و النظام الدولي يستخدم واحدة 1 tex = 1g/km . النظام الآخر الخاص بالحرير و المستخدم لـ Denier كواحدة : 1 den =1/9g/km . و النظام الثالث يستخدم واحدة تسمى العدد الإنجليزي المعرف بأنه عدد اللفات من القطن التي تزن رطل واحد . و هنا اللفة / الشلة هي 7 طوق leas . إن اللي هو 120 ياردة و الياردة هي ثلاثة أقدام بالإضافة لذلك العدد المعرف للشلل يختلف من أجل القطنيات و يختلف ثانية من أجل الصوف و بالإضافة لذلك فإنه يعتمد على طريقة المعالجة للصوف . القراءة حول واحدات النسيج يجعل كل عرض كوميدي يبدو مملا بالمقارنة .

* *

الفيلسوف الفرنسي فولتير بعد لقائه مع نيوتن نشر قصة الآن هي شهيرة بأن الارتباط بين سقوط الأجسام و حركة القمر اكتشف من قبل نيوتن عندما رأى تفاحة تسقط من شجرة . بعد أكثر من قرن من ذلك تماما قبل الثورة الفرنسية فإن لجنة من العلماء قررت أن تأخذ واحدة القوة بإحكام القوة المطبقة من قبل الجاذبية على تفاحة قياسية و تسميها باسم العالم الإنجليزي. بعد دراسة واسعة وجد أن كتلة التفاحة القياسية كان 101.9716 g ووزنها سمي نيوتن واحد . ومنذ ذلك الحين الزوار للمتحف في سيفر قرب باريس كانوا قادرين على الإعجاب بالمتر القياسي و الكيلو غرام القياسي و التفاحة القياسية *

كي نكون واضحين ، هذه نكتة حيث لا يوجد تفاحة قياسية . لا إنها بست نكتة حيث أن مالكي العديد من بساتين التفاح

الإحكام و دقة القياسات

القياسات هي أساس الفيزياء و كل قياس فيه خطأ . الأخطاء ناتجة عن نقص الإحكام ، أو نقص الدقة . و الإحكام يعني

مقدار تكرار النتيجة عند تكرار القياس ، الدقة هي الدرجة التي تقابل بها النتيجة القيمة الفعلية .

نقص الإحكام ناتج عن الأخطاء العرضية / غير المقصودة أو العشوائية ، و هي تقاس بشكل أفضل بالانحراف المعياري ، عادة يرمز له بـ σ و يعرف بالشكل :

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 , \qquad (126)$$

حيث $\bar{x}$ متوسط القياسات x_i (هل يمكن أن تتخيل لماذا يستخدم n-1 في العلاقة بدلا من n ؟) (تحدي 733s)

من أجل أكثر التجارب فإن توزع القياسات يميل لأن يكون توزع طبيعي ، أيضا يعرف بالتوزع الغوصي متى كان عدد القياسات يزداد . التوزيع المبين في الشكل 302 يوصف بالعلاقة :

$$N(x) \approx e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} . \qquad (127)$$

إن المربع σ^2 للانحراف المعياري أيضا يعرف بالتفاوت / التباين . من أجل التوزيع الغوصي لقيم القياس ، يكون σ 2.35 هوالعرض الكامل عند نصف القيمة الأعظمية (تحدي 734e) .

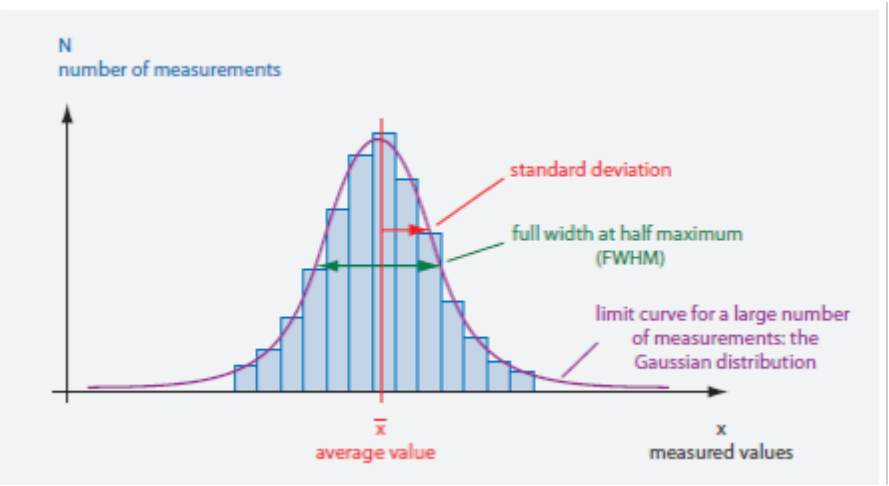
إن نقص الدقة هو ناتج عن الأخطاء النظامية / المنهجية عادة هذه يمكن تقديرها فقط . و هذا التقدير غالبا يضاف للأخطاء العشوائية لإنتاج الخطأ التجريبي الكلي ، في بعض الأحيان يعرف بالارتياب الكلي (المرجع (المرجع 374). والخطأ النسبي أو الارتياب هو النسبة بين الخطأ و القيمة المقاسة .

مثلا قياس احترافي سيعطي نتيجة مثل 0.312 (6) m . العدد بين قوسين هو الانحراف المعياري σ بواحدات الأرقام الأخيرة . كما بينا أعلاه ، يفترض التوزيع الغوصي لنتائج القياس . بالتالي قيمة 0.312 (6) m تقتضي أن القيمة الفعلية يتوقع أن تقع بين :

- ضمن 1σ باحتمال 68.3% وبالتالي في هذا المثال هي ضمن 0.312±0.006 m
- ضمن 2σ باحتمال 95.4% وبالتالي في هذا المثال هي ضمن 0.312±0.012 m
- ضمن 3σ باحتمال 99.73% وبالتالي في هذا المثال هي ضمن 0.312±0.018 m
- ضمن 4σ باحتمال 99.9937% وبالتالي في هذا المثال هي ضمن 0.312±0.024 m
- ضمن 5σ باحتمال 99.99943% وبالتالي في هذا المثال هي ضمن 0.312±0.030 m
- ضمن 6σ باحتمال 99.999 999% وبالتالي في هذا المثال هي ضمن 0.312±0.036 m
- ضمن 7σ باحتمال 99.999 999 999 74% وبالتالي في هذا المثال هي ضمن 0.312±0.041 m

(تحدي 736s) هل الأرقام السابقة صحيحة ؟

في بريطانيا و في الولايات المتحدة يدعون النزاهة بإعادة غرس الشجرة الأصلية التي استبصر عندها نيوتن . (المرجع 373) . إن اختبارات DNA قد أجريت حتى لاتخاذ القرار حول إذا ما كان كل هذا أتى من نفس الشجرة . و النتيجة كانت بالتأكيد أن الشجرة في MIT على عكس الشجرة البريطانية ، هي زائفة .



الشكل 302 التجربة المحكمة و توزيع قياساتها . الإحكام يكون عالي إذا كان عرض التوزيع ضيق ، و الدقة عالية إذا كان مركز التوزيع متفق مع القيمة الفعلية

لاحظ أن الانحرافات المعيارية لها رقم واحد ، عليك أن تكون خبيرا عالميا لتستخدم اثنين ، و أبله لتستخدم أكثر . و إذا لم يعطى أي انحراف معياري يفترض أنه يساوي (1) . و بالنتيجة بين المحترفين 1 km & 1000 m ليسا نفس الطول .

ما الذي يحدث للأخطاء عندما قياس قيمتين A & B يجمعان أو يطرحان ؟ إذا كانت كل القياسات مستقلة - أو غير مترابطة – فإن الانحراف المعياري للمجموع و الفرق يعطى بالشكل $\sigma = \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_B^2}$ و من أجل الجداء أو النسبة للقيمتين المقاستين غير المترابطتين C & D النتيجة هي $\rho = \sqrt{\rho_C^2 + \rho_D^2}$ حيث ρ حدود تمثل الانحرافات المعيارية النسبية .

افترض أنك تقيس جسما يتحرك لمتر واحد في 0.3 s : ما هي قيمة السرعة المقاسة ؟ (تحدي 737 s)

حدود الإحكام

ما حدود الدقة و الإحكام ؟ ليس هناك طريقة من حيث المبدأ لقياس مسافة x بإحكام أعلى من 61 رقم ، لأنه في الطبية النسبة بين أكبر و أصغر طول مقاس هو $\Delta x/x > l_{\mathrm{Pl}}/d_{\mathrm{hortzon}} = 10^{-61}$. (هل هذه النسبة أيضا صالحة للقوة أو الحجم ؟) (تحدي (تحدي 738e) . في المجلد النهائي لكتابنا دراسات الساعات و قضبان المتر تقوي هذا النظري ؟ (مجلد VI ، صفحة 93) .

لكن ليس من الصعب استنتاج مزيد من الحدود العملية الصارمة . لا يوجد آلة يمكن تخيلها تستطيع قياس كميات بإحكام أعلى من قياس قطر الأرض ضمن أصغر طول مقاس ، حوالي 10^{-19} m أي هذا حوالي 26 رقم للإحكام . و باستخدام حد أكثر واقعية البالغ لآلة بقياس 1000 m يقتضي حد من 22 رقم / خانة . ذا كما هو متوقع أعلاه ، قياسات الزمن فعلا تحقق 17 خانة من الإحكام فإنها قرب الحد العملي ، لأنه بعيدا عن القياس ، ليس هناك قيد عملي إضافي : الكلفة . في الحقيقة الخانة الإضافية في إحكام القياس غالبا تعني خانة إضافية في كلفة التجهيزات .

الثوابت الفيزيائية

في الفيزياء الملاحظة العامة تستنتج من الملاحظة الأساسية . بالنتيجة العديد من القياسات يمكن استنتاجها من القياسات الأكثر أساسية . القياسات الأكثر أساسية هي تلك العائدة للثوابت الفيزيائية .

الجداول التالية تعطي أفضل القيم العالمية لأكثر الثوابت الفيزيائية أهمية و خواصها الجسيمات – في واحدات SI و في بعض الواحدات الشائعة أيضا – كما نشرت في المراجع القياسية (المرجع 375) . القيم هي متوسطات عالمية لأفضل القياسات التي تمت حتى الآن . و كما هو ومعتاد فإن الأخطاء التجريبية التي تتضمن العشوائية و الأخطاء النظامية

المقدرة ، معبر عنها بإعطاء الانحراف المعياري في آخر الأرقام . و في الحقيقة وزراء كل من الأعداد في الجداول التالية هناك قصة طويلة تستحق أن تروى ولكن ليس هناك مجال كاف لذلك (مرجع 376)

من حيث المبدأ كل الخواص الكمية للمادة يمكن حسابها بواسطة نظرية الكم و قيم الثوابت الفيزيائية المعينة (مرجع مرجع 375) . مثلا اللون ، الكثافة ، و خواص المرونة يمكن توقعها باستخدام المعادلات لنموذج القياسي لفيزياء الجسيمات و قيم الثوابت الأساسية التالية .

الجدول 57 الثوابت الفيزيائية الأساسية

الكمية	الرمز	القيمة بواحدات SI	الارتياب [a]
الثوابت التي تعرف واحدات القياس SI			
سرعة الضوء في الخلاء[c]	c	299 792 458 m/s	0
النفوذية في الخلاء [c]	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m	0
السماحية في الخلاء [c]	$\varepsilon_0 = 1/\mu_0 c^2$	= 1.256 637 061 435 ... μH/m	0
ثابت بلانك الأصلي	h	8.854 187 817 620 ... pF/m	0
ثابت بلانك	$\hbar$	$6.626\,069\,57(52) \cdot 10^{-34}$ Js	$4.4 \cdot 10^{-8}$
كم الفعل		$1.054\,571\,726(47) \cdot 10^{-34}$ Js	$4.4 \cdot 10^{-8}$
شحنة البوزيترون	e	0.160 217 656 5(35) aC	$2.2 \cdot 10^{-8}$
ثابت بولتزمان	k	$1.380\,6488(13) \cdot 10^{-23}$ J/K	$9.1 \cdot 10^{-7}$
ثابت الجاذبية	G	$6.673\,84(80) \cdot 10^{-11}$ Nm^2/kg^2	$1.2 \cdot 10^{-4}$
ثابت اقتران الجاذبية	$\kappa = 8\pi G/c^4$	$2.076\,50(25) \cdot 10^{-43}$ $s^2/kg\,m$	$1.2 \cdot 10^{-4}$
الثوابت الأساسية (المجهولة الأصل)			

عدد أبعاد الفراغ –الزمن			
ثابت البنية الدقيقة d أو			)
ثابت اقتران e.m.	)	24 -2	)
ثابت اقتران فيرمي dأو			
ثابت الاقتران الضعيف	/4π		
زاوية المزج الضعيف			
ثابت الاقتران القوي d	hell) $_{Z})^2$ /4π		

الجدول 57 (تابع) الثوابت الفيزيائية الأساسية

الكمية	الرمز	القيمة بواحدات SI	الارتياب a
مصفوفة مزج الكوارك CKM	$\|V\|$	0.2253(7) 0.00347(16) .97345(16) 0.0410(11) 0.0403(11) 0.999152(45)	
ثابت Jarlskog	J		
PMNS لمزج النيوترينو m	P	0.55 $-0.15 + 0.038i$ $) + 0.013i$ 0.61 $5 + 0.017i$ 0.77	
كتل الجسيمات الأولية (المجهولة الأصل)			

كتلة الإلكترون		)$^{-31}$ kg	$4.4 \cdot 10^{-8}$
كتلة الميون		10^{-4} u	$4.0 \cdot 10^{-10}$
كتلة تاو		eV	$2.2 \cdot 10^{-8}$
كتلة النيوترينو EI.		0^{-28} kg	$5.1 \cdot 10^{-8}$
كتلة نيوترينو الميون		ı	$2.5 \cdot 10^{-8}$
كتلة نيوترينو تاو		eV	$3.4 \cdot 10^{-8}$
كتلة الكوارك الصاعد		2	
كتلة الكوارك النازل			
كتلة الكوارك الغريبة			
كتلة الكوارك الساحرة			
كتلة الكوارك السفلي			
كتلة الكوارك العلوي			
كتلة الفوتون			
كتلة البوزون W			
كتلة البوزون Z			
كتلة هيغز			
كتلة الغلوون			
كتل الجسيمات المركبة			
كتلة البروتون		0^{-27} kg	$4.4 \cdot 10^{-8}$
كتلة النيوترون		)) u	$8.9 \cdot 10^{-11}$
وحدة الكتلة الذرية	'12 = 1 u	V	$2.2 \cdot 10^{-8}$
		0^{-27} kg	$4.4 \cdot 10^{-8}$
		) u	$4.2 \cdot 10^{-10}$
		V	$2.2 \cdot 10^{-8}$
		;	$4.4 \cdot 10^{-8}$

a. الارتياب : الانحراف المعياري لأخطاء القياس

b. فقط يقاس من 10^{-19} m – 10^{26} m :

c. ثابت تعريف

d. كل ثوابت الاقتران تعتمد على انتقال كمية الحركة 4 ، كما مشروح في الفقرة حول إعادة التطبيع / التسوية . (صفحة 131) . ثابت البنية الدقيقة هو الاسم التقليدي لثابت الاقتران الكهرطيسي g_{em} في حال نقل كمية الحركة 4 البالغ

الذي هو اصغر كمية ممكنة . و عند انتقالات عالية لكمية الحركة فإنه يملك قيم أكبر مثل $Q^2 = c^2 m_e^2$

$$g_{em}(Q^2 = c^2 M_W^2) \approx 1/128$$

على العكس فإن ثابت الاقتران القوي يملك قيم أخفض عند انتقال كمية حركة أعلى مثل

$$\alpha_s(34\,\mathrm{GeV}) = 0.14(2)$$

لماذا كل هذه الثوابت الفيزيائية الأساسي لها القيم التي لها ؟ بالنسبة لأي ثابت أساسي ذو بعد مثل كم الفعل $\hbar$ فإن القيمة العددية لها فقط معنى تاريخي . و هي $1.054 \cdot 10^{-34}$ Js بسبب تعريف SI للجول و الثانية .

السؤال هو لماذا قيمة ثابت البعد ليست أكبر أو أصغر بالتالي دائما تحتاج للمرء أن يفهم أصل بعض الأعداد عديمة الأبعاد التي تعطي النسبة بين ثابت و الواحدة الطبيعية المقابلة المعرف بالشكل, $\hbar$c , G و α .

(مجلد IV صفحة 207) : مزيد من التفاصيل وقيم الواحدات الطبيعية معطاة لاحقا . إن فهم أحجام الذرات ، الناس ، الأشجار ، و النجوم و فترة العمليات الجزيئية و الذرية أو كتلة النوى و الجبال يقتضي فهم النسب بين هذه القيم و الواحدات الطبيعية المقابلة . و الشيء الأساسي لفهم الطبيعة هو بالتالي فهم كل النسب ، و بالتالي كل الثوابت عديمة الأبعاد . و إن السعي لفهم كل النسب بما فيها ثوابت البنى الدقيقة α نفسها يكتمل في المجلد الأخير من مغامرتنا .

الثوابت الأساسية تعطي القياسات عالية الإحكام التالية .

الجدول 58 الثوابت الفيزيائية المشتقة

الكمية	الرمز	القيمة بواحدات SI	الارتياب

مقاومة الموجة في الخلاء	$Z_0 = \sqrt{\mu_0/\varepsilon_0}$	376.730 313 461 77... Ω	0
عدد أفوغادرو	N_A	$6.022\,141\,29(27) \cdot 10^{23}$	$4.4 \cdot 10^{-8}$
عدد لوشميدت عند 273.15K &101325Pa	N_L	$2.686\,7805(24) \cdot 10^{23}$	$9.1 \cdot 10^{-7}$
ثابت فاراداي	$F = N_A e$	96 485.3365(21) C/mol	$2.2 \cdot 10^{-8}$
ثابت الغاز العام	$R = N_A k$	8.314 4621(75) J/mol K	$9.1 \cdot 10^{-7}$
الحجم المولي لغاز مثالي عند 273.15K &101325Pa	$V = RT/p$	22.413 968(20) l/mol	$9.1 \cdot 10^{-7}$
ثابت ريدبيرغ [a]	$R_\infty = m_e c\alpha^2/2h$	$10\,973\,731.568\,539(55)\ m^{-1}$	$5 \cdot 10^{-12}$
كم الناقلية	$G_0 = 2e^2/h$	77.480 917 346(25) μS	$3.2 \cdot 10^{-10}$
كم الفيض المغناطيسي	$\varphi_0 = h/2e$	2.067 833 758(46) pWb	$2.2 \cdot 10^{-8}$
نسبة تردد جوزيفسون	$2e/h$	483.597 870(11) THz/V	$2.2 \cdot 10^{-8}$
ثابت فون كليتسينغ	$h/e^2 = \mu_0 c/2\alpha$	25 812.807 4434(84) Ω	$3.2 \cdot 10^{-10}$
ماغنترون بور	$\mu_B = e\hbar/2m_e$	9.274 009 68(20) yJ/T	$2.2 \cdot 10^{-8}$
نصف قطر الإلكترون الكلاسيكي	$r_e = e^2/4\pi\varepsilon_0 c^2 m_e$	2.817 940 3267(27) fm	$9.7 \cdot 10^{-10}$
طول موجة كومبتون للإلكترون	$\lambda_C = h/m_e c$	2.426 310 2389(16) pm	$6.5 \cdot 10^{-10}$
نصف قطر بور [a]	$\lambda\!\!\!^{-}_C = \hbar/m_e c = r_e/\alpha$	0.386 159 268 00(25) pm	$6.5 \cdot 10^{-10}$
	$a_\infty = r_e/\alpha^2$	52.917 721 092(17) pm	$3.2 \cdot 10^{-10}$

الجدول 58 (تابع) الثوابت الفيزيائية المشتقة

الكمية	الرمز	القيمة بواحدات SI	الارتياب
كم الدوران	$h/2m_e$	$3.636\,947\,5520(24)\cdot10^{-4}\ m^2/s$	$6.5\cdot10^{-10}$
شحنة البوزيترون النوعية	e/m_e	$1.758\,820\,088(39)\cdot10^{11}\ C/kg$	$2.2\cdot10^{-8}$
تردد السيكلوترون للإلكترون	$f_c/B=e/2\pi m_e$	$27.992\,491\,10(62)\ GHz/T$	$2.2\cdot10^{-8}$
العزم المغناطيسي للإلكترون	μ_e	$-9.284\,764\,30(21)\cdot10^{-24}\ J/T$	$2.2\cdot10^{-8}$
	μ_e/μ_B	$-1.001\,159\,652\,180\,76(27)$	$2.6\cdot10^{-13}$
	μ_e/μ_N	$-1.838\,281\,970\,90(75)\cdot10^{3}$	$4.1\cdot10^{-10}$
العامل g للإلكترون	g_e	$-2.002\,319\,304\,361\,53(53)$	$2.6\cdot10^{-13}$
نسبة كتلة المون – الإلكترون	m_μ/m_e	$206.768\,2843(52)$	$2.5\cdot10^{-8}$
العزم المغناطيسي للمون	μ_μ	$-4.490\,448\,07(15)\cdot10^{-26}\ J/T$	$3.4\cdot10^{-8}$
العامل g للمون	g_μ	$-2.002\,331\,8418(13)$	$6.3\cdot10^{-10}$
نسبة كتلة البروتون – الإلكترون	m_p/m_e	$1\,836.152\,672\,45(75)$	$4.1\cdot10^{-10}$
شحنة البروتون النوعية	e/m_p	$9.578\,833\,58(21)\cdot10^{7}\ C/kg$	$2.2\cdot10^{-8}$
طول موجة كومبتون للبروتون	$\lambda_{C,p}=h/m_pc$	$1.321\,409\,856\,23(94)\ fm$	$7.1\cdot10^{-10}$
الماغنترون النووي	$\mu_N=e\hbar/2m_p$	$5.050\,783\,53(11)\cdot10^{-27}\ J/T$	$2.2\cdot10^{-8}$
العزم المغناطيسي للبروتون	μ_p	$1.410\,606\,743(33)\cdot10^{-26}\ J/T$	$2.4\cdot10^{-8}$
	μ_p/μ_B	$1.521\,032\,210(12)\cdot10^{-3}$	$8.1\cdot10^{-9}$
	μ_p/μ_N	$2.792\,847\,356(23)$	$8.2\cdot10^{-9}$
	$\gamma_p=2\mu_p/\hbar$	$2.675\,222\,005(63)\cdot10^{8}\ Hz/T$	$2.4\cdot10^{-8}$
	g_p	$5.585\,694\,713(46)$	$8.2\cdot10^{-9}$
	m_n/m_e	$1\,838.683\,6605(11)$	$5.8\cdot10^{-10}$
	m_n/m_p	$1.001\,378\,419\,17(45)$	$4.5\cdot10^{-10}$
	$\lambda_{C,n}=h/m_nc$	$1.319\,590\,9068(11)\ fm$	$8.2\cdot10^{-10}$
	μ_n	$-0.966\,236\,47(23)\cdot10^{-26}\ J/T$	$2.4\cdot10^{-7}$
	μ_n/μ_B	$-1.041\,875\,63(25)\cdot10^{-3}$	$2.4\cdot10^{-7}$
	μ_n/μ_N	$-1.913\,042\,72(45)$	$2.4\cdot10^{-7}$
ثابت ستيفان – بولتزمان	$\sigma=\pi^2k^4/60\hbar^3c^2$	$56.703\,73(21)\ nW/m^2K^4$	$3.6\cdot10^{-6}$
ثابت إزاحة فين	$b=\lambda_{max}T$	$2.897\,7721(26)\ mmK$	$9.1\cdot10^{-7}$
الإلكترون فولت		$58.789\,254(53)\ GHz/K$	$9.1\cdot10^{-7}$
ثابت أجزاء تحويل الإنتروبي	eV	$1.602\,176\,565(35)\cdot10^{-19}\ J$	$2.2\cdot10^{-8}$
محتوى الطاقة في TNT	$k\ln 2$	$10^{23}\ bit=0.956\,994\,5(9)\ J/K$	$9.1\cdot10^{-7}$
		3.7 to 4.0 MJ/kg	$4\cdot10^{-2}$

a من أجل الكتلة اللانهائية للنواة

بعض الخواص المفيدة لبيئتنا المحلية معطاة في الجدول التالي :

الجدول 59 الثوابت الفلكية

الكمية	الرمز	القيمة

السنة المدارية [a] 1990	a	31 556 925.974 7 s
السنة المدارية 1994	a	31 556 925.2 s
اليوم الفلكي المتوسط	d	$23^h56'4.090\,53''$
المسافة المتوسطة للأرض –الشمس [b]		149 597 870.691(30) km
الوحدة الفلكية [b]	AU	149 597 870 691 m
السنة الضوئية ،استنادا إلى سنة جوليان [b]	al	9.460 730 472 5808 Pm
بارسيك / فرسخ نجمي Parsec	pc	30.856 775 806 Pm = 3.261 634 al
كتلة الأرض	$M_{\oplus}$	$5.973(1) \cdot 10^{24}$ kg
ثابت الجاذبية المركزي الأرضي	GM	$3.986\,004\,418(8) \cdot 10^{14}\ m^3/s^2$
طول الأرض الجاذبي	$l_{\oplus} = 2GM/c^2$	8.870 056 078(16) mm
نصف قطر الأرض الاستوائي [c]	$R_{\oplus eq}$	6378.1366(1) km
نصف قطر الأرض القطبي [c]	$R_{\oplus p}$	6356.752(1) km
تسطح الأرض [c]		10 001.966 km (average)
كثافة الأرض المتوسطة	$e_{\oplus}$	1/298.25642(1)
عمر الأرض	$\rho_{\oplus}$	5.5 Mg/m³
جاذبية الأرض العادية	$T_{\oplus}$	4.50(4) Ga = 142(2) Ps
الضغط الجوي القياسي للأرض	g	9.806 65 m/s²
نصف قطر القمر	re p_0	101 325 Pa
نصف قطر القمر	$R_{\leftmoon v}$	1738 km in direction of Earth
كتلة القمر	$R_{\leftmoon h}$	1737.4 km in other two directions
مسافة القمر المتوسطة [d]	$M_{\leftmoon}$	$7.35 \cdot 10^{22}$ kg
مسافة القمر المتوسطة عند الحضيض [d]	$d_{\leftmoon}$	384 401 km
مسافة القمر المتوسطة عند الأوج [d]		typically 363 Mm, historical minimum 359 861 km
حجم القمر النظامي [e]		typically 404 Mm, historical maximum 406 720 km
الكثافة المتوسطة للقمر		average 0.5181° = 31.08′, minimum 0.49°, maximum 0.55°
جاذبية سطح القمر	$\rho_{\leftmoon}$	3.3 Mg/m³
كتلة المشتري	$g_{\leftmoon}$	1.62 m/s²
نصف قطر المشتري ، الإستوائي	$p_{\leftmoon}$	from 10^{-10} Pa (night) to 10^{-7} Pa (day)
نصف قطر المشتري ، القطبي	$M_{♃}$	$1.90 \cdot 10^{27}$ kg
مسافة المشتري المتوسطة عن الشمس	$R_{♃}$	71.398 Mm
جاذبية سطح المشتري	$R_{♃}$	67.1(1) Mm
الضغط الجوي للمشتري	$D_{♃}$	778 412 020 km
كتلة الشمس	$g_{♃}$	24.9 m/s²
طول الشمس الجاذبي	$p_{♃}$	from 20 kPa to 200 kPa
ثابت الجاذبية في مركز الشمس	$M_{\odot}$	$1.988\,43(3) \cdot 10^{30}$ kg
	$2GM_{\odot}/c^2$	2.953 250 08(5) km
	$GM_{\odot}$	$132.712\,440\,018(8) \cdot 10^{18}\ m^3/s^2$

الجدول 59 (تابع) الثوابت الفلكية

الكمية	الرمز	القيمة

سطوع الشمس	$L_\odot$	384.6 YW
نصف قطر الشمس الإستوائي	$R_\odot$	695.98(7) Mm
		0.53° average; minimum on fourth of July (aphelion) 1888 ″, maximum on fourth of January (perihelion) 1952 ″
حجم الشمس الزاوي	$\rho_\odot$	1.4 Mg/m³
الكثافة المتوسطة للشمس	AU	149 597 870.691(30) km
المسافة المتوسطة للشمس	$T_\odot$	4.6 Ga
عمر الشمس	$v_{\odot g}$	220(20) km/s
سرعة الشمس حول مركز المجرة	$v_{\odot b}$	370.6(5) km/s
السرعة الشمسية مقابل الخلفية الكونية	$g_\odot$	274 m/s²
جاذبية سطح الشمس	$p_\odot$	15 kPa
الضغط الجوي للشمس		8.0(5) kpc = 26.1(1.6) kal
المسافة إلى مركز درب التبانة		13.6 Ga
عمر درب التبانة		*c.* 10^{21} m or 100 kal
حجم درب التبانة		10^{12} solar masses, *c.* $2 \cdot 10^{42}$ kg
كتلة درب التبانة		$9.6 \cdot 10^9$ al
أكثر العناقيد المجرية بعدا المعروفة	SXDF-XCLJ 0218-0510	

a ثابت تعريف ، من الاعتدال الربيعي للاعتدال التالي ، وقد استخدم لتعرف الثانية . (تذكر : π ثانية هو حوالي نانوقرن) والقيمة في عام 1990 هي أقل بحوالي 0.7s تقابل تباطؤ تقريبا 0.2 ms/a . (انتبه : لماذا؟) (تحدي 739 s) هناك حتى علاقة تجريبية لتغير طول السنة مع الزمن (المرجع) هناك حتى علاقة تجريبية لتغير طول السنة مع الزمن (المرجع 377) .

b الإحكام المذهل فعلا في المسافة المتوسطة للأرض – الشمس هو فقط الإحكام المذهل فعلا في المسافة المتوسطة للأرض – الشمس هو فقط 30 m ينتج من المتوسطات الزمنية للإشارات المرسلة من الأقمار الدوارة فايكنغ و المركبات التي حطت على المريخ المأخوذة خلال فترة عشرين عاما . لاحظ أن الاتحاد الدولي للفلك يميز المسافة المتوسطة للأرض – الشمس من الوحدة الفكية نفسها ، والأخيرة تعرف بأنها طول ثابت و دقيق . أيضا السنة الضوئية هي وحدة تعرف بعدد دقيق من قبل IAU . و لمزيد من التفاصيل أنظر www.iau.org/public/measuring

c شكل الأرض يوصف بشكل أكثر إحكاما بواسطة نظام الجيوديزيا العالمي . آخر إصدار يعود لعام 1984 و من أجل عرض شامل لخلفيته و تفاصيله ، أنظر موقع www.wgs84.com . اتحاد الجيوديزيا الدولي دقق البيانات في عام 2000 و إن أنصاف أقطار و التسطح المعطاة هنا ، هي من أجل نظام المد و الجزر الوسطي . وهي تختلف عن تلك العائدة لنظام المد و الجزر الصفري و الأنظمة الأخرى بمقدار 0.7 m تقريبا . و التفاصيل تشكل علما بذاته .

d مقاسة من المركز إلى المركز . لإيجاد الموضع الدقيق للقمر في السماء عند تاريخ معين أنظر صفحة www.fourmilab.ch/earthview/moon_ap_per.html . من أجل الكواكب أنظر الصفحة

www.fourmilab.ch/solar/solar.html و الصفحات الأخرى في نفس الموقع .

e الزوايا معرفة كالتالي : درجة واحدة = 1° = π/180 rad ، دقيقة واحدة = 1' = 1°/60 ، ثانية واحدة = 1" = 1'/60

. إن الواحدات القديمة الدقيقة الثالثة و الدقيقة الرابعة كل منها تساوي جزء من ستين من السابق ، و لم تعد تستعمل الآن . (الدقيقة أصلا تعني صغر جدا كما تزال في الإنجليزية الحديثة) .

بعض خواص الطبيعة بشكل كبير ورادة في الجدول التالي (إذا أردت تحديا يمكنك تحديد فيما إذا كانت أي خاصة من الكون نفسها واردة ؟) (تحدي 740s) .

الجدول 60 الثوابت الكونية

الكمية	الرمز	القيمة
الثابت الكوني	Λ	$c.\,1 \cdot 10^{-52}\,\mathrm{m}^{-2}$
عمر الكون [a](محددا من الفراغ – الزمن ، عن طريق التمدد باستخدام النسبية العامة)	t_0	$4.333(53) \cdot 10^{17}\,\mathrm{s} = 13.8(0.1) \cdot 10^{9}\,\mathrm{a}$
عمر الكون [a](محددا من المادة ، عن طريق المجرات و النجوم باستخدام نظرية الكم)		over $3.5(4) \cdot 10^{17}\,\mathrm{s} = 11.5(1.5) \cdot 10^{9}\,\mathrm{a}$
بارامتر هابل [a]	H_0	$2.3(2) \cdot 10^{-18}\,\mathrm{s}^{-1} = 0.73(4) \cdot 10^{-10}\,\mathrm{a}$
بارامتر هابل المخفض [a]	$= h_0 \cdot 100\,\mathrm{km/s\,M}$	$:= h_0 \cdot 1.0227 \cdot 10^{-10}\,\mathrm{a}^{-1}$
بارامتر التباطؤ [a]	h_0	0.71(4)
المسافة الأفقية للكون [a]	$q_0 = -(\ddot{a}/a)_0/H_0^2$	–0.66(10)
طبولوجيا الكون	$d_0 = 3ct_0$	$40.0(6) \cdot 10^{26}\,\mathrm{m} = 13.0(2)\,\mathrm{Gpc}$
عدد أبعاد الفضاء		trivial up to 10^{26} m
الكثافة الحرجة للكون	$\rho_c = 3H_0^2/8\pi G$	3, for distances up to 10^{26} m
بارامتر الكثافة (الكلية) [a]	$\Omega_0 = \rho_0/\rho_c$	$h_0^2 \cdot 1.878\,82(24) \cdot 10^{-26}\,\mathrm{kg/m^3}$
بارامتر كثافة بايرون [a]	$\Omega_{B0} = \rho_{B0}/\rho_c$	$= 0.95(12) \cdot 10^{-26}\,\mathrm{kg/m^3}$
بارامتر كثافة الطاقة الداكنة / المظلمة [a]	$\Omega_{CDM0} = \rho_{CDM0}/$	1.02(2)
بارامتر حالة الطاقة الداكنة / المظلمة	$\Omega_{\nu 0} = \rho_{\nu 0}/\rho_c$	0.044(4)
	$\Omega_{X0} = \rho_{X0}/\rho_c$	0.23(4)
	$w = p_X/\rho_X$	0.001 to 0.05
كتلة بايرون	m_b	0.73(4)
كثافة عدد بايرون		–1.0(2)
كثافة المادة الساطعة		$1.67 \cdot 10^{-27}\,\mathrm{kg}$
النجوم في الكون البايرونات في الكون	n_s	$0.25(1)\,/\mathrm{m}^3$
درجة حرارة خلفية الأمواج الميكروية	n_b	$3.8(2) \cdot 10^{-28}\,\mathrm{kg/m^3}$
الفوتونات في الكون	T_0	$10^{22\pm1}$
كثافة طاقة الفوتون	n_γ	$10^{81\pm1}$
كثافة عدد الفوتون	$\rho_\gamma = \pi^2 k^4/15\hbar^3 c^3 T_0^4$	2.725(1) K
		10^{89}
مطال اضطراب الكثافة	$\sqrt{S}$	$4.6 \cdot 10^{-31}\,\mathrm{kg/m^3}$
مطال موجة الجاذبية	$\sqrt{T}$	$410.89\,/\mathrm{cm}^3$ or $400\,/\mathrm{cm}^3\,(T_0/2.7\,\mathrm{K})$
تذبذبات الكتلة عند 8Mpc	σ_8	$5.6(1.5) \cdot 10^{-6}$
الدليل السلمي	n	$< 0.71\sqrt{S}$
دوران الدليل السلمي	$\mathrm{d}n/\mathrm{d}\ln k$	0.84(4)
طول بلانك	$t_0\ l_{Pl} = \sqrt{\hbar G/c^3}$	0.93(3)
		–0.03(2)
		$1.62 \cdot 10^{-35}\,\mathrm{m}$

الجدول 60 (تابع) الثوابت الكونية

الكمية	الرمز	القيمة
زمن بلانك	$t_{Pl} = \sqrt{\hbar G/c^5}$	$5.39 \cdot 10^{-44}\,\mathrm{s}$
كتلة بلانك	$m_{Pl} = \sqrt{\hbar c/G}$	21.8 µg
اللحظات في التاريخ [a]	t_0/t_{Pl}	$8.7(2.8) \cdot 10^{60}$
نقاط الفراغ – الزمن	$N_0 = (R_0/l_{Pl})^3$	$10^{244\pm1}$
داخل الأفق [a]	(t_0/t_{Pl})	
الكتلة داخل الأفق	M	$10^{54\pm1}\,\mathrm{kg}$

[a] الدليل 0 يشير إلى القيم الحالية

b الإشعاع الناشئ عندما كان عمر الكون 380 000 سنة و له درجة حرارة حوالي 3000K ، التذبذبات ΔT_0 التي أدت إلى تشكل المجرة هي اليوم حوالي T_0 10^{-6}. (2)6= 4Mk ± 16 . (المجلد II ، صفحة 194) .

أرقام مفيدة

المرجع 349

e	$2.71828\ 18284\ 59045\ 23536\ 02874\ 71352\ 66249\ 77572\ 47093\ 69995_9$
π	$3.14159\ 26535\ 89793\ 23846\ 26433\ 83279\ 50288\ 41971\ 69399\ 37510_5$
π^2	$9.86960\ 44010\ 89358\ 61883\ 44909\ 99876\ 15113\ 53136\ 99407\ 24079_0$
γ	$0.57721\ 56649\ 01532\ 86060\ 65120\ 90082\ 40243\ 10421\ 59335\ 93992_3$
ln 2	$0.69314\ 71805\ 59945\ 30941\ 72321\ 21458\ 17656\ 80755\ 00134\ 36025_5$
ln 10	$2.30258\ 50929\ 94045\ 68401\ 79914\ 54684\ 36420\ 76011\ 01488\ 62877_2$
$\sqrt{10}$	$3.16227\ 76601\ 68379\ 33199\ 88935\ 44432\ 71853\ 37195\ 55139\ 32521_6$

مصادر لمعلومات ن الحركة

" لا يوجد مكان يعطي إقناع أقوى من تفاهة الآمال البشرية أكثر من مكتبة عامة "

صاموئيل حونسون

" في المجتمع الاستهلاكي هناك من دون شك نوعين من العبيد : سجناء الإدمان و سجناء الحسد "

إيفان إيليش **

في الكتاب ، الكتب الجيدة التي تعطي مجالات متجاورة مقدمة في ثبت المراجع . ومسرد المراجع أيضا يشير إلى المجلات و مواقع الإنترنت . من أجل تلبية الفضول الأشد حول ما تصادفونه في مغامرتنا . كل الاستشهادات أيضا يمكن أن توجد بالبحث عن المؤلف في دليل / فهرس الأسماء . و لإيجاد معلومات إضافية ، إما المكتبات أو الإنترنت يمكن أن تساعد .

في مكتبة ، مقالات المراجعة للأبحاث الجديدة التي تظهر في المجلات مثل مراجعات الفيزياء الحديثة ، تقارير عن التطور في الفيزياء ، الفيزياء المعاصرة و التقدمات في الفيزياء . المقدمات التعليمية الجيدة توجد في المجلة الأمريكية للفيزياء و المجلة الأوربية للفيزياء و فيزياء عصرنا الحالي .

إن عرض عام عن التحولات البحثية التي تظهر في المجلات مثل عالم الفيزياء ، الفيزياء اليوم ، مجلة الفيزياء الأوربية ، مجلة الفيزياء و المجلة الهولندية للعلوم الطبيعية . من أجل التغطية لكل العلوم معا ، أفضل المصادر هي مجلات : الطبيعة ، العالم الجديد ، العلوم الطبيعية ، البحث و العلم و أخبار العلم . الأوراق البحثية حول أسس الحركة تظهر بشكل أساسي في رسائل الفيزياء بي ، الفيزياء النووية بي ، مجلة مراجعة الفيزياء دي ، رسائل مراجعة مجلة الفيزياء ، الجاذبية الكلاسيكية و الكمية ، النسبية العامة و الجاذبية ، المجلة الدولية للفيزياء الحديثة و رسائل الفيزياء الحديثة . أحدث النتائج و الأفكار المتصورة توجد في أحداث المؤتمرات مثل إضافات الفيزياء النووية بي . المقالات البحثية أيضا تظهر في مجلة / نشرة الفيزياء ، مجلة الفيزياء الأوربية ، مراجعة الاختبارات الحديثة ، رسائل الفيزياء . اتصالات في الفيزياء الرياضية ، مجل الفيزياء الرياضية ، أسس الفيزياء ، المجلة الدولية للفيزياء النظرية ،و مجلة الفيزياء جي .

هناك فقط بعض مجلات الفيزياء على الإنترنت ذات الجودة العالية : أحدها المراجعات الحية ي النسبية الموجود في www.livingreviews.org ، و الآخر هو المجلة الجديدة للفيزياء التي توجد في www.njp.org و هناك لسوء الحظ أيضا العديد من مجلات الفيزياء على الإنترنت تنشر أبحاث غير صحيحة : وهي تطلب أموال لنشر بحث .

** إيفان إيليس (ولد في 1926 في فينا و توفي في 2002 في بريمن) عالم دين و مفكر اجتماعي و سياسي

حتى الآن أبسط طريقة للبقاء على اتصال مع الأبحاث الجارية حول الحركة و الفيزياء الحديثة هو استخدام الإنترنت ، الشبكة الحاسوبية الدولية و للبدء باستخدامها اسأل الأصدقاء الذين يعرفون ذلك * .

في العقد الأخير من القرن العشرين ، فإن الإنترنت اتسعت إلى تشكيل من المكتبات ، أدوات العمل ، منصات المناقشة ، و مجموعات وسائط ، و مجموعات نفايات و فوق كل شيء كمصدر للإدمان . لا تستخدمها كثيرا . التجارة ، الإعلان و لسوء الحظ مواد إدمان للأطفال و الشباب و البالغين ، وأيضا جرائم من كل نوع التي هي جزء مكمل للإنترنت . وبواسطة الحاسب الشخصي ، و الموديم و البرمجيات المجانية للتصفح يمكنك البحث عن معلومات في ملايين الصفحات

من الوثاق أو تدمر حياتك المهنية عن طريق الإدمان . و إن الأجزاء المتعددة من الوثائق توجد في حواسب متعددة حول العالم و لكن المستخدم لا يحتاج لأن يعرف هذا . **

أكثر الأبحاث حول الفيزياء النظرية للحركة تظهر بعد نشرها و يمكن أن توجد في www.webofknowledge.com و هو موقع يمكن الوصول إليه فقط من المكتبات و هو يسمح للشخص أن يبحث في كل المنشورات التي تستشهد ببحث معين .

البحث في الإنترنت عن الباحثين ، المنظمات ، الكتب ، المنشورات ، الشركات أو الكلمات المفتاحية البسيطة باستخدام محركات البحث يمكن أن يكون خبرة ممتازة أو فترة من الإدمان ، تبعا بشكل كامل لك . و مجموعة مختارة من المخدمات المفيدة حول الحركة معطاة فيما يلي .

---

*من الممكن استخدام الإنترنت و تنزيل ملفات عبر FTP بمساعدة البريد الإلكتروني فقط و لكن الأدوات تتغير كثيرا لتعطي دليل مستقر هنا . اسأل صديقا لك عن ذلك

**منذ عقود عديدة ، فإن الكتاب السابق لأوانه لإيفان إيلليش ، المجتمع اللامدرسي ، هاربر و رو ، يورد أربعة مكونات أساسية لأي نظام تعليمي :

1. النفاذ لمصادر التعلم مثل الكتب ، التجهيزات ، الألعاب ...الخ بسعر مقبول ، لكل شخص في أي وقت في حياته
2. من أجل كل الذين يرغبون بالتعلم ، الوصول لنظرائهم بنفس الوضع التعليمي ، من أجل المناقشة ، المقارنة ، التعاون و المنافسة
3. الوصول للذين أكبر منهم عمرا مثل المعلمين من أجل الرعاية و النقد تجاه أولئك الذين يتعلمون
4. التبادل بين الطلاب ، و العاملين في الحقل المهم ، بحيث أن الأخير يمكن أن يكون نماذج للأول . مثلا سيكون هناك إمكانية للاستماع لموسيقيين محترفين ، و قراءة الأعمال لكتاب أخصائيين وهذا أيضا يعطي العاملين الإمكانية للمشاركة ، الإعلان و استخدام مهاراتهم .

طور إيلليش فكرة أنه إذا كان مثل هذا النظام غير رسمي – بالتالي يسميه شبكة التعلم أو شبكة الفرص ، و سيكون أفضل من المؤسسات الرسمية الممولة من الدولة مثل المدارس التقليدية لتطوير الناس الكبار . و هذه الأفكار عمقت في أعماله التالية ، إزالة المدارس من حياتنا ، بنجوين 1976 و أدوات اجتماعية ، بنجوين 1973 .

اليوم أي حاسب مرتبط بالشبكة يعطي بريد إلكتروني ، FTP (نقل ملفات إلى ومن حاسب آخر) و النفاذ إلى مجموعات حول مواضيع خاصة مثل فيزياء الجسيمات و الشبكة العالمية الممتدة . و في شكل غير متوقع فإن كل هذه الوسائل ، للإنترنت قد تحولت إلى هيكل أساسي لشبكة الفرص ، التي ناقشها إيلليش .

و لكن كما في أي مدرسة ، فإن هذا يعتمد بقوة على ضوابط و انضباط المستخدم سواء كانت الإنترنت تعطي فعلا شبكة تعليم أو مدخل للإدمان .

الجدول 61 بعض المواقع المهمة على الشبكة العالمية للمعلومات

الموضوع	عنوان موقع الإنترنت

المعرفة العامة	www.innovations-report.de
التطوير في العلوم و التكنولوجيا	
مجموعات كتب	www.ulib.org
تعليم علوم مسلي من قبل ثيودور غراي	books.google.com
تعليم علوم مسلي و مهني من قبل روبرت كرامبف	www.popsci.com/category/popsci-authors/theodore-gray
حدود العلم	thehappyscientist.com
الأخبار اليومية للعلم	
أخبار العلم	www.science-frontiers.com
موسوعة العلم	www.sciencedaily.com
البحث العلمي الممتع	www.sciencenews.org
فيديوهات علمية عالية الجودة	www.daviddarling.info
فيديوهات علمية بالسرعة الممكنة	www.max-wissen.de
فيزياء	www.vega.org.uk
تعلم الفيزياء بواسطة الألعاب من القمامة	plus.google.com/101786231119207015313/posts
الموقع الرسمي لواحدات SI	
تحويل الواحدات	www.arvindguptatoys.com
بيانات الجسيمات	
بيانات هندسية و علاقات	www.bipm.fr
معلومات عن النسبية	www.chemie.fu-berlin.de/chemistry/general/units.html
أبحاث قبل الطبع	pdg.web.cern.ch
ملخصات لأبحاث في مجلات فيزياء	www.efunda.com
العديد من أبحاث الفيزياء	math.ucr.edu/home/baez/relativity.html
أخبار الفيزياء ، الأسبوعية	arxiv.org
أخبار الفيزياء ، اليومية	www.slac.stanford.edu/spires
مسائل فيزياء من قبل ياكوف	www.osti.gov
مسال فيزياء من هنري جرينساید	sci-hub.tv, sci-hub.la
سؤال الأسبوع في الفيزياء	libgen.pw, libgen.io
مسألة فيزياء صغيرة	www.aip.org/physnews/update
فيزيك هيكسه	phys.org
	www.tau.ac.il/~kantor/QUIZ/
	www.phy.duke.edu/~hsg/physics-challenges/challenges.html
	www.physics.umd.edu/lecdem/outreach/QOTW/active
	www.nyteknik.se/miniproblemet
	physik-verstehen-mit-herz-und-hand.de/html/de-6.html

الموضوع	عنوان موقع الإنترنت
خدع العلم السحرية	www.sciencetrix.com
تبادل مجموعة الفيزياء	physics.stackexchange.com
" اسأل الخبراء "	www.sciam.com/askexpert_directory.cfm
الفائزين بجائزة نوبل	www.nobel.se/physics/laureates
فيديوهات عن حديث الفائزين	www.mediatheque.lindau-nobel.org
بجائزة نوبل	
صور فيزيائيين	www.if.ufrj.br/famous/physlist.html
منظمات فيزيائية	www.cern.ch
كتب فيزياء على الإنترنت	www.hep.net
ثلاثة مجموعات فرنسية جميلة للملاحظات	www.nikhef.nl
حول الميكانيك الكلاسيكي	www.het.brown.edu/physics/review/index.html
ونظرية الجسيمات	www.physics.irfu.se/CED/Book
فيزياء المستجدين جدا الممتاز	www.biophysics.org/education/resources.htm
من قبل دايفيد رايموند	www.lightandmatter.com
نصوص محاضرات فيزياء	www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/index_en.html
من MIT	www.feynmanlectures.info
نصوص محاضرات فيزياء بالألمانية و الإنجليزية	hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hph.html
صالة المحاضرات العالمية	www.motionmountain.net
صور بصرية لليوم	feynman.phy.ulaval.ca/marleau/notesdecours.htm
مراجعات حية في النسبية	
العلم في المدارس	www.physics.nmt.edu/~raymond/teaching.html
فيديوهات والتر	
دليل ليفين ، محاضرات والتر في الفيزياء	ocw.mit.edu/courses/physics/
فيديوهات فيزياء لمات كارلسون	
فيديوهات فيزياء من قبل جامعة نوتنجهام	www.akleon.de
فيديوهات محاضرات فيزياء	
الرياضيات	wlh.webhost.utexas.edu
	www.atoptics.co.uk/opod.htm
	www.livingreviews.org
	www.wissenschaft-schulen.de
	ocw.mit.edu/courses/physics/ 8-01-physics-1-classical-mechanics-fall-1999/
	www.youtube.com/sciencetheater
	www.sixtysymbols.com
	www.coursera.org/courses?search=physics
	www.edx.org/course-list/allschools/physics/allcourses

الموضوع	عنوان موقع الإنترنت
مجمع / ملتقى الرياضيات مجموعة مصادر على الإنترنت سير ذاتية للرياضيين مسائل رياضيات بورود لهذا الأسبوع مسائل رياضيات كلية ماكالستر لهذا الأسبوع العلاقات الرياضية عالم فايسشتاين الرياضي التوابع التكامل الرمزي الأسطح الجبرية فيديوهات محاضرات رياضيات بالألمانية مجلة الرياضيات بالرومانية الفلك ESA NASA تلسكوب خابل الفضائي مسح السماء الرقمي لسلوان المرآة الكونية محاكي المجموعة الشمسية الأقمار الصناعية القابلة للملاحظة صورة الفلك لليوم من محدق النجوم إلى سفن النجوم بيانات شمسية حالية مواضيع خاصة موسوعة الفوتونيات كتب كيمياء ، على الإنترنت المعادن الخرائط الجيولوجية الخدع البصرية جيولوجيا الصخور كوميديا علمية لبتيت ألعاب فيزيائية مرح فيزيائي	mathforum.org/library www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/BlogIndex.html www.math.purdue.edu/academics/pow mathforum.org/wagon dlmf.nist.gov mathworld.wolfram.com functions.wolfram.com www.integrals.com www.mathematik.uni-kl.de/~hunt/drawings.html www.j3l7h.de/videos.html www.gazetamatematica.net sci.esa.int www.nasa.gov hubble.nasa.gov skyserver.sdss.org www.astro.uni-bonn.de/~dfischer/mirror space.jpl.nasa.gov liftoff.msfc.nasa.gov/RealTime/JPass/20 antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/astropix.html www.visibleearth.nasa.gov www.phy6.org/stargaze/Sintro.htm www.n3kl.org/sun www.rp-photonics.com chemed.chem.wisc.edu/chempaths/GenChem-Textbook webmineral.com www.mindat.org onegeology.org www.sandlotscience.com sandatlas.org www.jp-petit.org www.e20.physik.tu-muenchen.de/~cucke/toylinke.htm www.dctech.com/physics/humor/biglist.php

الموضوع	عنوان موقع الإنترنت

مراجع عن السحر مكتبة بيتروشي الموسيقية قابلة للبحث حسب اللحن صنع طائرات ورقية مروحيات صغيرة طائرة فضول علمي ساعة بعمر عشرة آلاف سنة الاتحاد الألماني باحث الطبيعة و الطبيب العلم الزائف جنون الجدول الدوري مع فيديوهات عن كل عنصر اقتباسات رياضية مركز الأسئلة العالمي الانتحال الخدع موسوعة الأرض هذا ضخم	www.faqs.org/faqs/magic-faq/part2 imslp.org www.pchelp.net/paper_ac.htm www.ivic.qc.ca/~aleexpert/aluniversite/klinevogelmann.html pixelito.reference.be www.wundersamessammelsurium.info www.longnow.org www.gdnae.de suhep.phy.syr.edu/courses/modules/PSEUDO/pseudo_main.html www.crank.net www.periodicvideos.com math.furman.edu/mwoodard/~mquot.html www.edge.org/questioncenter.html www.plagiarized.com www.museumofhoaxes.com www.eoearth.org thisiscolossal.com

هل تريد أن تدرس الفيزياء بدون أن تذهب فعلا للجامعة ؟ في هذه الأيام من الممكن القيام بذلك عن طريق البريد الإلكتروني ، بالألمانية ، في جامعة كايزرسلاوتيرن *

في المستقبل القريب ، فإن مشروعا على مستوى البلاد في بريطانيا سيسمح بنفس الشيء للطلاب الناطقين باللغة الإنجليزية . كمقدمة ، استخدم آخر التحديثات لكتاب الفيزياء هذا .

" الإنترنت هي الشكل الأكثر انفتاحا للمؤسسة المغلقة "

ماتياس دويتشمان

" إذا بقيت هادئا ، فقد كان عليك أن تكون فيلسوفا ، *** "

عن بويتيوس

---

*أنظر موقع الإنترنت www.fernstudium.physik.de

**الإنترنت هي الشكل الأكثر انفتاحا لمؤسسة مغلقة

***إذا بقيت هادئا ، فقد كان عليك أن تكون فيلسوفا ، عن قصة بويتيوس (525- 480) يقصها في كتابه استشارات فلسفية ، 2.7,67 ff

ملاحظات عن التحديات و حلول

" لا تقم أبدا بحساب أنت تعلم جوابه "

جون ويلر موتو

جون ويلر أراد من الناس أن يقدروا و يجربوا أن يخمنوا ، ولكن لا يقول خمن بصوت عال . إن التخمين الصحيح يعزز الغريزة الفيزيائية بينما الخاطئ يؤدي إلى سعادة المفاجأة . إن التخمين بالتالي هو الخطوة الأولى المهمة في حل كل مسألة. و المعلمون لديهم معايير أخرى يحفظونها . المسائل الجيدة يمكن حلها بمستويات مختلفة من الصعوبة و يمكن حلها بالكلمات أو بالصور أو بوساطة العلاقات، التي تنشط المعرفة ، تهتم بتطبيقات العالم الحقيقي و هي مفتوحة .

التحدي 1 – صفحة 10 : لا تتردد في أن تكون عالي الهمة و التطلع و دقيقا / صارما . الإصدار التالي من الكتاب سيستفيد من ذلك .

التحدي 2 – صفحة 16 : هناك العديد من الطرق لتمييز الحركة الحقيقية عن الحركة الموهومة : مثلا فقط الحركة الحقيقية يمكن أن تستخدم لوضع شيء آخر في حالة حركة . بالإضافة لذلك توهمات الحركة للأشكال تبدي قصورا مهما ، حيث لا شيء يتحرك إذا كان الرأس و الورقة بقيا ثابتين بالنسبة لبعضهما البعض . بمعنى آخر ، الوهم فقط يضخم الحركة القائمة ، وهو لا يخلق الحركة من لا شيء .

التحدي 3 – صفحة 17 : بدون تجارب مفصلة و محكمة فإن كلا الطرفين يمكن أن يجدا أمثلة لإثبات وجهة نظرهما .الخلق بدعمه ظهور العفن أو البكتريا في كأس من الماء ، الخلق أيضا يؤكده عكسه ـ أي الاختفاء بلا أثر مثل اختفاء الحركة . لكن المصونية مدعومة و الخلق مزيف من قبل كل هذه الأبحاث التي تستكشف الحالات المفترضة من الظهور أو الاختفاء بتفصيل كامل .

التحدي 4 – صفحة 19 : إن مقدار الماء يعتمد على شكل الدلو . الجملة تختار الخيار (مائل أو مستقيم) التي مركز ثقالتها الأخفض ما يكون

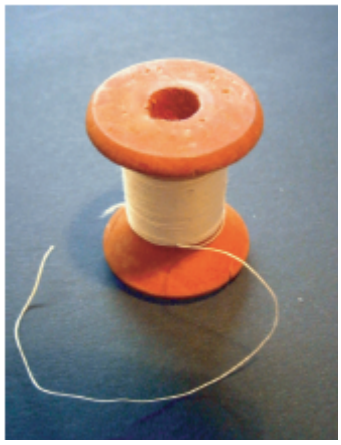
التحدي 5 – صفحة 20 : لتبسيط الأشياء ، افترض دلوا أسطوانيا . إذا كنت بحاجة لمساعدة ، قم بالتجربة في المنزل . من أجل البكرة ، الصورة مضللة : الإطار الذي تتقدم عليه البكرة له قطر أكبر من المقطع الذي لف عليه الحبل . الحبل الملفوف / الخيط لا يلامس الأرض مثل الحال بالنسبة للبكرة المبينة في الشكل 303 .

التحدي 6 – صفحة 19 : الأحزاب السياسية ، المذاهب ،منظمات المساعدة و المعالجين من كل الأنواع هم أنماط لهذا السلوك

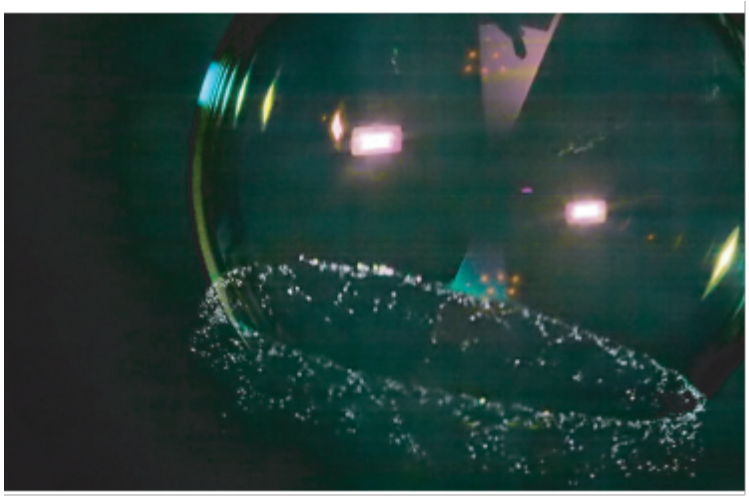
التحدي 7 – صفحة 24 : القضية لم يتم تسويتها بعد من أجل الحركة في الفضاء الخالي ، كما في حال أمواج الجاذبية . بالتالي حركة الفضاء الخالي يمكن أن تكون استثناء . في أي حال ، الفضاء الخالي غير مكون من جسيمات صغيرة ذات حجم منتهي حيث أن هذا سيتناقض مع عرضانية أمواج الجاذبية .

التحدي 8 – صفحة 26 : الثقوب ليست جمل فيزيائية لأنها بشكل عام لا يمكن متابعتها

التحدي 9 – صفحة 26 : التعريف الدائري هو : الأجسام المعرفة بأنها أمواج بالنسبة



الشكل 303 الشكل المفترض لأحجية البكرة



الشكل 304 فقاعة صابون أثناء انفجارها

بالنسبة للخلفية ، و الخلفية معرفة بأنها ما يبقى عندما تتغير الأجسام . وسوف نعود لهذه القضية المهمة عدة مرات في مغامرتنا . وسوف يتطلب هذا قدرا معينا م الصبر لحلها .(صفحة 435)

التحدي 10 – صفحة 28 : لا ، الكون ليس له حالة . إنها غير قابلة للقياس ، ليس حتى من حيث المبدأ . أنظر المناقشة حول القضية في المجلد IV ، صفحة 168 حول نظرية الكم

التحدي 11 – صفحة 28 : القائمة النهائية للخواص الذاتية للجمل الفيزيائية معطاة في المجلد V ، في الفقرة حول فيزياء الجسيمات . و بالطبع الكون ليس له خواص ذاتية دائمة . و لا واحدة منها هي قابلة للقياس ككل ليس حتى من حيث المبدأ

(المجلد V ، صفحة 262)

التحدي 12 – صفحة 31 : ملاحظة : نعم ، هناك مثل هذه النقطة

التحدي 13 – صفحة 31 : أنظر الشكل 304 من أجل الخطوة الوسيطة . الفقاعات تنفجر عند نقطة ، و بعدها إطار الثقب / حافته تزداد بسرعة حتى تختفي عند النقاط المعاكسة . خلال تلك العملية بقية الفقاعة تبقى كروية كما هو مبين في الشكل . من أجل مشاهدة فيلم عن العملية أنظر www.youtube.com/watch?v=dIZwQ24_OU0 (أو ابحث عن انفجار فقاعات الصابون) . بمعنى آخر القطرات التي تلفظ تتبع من النقطة في الفقاعة المعاكسة لنقطة الانثقاب ،وهي لا تلفظ أبدا من مركز الفقاعة .

التحدي 14 – صفحة 31 : الشبح يمكن أن يكون صورة متحركة ، لا يمكن أن يكون جسما متحركا ، حيث أن الأجسام لا يمكن أن تخترق لداخلها .

التحدي 15 – صفحة 31 : إذا كان أي شيء يمكن أن يتوقف عن الحركة ، فإن الحركة ستختفي إلى لاشيء . من أجل الإثبات الدقيق على المرء أن يبين أن أنه لن تتحرك أي ذرة بعد الآن . و حتى الآن هذا لم يتم ملاحظته أبدا : الحركة مصونة . (لا شيء في الطبيعة يختفي إلى لاشيء)

التحدي 16 – صفحة 31 : هذا سيعني في الحقيقة أن الفراغ / الفضاء لا نهائي ، لكن من المستحيل قياس / ملاحظة أن شيئا ما يتحرك للأبد : لا أحد يعيش بهذا الطول . باختصار ، ليس هناك طريقة لإثبات أن الفضاء لا نهائي بهذا الشكل . في الحقيقة ليس هناك طريقة لإثبات أن الفضاء لا نهائي في أي طريقة أخرى كذلك

التحدي 17 – صفحة 31 : طول الحبل اللازم هو nh ، حيث n هو عدد العجلات / البكرات . و نعم ، المزارع في الحقيقة يفعل شيئا كبيرا .

التحدي 19 – صفحة 31 : كيف يمكنك قياس هذا ؟

التحدي 20 – صفحة 31 : عدد الأرقام الموثوقة لنتيجة القياس هي كمية بسيطة للإحكام . مزيد من التفاصيل يمكن أن توجد بالبحث في " الانحراف المعياري " في الكتاب .

التحدي 21 – صفحة 31 : لا ، الذاكرة لازمة للملاحظة و القياسات . هذه هي حالة البشر و جهاز القياس . نظرية الكم سيجعل هذا واضحا بشكل خاص .

التحدي 22 – صفحة 31 : لاحظ أنك لم تلاحظ أبدا سرعة صفرية . هناك دائما بعض خطأ القياس الذي يمنع المرء من القول أن شيئا ما هو صفر . لا يوجد استثناءات

التحدي 23 – صفحة 32 : 2^{64} -1) = 18 446 744 073 700 551 615) حبة من القمح بوزن الحبة يساوي 40 mg هناك 738 مليون طن . بمعرفة أن محصول العالم في عام 2006 كان 606 مليون طن ، فإن كمية الحبوب ستكون محصول العالم لحوالي 1200 سنة

إن حساب عدد الحبات يبسط باستخدام العلاقة $1+ m +m^2 + m^3 +.....+m^n = 1+2+3+4+5+....+n= n(n+1)/2$
هل يمكنك إثبات العلاقتين ؟

إن أسطورة الشطرنج المذكورة أولا من قبل ابن خلكان (ولد في 1211 في أربيل و توفي في 1282 في دمشق) الملك شيرام و الملك بلهات أيضا ذكروا في الأسطورة وهم أشخاص تاريخيين الذين عاشوا بين القرن الثاني و الرابع الميلادي و تظهر الأسطورة أنها جمعت قصتين مختلفتين . في الحقيقة حساب الحبات يظهر أنه تم في عام 947 في كتاب شهير : مروج الذهب و معادن الجوهر تأليف المسعودي (ولد في 869 في بغداد و توفي في 956 في القاهرة) .

التحدي 24 – صفحة 32 : في تجارب نظيفة ، فإن اللهب يميل للأمام . و لكن مثل هذه التجارب ليست سهلة و في بعض الأحيان يرتد اللهب للخلف . فقط جرب ذلك . هل يمكنك شرح كلا الملاحظتين .

التحدي 25 – صفحة 32 : مقاييس التسارع هي أبسط كواشف الحركة . و هي موجودة بشكل أجهزة كهرانضغاطية التي تنتج إشارة عندما تتسارع علبة و يمكن أن تكلف حتى واحد يورو . مقياس التسارع الآخر الذي يمكن أن يكون له مستقبل هو مقياس التسارع التداخلي الذي يستخدم حركة شبكة التداخل القضيبية و هذا الجهاز يمكن أن يصنع بشكل متكامل من السيليكون . مقاييس التسارع الأخرى الأكثر إحكاما تستخدم جيروسكوبات أو حزم ليزرية تسري في دوائر

مقاييس السرعة و كواشف الموضع يمكن أيضا أن تكشف الحركة و هي تحتاج لدولاب أو على الأقل طرية بصرية للنظر خارج العلبة . مخططات السرعة في السيارات هي أمثلة عن مقاييس السرعة ، فئران الحاسب هي أمثلة عن كواشف الموضع . وهي جهاز رخيص كفاية ليكون مثاليا لقياس سرعة القافزين في الهواء أو المتزلجين . لا يوجد مثل هذا الجهاز بعد .

التحدي 25 – صفحة 32 : الكرة تتدحرج (تدور) (أو تنزلق) تجاه مركز الطاولة ، حيث أن مركز الطاولة هو بعض الشيء أقرب لمركز الأرض من الحدود و بالتالي الكرة تنطلق ، و تقوم بذبذبة حول مركز الطاولة . الفترة/ الدور هو 84 دقيقة كما هو مبين في التحدي 405 (هذا لم يقاس أبدا حتى الآن ، لماذا ؟)

التحدي 27 – صفحة 32 : فقط إذا لم يتناقص التسارع . التسارعات يمكن الشعور بها . مقاييس التسارع هي أجهزة التي تقيس التسارعات و بالتالي تستنتج الموضع . و هي تستخدم في الطائرات ، عند الطيران فوق المحيط الأطلسي . إذا لم تتسارع العلبة . من المستحيل القول فيما إذا كانت تتحرك أو تقبع ساكنة . و حتى أنه من المستحيل القول في أي اتجاه يتحرك المرء . (أغلق عينيك في القطار ليلا لتتأكد من هذا) .

التحدي 28 – صفحة 32 : البلوك يتحرك بضعف سرعة السلندرات ، بشكل مستقل عن نصف قطرها

التحدي 29 – صفحة 32 : هذه الطريقة معلوم أنها تنجح مع مخاوف أخرى أيضا

التحدي 30 – صفحة 33 : يحتاج ثلاثة أزواج إلى 11 شوط و الزوجين يحتاجان إلى 5 . و من أجل أربع أزواج أو أكثر ليس هناك حل . ما هو الحل إذا كان هناك n زوج و n-1 مكان على القارب ؟

التحدي 31 – صفحة 33 : ملاحظة : هناك عدد نهائي من مثل هذه الأشكال . و هذه المنحنيات تدعى أيضا منحنيات رولو . ملاحظة أخرى : إن القطع النقدية عشرين و أربعين بنس في المملكة المتحدة لها مثل هذه الأشكال . و نعم الأشكال الأخرى غير الأسطوانات أيضا ممكنة : خذ قضيب مربع مفتول ، مثلا

التحدي 32 – صفحة 33 : إذا كنت لا تعلم ، اسأل مرممك المفضل للأثاث القديم .

التحدي 33 – صفحة 33 : من أجل هذه الأحجية الجميلة أنظر arxiv.org/abs/1203.3602 .

التحدي 34 – صفحة 33 : المصونية ، النسبية و الأصغرية هي صالحة بشكل عام . في بعض العمليات النادرة في الفيزياء النووية ، ثبات الحركة (قابلية الانعكاس) لا تنطبق ، مثل الثبات المرآتي . الاستمرارية معروف أنها غير صالحة في أصغر الأطوال و الفواصل الزمنية و لكن التجارب لم تجرى بعد في هذه المجالات ، بحيث أنها ما تزال صالحة عمليا .

التحدي 35 – صفحة34 : في الحياة اليومية ، هذا صحيح ، ماذا يحدث عندما تؤخذ تأثيرات الكم بالحسبان ؟

التحدي 36 – صفحة 36 : خذ تغير المسافة المتوسطة لذرتين متجاورتين في قطعة من الكوارتز خلال آخر مليون سنة . هل تعلم شيئا ما أبطأ من ذلك ؟

التحدي 37 – صفحة 37 : هناك فقط طريقة واحدة : قارن السرعة التي ستقاس مع سرعة الضوء – باستخدام مرايا موضوعة بشكل ذكي . في الحقيقة تقريبا كل كتب الفيزياء المدرسية و الجامعية تبدأ بتعريف الفراغ و الزمن . خلافا لذلك فإن كتب النسبية الممتازة لديها صعوبات في تجنب هذه العادة ، حتى بالرغم من تلك التي تطرح التفاضل و التكامل k المعياري (التي في الحقيقة الطريقة المذكورة هنا) . بدءا بالطريقة الأكثر منطقية و الأجود . لكن من الممكن مقارنة السرعات بدون قضبان قياس مترية و ساعات . هل يمكنك إيجاد طريقة ؟

التحدي 38 – صفحة 37 : ليس هناك طريقة لتحس بحركتك الخاصة إذا كنت في فراغ . لا يوجد طريقة من حيث المبدأ . (صفحة 156) هذه النتيجة غالبا تسمى مبدأ النسبية . في الحقيقة ، هناك طريقة لقياس حركتم في الفراغ (بالرغم أنه ليس خلاء) : قس سرعتك بالنسبة لإشعاع الخلفية الكوني . وهكذا علينا أن نكون منتبهين حول ما يقتضيه هذا السؤال.

التحدي 39 – صفحة 37 : حمل الريح W/A هو النسبة بين الوزن و مساحة الجناح A وهي من الواضح متناسبة مع الجذر الثالث للوزن . (في الواقع $W \sim l^3$, $A \sim l^2$ و l هي بعد الجسم الطائر) هذه العلاقة تعطي خط التحول الأخضر .

إن حمل الجناح W/A هو النسبة بين الوزن W و مساحة الجناح A وهي مثل كل القوى في الموائع متناسبة مع مربع سرعة الطيران v : ولدينا $W/A = v^2\ 0.38\ kg/m^3$.



الشكل 305 حزم الشمس في غابة

إن العامل غير المفسر يحتوي كثافة الهواء و معامل عددي عام الذي من الصعب حسابه . هذه العلاقة تربط المقاييس العلوية و السفلية الأفقية في المخطط .

بالنتيجة سرعة الطيران كجذر سادس للوزن : $v \sim W^{1/6}$. بمعنى آخر ، طائرة الإيرباص A380 هي أثقل بـ 750 000 مليون مرة من ذبابة الفاكهة ، ولكنها أسرع فقط بمائة مرة .

التحدي 41 – صفحة 41 : بشكل مكافئ : هل النقاط في الفراغ موجودة ؟ الجزء الأخير من مغامرتنا يدرس هذه القضية بالتفصيل (مجلد VI ، صفحة 64) .

التحدي 42 – صفحة 42 : كل مصادر الكهرباء يجب أن تستخدم نفس الطور عندما تغذي الطاقة الكهربائية للشبكة . ساعات الحواسب على الإنترنت يجب أن تكون متواقتة

التحدي 43 – صفحة 42 : لاحظ أن الانزياح يزداد بشكل رباعي مع الزمن و ليس خطيا

التحدي 44 – صفحة 43 : قاس غاليليلو الزمن بواسطة ميزان (وبواسطة طرق أخرى) و إن ساعة التوقيت لديه كانت أنبوب ماء الذي أبقاه مغلقا بواسطة إبهامه و ووجهه إلى دلو . لبدء ساعة التوقيت فقد رفع إبهامه ليوقفها ووضعها ثانية . إن حجم الماء في الدلو بالتالي أعطاه مقياس للفاصل الزمني . و هذا مذكور في الكتاب الشهير غاليليو غاليلاي Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due scienze attenenti alla mecanica e i movimenti locali و الذي يسمى ببساطة Discorsi المنشور في عام 1638 من قبل لويس إلزيفييه في لايدن في هولندا .

التحدي 45 – صفحة 44 : الزمن الطبيعي يقاس بواسطة الحركة الطبيعية , الحركة الطبيعية هي حركة الضوء ، الزمن الطبيعي بالتالي يعرف بواسطة حركة الضوء .

التحدي 46 – صفحة 48 : ليس هناك طريقة لتعريف الزمن المحلي عند القطبين و هذا متوافق مع كل النقاط المجاورة. (من أجل الناس الفضوليين ، زر الموقع www.arctic.noaa.gov/gallery_np.html

التحدي 48 – صفحة 50 : الغابة مليئة بالضوء و بالتالي أشعة الضوء : هي مستقيمة كما هو مبين في الحزم الشمسية في الشكل 305

التحدي 49 – صفحة 50 : زوج من العضلات تحرك العدسة على طول المحور الثالث بتشويه العين من الاسترخاء إلى الشكل الكروي إلى المفلطح .

التحدي 50 – صفحة 50 : تستطيع حل هذه المسألة بمحاولة التفكير بأربعة أبعاد . (تدرب باستخدام المساقط ثلاثية الأبعاد المعروفة جيدا من أجل المكعبات رباعية الأبعاد) . حاول تخيل كيفية التبديل للتتابع عندما يتقاطع جزآن . ملاحظة : عادة من غير الصحيح في هذا المجال استخدام الزمن بدلا من البعد الفراغي الرابع

التحدي 51 – صفحة 52 : قس المسافات باستخدام الضوء

التحدي 54 – صفحة 56 : من الأسهل العمل بواحدة النتوء المستدير . خذ مجال الوحدة [0,1] وساوي النقاط النهاية . عرف مجموعة B التي فيها العناصر هي عدد حقيقي معطى b من المجال زائد كل هذه الأعداد التي تختلف عن تلك الحقيقية بعدد كسري . الدائرة الواحدية يمكن التفكير بأنها اجتماع كل المجموعات B . (في الحقيقة كل مجموعة B هي نسخة مزاحة من الأعداد الكسرية Q) . الآن قم ببناء مجموعة A بأخذ عنصر واحد من كل مجموعة B و بعدها قم ببناء عائلة المجموعات المكونة من المجموعة A و نسخها A_q المزاحة بالكسر q . و اجتماع كل هذه المجموعات هو النتوء المستدير الواحدي

عائلة المجموعات لا نهائية من حيث العدد . و بعدها قسمها إلى عائلتي مجموعات لا نهائيتين من حيث العدد و من السهل رؤية أن كل من هاتين العائلتين يمكن تذكرهما و العناصر مزاحة بحيث أن كل من هاتين العائلتين تشكل نتوء مستدير واحدي .

الرياضيون يقولون أنه ليس هناك قياس تجميعي لانهائي العدد لـ R^n أو أن المجموعات مثل A غير قابلة للقياس (مرجع 44) . بنتيجة وجودها فإن ضرب الأطوال ممكن . لاحقا سوف ندرس فيما إذا كان الخبز أو الذهب بضرب بهذا الشكل

التحدي 55 – صفحة 56 : ملاحظة : ابدأ بالمثلثات

التحدي 56 – صفحة 56 : المثال هو منطقة بين المحور x و التابع الذي عطي القيمة 1 لكل قيمة مبهمة و صفر لكل عدد غير مبهم

التحدي 57 – صفحة 57 : نستخدم تعريف التابع في النص . الزاوية الزوجية لرباعي الوجوه المنتظم هي مضاعف غير كسري لـ π بحيث أن رباعي الوجوه له ثابت Dehn غير متناقص . و المكعب له زاوية زوجية تساوي $\pi/2$ بحيث أن ثابت Dehn للمكعب هو صفر . و بالتالي المكعب ليس مشكل بشكل متساوي بالنسبة لرباعي الوجوه المنتظم

التحدي 58 – صفحة 58 : إذا فكرت بأنك تستطيع إظهار أن الفضاء الفارغ مستمر ، فإنك مخطئ . تأكد من حججك . إذا كنت تعتقد انك تستطيع إثبات العكس فإنه يمكن أن تكون على حق – لكن فقط إذا كنت تعلم ما شرح في الجزء الأخير من النص . إذا لم تكن هذه هي الحال تأكد من حججك ، في الحقيقة إنه ليس متقطع و لا مستمر .

التحدي 60 – صفحة 59 : من الواضح أننا نستخدم الضوء لنتأكد أن خط المسوية مستقيم ، بحيث أن التعريفين يجب أن يكونا نفسهما . هذه هي الحال لأن خطوط حقل الجاذبية هي أيضا مسارات ممكنة لحركة الضوء . لكن هذا لا يكون دائما الحال ، هل يمكنك أن ترى الاستثناءات ؟

الطريقة الأخرى لفحص الاستقامة هي على طول سطح ماء ساكن

الطريقة الثالثة ، الأقل إحكاما هي باستخدام حساسات الاستقامة في الدماغ . إن الدماغ البشري فيه وسيلة داخلية لتحديد فيما كانت الأجسام التي ترى بالعينين مستقيمة . هناك العديد من الخلايا الخاصة في الدماغ التي تعمل عند هذه الحالة . أي كتاب عن حدوث الرؤية يخبرك المزيد عن هذا الموضوع .

التحدي 61 – صفحة 60 : إن نظرية الأرض المجوفة هي صحيحة إذا استخدمت علاقة المسافة بشكل منسجم . بشكل خاص على المرء أن يقوم بافتراض أن الأجسام تصبح أصغر عندما تقترب من مركز الكرة المجوفة . الشرح الجيد لكل الأحداث يوجد في www.geocities.com/inversedearth . إن المادة الجيدة يمكن أن توجد على الإنترنت أيضا تحت أسماء الجملة الكوكبية المركزية ، نظرية العالم الداخلي أو نظرية الأرض المقعرة . و ليس هناك طريقة لتفضيل وصف واحد عن الآخر ما عدا ربما لأسباب التبسيط أو الكسل الفكري .

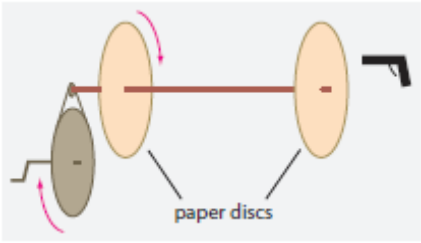
التحدي 63 – صفحة 61 : الملاحظة المعطاة في الشكل 306 . من أجل قياس سرعة الضوء تقريبا بنفس الطريقة ، أنظر المجلد II صفحة 18 .

التحدي 64 – صفحة 61 : الدراجة النارية السريعة هي أسرع : سائق الدراجة النارية يمكن أن يلحق بسهم ، وهذا عمل مثير عرض على التلفزيون الألماني " راهن على هذا " في عام 2001

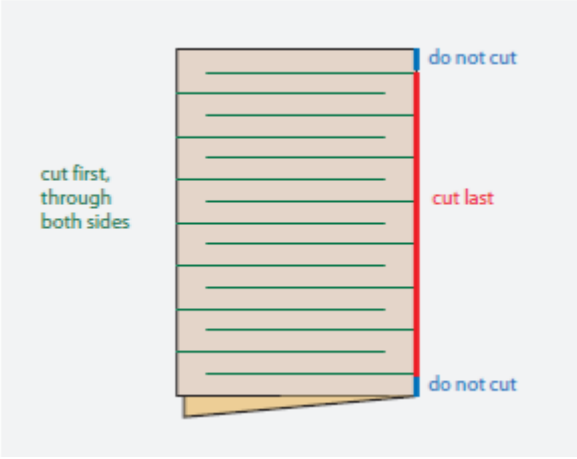
التحدي 65 – صفحة 61 : الشكل الوحيد الذي يمنع الغطاء من السقوط في الثقب أسفله هو الشكل الدائري . في الواقع الانحرافات البسيطة عن الشكل الدائري أيضا مسموحة

التحدي 68 – صفحة 61 : سرعة المشي لرجال كبار تتبع لصحتهم . إذا مشى الناس أسرع من 1.4 m/s فإنهم أصحاء (مرجع 378) و الدراسة خلصت إلى أن الحصادة القوية ذات سرعة مفضلة تبلغ 0.82 m/s بسرعة قصوى تبلغ 1.36 m/s

التحدي 69 – صفحة 61 : 72 درجة



الشكل 306 طريقة بسيطة لقياس سرعات الطلقة



الشكل 307 كيفية صنع ثقب قي بطاقة بريدية الذي يسمح بالخطو فيها

التحدي 73 – صفحة 62 : أنظر الشكل 307 من أجل طريقة لتحقيق المطلوب

التحدي 74 – صفحة 62 : خلال واحد بالمائة ، فإن خمس الارتفاع يجب أن يكون فارغ ، و أربعة أخماسه يجب أن يكون ممتلئ ، القيمة الدقيقة تأتي من $\sqrt[3]{2} = 1.25992...$

التحدي 75 – صفحة 62 : قلم رصاص واحد يرسم خطا بين 20 & 80 km . إذا لم يضع أي رصاص عند البري . أعداد أقلام الرصاص البلاستيكية المخترع حديثا غير متوفرة

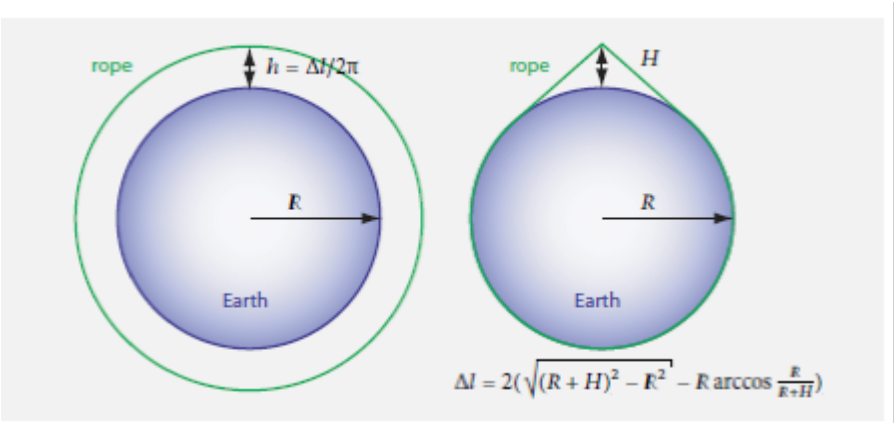
التحدي 79 – صفحة 63 : الدب أبيض بسبب البقعة الواضحة من البيت في القطب الشمالي . لكن هناك العديد من البقع الإضافية الكثيرة التي لا حصر لها (بدون دببة) قرب القطب الشمالي : هل يمكنك أن تجدها

التحدي 80 – صفحة 63 : نسمي L الطول الابتدائي للحزام المطاطي ، v سرعة الحلزون بالنسبة للحزمة و V سرعة الحصان بالنسبة للأرض . سرعة الحلزون بالنسبة للأرض معطاة بالشكل :

$$\frac{ds}{dt} = v + V\frac{s}{L+Vt} . \qquad (128)$$

هذا ما يسمى أيضا المعادلة التفاضلية للمجهول الذي هو موضع الحلزون s(t) . يمكنك التأكد بتكرار بسيط – أن حلها يعطى بالشكل :

$$s(t) = \frac{v}{V}(L+Vt)\ln(1+Vt/L) . \qquad (129)$$



الشكل 308 طريقتين لتطويل حبل حول الأرض

بالتالي الحلزون يصل للحصان عند الزمن

$$t_{\text{reaching}} = \frac{L}{V}(e^{V/v} - 1) \qquad (130)$$

الذي هو نهائي لكل القيم L , V & v .لكن يمكنك التأكد أن الزمن طويل جدا في الواقع إذا استخدمت قيم سرعة واقعية

التحدي 81 – صفحة 63 : اللون هو أولوية ألذي يطبق فقط على الأجسام و ليس على الحدود . في الحالة المذكورة فقط البقع و الخلفيات لها ألوان . والسؤال يبين أنه من السهل طرح الأسئلة التي لا تحمل أي معنى أيضا في الفيزياء

التحدي 82 – صفحة 63 : يمكنك القيام بهذا بنفسك بسهولة . يمكنك حتى أن تجد مواقع إنترنت حول هذا الموضوع

التحدي 84 – صفحة 63 : الساعات ذات العقربين : 22 زمن / مرة . الساعات ذات الثلاث عقارب مرتين

التحدي 85 – صفحة 64 : 44 مرة

التحدي 86 – صفحة 64 : من أجل العقربين الجواب هو 143 مرة

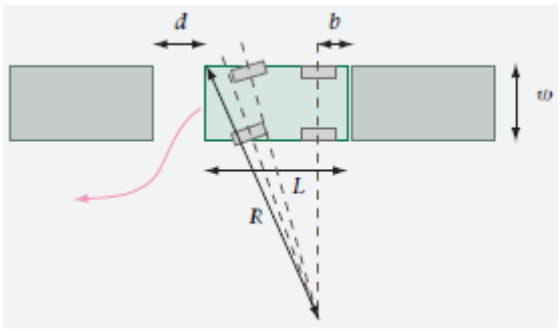
التحدي 87 – صفحة 64 : الأرض تدور بمقدار 15 مرة بالدقيقة

التحدي 88 – صفحة 64 : يمكن أن تندهش و لكن لا يوجد بيانات موثوقة حول هذه المسألة . أعلى سرعة لرمية مقاسة حتى الآن يبدو أنها 45 m/s لكرة الكريكيت . و بالمناسبة ، الكثير من البيانات الأخرى متاحة من أجل السرعات المحققة بمساعدة المضارب . إن سرعة 70 m/s لضربة البادمينتون السريع يبدو أنها مرشح جيد لرقم قياسي لسرعة المضرب ، السرعات المشابهة محققة بواسطة كرات الغولف .

التحدي 89 – صفحة 64 : الإطالة بالانتشار بمقدار متر واحد يسمح حتى للعديد من القطط بالمرور عبره ، كما هو مبين في الطرف الأيسر من الشكل أيسر من الشكل 308 . لكن الطرف الأيمن من الشكل يبين طريقة أفضل لاستخدام طول حبل إضافي ، كما يشير ديمتري ياتشينكو : الإطالة المحلي بمقدار ميليمتر واحد بالتالي تعطي ارتفاع 1.25 m مما يسمح لطفل بأن يمشي عبره . في الحقيقة الإطالة بمقدار متر التي تتم بهذا الشكل تصل لذورة ارتفاع 121 m

التحدي 90 – صفحة 64 : 1.8 km/h أو 0.5 m/s

التحدي 92 – صفحة 64 : السؤال له معنى ، خاصة إذا وضعنا حالتنا بالنسبة للعالم الخارجي ، مثل تاريخ عائلتنا الخاصة أو تاريخ الكون . الاستخدام المختلف يعكس فكرة أننا قادرين على تحديد موضعنا بأنفسنا و لكن ليس الوقت الذي نحن فيه . (الصفحة 237) . الفقرة حول التحديد ستبين خطأ هذا التمييز



الشكل 309 ترك فراغ في ركن السيارة – نصف قطر الاستدارة الخارجي

التحدي 93 – صفحة 64 : نعم . يوجد . لكن هذا ليس واضحا حيث أنه يقتضي أن الفراغ و الزمن ليسا مستمرين ، على عكس ما تعلمناه في المدرسة الابتدائية . الجواب سيوجد في الجزء الأخير من هذا الكتاب

التحدي 94 – صفحة 64 : من أجل منحني ، استخدم عند كل نقطة ، نصف قطر المنحني للدائرة الذي هو تقريبا المنحني في تلك النقطة ، من أجل سطح ، عرف اتجاهين ، في كل نقطة و استخدم اثنتين من مثل هذه الدوائر على طول الاتجاهين

التحدي 95 – صفحة 64 : يتحرك حوالي 1cm في 50 ms

التحدي 96 – صفحة 65 : مساحة سطح الرئة هي بين 100 & 200 m^2 تبعا لمصدر المراجع ، و أن الشدات هي بين 200 & 400 m^2

التحدي 97 – صفحة 65 : الحد غير موجود في الفيزياء الكلاسيكية ، لكن هناك حد في الطبيعة الذي يظهر حالما تؤخذ التأثيرات الكمية بالحسبان .

التحدي 98 – صفحة 65 : الشكل النهائي هو مكعب كامل بدون أي ثقب

التحدي 99 – صفحة 65 : الفجوة الممزقة d هي

$$d = \sqrt{(L-b)^2 - w^2 + 2w\sqrt{R^2 - (L-b)^2}} - L + b\,, \qquad (131)$$

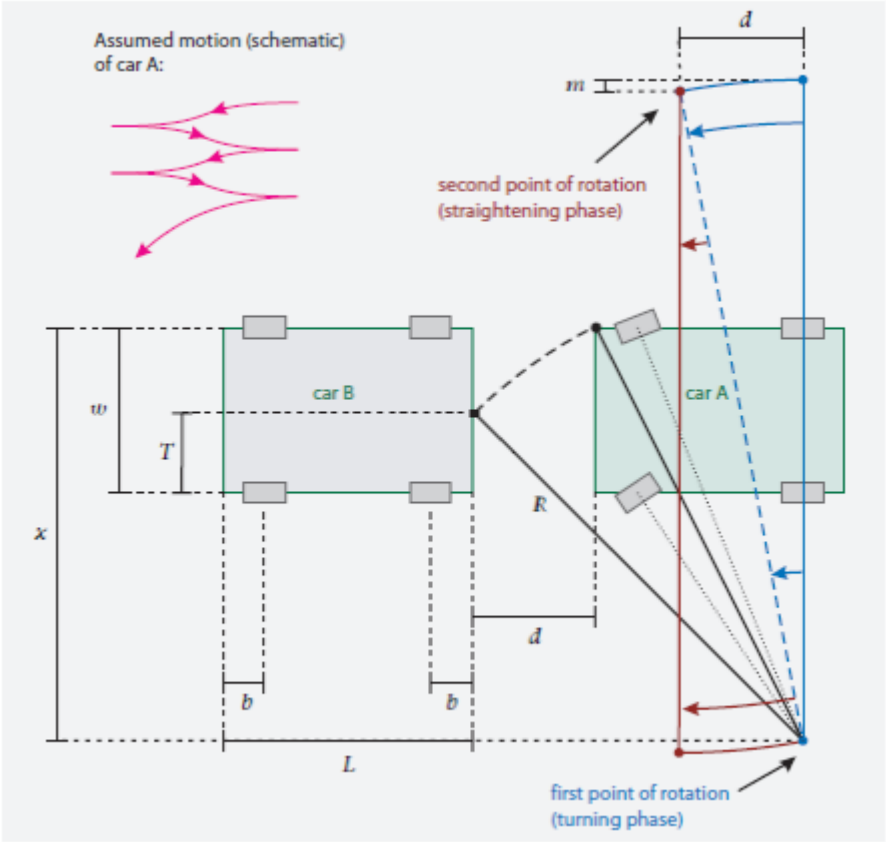
كما هو مستنتج من الشكل 309 . انظر أيضا R. Hoyle متطلبات مناورة الركن التام بشكل حرف s المتوازية في نموذج رياضي بسيط ، 2003 . في الحقيقة رياضيات الركن المتوازي هي جميلة و ممتعة . أنظر مثلا صفحة الإنترنت rigtriv.wordpress.com/2007/10/01/parallel-parking/ أو الشـــرح فـــي EDWARD NELSON ;Tensor Analysis مطبعة جامعة برنستون ، 1967 ، صفحة 36-33 . يشرح نيلسون كيفية تحديد حقول شعاعية التي تغير التشكيل رباعي الاتجاهات للسيارات ، و كيفية استخدام الجبر لبيان أن سيارة يمكن أن تترك فارغات ركن بمسافات قصيرة اختياريا للسيارات في الأمام و الخلف .

التحدي 100 – صفحة 65 : أصغر فجوة لا توجد ، أي قيمة لن توجد . هل تستطيع بيان هذا

التحدي 101 – صفحة 66 : الحل التالي اقترح من قبل دانييل هاوكينز

افترض أنك تجلس في سيارة A ، و هي مركونة حلف السيارة B كما هو مبين في الشكل 310 ، هناك طريقتين أساسيتين لوجود فراغ ركن الذي يتطلب استخدام الرجوع للخلف : دوران السيارة لتحريك مركز الدوران بعيدا عنه (إلى يمين) السيارة B ، و إزاحة السيارة للأسفل لتحريك مركز الدوران بعيدا عنه (أكثر بعد) السيارة B . الطريقة الأولى تتطلب من السيارة A الذي سيكون قطريا بشكل جزئي ، الذي يعني أن الطريقة لن تنجح من أجل كون d أقل من قيمة معينة ، أساسا القيمة المعطاة أعلاه ، عندما لا يلزم أي رجوع للخلف . و سوف نهتم بالطريقة الثانية (المصورة) التي ستنجح من أجل كون d متناهي في الصغر .

في حال أن المسافة d أقل من القيمة الدنيا اللازمة لتدوير فراغ الركن بدون استخدام الرجوع للخلف ، من أجل شكل هندسي معين L ; ω , B , r و الحروج من فراغ الركن



الشكل 310 حل أحجية ركن السيارة

يؤدي إلى أن زاوية السيارة A تلامس السيارة B على مسافة T بعيدا عن حافة السيارة B كما هو مبين في الشكل 310

هذه المسافة T هي المقدار الذي به السيارة A يجب أن يتحول للأسفل ن أجل الخروج بنجاح من فراغ الركن .

طريقة ترك فراغ الركن مبينة في الزاوية العليا اليسرى للشكل 310 تتطلب نجاح مرحلتين : مرحلة التدوير الأولي و مرحلة الاستقامة . بالتدوير و الاستقامة نحقق انزياح شاقولي للاسفل و انزياح أفقي لليسار ، بينما نحافظ على التوضع الأصلي . و الجزء الأخير هو أساسي لأننا إذا حاولنا الاستدارة حتى زاوية السيارة A تلامس السيارة B فإن السيارة A ستدور ، و أي محاولة لاستقامتها سوف لن تتبع نفس القوس إلى الوضع الأولي بينما تدوير العجلة إلى الاتجاه الآخر سيدور السيارة حتى أكثر ، كما في الطريقة الأولى الموصوفة أعلاه .

إن هدفنا هو تدوير بأكبر بعد ممكن و ما نزال قادرين على الاستقامة بشكل كاملة في الزمن الذي فيه السيارة A تلامس السيارة B و لتحليل فقط كم يجب أن يكون مقدار هذا التدوير ، علينا أولا أن ننظر إلى خواص السيارة التي تدور .

إن نظام قيادة أكرمان هو المبدأ الذي من أجله تدور السيارة بسلاسة / انسيابية و كل العجلات الأربع يجب أن تدور حول نفس النقطة و هذا اخترع من قبل رودولف أكرمان في عام 1817 . و بعض خواص القيادة بالنسبة لهذه المسألة هي كالتالي :

- العجلات الخلفية تبقى متراصفة و لكن الأمامية (التي نتحكم بها) يجب أن تدور بمقادير مختلفة للدوران حول نفس المركز
- مراكز الدوران لليسار و اليمين تدور في طرفين متعاكسين للسيارة
- المقادير المتساوية للدورانات اليسرى و اليمنى ومراكز الدوران هي متساوية المسافة من أقرب حافة للسيارة . الشكل 310 يبين هذا بشكل أوضح
- كل المراكز الممكنة للدوران هي على نفس الخط الذي دائما أيضا يمر عبر العجلات الخلفية

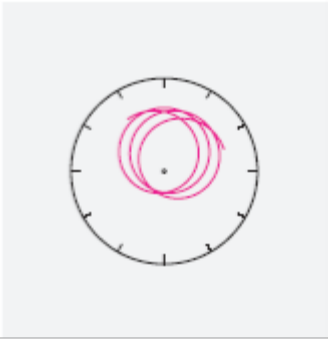
- عندما تكون العجلات الخلفية مستقيمة (مستقيمة دائما تعني نفس التوضع الذي للوضع الأولي) و هي متراصفة شاقوليا مع مراكز الدوران

- عندما تدور السيارة حول مركز ما ليكن المركز المرتبط بالدوران الأعظمي لليسار بالتالي فإن المركز الممكن المرتبط بالدوران اليمني الأعظمي سيدور على طول مع السيارة . بشكل مشابه عندما السيارات تدور حول المركز الأيمن ، فإن المركز الأيسر يدور .

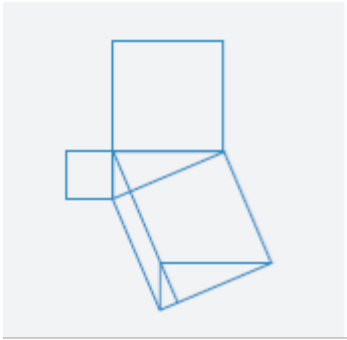
الآن نحن نعلم خواص قيادة أكرمان ،و يمكننا القول أنه من أجل تكبير الانزياح للأسفل مع المحافظة عل التوضع ، علينا أن ندور لليسار حول أول مركز مثل هذا و ثاني مركز يدور مسافة أفقية d ، كما هو مبين في الشكل 310 . و عندما يتحقق هذا ، فإننا نكبح ، و ندور عجلة القيادة بالاتجاه المعاكس الكامل بحيث أننا الآن ندور لليمين حول المركز الثاني و لأننا ننزاح لليسار d سوف نستقيم للخارج في اللحظة تماما التي فيها السيارة A تمس السيارة B . و هذا يؤدي لتحقيق هدفنا ، الانزياح للأسفل m و الانزياح لليسار d بينما نحافظ على توضع السيارة A . و العملية المشابهة يمكن أن تتم في الحركة العكسية لتحقيق انزياح للأسفل m و انزياح لليمين d مما يحرك السيارة A بشكل فعال من موضعها الأولي (قبل أي حركة) للأسفل 2m بينما نحافظ على توضعها . و هذا يمكن أن يتم بشكل غير محدد وهذا يبين لماذا من الممكن الخروج من مصف بواسطة مسافة متناهية بالصغر d بين السيارة A & B . و لتحديد مقدار الزمن لهذه العملية (كلا مجموعتي التدوير و الاستقامة) يجب أن تتم علينا تقسيم فقط T (تذكر إن T هي مقدار انزياح السيارة A للأسفل من أجل التدوير في مكان الركن بشكل طبيعي) على المقدار 2m الانزياح الكلي للأسفل لتكرار واحد للعملية . بشكل رمزي :

$$n = \frac{T}{2m} . \qquad (132)$$

من أجل الحصول على علاقة لـ n بدلالة الشكل الهندسي للسيارة علينا أن نوجد T و 2m .



الشكل 312 مسار النقطة المتوسطة بين نهايتي عقارب ساعة



الشكل 311 رسم بسيط – واحد من رسوم عديدة ممكنة التي تبين إثبات نظرية فيثاغورث

لتبسيط الاشتقاقات نعرف طول جديد x أيضا مبين في الشكل 310 .

$$x = \sqrt{R^2 - (L-b)^2}$$

$$\begin{aligned} T &= \sqrt{R^2 - (L-b+d)^2} - x + w \\ &= \sqrt{R^2 - (L-b+d)^2} - \sqrt{R^2 - (L-b)^2} + w \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= 2x - w - \sqrt{(2x-w)^2 - d^2} \\ &= 2\sqrt{R^2 - (L-b)^2} - w - \sqrt{(2\sqrt{R^2 - (L-b)^2} - w)^2 - d^2} \\ &= 2\sqrt{R^2 - (L-b)^2} - w - \sqrt{4(R^2 - (L-b)^2) - 4w\sqrt{R^2 - (L-b)^2} + w^2 - d^2} \\ &= 2\sqrt{R^2 - (L-b)^2} - w - \sqrt{4R^2 - 4(L-b)^2 - 4w\sqrt{R^2 - (L-b)^2} + w^2 - d^2} \end{aligned}$$

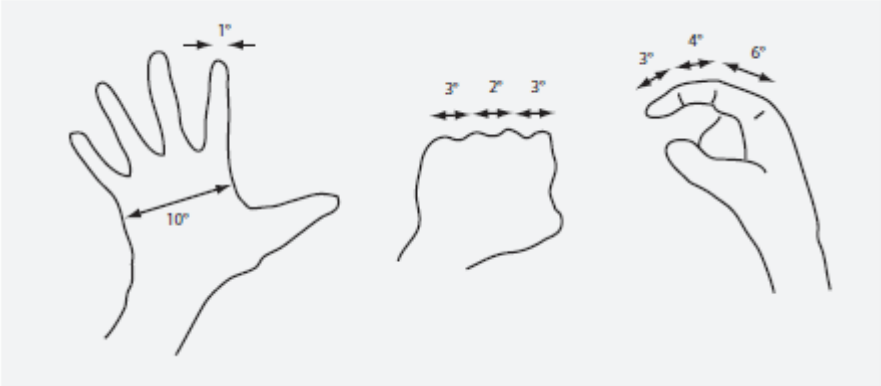
نحصل بالتالي على

$$n = \frac{T}{2m} = \frac{\sqrt{R^2 - (L-b+d)^2} - \sqrt{R^2 - (L-b)^2} + w}{4\sqrt{R^2 - (L-b)^2} - 2w - 2\sqrt{4R^2 - 4(L-b)^2 - 4w\sqrt{R^2 - (L-b)^2} + w^2 - d^2}} .$$

القيمة n دائما يجب أن تدور للعدد الصحيح التالي لتحديد عدد المرات التي يجب فيها أن الرجوع للخلف و الأمام لمغادرة مكان الركن .

التحدي 102 – صفحة 66 : لا شيء ، ليس هذا لا إثبات و لا نقض

التحدي 103 – صفحة 66 : أنظر المجلد II ، على الصفحة 19 . في المغاليق القصوى أنظر أيضا المناقشة في المجلد VI في الصفحة 118 .



الشكل 313 الزوايا تعرف بواسطة اليدين المبسوطتين باتجاه السماء ، عندما تمد الذراعين

التحدي 104 – صفحة 67 : ملاحظة للحل معطاة في الشكل 311

التحدي 105 – صفحة 67 : لأنها هي أو كانت سائلة

التحدي 106 – صفحة 67 : الأشكال مبينة في الشكل 312 وله أحد عشر فصا

التحدي 107 – صفحة 67 : زاوية المخروط φ ، هي الزاوية بين محور المخروط و حدود المخروط (أو بشكل مكافئ ، نصف زاوية رأس المخروط) يرتبط بالزاوية المصمتة / الحجمية Ω عبر العلاقة $\Omega = 2\pi (1- \cos\varphi)$. استخدم مساحة سطح قلنسوة كروية لتأكيد هذه النتيجة .

التحدي 109 – صفحة 67 : أنظر الشكل 313

التحدي 113 – صفحة 69 : ملاحظة : ارسم كل الأجسام الموجودة

التحدي 114 – صفحة 69 : المنحني من الواضح أنه يسمى سلسال من اللاتينية caterna التي تعني سلسلة .

علاقة السلسال هي $y = a \cosh (x/a)$. إذا قربت السلسلة بواسطة مقاطع مستقيمة قصيرة يمكنك صنع بلوكات خشبية التي يمكن أن تشكل قوس بدون الحاجة للاصق . و قوس سان لويس هو بشكل سلسال . و إن الجسر المعلق يملك شكل السلسال قبل أن يحمّل أي قبل أن يوصل به المسار . عندما ينتهي الجسر الشكل يكون بين سلسال و قطع مكافئ .

التحدي 115 – صفحة 69 : نصف القطر العكسي أو الانحناءات تخضع للقانون $a^2+b^2+c^2+d^2 = (1/2)(a+b+c+d)^2$

هذه العلاقة اكتشفت من قبل رينيه ديكارت . إذا استمر المرء بوضع دوائر في الفراغات الباقية ، يحصل على ما يسمى بأغلفة ما يعرف بالدائرة ، و هذا مجال جميل للرياضيات الاستمتاعية . و هي تملك العديد من الخواص الغريبة مثل العلاقات المثيرة للاهتمام بين إحداثيات مراكز الدائرة و منحنياتها .

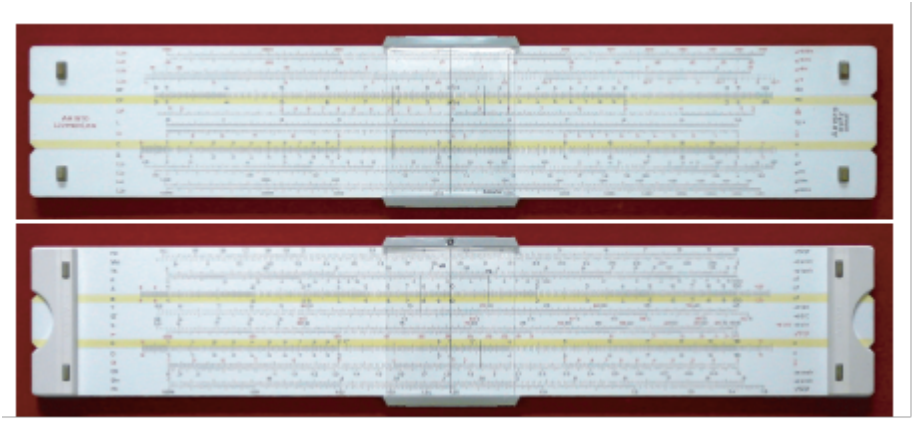
التحدي 116 – صفحة 70 : أحد الخيارات : استخدم نظير ثلاثي الأبعاد لنظرية فيثاغورث . الجواب هو 9

التحدي 117 – صفحة 70 : هناك حلين . (لماذا ؟) . هناك حلين موجبين لـ $l^2 = (b + x)^2 + (\bar{b} + \bar{b}^2/x)^2$ ، الارتفاع يعطى بالشكل h = b + x . و الحلين هي 4.84 m و 1.26 . هناك علاقات مغلقة من أجل الحلول ، هل يمكنك أن تجدها ؟

التحدي 118 – صفحة 70 : أفضل طريقة لحساب أولا الارتفاع B الذي عنده السلم الأزرق يلامس الجدار . و هو يعطى كحل لـ $B^4 - 2hB^3 - (r^2 - b^2)B^2 + 2h(r^2 - b^2)B - h^2(r^2 - b^2) = 0$.

الحلول ذات القيمة الصحيحة مناقشة في كتاب MARTIN GARDNER ، سيرك الرياضيات ، الطيف ، 1996

التحدي 119 – صفحة 70 : ارسم مقياس لوغاريتمي أي ضع كل عدد على مسافة موافقة للوغاريتم الطبيعي . مثل هذا الجهاز يسمى مسطرة منزلقة ، ومبينة في الشكل 314 . المسطرة المنزلقة



الشكل 314 مسطرة منزلقة عالية النهاية ، حوالي عام 1970

المساطر كانت أسلاف الحاسبات الإلكترونية و قد كانت تستخدم في كل العالم في أزمنة ما قبل التاريخ ، حتى حوالي 1970 . أنظر أيضا صفحة الإنترنت www.oughtred.org .

التحدي 120 – صفحة 71 : يومين أكثر . ابني لنفسك نموذج للشمس و الأرض للتحقق من هذا . و في الحقيقة هذا تصحيح بصغير للقيمة 2 و لنفس السبب الذي يجعل اليوم الشمسي أقصر من 24 ساعة .

التحدي 121 – صفحة 71 : الشمس هي تماما خلف ظهر المراقب وهي تغيب و الأشعة تأتي من الخلف و تصل عميقا في السماء في اتجاه معاكس لذلك العائد للشمس .

التحدي 123 – صفحة 71 : الحجم يعطى بالشكل $V = \int A dx = \int_{-1}^{1} 4(1 - x^2) dx = 16/3$

التحدي 125 – صفحة 71 : المسائل تظهر عندما تضاف تأثيرات الكم . إن الكون ثنائي الأبعاد سيكون بلا مادة نظرا لأن المادة مكونة من جسيمات ذات برم 1/2 . لكن الجسيمات ذات البرم 1/2 غير موجودة في الأبعاد الثنائية . هل يمكنك إيجاد أسباب إضافية ؟

التحدي 126 – صفحة 72 : إن بعدي الزمن لا تسمح بترتيب الأحداث و إجراء القياسات . كي نقول قبل و بعد يصبح مستحيلا . و في الحياة اليومية و كل المجالات الممكن الوصول إليها يكون الزمن و حيد البعد بشكل محدد .

التحدي 127 – صفحة 72 : لم توجد تجربة قط لأي ملاحظة . هل يمكن هذا أن يحدث برغم ذلك ؟ ربما لا ، كما يقال في المجلد الأخير من هذه السلسلة من الكتاب .

التحدي 130 – صفحة 73 : أفضل حل يبدو هو 32 خط إضافي . هل يمكنك استنتاج ذلك ؟ و لتجنب إفساد متعة البحث ، لا يعطى حل هنا . يمكنك إيجاد الحلول في blog.vixra.org/2010/26/a-christams – puzzle

التحدي 131 – صفحة 73 : إذا حللت هذه المسألة التي تعرف بمسألة طول الحبل ، ستصبح رياضيا شهيرا . إن الطول معروف فقط بحوالي 6 قيم عشرية للدقة . و لا يوجد علاقة دقيقة معروفة ، و الشكل الدقيق لمثل هذه العقد المثالية مجهول من أجل كل العقد غير التجريبية . المسألة أيضا غير محلولة من أجل كل العقد المغلقة المثالية غير التجريبية التي من أجلها النهايتين تكونان ملصقتين معا .

التحدي 132 – صفحة 76 : من $x = gt^2 / 2$ يمكنك الحصول على القاعدة التالية : ربع عدد الثواني ، اضرب بخمسة و احصل على العمق بالأمتار .

التحدي 133 – صفحة 76 : فقط تجربة .

التحدي 134 – صفحة 77 : الأكاديميين علقوا كرة مدفع واحدة بواسطة سلك رفيع تماما أمام فم المدفع . و عندما حررت الطلقة ، فإن كرة المدفع الثانية طارت عبر السلك وبالتالي تضمن أن كلا الكرتين تنطلقان بنفس الوقت . إن

المراقب البعيد يحاول بالتالي تحديد فيما إذا كانت كلا الكرتين تلامسان الأرض بنفس الوقت . التجربة ليست سهل حيث أن أخطاء صغيرة في الزاوية و مقاومة الهواء تعطي نتائج خاطئة .

التحدي 135 – صفحة 77 : القطع المكافئ له ما يعرف بالمحرق أو النقطة البؤرية / المحرقية . كل الضوء الصادر عن تلك النقطة و المنعكس يوجد في نفس الاتجاه : كل أشعة الضوء تصدر متوازية . الاسم محرق – كلمة لاتينية تعني موقد – تعبر أنها هي أكثر نقطة سخونة عندما تضاء مرآة بشكل قطع مكافئ . عندما يكون محرق قطع مكافئ $y = x^2$ (القطع الناقص له محرقين بتعريف مختلف قليلا . هل يمكنك أن تجده ؟

التحدي 136 – صفحة 78 : الرقم القياسي للقفز الطويل يمكن أن يزداد بالتأكيد بالتخلص من شريط الرمل و بقياس مسافة القفز الحقيقية بواسطة كاميرا فوتوغرافية التي ستسمح للقافزين أن يجروا بشكل أقرب إلى سرعتهم العليا . و الرقم القياسي سيزداد أيضا بخطوة مائلة صغيرة أو بواسطة لوح معلق بنابض و موقع الانطلاق لزيادة زاوية الإقلاع .

التحدي 137 – صفحة 78 : ربما صاحب الرقم يحمله Roald Bradstock الذي رمى كرة جولف لمسافة أكثر من 155m . الأرقام القياسية من أجل رمي الهواتف الخليوية ، الرماح ، الناس و الغسالات هي أقصر .

التحدي 138 – صفحة 78 : امشي أو اجري في المطر ، قس سرعتك الخاصة v و الزاوية عن الشاقول α التي يظهر بها أن المطر يهطل . بالتالي سرعة المطر هي $v_{rain} = v / \tan \alpha$

التحدي 139 – صفحة 78 : في التزلج على الجليد ، فإن القفزات الرباعية هي الآن أحدث ما تم التوصل إليه . في الرقص مثل هذا الباعث للأرقام القياسية .

التحدي 140 – صفحة 79 : إن إهمال مقاومة الهواء و تقريب الزاوية إلى 45° نحصل على $v = \sqrt{dg}$ أو حوالي 3.8 m/s و هذه السرعة تنشأ عن الضغط الثابت المتراكم باستخدام ضغط الدم ، الذي يتحرر فجأة بواسطة نظام ميكانيكي في نهاية القناة الهضمية . المرجع المستشهد به يخبر المزيد عن التفاصيل .

التحدي 141 – صفحة 79 : على الأرض الأفقية من أجل سرعة v و زاوية عن الأفق α و بإهمال مقاومة الهواء و ارتفاع الرامي ، فإن المسافة d هي $d = v^2 \sin 2\alpha / g$.

التحدي 142 – صفحة 79 : بشكل مدهش الجواب غير واضح . في عام 2012 ، فإن الرقم القياسي البشري هو اثني عشر كرة . من أجل الروبوتات فإن الرقم القياسي الحالي هو ثلاثة كرات ، كما نفذ من قبل روبوت ساركومان . و الإنترنت مليئة بمواد و فيديوهات حول الموضوع . و هي تحدي للناس و الروبوتات للوصول إلى العدد الأعظمي الممكن من الكرات .

التحدي 143 – صفحة 79 : يقال هكذا ، أثناء هطول المطر سيكون هناك كرات جليدية و تسقط بسرعة عالية .

التحدي 144 – صفحة 79 : نعم ، الناس يذهبوا للمشفى و حتى يموتوا بسبب نزول طلقات بشكل مستقيم على رؤوسهم

أنظر S. MIRSKY ، إنه عال ، إنه بعيد ، مجلة العلوم الأمريكية صفحة 86 ، شباط 2004 أو C. TUIN ، كتاب Vallende kogels ، هولندا tijdschrift voor naturkunde 71 ، صفحة 225-224 ، 2005 . إطلاق سلاح في الهواء هو جريمة .

التحدي 145 – صفحة 79 : هذه قصة حقيقية . الجواب يمكن فقط أن يعطى إذا كان من المعلوم فيما إذا كان الشخص لديه فرصة للقفز بينما الجري ليس كذلك . و في الحالة الموصوفة من قبل R. CROSS ، الفيزياء الجنائية 101 : السقوط من شاهق ، المجلة الأمريكية للفيزياء 67 ، صفحة 837- 833 ، 2008 ، لن يكون هناك طريقة للجري بحيث أن الجواب كان : جريمة

التحدي 146 – صفحة 79 : من أجل القفزات لحيوان ذو كتلة m فإن الطاقة اللازمة E يعطى بالشكل : $E= mgh$ ، و العمل المتاح لعضلة هي تقريبا متناسب مع كتلتها $W \sim m$. بالتالي يحصل المرء على الارتفاع h المستقل عن كتلة الحيوان . بمعنى آخر ، الطاقة الميكانيكية النوعية للحيوانات هي حوالي 1.5 ± 0.7 J/kg .

التحدي 147 – صفحة 80 : الأحجار لا تتبع أبدا قطع مكافئ : عندما تدرس بالتفصيل أي عندما يتغير g مع أخذ الارتفاع بالحسبان فإن مسارها الدقيق ينتج أنه قطع ناقص . وهذا الشكل يظهر بشكل أكثر وضوحا من أجل الرميات الطويلة ، مثل الرميات حول الجزء الضخم من الأرض أو الأجسام الدوارة . باختصار ، الحجارة تتبع قطوع مكافئة فقط إذا افترض أن الأرض مسطحة . إذا أخذ انحناؤها بالحسبان فإنها تتبع قطع ناقص .

التحدي 148 – صفحة 80 : مجموعة كل الدورانات حول نقطة في مستوي في الحقيقة هي فضاء شعاعي . ماذا عن مجموعة كل الدورانات حول كل النقاط في المستوي ؟ و ماذا عن الحالات ثلاثية الأبعاد ؟

التحدي 151 – صفحة 81 : الجداء السلمي بين شعاعين a & b يعطى بالشكل :

$$\boldsymbol{ab} = ab\cos\sphericalangle(\boldsymbol{a},\boldsymbol{b})\ . \qquad (133)$$

كيف يختلف هذا عن الجداء الشعاعي ؟

التحدي 154 – صفحة 84 : أحد المرشحين لأخفض التسارعات العملية للنظام الفيزيائي هي التسارعات المقاسة بواسطة كواشف موجة الجاذبية . وهي أدنى من $10^{-13}\ m/s^2$. لكن هذه القيم المنخفضة تضرب بواسطة تسارع الانجراف القاري بعد تباعد القارات عن بعضها : وهي تتسارع من 7 mm/a إلى 40 mm/a في فقط ثلاثة مليون سنة . هذا يوافق لقيمة $10^{-23}\ m/s^2$. هل هناك أخفض حد نظري للتسارع ؟

التحدي 155 – صفحة 85 : في السقوط الحر (عندما لا يوجد هواء) أو داخل محطة تدور حول الأرض ، فإنك تتسارع لكنك لا تشعر بشيء . لكن القضية ليست بسيطة جدا . من ناحية ، التسارعات الثابتة و المتجانسة هي في الحقيقة لا يشعر بها إذا لم يكن هناك مرجع متسارع . عدم قابلية التمييز هذه أو التكافؤ بين التسارع و الشعور بلا شيء كان خطوة أساسية لألبرت اينشتاين لتطوير النسبية العامة . من ناحية أخرى ، إذا كانت أحاسيسنا حساسة بشكل كاف فإننا نشعر بشيء ما : في كل من السقوط الحر و في محطة الفضاء فإن التسارع لا يكون ثابتا و لا متجانسا وهكذا يمكننا في الحقيقة أن نقول أن التسارعات الموجودة في الطبيعة يمكن دائما الشعور بها .

التحدي 156 – صفحة 85 : قال الأستاذ للطالب : ما هو مشتق السرعة ؟ التسارع ! ما هو مشتق التسارع ؟ لا أعلم . لا أعلم . أحمق ! المشتق الرابع ، الخامس و السادس للموضع يسمى القرقعة ، الطقطقة أو الفرقعة .

التحدي 158 – صفحة 88 : يمكن للمرء أن يقول أن أي مصدر للضوء يجب أن يكون له حجم منتهي

التحدي 160 – صفحة 88 : الشيء الذي تراه العين البشرية المجردة كنقطة سوداء صغيرة الذي يكون عادة بقطر حوالي 50 µm .

التحدي 161 – صفحة 88 : أنظر المجلد III ، صفحة 127

التحدي 162 – صفحة 89 : يجب على المرء يفحص بعناية فيما إذا كانت الخطوات المفهومية التي تقودنا إلى استخلاص مفهوم النقطة من القياسات هي صحيحة . و وسوف يتبين في الجزء الأخير من المغامرة أن هذه ليست هي الحال .

التحدي 163 – صفحة 89 : يمكن للمرء أن يدور اليد بشكل أن الذراعين تعملان الحركة الموصوفة . أنظر أيضا المجلد V ، صفحة 131

التحدي 164 – صفحة 89 : عدد الكابلات ليس له حد . عرض الدوران الطوقي ذو 96 وصلة يوجد في المجلد VI ، صفحة 180

التحدي 165 – صفحة 90 : الدم و التغذية العصبية غير ممكنة إذا كان للعجلة محور . الطريقة المبينة هي لتجنب الوصلات المتشابكة التي تعمل فقط عندما الجزء الذي يدور ليس له محور : الدولاب يجب أن يعوم أو يبقي في مكانه بوسائل أخرى . و بالتالي يصبح من المستحيل صنع محور دولاب باستخدام قطعة وحيدة من الجلد .و إذا كان يمكن بناء

الدولاب بلا محور (الذي يمكن أن يكون ممكنا) بالتالي الدولاب دوريا يدور فوق الوصلة . هل يمكن لمثل الوصل بلا محور أن يحقق دافع ؟

بالمناسبة ، ما يزال يعتقد أن الحيوانات لديها دواليب على محاور . إذا كان الدولاب جسما ميتا . و حتى إذا استخدمت تكنولوجيات تغذية الدم مثل مفاعلات التدفق المستمر فإن الحيوانات لا يمكن أن تجعل مثل هذا الدولاب المنفصل ينمو بطريقة موالفة مع بقية الجسم و سيكون لها مصاعب في الإصلاح تعطب الدولاب . العجلات المنفصلة لا يمكن تنميتها على حيوانات و هي يجب أن تكون ميتة

التحدي 166 – صفحة 92 : الدماغ في الجمجمة ، مصانع الدم داخل العظام أو نمو العين هي أمثلة

التحدي 167 – صفحة 92 : في 2007 فإن أكبر الدواليب الكبيرة للركاب هي بقطر حوالي 150m ، و أكبر عنفات رياح هي بقطر حوالي 125m . و أفران الاسمنت هي أكبر العجلات / يمكن أن تكون بأكثر من 300 m على طول محورها

التحدي 168 – صفحة 92 : مقاومة الهواء تخفض المسافة القصوى المحققة بواسطة كرة قدم – الذي يتحقق بزاوية تساوي حوالي $\pi /4 = 45°$ من حوالي $v^2 /g = 91.7$ m إلى حوالي 50m

التحدي 173 – صفحة 98 : يمكن للمرء أيضا أن يجمع الشمس ، السماء و المشهد الطبيعي للقائمة

التحدي 174 – صفحة 99 : ليس هناك خيار ثالث . الأشباح ، الهلوسات ، مشاهدات إلفيس ، أو الكائنات من خارج الأرض يجب كلها أن تكون أجسام أو صور . أيضا الظلال هي فقط أنواع خاصة من الصور .

التحدي 175 – صفحة 99 : القضية تم مناقشتها بشدة في القرن السابع عشر ، حتى غاليليو قال بأنها صور و لكنها أجسام حيث يمكنها الاصطدام مع أجسام أخرى مثل الاصطدام الرائع للمشتري مع مذنب شوميكر – ليفي 9 في عام 1994 المبين . في الوقت الحالي الأقمار الصناعية صنعت لتصطدم مع المذنبات و حتى تطلق عليها (و تضربها)

التحدي 176 – صفحة 100 : السرعة الدنيا هي تقريبا التي من الممكن الركوب عندها بدون أيدي . إذا فعلت ذلك ، بعدها ادفع برفق عجلة القيادة حيث يمكنك اختبار ما هو موصوف أعلاه . انتبه : إنها دفعة قوية جدا التي ستجعلك تسقط بشكل شديد .

الدراجة هي واحدة من الجمل الميكانيكية الأكثر تعقيدا في الحياة اليومية و ما تزال موضوع بحث . و من الواضح أن خبراء العالم في ذلك هم الهولنديون . إن عرض لسلوك الدراجة معطى في الشكل 315 . و النتيجة الأساسية هي أن الدراجة مستقرة في الوضعية القائمة عند مجال السرعات المتوسطة . و فقط عند سرعات منخفضة و عالية الراكب يجب أن يقود بشكل فعال لضمان الوضعية القائمة للدراجة .

من أجل مزيد من التفاصيل أنظر بحث J.P.MEIJAARD , J.M. PAPADOPOULUS , A. RUINA & A.L. SCHWAB ، المعادلات الخطية الديناميكية لتوازن وقيادة دراجة : نقاط أساسية و مراجعة ، مداولات الجمعية الملكية A 463 ، صفحة 1955- 1982 ، 2007 ، و J . D. G. KOOIJMAN , A.L. SCHWAB & J.P. MEIJAARD ، التحقق التجريبي م نموذج دارجة غير متحكم بها ، ديناميك الجمل متعددة الأجسام 19 ، صفحة 115-132 ، 2008 . أنظر أيضا audiophile.tam.cornell.edu/~als93/Bicycle/index.htm

التحدي 177 – صفحة 102 : الوزن الكلي يتناقص ببطء بسبب الماء المتبخر الضائع بواسطة التعرق و بدرجة أقل بسبب الكربون المتحد المنفوث / المزفور في ثاني أكسيد الكربون .

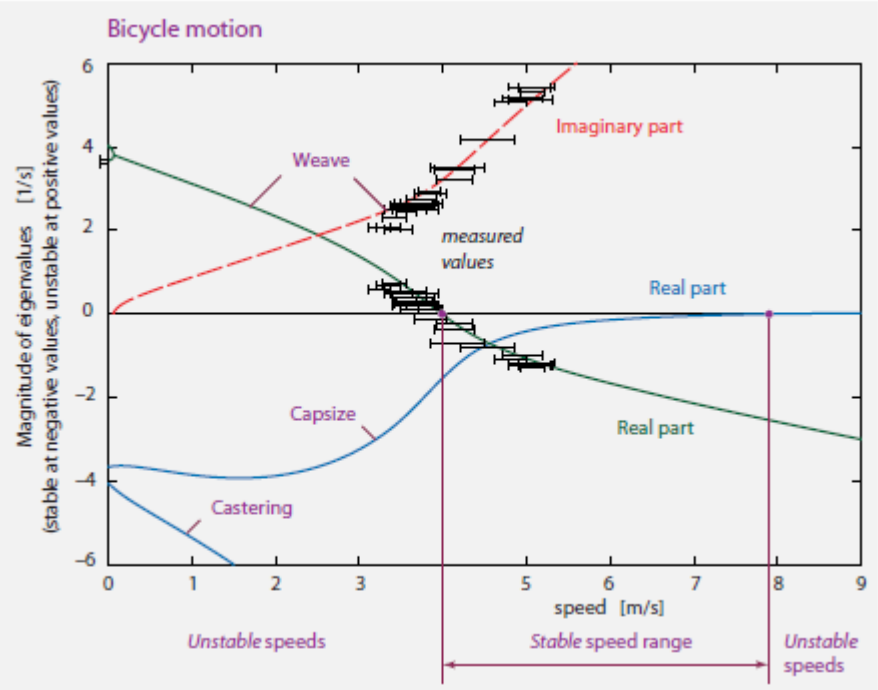
التحدي 178 – صفحة 102 : هذا تحدي حيث الإنترنت يمكن أن تساعد فيه كثيرا . من أجل مقدمة عامة ، أنظر كتاب LEE SIEGEL شبكة السحر ، عجائب و خدع في الهند ، مطبعة جامعة شيكاغو 1991

التحدي 179 – صفحة 103 : إذا كانت الكرة المتحركة لا تدور ، بعد الاصطدام فإن الكرتين ستبتعدان حيث الزاوي بينهما قائمة

التحدي 180 – صفحة 103 : نظرا لأن البلوك ثقيل ، فإن السرعة التي يكتسبها من المطرقة هي صغيرة ويتوقف بسهولة من قبل الجسم البشري . و هذا الأثر يعمل أيضا بواسطة سندان بدلا من البلوك البيتوني . و في شكل شائع آخر ،

فإن الشخص الذي لا يتمدد على المسامير ، لكن على الهواء : إنه فقط يبقي نفسه أفقيا ، حيث الرأس و الكتفين على كرسي و القدمين على كرسي ثاني .

التحدي 181 – صفحة 104 : نعم ،تعريف الكتلة يعمل أيضا من أجل المغناطيسية لأن الحالة الدقيقة هي ليست التأثير المتبادل المركزي و لكن التأثير المتبادل الذي يحقق شرط أكثر عمومية الذي يشمل التسارعات مثل تلك تنتج عن المغناطيسية . هل يمكنك استنتاج الحالة ممن تعريف الكتلة على أنها المقدار الذي يبقي كمية الحركة مصونة ؟



الشكل 315 السلوك المقاس (القضبان السوداء) و المحسوب (الخطوط الملونة) – بشكل أكثر دقة ، القيم الخاصة الديناميكية – لدراجة كتابع لسرعتها

التحدي 182 – صفحة 106 : بدلا من استخدام التأثيرات العطالية للأرض ، من الأسهل استنتاج كتلتها من تأثيرات الجاذبية لها (صفحة 185) .

التحدي 187 – صفحة 107 : في النظرة الأولى ، تقتضي النسبية أن التاكيونات لها كتلة تخيلية ، لكن العامل التخيلي يمكن استخلاصه من علاقة الكتلة – الطاقة و الكتلة – كمية الحركة ، بحيث أن المرء يمكن أن يعرّف قيمة الكتلة الحقيقية للتاكيونات . بالنتيجة التاكيونات الأسرع لها طاقة أصغر و كمية حركة أصغر من الأبطأ . و في الحقيقة كلا من كمية الحركة التاكيون و طاقته يمكن أن تكون عدد سالب بأي قيمة .

التحدي 188 – صفحة 109 : الحالة إلى أقصى اليسار لها تأثير صغير ، الحالة الثانية تجعل السيارة تتحرك للأمام والخلف ، الصورتين في الطرف الأيمن تبينان طريقة لفتح زجاجات النبيذ بدون فتاحة زجاجات

التحدي 189 – صفحة 109 : الأرجل لا تكون شاقولية بشكل تام أبدا و هي ستنزلق متباعدة عن بعضها فورا . حالما القطة أو الشخص يكون على الأرض فإنه من المستحيل تقريبا أن يقف ثانية

التحدي 190 – صفحة 109 : مصونية كمية الحركة (أو مركز الكتلة) ستقتضي أن البيئة يمكن تسريعها في الاتجاه المعاكس . مصونية الطاقة ستقتضي أن قدرا كبيرا من الطاقة سينتقل بين الموقعين ، و يصهر كل شيء بينهما . و الانتقال عبر المسافات بالتالي يتعارض مع مصونية الطاقة و كمية الحركة .

التحدي 191 – صفحة 110 : الجزء من المد و الجزر الناتج عن الشمس ، الرياح الشمسية و التأثير المتبادل بين كل من الحقل المغناطيسي لهما هي أمثلة على آليات الاحتكاك بين الأرض و الشمس .

التحدي 192 – صفحة 110 : بعامل 1/2 فإن الزيادة على الطاقة الحركية (الفيزيائية) يساوي إلى العمل (الفيزيائي) المنجز في جملة : الطاقة الكلية بالتالي مصونة فقط إذا كان العامل1/2 مضاف .

التحدي 194 – صفحة 112 : إنه تطبيق ذكي لمصونية كمية الحركة

التحدي 195 – صفحة 112 : ليس أي منها . مع تشغيل المكابح ، الضرر أعلى ، ولكن ما يزال متساوي بالنسبة لكل من السيارتين

التحدي 196 – صفحة 113 : أنظمة التدفئة ، محركات النقل ، المحركات في المصانع ، مصانع الفولاذ ، مولدات الكهرباء التي تغطي الضياعات في شبكة الطاقة ..الخ و بالمناسبة ، أغنى البلدان في العالم مثل السويد أو سويسرا تستهلك فقط نصف الطاقة لكل نسمة الذي في الولايات المتحدة الأمريكية . هذا الفاقد هو أحد أسباب المعيار المتوسط الأخفض للحياة في الولايات المتحدة .

التحدي 202 – صفحة 117 : فقط ارمي الطوبة في الهواء و قارن البراعة اللازمة لجعلها تدور حول محاور متعددة

التحدي 203 – صفحة 117 : استخدم تعريف عزم العطالة و نظرية فيثاغورث من أجل كل عنصر كتلة للجسم

التحدي 204 – صفحة 117 : علق الجسم ، اربط الحبل في نقطتين مختلفتين . و نقاط التقاطع لخطوط الحبل المطول هي مركز الكتلة

التحدي 205 – صفحة 118 : أنظر الجدولين 20 & 19

التحدي 206 – صفحة 118 : الكرات لها توضع ، لأننا يمكن دائما أن نضيف بقعة صغيرة على سطحها . هذه الإمكانية غير معطاة من أجل الأجسام الميكروسكوبية وسوف ندرس هذه الحالة في جزء نظرية الكم

التحدي 209 – صفحة 120 : نعم ، القرد يمكن أن يصل للموزة . القرد تماما يجب أن يستدير حول محوره الخاص و من أجل كل دورة الصفيحة ستدور قليلا باتجاه الموزة . بالطبع الطرق الأخرى مثل النفخ بزاوية قائمة للمحور ، التبول .. الخ هي أيضا ممكنة

التحدي 210 – صفحة 120 : الحركة الخطية ذات الدفع الذاتي تتعارض مع مصونية كمية الحركة ، التغير ذاتي الدفع للتوضع (طالما أن الحركة تتوقف ثانية) لا تتعارض مع أي قانون مصونية . و لكن السبب الكامن العميق للفرق سيكشف في الجزء الأخير من مغامرتنا

التحدي 212 – صفحة 121 : النقاط التي تتحرك تماما على طول الاتجاه القطري للعجلة تشكل دائرة أسفل المحور وفوق الإطار . و هي النقاط الحادة في الشكل 79 للصفحة 121 .

التحدي 213 – صفحة 121 : استخدم مصونية كمية الحركة الزاوية حول نقطة التماس . إذا كانت كل كتلة الدولاب افترضت في الإطار فإن سرعة الدوران النهائية هي نصف الابتدائية و هي مستقلة عن معامل الاحتكاك .

التحدي 215 – صفحة 123 : ربما بقية الكون قصد به من قبل الكاتب . و في الواقع تحريك جزء لا يزيح أبدا مركز الجاذبية لجملة مغلقة . لكن هل الكون مغلق ؟ أو هو جملة ؟ في الجزء الأخير من مغامرتنا سندرس هذه القضايا

التحدي 219 – صفحة 124 : ملاحظة : مصونية الطاقة وكمية الحركة تعطي معادلتين و لكن في حال ثلاث كرات هناك ثلاث متحولات . ماذا يلزم أيضا ؟ أنظر F.HERRMANN & M.SEITZ ، كيف تعمل سلسلة الكرات ؟ المجلة الأمريكية للفيزياء 50 ، صفحة 981-977 ، 1982 . التحدي الأكبر هو بناء سلسلة كرات ذات إحكام أكبر التي فيها تتصرف الكرات كما هو متوقع ، وتقلل الحركة الزائفة . لا يبدو أن أحدا يمكنه بناء واحدة بعد ، كما تبين الإنترنت . هل يمكنك ذلك ؟

التحدي 220 – صفحة 124 : الطريقة سمحت لفيلاس فوج أن يربح رهان كبير في رواية المغامرة المعروفة جيدا لجول فيرن حول العالم في ثمانين يوما ، ترجمت من الفرنسية ، نشرت لأول مرة في 1872

التحدي 221 – صفحة 125 : الجسم البشري هو أكثر كفاءة من حيث الطاقة عند خرج استطاعة منخفضة و متوسطة . الموضوع ما زال قيد البحث ، كما هو مفصل في المراجع الواردة . الميل الحرج يقدر بأنه حوالي 16° لصعود التلال و لكن سيختلف من أجل المشي نزولا .

التحدي 223 – صفحة 125 : ملاحظة : الطاقة بالمسافة هي القوة

التحدي 224 – صفحة 125 : مصونية كمية الحركة الزاوية تنقذ الكأس . جرب

التحدي 225 – صفحة 126 : قبل كل شيء البيانات التجريبية لماك دوجال مزيفة . في ست حالات لا يمكن استنتاجها لكنه لا يعلم التوقيت الدقيق للموت . إن ادعائه بتناقص الكتلة لا يمكن استنتاجه من بياناته الخاصة . القياسات الحديثة لم تبين تغير في الكتلة و لكن نبضات الكتلة الواضحة لبعض عشرات الغرامات عندما يتوقف القلب . و هذا التناقص المؤقت في الوزن يمكن أن يكون ناتج عن زفر الهواء أو الرطوبة و استرخاء العضلات أو توقف الدوران الدموي . السؤال لم يتم حسمه بعد

التحدي 227 – صفحة 126 : بافتراض جبل مربع ، فإن الارتفاع h أعلى من القشرة المحيطة و العمق d مرتبطان بالشكل

$$\frac{h}{d} = \frac{\rho_m - \rho_c}{\rho_c} \qquad (134)$$

حيث ρ_c هي كثافة القشرة و ρ_m كثافة الغطاء . و من اجل قيم الكثافة المعطاة فإن النسبة 6.7 تؤدي إلى عمق إضافي يبلغ 6.7 كم أدنى من الجبل .

التحدي 229 – صفحة 126 : العلبة يمكن أن تملأ بسائل و الفيديوهات على الإنترنت تبين التجربة . لماذا هذه هي الحالة ؟

التحدي 232 – صفحة 127 : المادة في الكون يمكن أن تدور – لكن ليس الكون نفسه

القياسات تبين أنه ضمن أخطاء قياس ليس هناك دوران للكتلة

التحدي 233 – صفحة 127 : سلوك الكرات يمكن أن يشرح بملاحظة أن الأمواج المرنة تنتشر عبر سلسلة من الكرات

. فقط انتشار هذه الأمواج المرنة بشكل خاص انعكاسها في نهاية السلسلة ، يشرح أن نفس العدد من الكرات التي تضرب من جانب ترفع من الجانب الآخر من السلسلة . من أجل الأزمنة الطويلة ، يجعل الاحتكاك كل الكرات تتذبذب في الطور . هل يمكنك إثبات هذا ؟

التحدي 234 – صفحة 128 : عندما تضرب أسطوانة قصيرة أسطوانة طويلة ، فإن موجتي انضغاط تبدآن في الجري من نقطة التماس عبر الأسطوانتين . و عندما كل موجة انضغاط تصل لكل طرف ،فإنها تنعكس كموجة تمدد . إذا كان الشكل الهندي مختار جيدا ، فإن موجة التمدد المرتدة من الأسطوانة القصيرة يمكن أن تستمر إلى الطويلة (التي ما تزال في طور الانضغاط) . من أجل أزمنة طويلة بشكل كافي فإن الأمواج من الأسطوانة القصيرة يمكن بالتالي أن تتخلى عن كثير من طاقتها للطويلة . و كمية الحركة مصانة ، كما الطاقة طالما أن الأسطوانة تهتز في الطول عندما تنفصل بحيث أن كل طاقتها تكون طاقة انتقالية . هذه التذبذب يستخدم بالتالي لقيادة المسامير في الجدران الحجرية و في مطارق الثقب التجارية ، فإن نسب الطول 10 : 1 تستخدم عادة .

التحدي 235 – صفحة 128 : انتقال كمية الحركة للجدار يكون مضاعف عندما ترتد الكرة بشكل تام

التحدي 236 – صفحة 129 : إذا الفلينة هي في موقعها المقصود : انزع الغطاء البلاستيكي عن الفلينة و ضع قماشة حو الزجاجة أو الزجاجة في الحذاء (هذا لأسباب الحماية فقط) و اضرب بشكل متكرر الزجاجة على الأرض أو أسقطها بشكل مائل كما هو مبين في الشكل 72 على الصفحة 109 و مع كل ضربة ستخرج الفلينة قليلا .

إذا سقطت الفلينة داخل الزجاجة : ضع نصف قماشة داخل الزجاجة حتى تسقط الفلينة على القماشة . اسحب القماشة : أولا ببطء حتى تحيط القماشة تقريبا بالفلينة و بعدها بقوة

التحدي 237 – صفحة 129 : في الحقيقة ، الطرف السفلي من السلم دائما يلامس الأرض . لماذا ؟

التحدي 238 – صفحة 129 : المجهر ذو القوة الذرية

التحدي 240 – صفحة 129 : الرجل الذي يجري : $E \approx 0.5.\ 80\ kg.\ (5m/s^2) = 1k\ J$ ، طلقة البندقية

$E \approx 0.5.\ 0.04\ kg.\ (500m/s^2) = 5k\ J$

التحدي 241 – صفحة 130 : تقريبا هو ضعف الحجم

التحدي 242 – صفحة 130 : عند أعلى نقطة ، التسارع هو $g \sin\alpha$ حيث α زاوية النواس عند أعلى نقطة . عند أخفض نقطة التسارع هو v^2 / l حيث l هو طول النواس . مصونية الطاقة تقتضي أن $v^2 = 2gl(1-\cos\alpha)$. بالتالي المسألة تحتاج لأن يكون $\sin\alpha = 2\ (1-\cos\alpha)$ و هذه يؤدي إلى $\cos\alpha = 3/5$.

التحدي 243 – صفحة 130 : يحتاج المرء لمعادلة تغير الكتلة $dm/dt=\pi\rho_{vapour}\ r^2\ |v|$ بسبب نشوء السديم و سرعة القطرات $m\ dv/dt = mg - v\ dm/dt$. هاتين المعادلتين تعطيان :

$$\frac{dv^2}{dr} = \frac{2g}{C} - 6\frac{v^2}{r} \qquad (135)$$

حيث $C = \rho_{vapour} / 4\ \rho_{water}$. الخدعة هي بيان أن هذا يمكن إعادة كتابته بالشكل :

$$r\frac{d}{dr}\frac{v^2}{r} = \frac{2g}{C} - 7\frac{v^2}{r}\ . \qquad (136)$$

من أجل الأزمنة الكبيرة كل الحلول الفيزيائية تتقارب من $v^2 / r = 2g / 7C$ ، وهذا يقتضي أنه من أجل الأزمنة الكبيرة

$$\frac{dv}{dt}\frac{v^2}{r} = \frac{g}{7} \quad \text{and} \quad r = \frac{gC}{14}t^2\ . \qquad (137)$$

حول هذه المسألة االشهيرة ، أنظر مثلا ، B.F.EDWARD , J.W.WILLDER & E.E.SCIME ديناميك قطرات المطر الهاطلة ، المجلة الأوربية للفيزياء 22 ، صفحة 113-118 ، أو A.D.SOKAL سقوط قطرة المطر دراسة مكررة ، طباعة أولية من arxiv.org/abs/0908.0090

التحدي 244 – صفحة 130 : الأول هو أسرع لأن عزوم العطالة تختلف . أيها ؟

التحدي 245 – صفحة 130 : ليس هناك جواب بسيط الجر / المقاومة الديناميكية الهوائية تلعب دورا مهما : ليس هناك تقريبا دراسات عن الموضوع . بالمناسبة منافسة قفز الحبل هي تحدي ، مثلا بعض الناس في العالم قادرين على تدوير الحبل خمس مرات تحت أقدامهم في قفزة واحدة . هل يمكنك القيام بشيء أفضل ؟

التحدي 246 – صفحة 130 : زن الطلقة و أطلقها مقابل كتلة معلقة من السقف

من الكتلة و الزاوية التي تنحرف بها ، كمية حركة الطلقة يمكن تحديدها

التحدي 248 – صفحة 130 : المنحني الموصوف بنقطة منتصف السلم الذي ينزلق لأسفل الجدار هو دائرة

التحدي 249 – صفحة 130 : المفاتيح تستخدم الطاقة الآتية عندما يضغط المفتاح و تغذيها لمرسل صغير الذي يعمل على التحكم عن بعد عالي التردد لتشغيل الضوء

التحدي 250 – صفحة 130 : الترتيب الذكي للمعدنين مستخدم . وهما يتحركان في كل مرة تتغير درجة الحرارة من النهار لليل ، و العكس بالعكس ، و يدوران نابض الساعة . الساعة نفسها هي ساعة ميكانيكية ذات استهلاك طاقة منخفض

التحدي 251 – صفحة 130 : وزن المصعد لا يتغير أبدا عندما تدخله السفينة . المصعد الثنائي أي الجملة التي فيها كلا المصعدين موصلين ميكانيكيا أو هيدروليكيا لا تحتاج إلى محرك أبدا : إنه من الكافي ملء المصعد العلوي بالقليل من الماء الإضافي كل مرة تدخله السفينة . مثل هذه المصاعد للسفن هي بدون محركات و تستخدم و موجودة في الماضي

التحدي 254 – صفحة 133 : هذا ليس سهلا ، تشكيل الاحتكاك و العزوم يلعب دورا . أنظر مثلا المقالة J. SAUER SCHORNER & C. LENNERZ ، محاكاة الجسم الجاسئ في الزمن الحقيقي لبعض الألعاب الميكانيكية الكلاسيكية ، المعرض و الملتقى العاشر للمحاكاة (ESS98) ، 1998 ، صفحة 93-98 أو www.lennerz.de/paper_ess98.pdf

التحدي 257 – صفحة 135 : أنظر الشكل 123 من أجل مشاهدة مثال . القطب ليس عند السمت

التحدي 258 – صفحة 135 : روبرت بيري نسي أنه بالتاريخ الذي ادعى أنه كان في القطب الشمالي ، السادس من نيسان 1909 فإن الشمس تكون منخفضة جدا على الأفق ، و تلقي بظلال طويلة جدا حوالي عشر مرات ارتفاع الأجسام

و لكن في صورته فإن الظلال هي أقصر بكثير (في الحقيقة الصورة أخذت بطريقة تخفي كل الظلال بعناية قدر الإمكان) و من المدهش أنه حتى أقنع الكونجرس الأمريكي أن يصرح رسميا بأنه أول رجل يصل للقطب الشمالي في عام 1911

(المخادع الكبير ادعى أنه وصل لهناك قبل بيري ، ولكن صورته كان فيها نفس الخطأ) . بيري أيضا خدع حول المسافات المقطوعة في آخر بضع أيام وقد فشل أيضا في ذكر أنه في الأيام الأخيرة قد سحب من قبل شريكه ، ماثيو هينسون ، لأنه لم يكن قادر على المشي أكثر من ذلك . و في الحقيقة ، هينسون يستحق أكثر من تقدير من أجل المغامرة أكثر من بيري . و لكن هينسون لم يعلم أن بيري خدع في الموضع الذي وصلا إليه .

التحدي 260 – صفحة 136 : لابلاس و غوص بين أن الانحراف d لجسم ساقط يعطى بالشكل :

$$d = 2/3\Omega \cos\varphi \sqrt{2h^3/g} \,. \qquad (138)$$

بالتالي Ω =72.92 μrad/s هي السرعة الزاوية للأرض ، φ هو خط العرض ، g تسارع الجاذبية و h ارتفاع السقوط

التحدي 261 – صفحة 139 : تأثير كوريوليس يمكن أن يرى كمجموع تأثيرين مختلفين بقيمة متساوية . إن أول تأثير هو التالي : في خلفية دوارة ، تغيرات السرعة مع الزمن . إن ما يراه مراقب عطالي (غير دوار) كسرعة ثابتة التي سترى سرعة التي تتغير مع الزمن من قبل مراقب دوار . إن التسارع الذي يرى من قبل مراقب دوار هو سالب ، و هو متناسب مع السرعة الزاوية و السرعة .

التأثير الثاني هو تغير السرعة في الفراغ . في إطار الدوران المرجعي ، فإن النقاط المختلفة لها سرعات مختلفة . التأثير سالب ، و متناسب مع السرعة الزاوية و السرعة .

إجمالا ، تسارع كوريوليس (أو تأثير كوريوليس) هو بالتالي $\alpha_C = - 2\omega \times v$

التحدي 262 – صفحة 140 : إن النواس القصير ذو الطول L ، الذي يتأرجح في بعدين (بمطال ρ و توضع φ)يبين حدودا إضافية في اللاغرانجيان $\mathcal{L}$:

$$\mathcal{L} = T - V = \tfrac{1}{2}m\dot{\rho}^2\left(1 + \frac{\rho^2}{L^2}\right) + \frac{l_z^2}{2m\rho^2} - \tfrac{1}{2}m\omega_0^2\rho^2\left(1 + \frac{\rho^2}{4\,L^2}\right) \qquad (139)$$

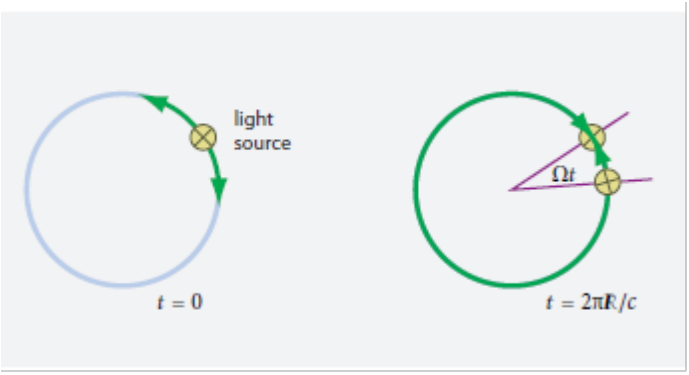
حيث كما هو معتاد التردد الأساسي هو $\omega_0 = g/L$ و كمية الحركة الزاوية هي $l_z = m\rho^2\dot{\varphi}$. الحدين الإضافيين عندما $L \to \infty$في تلك الحالة إذا كانت الجملة تتذبذب في قطع ناقص ذو أنصاف / أشباه محاور a & b ، القطع الناقص ثابت في الفراغ ، و التردد هو ω_0 . من أجل طول النواس L ، فإن التردد يتغير إلى :

$$\omega = \omega_0\left(1 - \frac{a^2 + b^2}{16\,L^2}\right) . \qquad (140)$$

القطع الناقص يدور بتردد

$$\Omega = \omega\frac{3}{8}\frac{ab}{L^2} . \qquad (141)$$

هذه العلاقات يمكن اشتقاقها باستخدام مبدأ الفعل الأقل كما هو مبين في C.G.GRAY , G.KARL & V.A.NOVIKOV ، التقدم في مبادئ الاهتزاز الكلاسيكي و الكمي ، arxiv.org/abs/physics/0312071 . بكلمات أخرى ، فإن النواس القصير في الحركة الإهليلجية يبدي تقدم حتى بدون تأثير كوريوليس . نظرا لأن تردد هذا التقدم يتناقص مع $1/L^2$ فإن الأثر هو صغير في النواسات الطويلة حيث فقط تأثير كوريوليس يترك . لرؤية تأثير كوريوليس في نواس قصير ، على المرء بالتالي أن يتجنب التأرجح في مدار قطع ناقص بإضافة آلية التي تكبت الحركة .



الشكل 316 استنتاج علاقة تأثير ساغناك

التحدي 263 – صفحة 141 : إن تسارع كوريوليس هو سبب الانحراف عن الخط المستقيم . إن تسارع كوريوليس هو ناتج عن التغير في السرعة مع المسافة من محور الدوران . و الآن فكر بالنواس ، الواقع في باريس ، الذي يتأرجح في اتجاه شمالي – جنوبي مع المطال A. في النهاية الجنوبية للتأرجح ، فإن النواس يكون ابعد عن المحور بمقدار Asinφ حيث φ هو خط العرض . في نهاية التأرجح فإن نقطة الاستناد المركزية تتجاوز ذبذبة النواس بسرعة أفقية نسبية معطاة بالشكل : $v = 2\pi A\sin\varphi / 35h56min$. و دور التقدم يعطى بالشكل : $T_F = x / 2\pi A$ حيث $2\pi A$ هو محيط $2\pi A$ للغلاف لمسار النواس (بالنسبة للأرض) . هذا يعطي $T_F = 23h56min/\sin\varphi$. لماذا هي القيمة التي تظهر في العلاقة ليست 24 h ولكن 23 h 56 min ؟

التحدي 264 – صفحة 141 : التجارب تبين أن محور الجيروسكوب يبقي ثابت بالنسبة للنجوم البعيدة . لا يوجد تجارب تبين أنه يبقى ثابت بالنسبة للفضاء المطلق ، لأن هذا النوع من الفضاء المطلق لا يمكن تعريفه أو يقاس على الإطلاق . و هذا مفهوم لا فائدة منه .

التحدي 265 – صفحة 141 : الدوران يؤدي إلى تردد صغير و بالتالي يتغير اللون للضوء الدوار .

التحدي 266 – صفحة 141 : إن الوزن يتغير عندما الذهاب شرقا أو عند التحرك غربا بسبب تسارع كوريوليس . إذا كانت سرعة الدورة تحولت إلى تردد التذبذب للميزان ، فإن التأثير يزداد بواسطة الطنين . و هذه الخدعة أيضا استخدمت من قبل Eötvös .

التحدي 267 – صفحة 141 : تسارع كوريوليس يجعل القضيب يدور ، كما كل جسم يتحرك ينحرف لجانبه و الانحرافين يجمعان معا في هذه الحالة . و اتجاه الانعطاف يعتمد على فيما إذا كانت التجارب قد أجريت على نصف الكرة الشمالي أو الجنوبي .

التحدي 268 – صفحة 141 : عندما يدور بمقدار π حول محور شرق – غرب فإن قوة كوريوليس تنتج سرعة انزياح لسائل حول الأنبوب . وله القيمة

$$v = 2\omega r \sin\theta, \qquad (142)$$

طالما أن الاحتكاك مهمل . و هنا ω السرعة الزاوية للأرض ، θ خط العرض و r نصف القطر (الأكبر) للنتوء . من أجل أنبوب بقطر 1m في أوربا القارية ، هذا يعطي سرعة تبلغ حوالي $6.3 .10^{-5}$ m/s

القياس يمكن أن يتم بشكل أسهل إذا قيد قطر الأنبوب ببقعة واحدة ، بحيث أن السرعة تزداد هنا . إن التقييد بعامل مساحة يبلغ 100 ، يزيد السرعة بنفس العامل . عندما تجري التجربة ، فإن المرء يجب أن يتجنب بدقة التأثيرات الأخرى التي تؤدي إلى حركة الماء مثل تدرجات درجة الحرارة عبر الجملة .

التحدي 269 – صفحة 142 : تخيل مسار ضوء دائري (مثلا داخل ليف زجاجي دائري) و الحزمتين تتحركان في اتجاهين متعاكسين على طوله كما هو مبين في الشكل 316 . إذا كان مسار الليف يدور بتردد دوران Ω يمكننا استنتاج ، بعد دورة واحدة ، الفرق ΔL في طول المسار هو

$$\Delta L = 2R\Omega t = \frac{4\pi R^2 \Omega}{c} . \qquad (143)$$

فرق الطور هو بالتالي

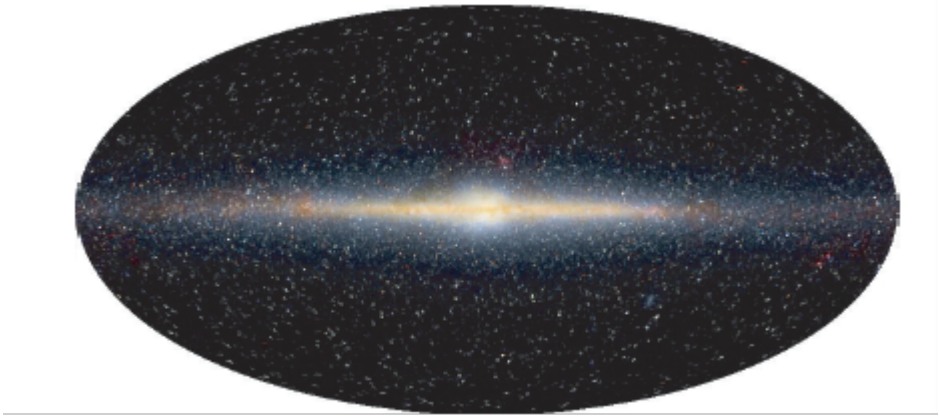
$$\Delta\varphi = \frac{8\pi^2 R^2}{c\lambda}\Omega \qquad (144)$$

إذا كانت قرينة الانكسار هي 1 . هذه العلاقة المطلوبة من أجل الحالة الأساسية لتأثير ساغناك .

إذا قدر بشكل منتظم أن تأثير ساغناك يمكن فقط فهمه بمساعدة النسبية العامة ، هذا خطأ . و كما فعلنا للتو ، فإن التأثير يستنتج بسهولة من الثبات في سرعة الضوء c . و التأثير هو تتابع للنسبية الخاصة

التحدي 270 – صفحة 145 : القضيب المعدني هو أطول بشكل طفيف في طرف واحد من المحور . عندما يبقيه السلك في أعلى فيحترق بواسطة شمعة ، فإن عزم عطالته يتناقص بعامل 10^4 مضروبة بمعدل دوران الأرض ، و هو معدل الذي يرى بسهولة بواسطة إضاءة حزمة ضوئية على مرآة و ملاحظة كيف يتحرك انعكاسها على الجدار

التحدي 272 – صفحة 152 : النتيجة الأصلية من قبل بيسل كانت 0.3136'' أو 657.7 ألف نصف قطر مداري الذي يعتقد أنه 10.3 سنة ضوئية أو 97.5Pm



الشكل 317 كيفية ضوء السماء و مجرتنا بشكل خاص تبدو في المجال تحت الأحمر القريب (ناسا صورة بلون خاطئ)

التحدي 274 – صفحة 155 : تتشكل المجرة من قطاع في السماء . المجرة بالتالي بنية مسطحة و هذا حتى أوضح في المجال تحت الأحمر ، كما هو مبين بوضوح في الشكل 317 . من التسطح (و تناظره الدائري) يمكننا استنتاج أن المجرة يجب أن تدور . بالتالي المادة الأخرى يجب أن توجد في الكون .

التحدي 276 – صفحة 158 : أنظر الشكل 189

التحدي 278 – صفحة 158 : المقياس / الميزان يتفاعل مع ضربات قلبك . إن الوزن ثابت تقريبا عبر الزمن ، ما عدا عندما يضرب القلب : من أجل فترة قصيرة من الزمن ، فإن الوزن ينخفض بعض الشيء عند كل ضربة . بشكل ظاهر فإن هذا ناتج الدم الذي يضرب القوس الأبهري عندما يضخ القلب تجاه الأعلى . و سرعة الدم هي حوالي 0.3 m/s عند التقلص الأعظمي للبطين . و المسافة للقوس الأبهري هو بضع سنتمترات . و الزمن بين التقلص و انعكاس الاتجاه هو حوالي 15 ms . و الوزن المقاس هو ليس ثابت حتى من أجل شخص ميت ، حيث الهواء يسبب اضطراب القياس .

التحدي 279 – صفحة 158 : استخدم الشكل 97 في الصفحة 138 من أجل النصف الثاني من المسار و فكر بدقة حول النصف الأول . الجسم يسقط بشكل طفيف للغرب من نقطة البدء .

التحدي 280 – صفحة 158 : ملاحظة : إطلاق الصواريخ عند خط الاستوءا يوفر الكثير من الكاقة و بالتالي الوقود و الوزن

التحدي 283 – صفحة 161 : اللهب يميل تجاه الداخل

التحدي 284 – صفحة 161 : نعم . ليس هناك موضع مطلق و لا اتجاه مطلق . بشكل مكافئ ليس هناك موقع مفضل وليس هناك موقع مفضل . بالنسبة للزمن ، فقط الانفجار الكبير يبدو أنه استثناء ، ولكن عند تضمين تأثيرات الكم فإن المقياس الزمني المفضل يؤكد .

التحدي 285 – صفحة 161 : من أجل امتحانك من الأفضل القول أن قوة الطرد المركزي غير موجودة . لكن نظرا لأنه في كل جملة ثابتة يوجد توازن قوى ، فإن المناقشة بعض الشيء تافهة .

التحدي 286 – صفحة 162 : ضع الشايي في فناجين على لوح و اربط اللوح بأربع حبال طويلة التي تبقيها في يدك

التحدي 289 – صفحة 162 : الكرة تميل في الاتجاه الذي تتسارع به ، و بالنتيجة ، يمكن للمرء أن يتخيل أن الكرة في زجاج عند السكون إضافة للأعلى لأن الأرض تتسارع للأعلى . وسوف نعود لهذه القضية في الفقرة عن النسبية العامة

التحدي 290 – صفحة 162 : الاحتكاك للمد و الجزر على الأرض هو السبب الرئيسي

التحدي 291 – صفحة 163 : الزلزال بقوة 12 ريختر هو بطاقة تعادل ألف مرة زلزال تشيلي عام 1960 ذو درجة 10 و الأخير كان بسبب تشقق / صدع عبر كامل 40 km لقشرة الأرض على طول 1000 km الذي فيه انزلق كلا الطرفين لمسافة 10m بالنسبة لبعضهما البعض . فقط تأثير صدم النيزك الكبير يمكن أن يؤدي لقيم أكبر من 12

التحدي 293 – صفحة 163 : نعم يحدث هذا مرتين في السنة . للتقليل من الضرر فإن الصحون يجب أن تكون بلون داكن

التحدي 294 – صفحة 163 : الصاروخ الذي يطلق من الخلف يمكن أنت يكون دفاع تام ضد الطائرات المهاجمة من الخلف . لكن عندما يحرر فإن الصاروخ يطير بشكل فعال للخلف بالنسبة للهواء و بالتالي يدور و يصبح خطرا على الطائرة التي أطلقته. المهندسون لا يفكرون بهذا التأثير تقريبا يقتلون الطيار خلال أولى مثل هذه التجارب

التحدي 295 – صفحة 163 : مهما فعل القرد ، سواء تسلق للأعلى أو الأسفل أو حتى ترك نفسه يسقط فإنه يبقى على نفس الارتفاع ككتلة . الآن ماذا يحدث إذا كان هناك احتكاك في العجلة ؟

التحدي 296 – صفحة 163 : نعم ، إذا تحرك بزاوية كبيرة كافية بالنسبة لاتجاه حركة القارب

التحدي 297 – صفحة 163 : أنظر المقالة من قبل C.UCKE & H.-J. SCHLICHTING ، Faszinierendes Gynabee ، فيزياء عصرنا 33 ، صفحة 230-231 ، 2002 .

التحدي 298 – صفحة 164 : أنظر المقالة من قبل C.UCKE & H.-J. SCHLICHTING ، Faszinierendes Gynabee ، فيزياء عصرنا 36 ، صفحة 33-35 ، 2005 .

التحدي 298 – صفحة 164 : إذا دار خاتم الزواج على محور الذي ليس هو محور أساسي ، فإن كمية الحركة الزاوية و السرعة ليستا متوازيتين .

التحدي 300 – صفحة 164 : عزم العطالة لكرة متجانسة هو $\Theta = 2/5\ mr^2$

التحدي 301 – صفحة 164 : العزوم الثلاثة للعطالة من أجل المكعب متساوية ، كما في حال الكرة ، لكن القيم هي $\Theta = 1/6\ ml^2$ ، الجهود مطلوبة لوضع الكرة و المكعب في حالة دوران بالتالي مختلفة .

التحدي 304 – صفحة 165 : نعم ، القمر يختلف بهذا الشكل . هل يمكنك تخيل ماذا يحدث لمراقب على خط الاستواء؟

التحدي 305 – صفحة 167 : إن الخط المستقيم عند السمت ، و الدوائر تصبح أصغر عند كلا الطرفين . أنظر مثال على الموقع apod.nasa.gov/apod/ap021115.html .

التحدي 307 – صفحة 167 : المستوي موصوف في مواقع الإنترنت المذكورة من أجل رجل واقف على المستوي هو المستوي الشاقولي الذي يحتوي العينين

التحدي 308 – صفحة 168 : إذا عملت ذلك أرسل ذلك من فضلك لصاحب الفيديو

التحدي 309 – صفحة 169 : كما قلنا سابقا الأرجل هي أبسط من الدواليب للنمو ، المحافظة عليها و إصلاحها ، بالإضافة لذلك الأرجل لا تحتاج أسطح منبسطة (لذا ما يعرف بالشوارع) تعمل .

التحدي 310 – صفحة 170 : علاقة الدرج هي نتيجة تجريبية توجد بالتجربة ، تستخدم من قبل المهندسين في كل العالم .أصلها و شرحها يبدو مفقودا في التاريخ

التحدي 311 – صفحة 170 : الطبيعة الكلاسيكية أو اليومية هي ذات تناظر أيمن – أيسر وبالتالي تحتاج لعدد مزدوج من الأرجل . المشي على الأسطح ذات البعدين يؤدي طبيعيا إلى عدد أصغري لأربع أرجل . نجم البحر ، الحلزون ، البزاق ، السمك الصدفي ، الأنكليس ، و الثعابين هي من بين الاستثناءات الأكثر أهمية التي هذه المقولات فيها غير صالحة .

التحدي 313 – صفحة 173 : طول اليوم يتغير مع خط العرض . وهكذا يفعل طول الظل أو ارتفاع النجوم في الليل ، الحقائق يتم تدقيقها بسهولة بواسطة الاتصال بصديق . السفن تبدو عند الأفق بإظهار صاريها أولا . هذه المقولات مع الظل المدور للأرض خلال الخسوف القمري و ملاحظة أن كل شيء يسقط للأسفل في كل مكان ، كلها أعطيت من قبل أرسطو ، في كتابه حول السماء . و الآن من المعروف أن كل شخص في آخر 2500 عام يعلم أن الأرض كروية . الأسطورة أن كثير من الناس اعتادوا على الاعتقاد أن الأرض قد وضعت في العالم – كبلاغة جدلية – من قبل كوبرنيكوس . إن القصة استمرت بعد ذلك في المبالغة أكثر و أكثر خلال القرون التالية ، بسبب نظام جديد لنشر الأكاذيب الذي اخترع : طباعة الكتب . و الحقيقة هي أنه لمدة 2500 عاما (المجلد III ، صفحة 240) أكثرية الناس يعلمون أن الأرض كرة .

التحدي 314 – صفحة 177 : الشعاع SF يمكن حسابه باستخدام $SC = -(GmM/E)SP/SP$ و بعدها تحويل / إزاحة الإنشاء المعطى في الشكل إلى علاقة . هذا التمرين يعطي :

$$SF = \frac{K}{mE} \qquad (145)$$

حيث

$$K = p \times L - GMm^2 x/x \qquad (146)$$

هذا ما يعرف بشعاع Runge-Lenz . إن شعاع Runge-Lensz يوجه على طول المستقيم الذي يصل المحرق الثاني بالأول للقطع الناقص (الشمس) . و قد استخدمنا x = SP من أجل موضع الجسم الدائر في المدار ، p هو كمية حركته و L كمية حركته الزاوية . شعاع Runge-Lenz الذي يرمز له بـ K هو ثابت على طول مدار الجسم ،بالتالي يملك نفس القيمة من أجل أي موضع x من المدار . (أثبت هذا بالبدء من $xK=xK\cos\theta$) . إن شعاع Runge-Lenz بالتالي كمية مصونة في الجاذبية الكونية . و بالنتيجة الشعاع SF هو أيضا ثابت في الزمن .

إن شعاع Runge-Lenz غالبا يستخدم في ميكانيك الكم ، عند حساب مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين ، كما يظهر في كل المسائل ذات الكمون 1/r (في الحقيقة الاسم غير الصحيح لشعاع Runge-Lenz هو ناتج عن ولفجانج باولي ، الذي اكتشف الشعاع هو جاكوب هيرمان في عام 1710)

التحدي 316 – صفحة 178 : في المدارات أنظر الصفحة 192

التحدي 317 – صفحة 178 : تسارع الجاذبية المنخفض للقمر $1.6\ m/s^2$ يقتضي أن جزيئات الغاز عند درجات حرارة عادية يمكن أن تنفلت من التجاذب

التحدي 318 – صفحة 179 : رأس سهم السرعة ، عندما يرسم مع الزمن ينتج دائرة حول مركز الحركة

التحدي 319 – صفحة 179 : ارسم شكل للحالة

التحدي 320 – صفحة 179 : مرة ثانية ارسم شكل للحالة

التحدي 321 – صفحة 180 : قيمة الجداء GM للأرض هو $4.0 .10^{14}\ m^3/s^2$

التحدي 322 – صفحة 180 : كل النقاط يمكن الوصول إليها من أجل الميول العامة و لكن عند الإطلاق أفقيا في اتجاه معين ، فقط النقاط التي على النصف الأول من المحيط يمكن الوصول إليها

التحدي 323 – صفحة 182 : على القمر ، تسارع الجاذبية هو $1.6\ m/s^2$ حوالي سدس القيمة على الأرض . قيم السطح لتسارع الجاذبية للكواكب يمكن أن توجد في العديد من مواقع الإنترنت

التحدي 324 – صفحة 182 : آلة آتوود هي الجواب : إن كتلتين متساويتين تقريبا m_1 & m_2 موصلتين بحبل معلق من دولاب مزيت جيدا ذو كتلة مهملة . الكتلة الأثقل تسقط ببطء شديد .هل يمكنك أن تبين أن التسارع a لهذا السقط غير الحر معطى بالشكل $a = g(m_1 – m_2) / (m_1 + m_2)$ ؟ بمعنى آخر كلما كان فرق الكتلة أصغر كلما كنت السقوط أبطأ

التحدي 325 – صفحة 183 : عليك أن تحاول بشكل مطلق أن تفهم أصل هذه العلاقة . هي تسمح بفهم العديد من المفاهيم المهمة للميكانيك . و الفكر هي أنه من أجل مطالات صغيرة ، فإن تسارع النواس ذو الطول l هو ناتج عن الجاذبية . رسم مخطط القوة لنواس عند زاوية عامة α يبين أن

$$ma = -mg \sin \alpha$$
$$ml\frac{\mathrm{d}^2\alpha}{\mathrm{d}t^2} = -mg \sin \alpha$$
$$l\frac{\mathrm{d}^2\alpha}{\mathrm{d}t^2} = -g \sin \alpha \ . \qquad (147)$$

من أجل المطالات الصغيرة (أقل من 15°) يمكننا تقريب هذا إلى

$$l\frac{\mathrm{d}^2\alpha}{\mathrm{d}t^2} = -g\alpha \ . \qquad (148)$$

هذه معادلة من أجل التذبذب التوافقي (أي تذبذب جيبي) و الحركة الناتجة هي :

$$\alpha(t) = A \sin(\omega t + \varphi) \ . \qquad (149)$$

المطال A و الزاوية φ تعتمد على الشروط الابتدائية لكن تردد الاهتزاز يعطى بطول النواس و تسارع الجاذبية (تأكد منه) :

$$\omega = \sqrt{\frac{l}{g}} \ . \qquad (150)$$

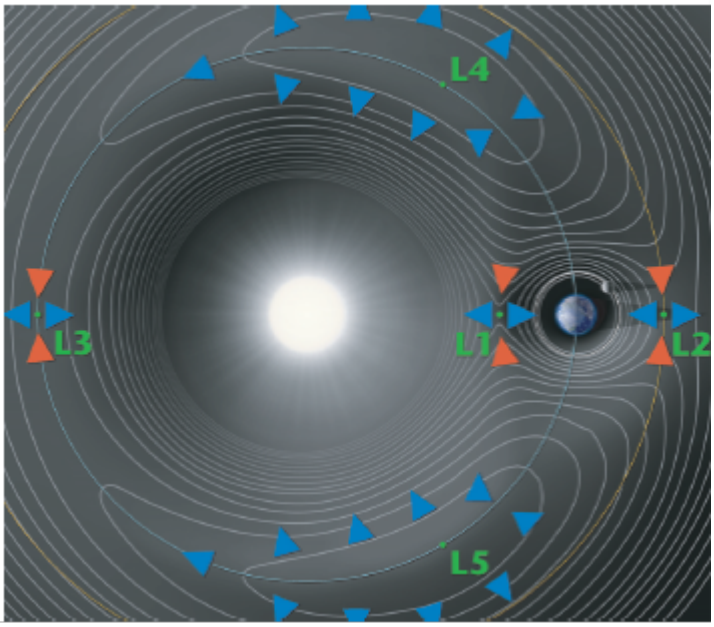
(من أجل المطالات الاختيارية ، العلاقة هي أكثر تعقيدا بكثير ، أنظر الإنترنت أو كتب الميكانيك الخاصة من أجل مزيد من التفاصيل)

التحدي 326 – صفحة 183 : سرعة المشي متناسبة مع l/T هذا يجعلها متناسبة مع $l^{1/2}$. العلاقة أيضا صحيحة من أجل الحيوانات بشكل عام . في الحقيقة القياسات تبين أن سرعة المشي الأعظمية (بالتالي ليس سرعة الجري) في كل الحيوانات تعطى بالشكل :

$$v_{\mathrm{maxwalking}} = (2.2 \pm 0.2)\ \mathrm{m}^{1/2}/\mathrm{s}\ \sqrt{l} \ . \qquad (151)$$

التحدي 330 – صفحة 186 : ليس هناك علاقة مرشحة واضحة . هل يمكنك إيجاد واحدة ؟

التحدي 331 – صفحة 186 : التسارع الناتج عن الجاذبية هو $a = Gm/r^2 \approx 5\ \mathrm{nm/s^2}$ من أجل كتلة 75 kg و من أجل الطيران بكتلة $m_{fly} = 0.1$ g يتم الحط على شخص بسرعة $v_{fly} = 1\mathrm{cm/s}$.



الشكل 318 نقاط اللاغرانجيان و الكمون الفعال الذي ينتجها

و يشوه الجلد (بدون فقد طاقة) بالمقدار d = 0.3 mm و الشخص سيتسارع بمقدار $a = (v^2 /d) (m_{fly} / m) = 0.4$ $\mu m/s^2$ و فقد الطاقة للصدم غير المرن يخفض هذه القيمة على الأقل بعامل يساوي عشرة .

التحدي 332 – صفحة 187 : الحساب يبين أن قيمة الطاقة العالية بشكل مدهش تخون في حركة حرارية

التحدي 333 – صفحة 188 : نعم ، التأثير تم قياسه من أجل ناطحات السحاب . هل يمكنك تقدير القيم ؟

التحدي 336 – صفحة 188 : أسهل طريقة لرؤية هذا هو تصوير الجاذبية كتدفق صادر عن الكرة . هذا يعطي تبعية $1/r^{d-1}$ و بالتالي تبعية $1/r^{d-2}$ للكمون

التحدي 338 – صفحة 190 : نظرا لأن مسارات السقوط الحر هي قطوع ناقصة ، التي هي منحنيات تقع في المستوي ، هذا واضح

التحدي 340 – صفحة 191 : ضوء المصباح المحمول يرسل للقمر ، حيث العديد من أعين القطط قد وضعت من قبل بعثات Apollo & Lunokhod . إحكام القياس لزمن المصباح المحمول يستغرق للذهاب و العودة هو كافي لقياس تغير مسافة القمر . لمزيد من التفاصيل أنظر التحدي 8 .

التحدي 342 – صفحة 193 : الجسم الذي له كمية حركة صفرية عند اللانهاية الفراغية هو على مسار قطع مكافئ . الجسم ذو كمية الحركة الأخفض هو على مسار قطع ناقص ، و الذي ذو كمية حركة أعلى هو على قطع زائد

التحدي 345 – صفحة 194 : نقاط اللاغرانجيان L4 & L5 هي على المدار 60° قبل وخلف الجسم الدائر في المدار وهي مستقرة إذا كانت نسبة الكتلة للمركز و الجسم الدوار هي كبيرة بشكل كافي (أعلى من 24.9)

التحدي 346 – صفحة 194 : نقطة اللاغرانجيان L3 تقع على المدار و لكن بشكل محكم على الطرف الآخر من الجسم المركزي . و نقطة اللاغرانجيان L1 تقع على الخط الواصل للكوكب مع الجسم المركزي ، بينما L2 تقع على نفس الخط . إذا كان R هو نصف قطر المدار ، المسافة بين الجسم الدائر و النقطتين L1 & L2 هي $\sqrt[3]{m/3M}\,R$ التي

تعطي تقريبا أربع مرات مسافة القمر من أجل جملة الشمس – الأرض . L1 , L2 & L3 هي نقاط السرج و لكن المدارات المستقرة بشكل فعال موجودة حولها . و العديد من الأقمار الصناعية تستخدم هذه الخواص بما فيها



الشكل 319 مذنب القذف الشهير ، طائِرة KC-135 تقوم بطيران قطع زائد

القمر الصناعي الشهير WMAP الذي قاس تموجات الانفجار الأعظم الواقعة عند النقطة الهادئة L2 حيث الشمس ، الأرض و القمر يحجبان بسهولة و درجة حرارة القمر الصناعي تبقى ثابتة .

التحدي 347 – صفحة 197 : هذا أثر التجاوب / الطنين ، بنفس الشكل الذي يمكن أن يؤدي فيه اهتزاز صغير لخيط إلى تذبذب كبير للهواء و علبة الصوت في غيتار .

التحدي 349 – صفحة 199 : علاقة شدة المد و الجزر هي $2GM/d^3$ يمكن إعادة كتابتها بالشكل $(8/3)\pi G\rho\ (R/d)^3$ و الآن R/d هي تقريبا نفسها للشمس و القمر كما يبين كل كسوف / خسوف . وهكذا ρ يجب أن تكون أكبر بكثير من أجل القمر . في الحقيقة نسبة الشدات (ارتفاع) للمد و الجزر للقمر و الشمس هي تقريبا 3 : 7 و هذه أيضا النسبة بين كثافتي الكتلة للجسمين

التحدي 350 – صفحة 200 : كمية الحركة الزاوية الكلية للأرض و القمر يجب أن تبقى ثابتة

التحدي 352 – صفحة 201 : انتظر لحدوث الكسوف الشمسي

التحدي 354 – صفحة 203 : لسوء الحظ فإن أسطورة الكتلة الثقالية / الجاذبية انتشرت في العديد من الكتب . و الدراسة الدقيقة تبين أنها تقاس تماما بنفس الشكل الذي تقاس به الكتلة العطالية .

كلا الكتلتين تقاسان بنفس الآلات و التجارب . و كل هذه التحارب تمزج و تتطلب تأثيرات الكتلة الجاذبية العطالية و السلبية . مثلا الميزان أو ميزان الحمام يجب أن يخمد أي اهتزاز ، الذي يتطلب كتلة عطالية . بشكل عام ، يبدو من المستحيل تمييز الكتلة العطالية عن كتلة الجاذبية غير الفعالة بسبب أن كل الكتل في بقية الكون . باختصار المفهومين في الحقيقة متطابقين .

التحدي 356 – صفحة 203 : هذه المشاكل تحدث لأن الكتلة الجاذبية تحدد الطاقة الكامنة و الكتلة العطالية تحدد الطاقة الحركية .

التحدي 358 – صفحة 206 : إما هي تسقط على أطراف جبل ثلجي مائل أو تسقط على أشجار عالية أو بنى طرية . الرقم القياسي كان أكثر من 7km لسقوط حر سليم . الحالة الحديثة التي ظهرت أخبارها في 2007 و معروضة في www.bbc.co.ukjersey/content/articles/2006/12/20/michael_holmes_fall_feature.shtml

التحدي 360 – صفحة 207 : مقابل بضعة آلاف يورو يمكنك اختبار الجاذبية الصفرية في طيران

قطعي زائدي كالمبين في الشكل 9 31(العديد من الصور للطيران بشكل قطع مكافئ التي توجد على الإنترنت هي في الحقيقة رسوم حاسوبية . ماذا عن هذه الصورة ؟) .

كيف يتم الشعور بالجاذبية الصفرية ؟ إن الإحساس بها مثل العوم تحت الماء ، و لكن بدون مقاومة الماء . أيضا هي مثل الزمن في الهواء أثناء الغوص في الماء . و لكن من أجل رواد الفضاء هناك شعور إضافي : عندما يدورون رؤوسهم بسرعة ، فإن حساسات التوجه في دماغهم لا تصفر بواسطة الجاذبية لذلك لأول يوم أو اثنين أكثر فإن أكثر رواد الفضاء يكون لديهم شعور بالدوار و الغثيانوهذا ما يعرف بدوار الفضاء . و بعد ذلك الوقت الجسم يتأقلم و رائد الفضاء يستمتع بالوضع بشكل كامل .

التحدي 361 – صفحة 207 : مركز كتلة المكنسة بهبط مع التسارع المعتاد و في النهاية تسقط بشكل أسرع

التحدي 362– صفحة 207 : فقط مصونية الطاقة للكتلتين للقافز و الخيط . لمزيد من التفاصيل التي تتضمن مقارنة للقياسات التجريبية و النظري ، أنظر -N.DUBELAAR & R. BRANTJES , De valversnelling bij bungee jumping , Netherlands tijdschrift voor naturkunde 69 صفحة 318- 316 ، تشرين الأول 2003

التحدي 363 – صفحة 207 : حوالي طن واحد

التحدي 364 – صفحة 208 : حوالي خمس غرامات

التحدي 365 – صفحة 208 : إن وزنك هو تقريبا ثابت , بالتالي الأرض يجب أن تكون مدورة . في الأرض المسطحة ، الوزن يجب أن يتغير من مكان لمكان ، تبعا لمسافتك عن الحدود .

التحدي 366 – صفحة 208 : لا أحد قط ادعى بأن مركز الكتلة هو نفسه مركز الجاذبية ! جذب القمر هو مهمل على سطح الأرض .

التحدي 368 – صفحة 209 : هذه هي كتلة الأرض . فقط اقلب الطاولة على رأسها .

التحدي 370 – صفحة 209 : القمر هو أبعد تقريبا بـ 1.25 مرة عما هو عليه الآن . الشمس بالتالي ستبطئ دن جملة الأرض – القمر ، وهذه المرة ناتج عن احتكاك المد و الجزر الأصغر ، من تشوه الشمس . بالنتيجة ، القمر سيعود لمسافات أصغر و أصغر بالنسبة للأرض . لكن الشمس ستصبح عملاقا أحمر بعد أن تبتلع كل من الأرض و القمر

التحدي 372 – صفحة 209 : كما حدد غاليليو ، من أجل النوسة (نصف الدور) النسبة هي $\sqrt{2}/\pi$ (أنظر التحدي 325) و لكن ليس أكثر من اثنين ، ويمكن أن يكون ثلاثة أرقام عشرية لـ π التي يمكن تحديدها في هذا الشكل .

التحدي 373 – صفحة 209 : مصونية كمية الحركة ليست عائق حيث أن أي مضرب تنس له نفس الأثر على كرة التنس

التحدي 374 – صفحة 209 : في الحقيقة ، في فضاء السرعة ، حركات القطع الناقص ، القطع المكافئ و القطع الزائد كلها موصوفة بواسطة دوائر (المرجع 162) . في كل الحالات مخطط الحركة هو دائرة

التحدي 375 – صفحة 210 : هذا السؤال حول المجرة سئل في أزمنة نيوتن) و هو عميق ؟ أحد الأسباب هو أن النجوم تبقى بعيدا بواسطة الدوران حول المجرة . السبب الآخر هو أن المجرات تبقى بعيدا بواسطة كمية الحركة التي حصلت عليها من الانفجار العظيم . بدون الانفجار العظيم كل النجوم ستتقوص معا . و بهذا الشكل ، الانفجار العظيم يمكن استنتاجه من جذب الجاذبية و السماء الثابتة في الليل . و سوف نجد لاحقا أن ظلام السماء في الليل يعطي حجة ثانية للانفجار العظيم .

التحدي 376 – صفحة 211 : الاختيار هو واضح حالما تلاحظ أنه ليس هناك مقطع في المدار يكون مقعر تجاه الشمس . هل يمكنك بيان ذلك ؟

التحدي 378 – صفحة 211 : سرعة الانفلات ، من الأرض لترك المجموعة الشمسية – بدون مساعدة كواكب أخرى – هي 42 km/s لكن بمساعدة الكواكب الأخرى يمكن أن تكون أقل من نصف هذه القيمة (لماذا ؟)

إذا كانت سرعة الانفلات من جسم كانت سرعة الضوء فإن الجسم سيكون ثقبا أسود و ليس الضوء يمكنه أن ينفلت حتى (المجلد II ، صفحة 222) . الثقوب السوداء مناقشة بالتفصيل في المجلد حول النسبية

التحدي 379 – صفحة 211 : باستخدام ارتفاع القفز البالغ h =0.5 m على الأرض فإن كثافة النيزك المقدرة البالغة ρ =3 Mg/m³ ، نحصل على نصف قطر $R^2 = 3gh /4\pi G\rho$ أو $R \approx 2.4$ km .





الشكل 320 شكل رقم ثمانية مصور في الظهيرة المحلية من كانون الثاني إلى كانون الأول 2002 في البارثينون من أكروبوليس أثينا و القرص الشمسي المحكم

التحدي 380 – صفحة 211 : مسكة / مقبض لجسمين

التحدي 382 – صفحة 212 : بماذا تختلف هذه الحجة عن المقولة الأكثر شيوعا أنه في العلاقة $ma = gMm/R^2$ ، m

في الطرف الأيسر هي عطالية و في الأيمن جاذبية ؟

التحدي 384 – صفحة 212 : ماذا يحسب هو العامودية الموضعية ، بالنسبة لها النهر دائما يتدفق باتجاه المصب

التحدي 385 – صفحة 213 : إن شكل الرقم ثمانية في الظهيرة المحلية مبين في الشكل 320 . الشكل معروف منذ أكثر من ألفي عام و شكل الرقم ثمانية أيضا يوضح لماذا ابكر شروق شمس لا يكون أطول يوم في السنة .

التمديد الشاقولي للرقم ثمانية في الشكل هو ناتج عن الميل أي ميل محور الأرض (هو ضعف 23.45°) . التمدد الأفقي ناتج عن مجموع الميل و التفلطح للمدار حول الشمس . و كلا الأثرين يؤديان تقريبا لتغيرات مساوية لموضع الشمس في الظهيرة المحلية خلال فترة السنة . إن الموضع غير المتناظر لنقطة التقاطع المركزية هو ناتج فقط عن تفلطح المدار . شكل الرقم ثمانية في بعض الأحيات يبين على كرات و يكون متضمنا في قطب الظل أو منحني القراءة للأقراص الشمسية المحكمة . الأمثلة هي أحدها المبينة أعلاه و المبين على الصفحة 45 . لمزيد من التفاصيل أنظر B.M.OLIVER

، شكل الرقم ثمانية ، السماء و التلسكوب 44 ، صفحة 22-20 ، 1972 و تصحيح الأشكال 44 في الصفحة 303 ، 1972 .

التحدي 386 – صفحة 214 : التقاط الجسم المائع ممكن إذا قسم بواسطة قوى الجزر و المد

التحدي 387 – صفحة 215 : النفق يمكن أن يكون قطع ناقص طويل في مستوي خط الاستواء ، يصل من نقطة على خط الاستواء إلى النقطة على الجهة المقابلة . زمن الدورة لا يتغير ، مقارنة مع الأرض غير الدوارة . أنظر A.J.SIMONSON السقط في ثقب عبر الأرض ، مجلة الرياضيات 77 ، صفحة 188-171 ، حزيران 2004

التحدي 389 – صفحة 215 : مركز الكتلة للمجموعة الشمسية يمكن أن يكون بعيدا ضعف نصف القطر لمركز الشمس ، و بالتالي يمكن أن يكون خارج الشمس .

التحدي 390 – صفحة 216 : أولا ، خلال وقت الصيف الشمالي فإن الأرض تتحرك أسرع حول الشمس من خلال وقت الشتاء الشمالي . ثانيا ، مدارات الشمس غير العميقة في السماء تعطي أياما أطول لأن الضوء من حيث الشمس أدنى من الأفق

التحدي 391 – صفحة 216 : بعيدا عن رؤية القمر ، لا يوجد تأثير للقمر على البشر قد كشف قط . إن تأثيرات الجاذبية – التي تتضمن تأثيرات المد و الجزر – التأثيرات الكهربائية ، التأثيرات المغناطيسية و التغيرات في الأشعة الكونية كلها مغمورة بالتأثيرات الأخرى . و في الحقيقة جاذبية الشاحنات العابرة ، الحقول الكهرطيسية للمصانع ، تغيرات الطقس و النشاط الشمس لها تأثيرات أكبر على البشر من القمر . و إن ربط الدورة الشهرية بطور القمر هو تأثير مرئي .

التحدي 392 – صفحة 216 : المسافات كانت مختلفة في القياس . من السهل ملاحظة كوكب الذي هو قبل الشمس ، لكن من الصعب التأكد فيما إذا كانت الكوكب هو خلف الشمس . إن أطوار الزهرة أيضا تتوقع بواسطة النظام المركزي الأرضي و لكن الأطوار التي يتوقعها لا تتطابق مع التي تلاحظ . و فقط الأطوار المستنتجة من النظام المركزي الشمسي تطابق الملاحظة . يدور الزهرة حول الشمس .

التحدي 393 – صفحة 217 : أنظر المرجع المذكور

التحدي 394 – صفحة 217 : صحيح

التحدي 395 – صفحة 217 : من أجل كل زوج من عناصر الطبقة السطحية المعاكسة (المرسومة بالأصفر) تعوض التجاذبات

التحدي 396 – صفحة 218 : ليس هناك طريقة عملية ، إذا كانت الكتل على الطبقة السطحية ستتحرك ، على طول السطح (بنفس الشكل الذي يمكن فيه للشحنات أن تتحرك في معدن) هذا يمكن أن يكون ممكنا ، شريطة أنه يوجد كتلة كافية

التحدي 400 – صفحة 218 : نعم ، يمكن لواحد ، وهذا كان يعتقد في كثير من المرات / الأوقات التي تتضمن جول فيرن . السرعة اللازمة تعتمد على اتجاه الإطلاق بالنسبة لدوران الأرض .

التحدي 401 – صفحة 219 : أبدا . القمر يشير دائما باتجاه الأرض . الأرض تغير موضعها قليلا ، بسبب تفلطح مدار القمر . من الواضح أن الأرض تبدي أطوارا .

التحدي 403 – صفحة 219 : ليس هناك مثل هذه الأجسام كما سيبين الفصل حول النسبية ذلك

التحدي 405 – صفحة 222 : التذبذب هو جيبي صرف ، أو تذبذب توافقي حيث أن القوة المستعيدة تزداد خطيا مع المسافة عن مركز الأرض . الدور T للأرض المتجانسة هو $T = 2\pi\sqrt{R^3/GM} = 84\,\mathrm{min}$

التحدي 406 – صفحة 222 : الدور صغير من أجل كل مثل هذه الأنفاق و بالتالي عمليا هو نفس الدور 84 min المقبول أيضا من أجل النفق من القطب . أنظر مثلا R.H.ROMER الجواب هو اثنان و أربعون – العديد من مسائل الميكانيك ، فقط لها جواب واحد ، معلم الفيزياء 41 ، صفحة 290-286 ، ايار 2003

التحدي 407 – صفحة 222 : إذا لم تكن الأرض تدور ، فإن المسار الأعم لحجر ساقط سيكون قطع ناقص الذي مركزه الأرض . من أجل الأرض الدوارة فإن القطع الناقص يتقدم . تصور سيموسون أن مخطط الحركات يدوم في مخطط حركات السديم ، الذي يوجد في antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap021214.html يمكن أني كون ناتج عن مثل هذا التأثير . و الحالة الخاصة هي مسار يبدأ شاقوليا عند خط الاستواء ، في هذه الحالة المسار مشابه لمسار نواس فوكو (المرجع 177) ، و النجم المشار له ذو حوالي 16 نقطة التي عندها الحجر يعاود الخروج من السطح حوالي خط الاستواء .

التحدي 408 – صفحة 222 : ليس هناك جواب بسيط : السرعة تعتمد على خط العرض و على البارامترات الأخرى . الإنترنت أيضا تقدم فيديوهات للكسوف الشمسي الذي يرى من الفضاء ، يبين كيف أن الظل يتحرك فوق سطح الأرض

التحدي 409 – صفحة 223 : قوة الطرد المركزي يجب أن تساوي قوة الجاذبية . سمي كثافة الكتلة الخطية الثابتة d و الطول المجهول l بالتالي لدينا : $\omega^2 d \int_R^{R+l} r\,\mathrm{d}r = GMd \int_R^{R+l} \mathrm{d}r/r^2$. هذا يعطي $GMdl/(R^2 + Rl) = (2Rl + l^2)\omega^2 d/2$ الذي يعطي l = 0.14 Gm . من أجل المزيد عن مصعد الفضاء أو المصاعد أنظر التحدي 574 .

التحدي 411 – صفحة 223 : الحلقات الداخلية يجب أن تدور أسرع من الخارجية . إذا كانت الحلقا صلبة فغننا ستنفصل عن بعضها . و لكن هذا التبرير صحيح فقط إذا كانت الحلقات داخل حد معين ، هذا ما يعرف بحد روش . إن حد روش له نصف قطر الذي عنده قوة الجاذبية F_g و قوة المد و الجزر F_t تفنيان بعضهما على سطح القمر الصناعي . من أجل قمر صناعي ذو كتلة m ونصف قطر r الذي يدور حول كتلة مركزية M على مسافة d ننظر للقوى على كتلة صغيرة μ على سطحه . و نحصل على الشرط $Gm\mu/r^2 = 2GM\mu r/d^3$. القليل من الجبر يعطي قيمة حد روش التقريبي .

$$d_{\text{Roche}} = R\left(2\frac{\rho_M}{\rho_m}\right)^{1/3} . \qquad (152)$$

أدنى من المسافة عن الكتلة المركزية M، فإن التوابع المائعة لا يمكن أن توجد . الحساب المبين هنا فقط تقريب لحد روش الفعلي و الذي هو حوالي ضعف هذه القيمة .

التحدي 414 – صفحة 227 : الحمل هو خمسة أضعاف أثناء الوقوف . هذا يشرح لماذا خيول السابق تتكسر أرجلها بانتظام .

التحدي 415 – صفحة 227 : في المدرسة ، فإنك تتوقع أن تجيب أن الوزن هو نفسه . و هذا تقريب جيد . لكن في الحقيقة الميزان يبين وزن أكبر بشكل طفيف من أجل الساعة الرملية التي تعمل بشكل ثابت مقارنة مع الوضعية حيث كل الرمل في سكون . بالنظر إلى تدفق كمية الحركة يشرح النتيجة بشكل بسيط : القضية الوحيدة التي تهم هي كمية حركة الرمل في الحجرة العلوية ، وكل التأثيرات الأخرى هي غير مهمة (المرجع 86) . و تتناقص كمية الحركة ببطء أثناء المسير . هذا يتطلب تدفق كمية حركة من الميزان : الوزن الفعال يزداد . أنظر أيضا التأكيد التجريبي و شرحه من قبل F. TUINSTRA & B.F.TUINSTRA وزن الساعة الرملية ، أخبار الفيزياء الأوربية 41 ، صفحة 25-22 ، آذار 2000 المتوفر أيضا على الإنترنت .

إذا تخيلت فوتون يتحرك لأعلى و أسفل في علبة مكونة من مرايا مثالية ، الأفكار من أحجية الساعة الرملية تقتضي أن يبدي الميزان زيادة في الوزن مقارنة مع الحالة بدون فوتون . الوزن الزائد هو Eg/c^2 حيث E طاقة الفوتون ، g = $9.8\ m/s^2$ و c سرعة الضوء . القصة يخبرها E. HUGGINS وزن الفوتونات باستخدام ميزان حمام : تجربة فكرية ، معلم الفيزياء 48 ، صفحة 288-287 ، ايار 2010

التحدي 416 – صفحة 228 : الاستهلاك الكهربائي لدرج صاعد في الحقيقة يزداد عندما يمشي الشخص للأعلى . بكم يزداد ؟

التحدي 417 – صفحة 228 : المعرفة هو استطاعة . الوقت هو مال . الآن الاستطاعة تعرف بأنها العمل بالزمن. بإدخال المعادلات السابقة و تحويلها يعطي :

$$\text{money} = \frac{\text{work}}{\text{knowledge}}\,, \qquad (153)$$

الذي يبين أنه كلما عرفت أقل كلما كسبت مالا أكثر .. هذا يبسن لماذا أن العلماء لديهم رواتب منخفضة .

التحدي 418 – صفحة 228 : في العضلات الحقيقية تبقي الجسم فوق الأرض بالرفع المستمر له و إنزاله ، الذي يتطلب طاقة وعمل

التحدي 421 – صفحة 233 : نعم لأن الريح الجانبية تزيد السرعة الفعالة v في الهواء بسبب جمع الأشعة و لأن مقاومة الهواء متناسبة (تقريبا) مع v^2 .

التحدي 422 – صفحة 233 : نقص الاحتكاك الستاتيكي سيجنب أن الموائع دائما تبقى مرتبطة بالجسم ، ما يعرف بالطبقة الحدية لن تكون موجودة . يمكن بالتالي للمرء ألا يكون لديه تأثير جناح .

التحدي 424 – صفحة 234 : هل هذا صحيح ؟

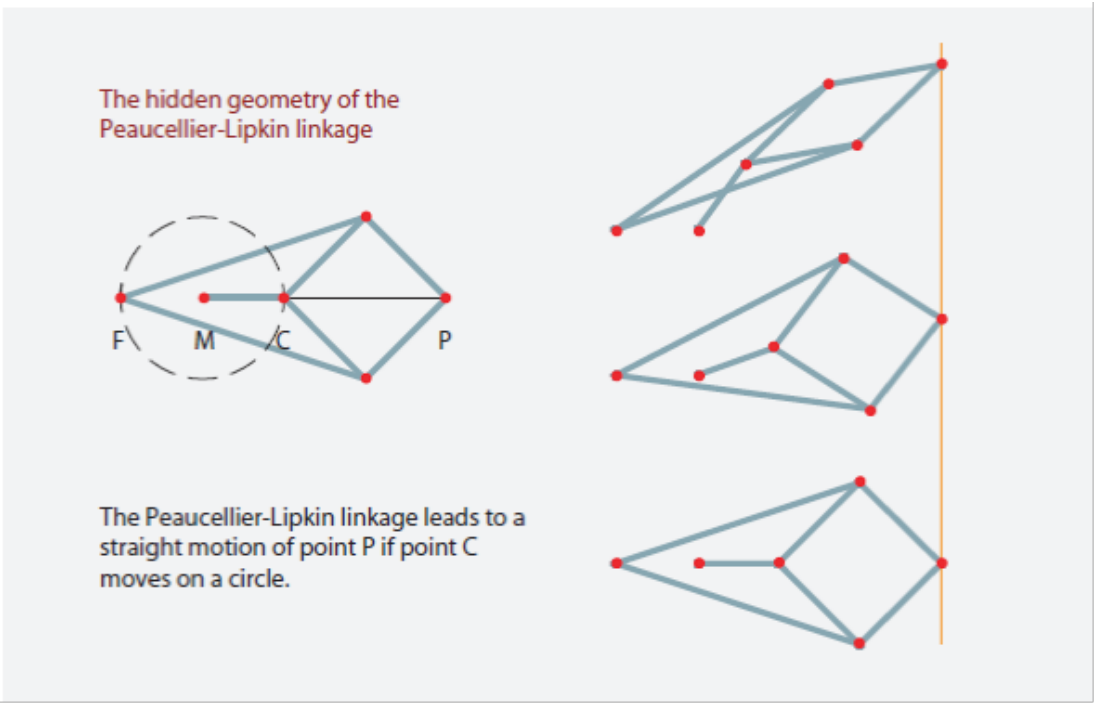
التحدي 426 – صفحة 235 : من $dv/dt = g - v^2 (1/2c_\omega A\rho/m)$ و استخدام الاختصار $c =1/2c_\omega A$ يمكننا غيجاد v(t) بوضح كل الحدود الحاوية على المتحول v في طرف واحد و كل الحدود التي فيها t في الطرف الآخر و تكامل كلا الطرفين . نحصل على $v(t) = \sqrt{gm/c}\tanh\sqrt{cg/m}t$

التحدي427 – صفحة 236 : من الأجسام الممتدة القابلة للتشوه فإن الخواص الذاتية تعطى بكثافة الكتلة و بالتالي تابع الفراغ و الزمن و الحالة توصف بكثافة الطاقة الحركية ، كمية الحركة الخطية الموضعية و الزاوية ، و ايضا بواسطة توزع الإجهاد و الانفعال .

التحدي 428 – صفحة 236 : الشحنة الكهربائية

التحدي 429 – صفحة 237 : فضاء الطور له إحداثيات موضع 3N و إحداثيات كمية حركة 3N

التحدي 430 – صفحة 237 : نتذكر عندما يرمى الحجر أن الشروط الابتدائية تلخص تأثيرات الرامي ، تاريخه ، الطريقة التي يصل بها هناك ... الخ بمعنى آخر ، الشروط الابتدائية تلخص ماضي الجملة أي تأثيرات البيئة الموجودة خلال تاريخ جملة .



الشكل 321 كيفية رسم خط مستقيم بواسطة بوصلة

بالتالي الكون ليس له شروط ابتدائية و ليس له فراغ طور . إذا وجدت أسبابا للإجابة بنعم ، فإنك قد فاتك شيء ما . فقط اذهب لمزيد من التفاصيل و تأكد فيما إذا كانت المفاهيم التي تستخدمها تنطبق على الكون . أيضا عرف بدقة ماتعنيه بالكون .

التحدي 431 – صفحة 237 : مصنع الضوء هو مثال (مجلد III ، صفحة 95)

التحدي 433 – صفحة 239 : الجملة التي تبدي حركة طاقة أو مادة أسرع من الضوء ستقتضي أنه من أجل مثل هذه الجمل هناك مراقبين الذين من أجلهم الترتيب بين السبب و المسبب يكون معكوس . مخطط الفراغ – الزمن (وقليل من التمرين من الفقرة حول النسبية الخاصة) يبين هذا

التحدي 434 – صفحة 239 : إذا كانت قابلية تكرار النتيجة غير موجودة فإنه سيكون لدينا مصاعب في فحص المراقبات / القياسات و أيضا قراءة الساعة في قياس . الربط بين قابلية التكرار و الزمن ستصبح مهمة في الجزء النهائي من مغامرتنا .

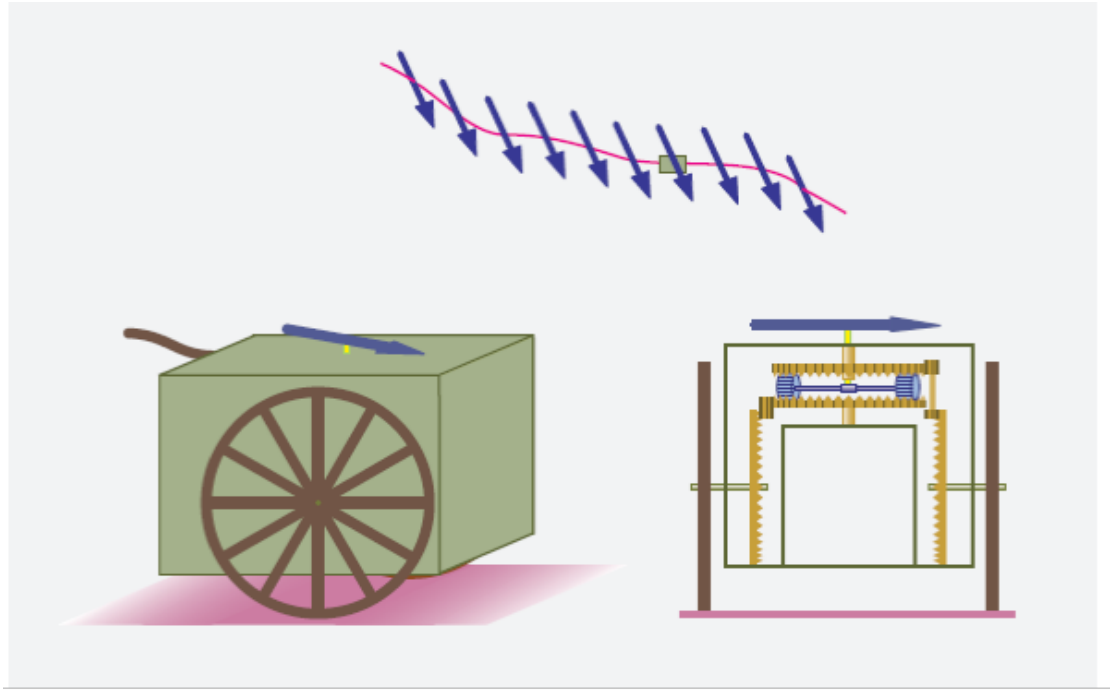
التحدي 435 – صفحة 240 : حتى إذا كانت المفاجآت فقط نادرة فإن كل مفاجأة ستجعل من المستحيل تعريف الزمن فقط قبل و فقط بعد .

التحدي 438 – صفحة 241 : بالطبع ، قوانين الأخلاق هي ملخصات لما يعتقده الآخرون أو سيعتقدونه حول الأفعال الشخصية

التحدي 439 – صفحة 242 : أسرع مسار انزلاق بين نقطتين ، هو البراكستوكرون يتبين أنه سيكلويد ، و هو منحني يتولد بواسطة نقطة على عجلة التي تدور حول مستوي أفقي .

البرهان يمكن أن يوجد بطرق عديدة . أبسطها أعطيت من قبل يوهان بيرنولي و معطاة في en.wikipedia.org/wiki/Brachistochrone_problem

التحدي 441 – صفحة 243 : عندما F , C & P تكون متراصفات هذه الدائرة لها نصف قطر معطى بالشكل R = $\sqrt{FCFP}$ حيث F مركزها . بمعنى آخر الرابط Peauceillier – Lipkin يحقق المقلوب / الانعكاس عند دائرة .



الشكل 322 الآلية داخل عربة متوضعة شمالا



الشكل 323 مداخن القرميد الساقطة – بالتالي ذات صلابة محدودة – تسقط بشكل V

التحدي 442 – صفحة 243 : عندما F , C & P تكون متراصفة فإن الدائرة التي ستتبع لها نصف قطر معطى بالمسافة FC ، ومركزها يقع في منتصف المسافة بين F &C . يوضح الشكل 321 الوضع

التحدي 443 – صفحة 243 : الشكل 322 يبين إعادة الإنشاء الأكثر موثوقية لعربة ذات توجه شمالي

التحدي 445 – صفحة 244 : الماء يسحب على طول جانبي بيضة تبرم . أسرع طريقة لتفريغ زجاجة ماء هو برم الماء داخلها أثناء التفريغ

التحدي 446 – صفحة 245 : الطريقة الصحيحة هي التي المداخن الساقطة مثل حرف V ليست مثل V المقلوبة . أنظر التحدي 361 حول المكانس الساقطة من أجل أخذ فكرة عن كيفية استنتاج الجواب .

المثالين مبينين في الشكل 323 . ينتج أن المداخن تتحطم (إذا لم تكن مثبتة في قاعدتها) عند ارتفاع بين نصف و ثلثي إجمالي الطول ، تبعا للزاوية التي يحدث بها هذا . من أجل حل كامل للمسألة أنظر البحث الممتاز G. VARESCHI & K.KAMIYA

نماذج الألعاب للمدخنة الساقطة ، المجلة الأمريكية للفيزياء 71 ، صفحة 1031-1025 ، 2033

التحدي 454 – صفحة 254 : في بعد واحد العلاقة F=ma يمكن كتابتها بالشكل $- dV/dx = md^2x/dt^2$. هذا يمكن إعادة كتابته بالشكل $d(-V)/dx - d/dt[d/d\dot{x}(\frac{1}{2}m\dot{x}^2)] = 0$ وهذا يمكن نشره بالشكل

$$\partial/\partial x(\frac{1}{2}m\dot{x}^2 - V(x)) - d/[\partial/\partial\dot{x}(\frac{1}{2}m\dot{x}^2 - V(x))] = 0$$

الـذي هـو مـعادلـة لاغرانج من أجل هذه الحالة .

التحدي 456 – صفحة 255 : لا تيأس . حتى الآن لم يتمكن أي شخص من تخيل الكون (هذا ليس بالضرورة نفس العالم) المختلف عما نعرفه . حتى الآن مثل هذه المحاولات أدت دائما إلى تضاربات منطقية .

التحدي 458 – صفحة 255 : الاثنين متكافئين نظرا لأن معادلات الحركة من مبدأ الفعل الأقل و في نفس الوقت مبدأ الفعل الأقل يتبع معادلات الحركة

التحدي 460 – صفحة 257 : من أجل الجاذبية ، كل الجمل الثلاث موجودة : الدوران في المجرات ، الضغط في الكواكب ، و ضغط باولي في النجوم ناتج عن مبدأ الاستبعاد لباولي (المجلد IV ، صفحة 134) . ضد التأثير المتبادل القوي فإن مبدأ الاستبعاد يعمل في النوى و في النجوم النيوترونية وفي النجوم النيوترونية أيضا من الممكن للدورات و الضغط أن تتم ضغط بلولي . و لكن من أجل التأثير المتبادل الكهرطيسي ليس هناك مركبات غير المادة اليومية التي تنظم بمبدأ الاستبعاد لباولي لوحده و التي تؤثر بين الإلكترونات .

التحدي 461 – صفحة 258 : التكدسات غالبا تتشكل بواسطة المادة المتقاربة للمركز . إذا كان هناك فقط عدم تناظر صغير في هذا التقارب ، بسبب بعض التأثير الخارجي فإن النتيجة هي تكدس نهائي الذي يدور

التحدي 462 – صفحة 261 : كمية الحركة الزاوية هي التغير بالنسبة للزاوية بينما الطاقة الدورانية هي مرة ثانية التغير بالنسبة للزمن كما هو حال كل الطاقة .

التحدي 463 – صفحة 261 : ليس بهذا الشكل . التغير الصغير يمكن أن يكون له أثر كبير كما يبين كل مفتاح . لكن التغير الصغير في الدماغ يجب أن يوصل للخارج ، و أن ما سيحدث تقريبا يتبع لـ $1/r^2$. هذا يجعل التأثيرات صغيرة جدا حتى بالنسبة لأصغر المفاتيح – التي لا توجد أفكار عنها بأي حال – لم يتم تحديد مثل هذه التأثيرات .

التحدي 465 – صفحة 261 : هذا سؤال خاطئ . T –U ليس أصغريا فقط المتوسط هو كذلك

التحدي 466 – صفحة 262 : لا . الجملة تميل لأن تقلل من الكمون فقط إذا كانت مبددة . لكن يمكن للمرء أن يستنتج أن الجمل المصونة تتذبذب حول النهايات الصغرى للكمون

التحدي 467 – صفحة 262 : العلاقة هي

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} . \qquad (154)$$

نسبة السرعة الخاصة بين الهواء (أو الخلاء ، الذي هو تقريبا نفسه) و المادة يعطي قرينة الانكسار n :

$$n = \frac{c_1}{c_0} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_0} \qquad (155)$$

التحدي 467 – صفحة 262 : مبدأ نمو الأشجار يقتضي القيمة الدنيا من الطاقة الكامنة ، نظرا لأن الطاقة الحركية مهملة ، و نمو الأوعية داخل أجسام الحيوانات يكون أصغريا من أجل طاقة النقل أي أنه مرة ثانية مبدأ أصغري . انكسار الضوء هو المسار لأقصر زمن و بالتالي يقلل التغير أيضا ، إذا تخلينا الضوء كجسم متحرك بدون أي طاقة كامنة مشاركة .

التحدي 469 – صفحة 263 : تتطلب النسبية الخاصة وجود القياس الثابت للفعل. هذا موجود لاحقا في المسيرة

التحدي 470 – صفحة 263 : الكون ليس جملة فيزيائية . هذه القضية ستناقش بالتفصيل لاحقا (المجلد VI ، صفحة 105)

التحدي 471 – صفحة 263 : استخدم إما التعويض $u = \tan t/2$ أو استخدم الخدعة التاريخية

$$\sec \varphi = \tfrac{1}{2} \left(\frac{\cos \varphi}{1 + \sin \varphi} + \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \right) . \qquad (156)$$

التحدي 472 – صفحة 263 : راكب الزلاجة في سيكلويد له نفس زمن التذبذب المستقل عن مطال التذبذب . لكن نصف الأنبوب يحتاج لأن يكون له نهايات شاقولية من أجل تجنب القفز خارجه . السيلويد أبدا لا يكون له نهاية شاقولية

التحدي 475 – صفحة 266 : نتحدث لشخص لأننا نعلم أن أحدا ما يفهمنا . بالتالي نفترض أنها ترى بشكل ما الأشياء التي نفعلها . هذا يعني أن المراقبة جزئيا هي مستقلة عن وجهة النظر . الطبيعة متناظرة .

التحدي 476 – صفحة 269 : الذاكرة تعمل لأننا ندرك الأوضاع . هذا ممكن لأن الأوضاع مع الزمن متشابهة . الذاكرة لا يمكن أن تتطور بدون قابلية التكرار هذه .

التحدي 477 – صفحة 270 : الفروقات ليست أساسية لكن بسبب وجهات النظر المختلفة و بشكل أساسي الخبرات المختلفة للمراقبين . نفس الشيء صحيح للمشاعر و الأحكام حيث كل طبيب نفسي سيؤكد ذلك

التحدي 478 – صفحة 272 : الأعددا الصحيحة تحت الجمع تشكل زمرة . هل مجموعة الرسامين للألوان الزيتية بعملية المزج يشكلون زمرة ؟

التحدي 480 – صفحة 272 : هناك فقط عملية تناظر واحدة : الدوران حول π حول نقطة مركزية . هذا هو سبب أنه لاحقا في الزمرة D_4 تسمى فقط زمرة تناظر تقريبية في الشكل 202

التحدي 486 – صفحة 277 : المقدار السلمي هو قيمة أي شعاع و بالتالي السرعة تعرف بالشكل |v| = v ، هي مقدار سلمي بينما السرعة v ليست كذلك . بالتالي طول أي شعاع (أو شعاع زائف) مثل القوة ، التسارع ، الحقل المغناطيسي أو الحقل الكهربائي هو مقدار سلمي بينما شعاع السرعة نفسه ليس مقدارا سلميا

التحدي 489 – صفحة 277 : توزع الشحنة لجسم ممتد يمكن أن يرى كمجموع الشحنات النقطية ، شحنة ثنائي القطب ، شحنة رباعي القطب ، شحنة ثماني القطب ، .. الخ رباعي القطب يوصف بواسطة تنسور

قارن العطالة مقابل حركة جسم ممتد يمكن أن ترى كمجموع كتلة نقطية ، كتلة ثنائي القطب ، كتلة رباعي القطب ، كتلة ثماني القطب .. الخ ، كتلة رباعي القطب توصف بواسطة عزم العطالة .

التحدي 493 – صفحة 280: الشحن المصونة من أجل ثبات الدوران هي كمية حركة زاوية

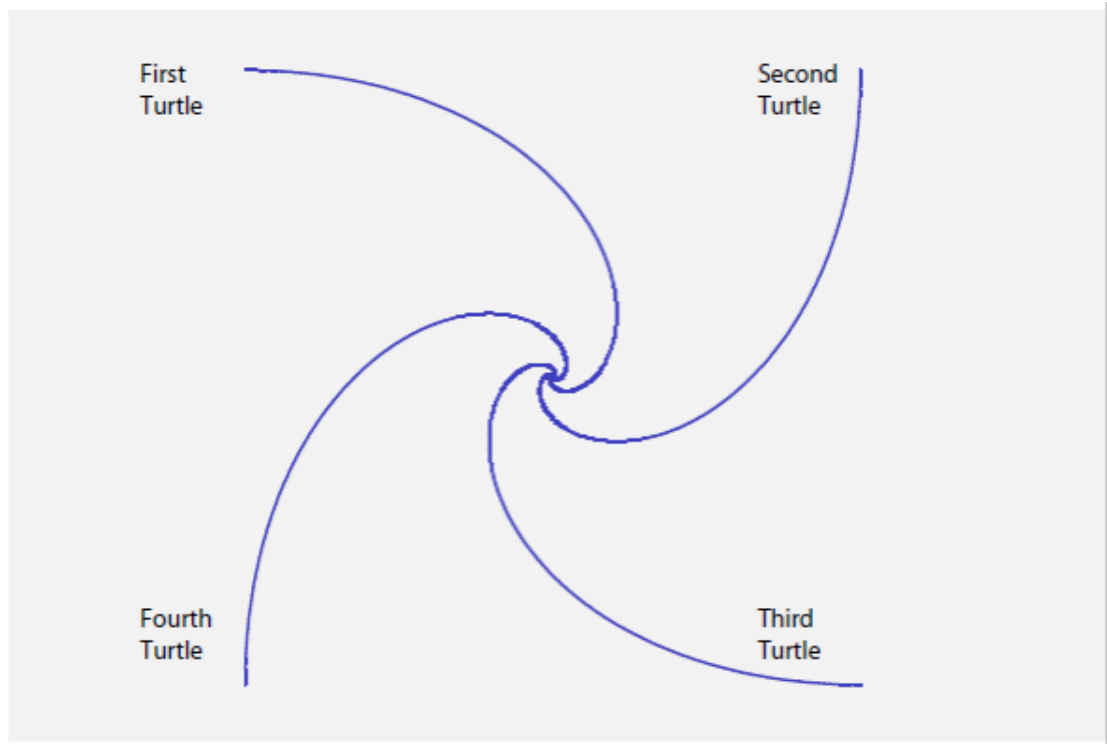
التحدي 497 – صفحة 284 : الغراف هو حلزون لوغاريتمي (هل يمكنك بيان هذا ؟) وهو موضح في الشكل 324 المسافة المقطوعة لها جواب بسيط

التحدي 498 – صفحة 284 : التذبذب له دور في الزمن أي تناظر تحويل زمني متقطع . الموجة هي متقطعة زمنيا و تناظر انسحابي / انتقالي في الفراغ متقطع

التحدي 499 – صفحة 284 : انعكاس الحركة هو تناظر من أجل أي جملة مغلقة ، بالرغم من القياسات للحياة اليومية فإن عبارات الترموديناميك

و فكرة العديد من الفيزيائيين المشهورين (الذين يشكلون أقلية بالرغم من ذلك) كلها أنظمة مغلقة عكوسة .

التحدي 500 – صفحة 284 : زمرة التناظر هي زمرة لاي و تعرف U (1) من أجل الزمرة الواحدية في البعد واحد



الشكل 324 حركة أربعة سلاحف كل منها تلاحق الأخرى

التحدي 501 – صفحة 284 : أنظر التحدي أنظر التحدي 301

التحدي 502 – صفحة 284 : ليس هناك مثل هذا الشيء في التناظر التام

التحدي 504 – صفحة 285 : قرص الهاتف الدوار له أرقام من 1 إلى 0 في زوايا gon -14 منتظم . الأرقام الزوجية و الفردية كانت تصنع زوايا لسباعي أضلاع منتظم

التحدي 508 – صفحة 288 : فقط أدخل x(t) في اللاغرانجيان L =0 ، القيمة الدنيا الممكنة لجملة التي تحول كل الطاقة الحركية إلى طاقة كامنة و العكس بالعكس

التحدي 517 – صفحة 299 : الطاقة الكامنة ناتجة عن انحناء الوسط ، و الانزياح البسيط لا ينتج أي انحناء و بالتالي لا يحتوي أي طاقة ، فقط التدرج يعطي فكرة الانحناء .

التحدي 519 – صفحة 300 : تغيرات الطور بمقدار π

التحدي 520 – صفحة 300 : الموجة التي تحمل كمية الحركة الزاوية يجب أن تكون عرضانية و يجب أن تنتشر في الأبعاد الثلاثة

التحدي 521 – صفحة 300 : الأمواج يمكن أن تخمد لشدات منخفضة جدا . إذا لم يكن هذا ممكنا المقاس ليس موجة

التحدي 522 – صفحة 302 : الطريقة لملاحظة الحيود و التداخل بأصابعك المجردة واردة في الصفحة 83 في المجلد III

التحدي 533 – صفحة 314 : التداخل يمكن أن يجعل إشارات الراديو غير مفهومة . بسبب الحيود فإن إشارات الراديو

تضعف خلف جدار ، و هذا صحيح فقط من أجل الأطوال الموجية القصيرة ، مثل تلك المستخدمة في الهواتف النقالة . الانكسار يجعل الاتصالات اللاسلكية مع الغواصات مستحيلا من أجل ترددات الراديو العادية . التشتت في الألياف الزجاجية يجعل من الضروري إضافة مقويات في الكبلات البحرية كل 100 km . التخامد يجعل من المستحيل سماع أي شخص يتحدث على مسافات أكبر . إشارات الراديو يمكن أن تفقد استقطابها و بالتالي يصبح من الصعب كشفها بواسطة هوائيات ياجي العادية التي لها استقطاب ثابت .

التحدي 535 – صفحة 318 : المتزلجون يحتكون بالثلج من الطرف السفلي لكل مرتفع باتجاه الطرف الأعلى للمرتفع التالي . هذا يؤدي إلى حركة للأعلى لمرتفعات التزلج .

التحدي 536 – صفحة 319 : إذا كانت المسافات للسماعة هي بضع أمتار و المسافة إلى الأوركسترا هي 20 m كما بالنسبة للماس الذين لديهم مال كافي فإن المستمع في البيت يسمع بشكل أسرع .

التحدي 537 – صفحة 319 : طالما أن المطال صغير بالمقارنة مع الطول l فإن الدور Tيعطى بالشكل :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad . \qquad (157)$$

العلاقة لا تحتوي الكتلة m . بشكل مستقل عن الكتلة في نهايته ، النواس يملك دائما نفس الدور . بشكل خاص من أجل طول 1m ، يكون الدور تقريبا 2s . إن نصف الدور أو نوسة واحدة تستغرق حوالي 1s . (هذا هو السبب الأصلي لاختيار واحدة المتر) .

من أجل نواس طويل جدا فإن الجواب هو قيمة منتهية رغما عن ذلك وتوافق حالة التحدي 26

التحدي 538 – صفحة 319 : بشكل عام الجسم يتحرك على مسار قطع ناقص (كما من أجل الكواكب حول الشمس) لكن مع وجود نقطة ثابتة كمركز . على عكس الكواكب ، حيث الشمس هي في المحرق للقطع الناقص و هناك نقطة الحضيض و الأوج فإن مثل هذا الجسم يتحرك بشكل متناظر حول مركز القطع الناقص . و في حالات خاصة يتحرك الجسم للأمام و الخلف على طول قطعة مستقيمة .

التحدي 540 – صفحة 319 : هذا ينتج من العلاقة التي تقول بأن تردد الخيط يعطى بالشكل ($f = \sqrt{T/\mu}/(2l)$ حيث T التوتر (قوة الشد) ، μ كثافة الكتلة الخطية ، و l طول الخيط . هذا مناقش في البحث الجميل من قبل G.BARNES الفيزياء و الحجم في الجمل البيولوجية ، معلم الفيزياء 27 ، صفحة 253-234 ، 1989 .

التحدي 542 – صفحة 320 : صوت الرعد أو حركة السيارة تصيح أخفض و أخفض في التردد مع زيادة السمافة

التحدي 545 – صفحة 320 : و لا أي منهما ، كلا الإمكانيتين هي ضد هواص الماء : في الأمواج السطحية ، جزيئات الماء تتحرك في دوائر .

التحدي 546 – صفحة 321 : السباحون قادرون على تغطية 100 m في 48 s ، أو بسرعة أفصل من 2m/s (السباح مع زعانف يحقق فقط أعلى من 3m/s) . إذا كان طول الجسم حوالي 1.9 فإن السرعة الحرجة هي 1.7 m/s . أي أن سباحة المسافة القصيرة تعتمد على التدريب : من أجل المسافات الأطول التقنية تلعب دورا ، حيث أن السرعة الحرجة لم يتم الوصول إليها بعد . العلاقة أيضا تتوقع أنه لمسافة 1500m ، فإن السباح بطول 2m له ميزة كامنة لأكثر من 45 s

على واحد حيث ارتفاع الجسم 1.8 m . بالإضافة لذلك ، السباحين الأطول لديهم ميزة إضافية : حيث يسبحون لمسافات أقصر في البرك (لماذا ؟) . بالتالي يتوقع أن السباحين الناجين لمسافة أطول سيصبحون أطول مع الزمن . هذا أمر مؤسف في هذه الرياضة التي يقال حتى الآن أن الأبطال من كل قياسات و أشكال الجسم لديهم هذه الحالة على عكس العديد من الرياضات الأخرى .

التحدي 549 – صفحة 323 : لتخفيض انعكاس الضجيج و بالتالي تأثيرات الصالة . هم ينشرون بشكل فعال جبهات الموجة الواصلة .

التحدي 551 – صفحة 323 : الأمواج في النهر لا تكون أبدا بشكل قطع ناقص ، حيث تبقى دائرية

التحدي 552 – صفحة 323 : العدسة هي مادة وسادية التي تكون شفافة للصوت . سرعة الصوت هي أشرع في الوسادة عما هي عليه في الهواء ، على عكس عدسة الزجاج ، حيث سرعة الضوء أبطأ في الزجاج . الشكل بالتالي مختلف : الوسادة يجب أن تبدو مثل عدسة ضوئية مقعرة من الوجهين

التحدي 553 – صفحة 323 : التجارب تبين أن الصوت لا يعتمد على تدفقات الهواء (أوجد لماذا ؟) و لكن يعتمد على الصوت الخارجي الموجود . الصوت ناتج عن التضخيم الانتقائي بواسطة التجاوبات الناتجة عن الشكل الهندسي لشكل الصدفة .

التحدي 554 – صفحة 323 : الشمس دائما عند موضع مختلف غير الذي نلاحظه . ما هو الفرق المقاس بأقطار زاوية للشمس ؟ بالرغم من فرق هذا الموضع ، فإن توقيت شروق الشمس يتشوه بواسطة موضع الأفق ،بيس بواسطة موضع الشمس . (تخيل أن هذا لا يكون : في تلك الحالة فإن الغرفة ستصبح مظلمة عندما تغلق النافذة ولكن بعد ثمانية دقائق ..)

باختصار ، ليس هناك تأثير قابل للقياس لسرعة الضوء في شروق الشمس .

التحدي 557 – صفحة 325 : عرض للجمل التي اختبرت في الوقت الحاضر يمكن أن يوجد في K.U. GRAW ، المحيط خزان الطاقة ، الفيزياء في وقتنا الحالي 33، صفحة 88-82 ، شباط 2002 . أنظر أيضا محيطات الكهرباء – تكنولوجيات جديدة تحول حركة الأمواج إلى واطات ، أخبار العلم 159 ، صفحة 236- 234 ، نيسان 2001

التحدي 558 – صفحة 325 : في الحياة اليومية ، الافتراض عادة مبرر ، نظرا لأن كل بقعة يمكن تمثليها تقريبا بذرة ، و الذرات يمكن متابعتها . إن الافتراض هو محط تساؤل في الأوضاع مثل الدوامية ، حيث ليست كل البقع يمكن تخصيصها بذرات ، و فوق كل شيء ، في حال الحركة للخلاء نفسه . بمعنى آخر ، أمواج الجاذبية ، وفي بشكل خاص نظرية الكم لأمواج الجاذبية ، الافتراض غير مبرر .

التحدي 564 – صفحة 331 : هناك العديد . واحدة يمكن أن تكون بسبب معامل النقل و بالتالي معامل الانعكاس للأمواج سيكون تقريبا مستقل عن طول الموجة .

التحدي 565 – صفحة 322 : إن قطرة بقطر 3mm ستغطي سطح يساوي $7.1\ m^2$ بفيلم 2mm

التحدي 566 – صفحة 336 : الريح ستحطم كل الأشجار الرفيعة جدا . من أجل الأشجار الصغيرة و بالتالي الرفيعة الريح لا تضر بها

التحدي 567 – صفحة 326 : الارتفاع الحرج لعامود من المادة يعطى بالشكل $h_{crit}^4 = \frac{\beta}{4\pi g} m \frac{E}{\rho^2}$ حيث $\beta \approx 1.9$

هي ثابت يحدد بالحساب عندما يتحنب العامود تحت تأثير وزنه الذاتي .

التحدي 569 – صفحة 337 : إحدى الإمكانيات هي وصف الجسيمات كغيوم ، الآخر معطى في الجزء الأخير من الكتاب

التحدي 570 – صفحة 339 : النتائج تعطي مجال بين 1 & 8.10^{23} . (المرجع 257)

التحدي 572 – صفحة 343 : تأكد من إجاباتك بواسطة النص الممتع P. GOLDRICH , S. MAGJAN & S. PHINNEY ، فيزياء مرتبة القيمة : فهم العالم بواسطة تحليل الأبعاد ، أعمال تخمين دراسية و أكاذيب بيضاء ، متوفر على الإنترنت .

التحدي 573 – صفحة 343 : أبواب الزجاج ، الزجاج مرن ، يبدي الزجاج أمواج صوت عرضية ، و الزجاج لا يتدفق (على عكس ما تقوله العديد من الكتب) ، حتى على مدى قرون ، جزيئات الزجاج ثابتة في الفراغ ، الزجاج يتبلور عند مسافات صغيرة ، وعاء الزجاج المستند من نهايتيه غير معلق كذلك .

التحدي 574 – صفحة 343 : لا يسمح أي سلك معدني ببناء مثل هذا السلك الطويل أو الحبل . فقط فكرة الأنابيب الكربونية النانومترية قد ظهرت بأمل تحقيق ذلك ثانية . لكن لا تعرف أي مادة مثل هذه بعد . الجملة تواجه العديد من المخاطر مثل عيوب التصنيع ، البرق ، العواصف ، النيازك ، و الحطام الفضائي . كل ما يؤدي لانجازات في الأسلاك – إذا كانت ستوجد مثل هذه الأسلاك . و لكن أكبر هذه الأخطار هو نقص المال لبنائها . على أن العديد من الناس يعملون تجاه هذا الهدف .

التحدي 575 – صفحة 344 : إن المكعب 3 x 3 x 3 له جمله صلبة من ثلاثة محاور متعامدة ، التي فيها المربع يمكن أن يدور في كل من نهاياته الست . المربعات الأخرى متصلة بقطع متحركة حول هذه المحاور . المكعب 4 x 4 x 4

هو مختلف ، فقط اعرف ذلك . من المكعب 7 x 7 x 7 فصاعدا الأجزاء لا تملك كلها نفس الحجم أو الشكل . الحد الحالي لعدد القطع في المكعبات المتوفرة تجاريا هو المكعب 17 x 17 x 17 ! يمكنك إيجاد ذلك في www.shapeways.com/shops/oskarpuzzles . الموقع www.oinkleburger.com/Cube/applet يسمح باللعب في مكعبات افتراضية حتى المكعب 100 x 100 x 100و أكثر .

التحدي 578 – صفحة 345 : الزلزال المتوسط إلى الكبير سيتولد

التحدي 579 – صفحة 345 : يحتوي النازل على قناة رفيعة على طول محوره التي يتدفق فيها الماء بينما الصاعد الكلسي هو ضخم بشكل كامل

التحدي 580 – صفحة 345 : حوالي جزء واحد في الألف

التحدي 581 – صفحة 346 : حتى بالرغم من أن قلب الحديد للأرض متشكل بجمع الحديد من النيازك المصطدمة بها ، التي تغوص بالتالي إلى مركز الأرض فإن الشكل لا يعمل اليوم : في شبابها الأرض كانت سائلة أكثر بكثير عما هي عليه اليوم . الحديد ربما في الأكثر لن يغوص . بالإضافة لذلك ليس هناك طريقة معروفة لبناء مجس قياس يمكن أن يرسل أمواج صوتية قوية كفاية لهذا النظام . مقاومة درجة الحرارة هي أيضا قضية مهمة لكن هذه يمكن حلها .

التحدي 583 – صفحة 348 : الذرات ليست صلبة بشكل لا متناهي ، كما تبين نظرية الكم . الذرات هي أكثر شبها بالغيوم القابلة للتشوه (المجلد IV ، صفحة 79)

التحدي 586 – صفحة 358 : إذا لم يكن هناك احتكاك كل الطرق الثلاثة سريعة بنفس القدر – بما فيها الطريقة في أقصى اليمين .

التحدي 589 – صفحة 360 : الثابت k ينتج من مصونية الطاقة و ذلك

$$k = \sqrt{\frac{2}{\rho(A_1^2/A_2^2 - 1)}} \,. \qquad (158)$$

المقطع العرضي يرمز له بـ A و الدليل 1 يشير إلى أي نقطة بعيدة عن التضيق ، و الدليل 2 للتضيق .

التحدي 592 – صفحة 367 : الضغط يخرب الرئة . الغطس بالتنفس بواسطة أنبوب فقط ممكن في سطح الماء ، ليس تحت الماء . هذه التجربة حتى خطرة عند محاولتها في مغطسك في الحمام . إن التنفس بأنبوب طويل ممكن فقط إذا كانت مضخة عند السطح تضخ الهواء للأنبوب بالضغط الصحيح .

التحدي 594 – صفحة 367 : بعض الناس يلاحظون أنه في بعض الحالات الاحتكاك عالي جدا ، و يبدؤون في الشفط في نهاية الأنبوب للحصول على بدء التدفق ، أثناء القيام بذلك يمكنهم أن يستنشقوا أو يبتلعوا الغازولين ، الذي هو سام

التحدي 599 – صفحة 370 : يعطي الحساب (N = J/j = (0.0001 m^3 /s)/ (7 μm^2 0.0005 m/s أو حوالي 6.10^9 ، في الحقيقة العدد أكبر بكثير ، نظرا لأن أكثر الأوعية الشعرية تكون مغلقة عند لحظة معينة . إن احمرار الوجه يبين ما يحدث عندما تفتح كل الأوعية الدموية الصغيرة في نفس الوقت .

التحدي 600 – صفحة 371 : رمي حجر يجعل المستوى يهبط ، رمي الماء أو قطعة من الخشب يبقيه بدون تغيير

التحدي 601 – صفحة 371 : السفينة ترتفع لأعلى في السماء (لماذا ؟)

التحدي 603 – صفحة 371 : حركة المنطاد المملوء بالهليوم معاكس لذلك المملوء بالهواء أو الناس :منطاد الهليوم يتحرك باتجاه الأمام عندما تتسارع السيارة و إلى الخلف عندما تتباطأ السيارة . أيضا يتصرف بشكل مختلف في المنحنيات . العديد من الأفلام على الإنترنت تبين التفاصيل .

التحدي 606 – صفحة 371 : المضخات تعمل في السحب ، و لكن ضغط الهواء فقط يسمح بفرق ارتفاع 10m فقط من أجل مثل هذه الجمل .

التحدي 607 – صفحة 371 : هذه المقولة مفهومة فقط عندما نتذكر أن ضعف الكمية يعني ضعف عدد الجزيئات

التحدي 608 – صفحة 371 : الكحول يتجمد و الشوكولا توضع حوله .

الجدول 62 التركيب الغازي للهواء الجاف في الوقت الحالي [a]

الغاز	الرمز	النسبة الحجمية [b]

النتروجين	N_2	78.084 %
الأكسجين (تابع للتلوث)	O_2	20.946 %
الأرغون	Ar	0.934 %
ثاني أكسيد الكربون (ناتج بشكل كبير عن التلوث البشري)	CO_2	403 ppm
النيون	Ne	18.18 ppm
الهليوم	He	5.24 ppm
الميتان (في الأغلب ناتج عن التلوث البشري)	CH_4	1.79 ppm
الكربتون	Kr	1.14 ppm
الهيدروجين	H_2	0.55 ppm
أكسيد النتروجين (في الأغلب ناتج عن التلوث البشري)	N_2O	0.3 ppm
أول أكسيد الكربون (ناتج بشكل كبير عن التلوث البشري)	CO	0.1 ppm
الإكسنون	Xe	0.087 ppm
الأوزون (يتأثر بقوة بالتلوث البشري)	O_3	0 to 0.07 ppm
ثاني أكسيد النتروجين (في الأغلب ناتج عن التلوث البشري)	NO_2	0.02 ppm
اليود	I_2	0.01 ppm
الأمونيا (في الأغلب ناتج عن التلوث البشري)	NH_3	traces
الرادون	Ra	traces
الهالوكربونات و المركبات الفلورينية الأخرى (كلها ملوثات بشرية)	20 types	0.0012 ppm
الزئبق و المعادن الأخرى ، مركبات الكبريت و المركبات العضوية الأخرى (كلها ملوثات بشرية)	عديدة	يتغير التركيز

[a] الهواء الرطب يمكن أن يحتوي إلى ما يصل من 4% بخار ماء تبعا للطقس . بعيدا عن الغازات ، الهواء يمكن أن يحتوي قطرات ماء ، جليد ، رمل ، غبار ، طلع ، أبواغ ، رماد بركاني ، رماد ناري من الغابات ، رماد وقود ، جزيئات دخان ، ملوثات من كل الأنواع ، نيازك و جسيمات أشعة كونية . خلال تاريخ الأرض التركيب الغازي للهواء يتغير بشدة

بشكل خاص ، الأكسجين هو المكون من الجو فقط في النصف الثاني من عمر الأرض .

[b] المختصر ppm يعني جزء بالمليون

التحدي 609 – صفحة 372 : اقترح المؤلف نسخة قديمة من هذا الكتاب التي فيها آلة ستستند لنفس الآلات التي ترمي الحمام الطيني المستخدم في رياضيات الرماية و السكيت . و في الوقت الحالي بنى Lyderic Bocquet & Christophe Clanet مثل هذه الآلة التي تخلي الحجر و لكنها تستخدم تصميما مختلفا و صورة لها توجد في -ilm perso.univ-lyonl.fr/~lbocquet

التحدي 610 – صفحة 372 : المكون الثالث للهواء هو الغاز النبيل الأرغون ، الذي يشكل حوالي 1% و القائمة الأطول لمكونات الهواء معطاة في الجدول 62

التحدي 611 – صفحة 372 : التجويف الجنبوي بين الرئتين و الصدر هو أدنى دائما من الضغط الجوي ، عادة 5mbar ولكن حتى 10 mbar خلال الشهيق . و الثقب فيه يتشكل مثلا بواسطة رصاصة ، سيف أو حادث ، يؤدي لتقوض الرئتين و هذا ما يعرف باستروح الصدر و غالبا يؤدي للوفاة . و عمليات الصدر المفتوح على الناس أصبحت ممكنة

فقط بعد أن تعلم الجراح فريدناند زاوربروخ في 1904 كيفية التغلب على المشكلة . لكن في هذه الأيام يتم إبقاء الرئة تحت ضغط أعلى من الضغط الجوي حتى إغلاق كل شيء .



الشكل 325 طريقة للركوب و السير ضد الريح باستخدام الاستطاعة

التحدي 612 – صفحة 372 : النافورة المبينة في الشكل تشتغل بصب الماء في الحاوية الأعلى . النافورة بالتالي تستخدم ضغط الهواء الناشئ عن تدفق الماء للأسفل .

التحدي 613 – صفحة 372 : نعم ، المصباح لن يقاوم مثل هاتين السيارتين بالرغم من ذلك

التحدي 614 – صفحة 372 : الرادون هو أثقل بحوالي ثماني مرات من الهواء ، و هو أكثف غاز معروف . بالمقارنة $Ni(CO)_4$ أثقل بحوالي ست مرات من الهواء ، $SiCl_4$ أثقل بحوالي أربع مرات من الهواء . بخار الزئبق (من الواضح أيضا أنه غاز) أثقل بحوالي سبع مرات من الهواء و بخار الروم هو أثقل بحوالي خمس مرات و نصف مرات من الهواء .

التحدي 616 – صفحة 373 : نعم ، حيث أن الفينتوموبايل المبين في الشكل 325 يثبت ذلك . هو يحقق النتيجة المعروفة من أجل سرعات الريح المنخفضة

التحدي 617 – صفحة 374 : لا يوجد .

التحدي 619 – صفحة 374 : لقد جلب الحبال للكبين بتمريرها عبر سائل الزئبق

التحدي 621 – صفحة 374 : ليس هناك حلول رسمية لهذه الأسئلة ، فقط تأكد من افتراضاتك و حساباتك بدقة . الإنترنت مليئة بمثل هذه الحسابات

التحدي 622 – صفحة 375 : الصابون يتدفق حتى المصباح مما يجعله أثخن في الأسفل و أرفع في الأعلى حتى يصل لسماكة الطبقتين الجزيئيتين ، لاحقا ينفجر

التحدي 623 – صفحة 375 : درجة الحرارة تؤدي إلى تبخر السائل الموجود و البخار يمنع التماس المباشر بين الجسمين غير الغازيين

التحدي 624 – صفحة 375 : من أجل حدوث هذا ، الاحتكاك يجب أن يوجد على المستوى الميكروسكوبي و الطاقة ستختفي

التحدي 625 – صفحة 376 : القمع الأطول يفرغ قبل القصير . (إذا لم تؤمن بهذا جربه) . في حال أن كمية الماء في مخرج القمع يمكن إهمالها يمكن للمرء أن يستخدم مصونية الطاقة من أجل حركة المائع . هذا يعطي معادلة بيرنولي الشهيرة $p/\rho = gh + v^2/2 = const$ حيث p الضغط ، ρ كثافة الماء ، $g = 9.8\ m/s^2$. بالتالي السرعة v هي أعلى من أجل الأطوال الأكبر h للجزء المستقيم للقمع و القمع الأطول يفرغ أولا .

لكن هذا غريب : العلاقة تعطي علاقة السقوط الحر حيث أن ضغط الهواء هو نفسه في الأعلى و الأسفل و يختفي من الحساب . العلاقة من أجل السرعة بالتالي مستقلة عن فيما إذا كان الأنبوب موجود أو لا .

السبب الحقيقي من أجل التفريغ الأسرع للأنبوب هو بالتالي أن الأنبوب يجبر مزيد من الماء على التدفق خارجا أكثر من الذي بلا أنبوب . و بدون أنبوب قطر تدفق الماء يتناقص خلال السقوط . مع أنبوب ، يبقى ثبات . هذا الفرق يؤدي إلى التفريغ الأسرع للأنابيب الأطول .

بشكل مغاير يمكنك أن تنظر لقيمة ضغط لماء داخل القمع . سوف تكتشف أن ضغط الماء هو أخفض ما يكون عند بداية مخرج الأنبوب . وهذا الضغط المائي الداخلي هو أخفض من أجل الأنابيب الأطول و يمتص الماء للخارج بسرعة أكبر في هذه الحالات .

التحدي 626 – صفحة 376 : عيني السمكة تتوضعان بحيث أن تخفيض الضغط بواسطة التدفق يعوض بواسطة زيادة الضغط للحجرة . بهذا الشكل فإن قلوبها تتوضع بحيث أنها تساعد بواسطة الضغط المنخفض

التحدي 628 – صفحة 376 : النتيجة تم تحقيقها من أجل الجبال الأخفض مثل مونت بيانكو في الألب . لكن في الوقت الحالي ليس هناك طريقة للصعود بأمان عند مرتفعات عالية للهيمالايا .

التحدي 630 – صفحة 376 : اضغط المنديل في الزجاج ، واخفض الزجاج في الماء بالفتح أولا بينما تبقي الفتحة أفقية . هذه الطريقة أيضا تستخدم لخفض الناس أسفل البحر . كرة الورق في الزجاجة ستطير باتجاهك . النفخ في القمع سيبقي كرة البينج بونج ثابتة في مكانها ، و كلما كان هذا أكثر ستضطر للنفخ بشكل أقوى . النفخ هبر قمع باتجاه الشمعة سيجعلها تميل باتجاهم

التحدي 637 – صفحة 386 : في 5000 مليون سنة ، الطريقة الحالية ستتوقف و الشمس ستتبح عملاقا أحمر و لكن سوف تحترق سنوات أكثر بكثير بعد ذلك

التحدي 638 – صفحة 388 : قال بيرنولي أن درجة الحرارة تصف الطاقة الحركية المتوسطة لمكونات الغاز . من الطاقة الحركية استنتج كمية الحركة المتوسطة للمكونات . و كمية الحركة المتوسطة تؤدي للضغط و جمع التفاصيل يؤدي إلى علاقة الغاز المثالي

التحدي 639 – صفحة 388 : الجواب يعتمد على حجم المناطيد حيث أن الضغط ليس تابعا لحظيا للحجم . إذا لم تكن المناطيد الأصغر صغيرة جدا فإن المنطاد الصغير يربح

التحدي 642 – صفحة 389 : قس مساحة التماس بين الإطارات و الطريق (كل الأربعة) و بعدها اضربها بـ 200kPa ، ضغط الإطار المعتاد . تحصل على وزن السيارة .

التحدي 692 – صفحة 392 : إذا كان مربع الإزاحة المتوسطة متناسب مع الزمن فإن السائل مكون من أصغر الجسيمات . و هذا أكد بواسطة تجارب جان بيرين , الخطوة التالية هي استنتاج عدد هذه الجسيمات من ثابت التناسب .هذا الثابت معرف بالشكل $\langle d^2 \rangle = 4\,Dt$ يعرف بثابت الانتشار (العامل 4 صالح من أجل الحركة العشوائية ذات البعدين) . ثابت الانتشار يمكن تحديده بمراقبة حركة جسيم تحت الميكروسكوب .

نحن ندرس الجسيم البراوني ذو نصف القطر a . في البعدين فإن مربع إزاحته يعطى بالشكل

$$\langle d^2 \rangle = \frac{4kT}{\mu} t \,, \qquad (159)$$

حيث k ثابت بولتزمان و T درجة الحرارة . العلاقة استنتجت بدراسة حركة جسيم ذو قوة مقاومة / جر μ V - الذي يخضع لضربات عشوائية . معامل الجر الخطي μ لكرة ذات نصف قطر a يعطى بالشكل

$$\mu = 6\pi\eta a \,, \qquad (160)$$

حيث η اللزوجة الكينماتيكية . بمعنى آخر يكون لدينا

$$k = \frac{6\pi\eta a}{4T} \frac{\langle d^2 \rangle}{t} \,. \qquad (161)$$

كل الكميات إلى اليمين يمكن قياسها و بالتالي تسمح لنا بتحديد ثابت بولتزمان k . نظرا لأن علاقة الغاز المثالي تبين أن ثابت الغاز المثالي R مرتبط بثابت بولتزمان بالشكل $R = N_A k$ ، عدد آفوغادرو N_A يعطي عدد الجزيئات في نمط يوجد أيضا بهذا الشكل .

التحدي 651 – صفحة 400 : إمكانية عكس الحركة لكل الظواهر الملحوظة هو في الحقيقة خاصة أساسية للطبيعة . لقد أكدت لكل التأثيرات المتبادلة و كل التجارب التي أجريت . بشكل مستقل عن هذا حقيقة أن تحقيق العكس يمكن أن يكون صعبا جدا لأن عكس الحركة للعديد من الذرات عادة لا يكون ممكن

التحدي 652 – صفحة 401 : هذا سؤال خدعة . من أجل التقريب الجيد أي صندوق صلب هو مثال . لكن إذا سألنا من أجل الإحكام الكامل ، كل الجمل تصدر بعض الطاقة ، و تخسر بعض الذرات أو الجسيمات و تحني الفراغ ، الجمل المثالية المغلقة غير موجودة

التحدي 657 – صفحة 403 : سوف نجد لاحقا أن الكون ليس جملة فيزيائية / مادية و بالتالي مفهوم الإنتروبي لا يطبق عليه (المجلد IV ، صفحة 105) . بالتالي الكون ليس معزول و لا مغلق

التحدي 659 – صفحة 404 : البيضة البيضاء تبدأ في التصلب عند درجة حرارة أخفض من المح و لكن من أجل التصلب الكامل ، العكس صحيح . البياض يتصلب بشكل كامل عند 80 ° C و صفار البيض يتصلب بشكل مقبول عند 66 -88 °C . لذا اسلق البيضة عند درجة حرارة أكبر و النتيجة ممكنة ، البياض سيبقى سائل ، و لكن لا يبقى شفاف ، لاحظ ثانية أن زمن السلق لا يلعب أي دور فقط قيمة درجة الحرارة المحكمة .

التحدي 661 – صفحة 405 : نعم ، التأثير يلحظ بسهولة

التحدي 664 – صفحة 405 : الهواء الساخن أقل كثافة و بالتالي يريد الارتفاع

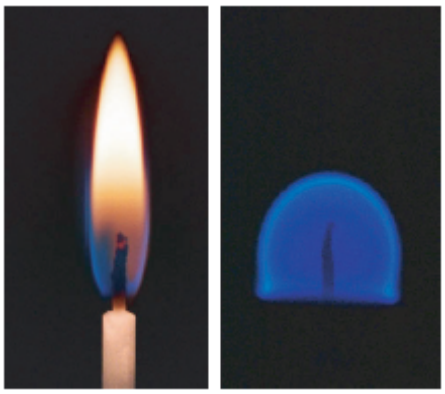
التحدي 665 – صفحة 405 :أبقي الورق رطبا

التحدي 666 – صفحة 405 : انصهار الجليد عند 0 °C يأخذ 334 kJ/kg . تبريد الماء درجة مئوية واحدة أو درجة كلفة واحدة يعطي 4.186 kJ/kg

لذا فإن الماء الساخن بحاجة ليبرد إلى 20.2 °C .ليصهر الجليد بحيث أن درجة حرارة المزيج النهائية ستكون 10.1 °C

التحدي 667 – صفحة 406 : الهواء يجب أن يكون جاف

التحدي 668 – صفحة 406 : بشكل عام من المستحيل رسم خط عبر ثلاث نقاط . نظرا لأن الصفر المطلق و النقطة الثلاثية للماء ثابتة بالقيمة ، و لقد كان عمليا قضية مؤكدة أن نقطة الغليان لن تكون محكمة عند 100 °C



الشكل 326 شمعة على الأرض و الجاذبية الدقيقة

التحدي 669 – صفحة 406 : لا ، حيث أن جزيئة الماء أثقل من هذا . لكن إذا سمح للماء بأن يكون متسخا ، من الممكن

ماذا يحدث إذا أخذ الفعل الكمي بالحسبان ؟

التحدي 670 – صفحة 406 : الخطر ليس ناتج عن كمية الطاقة و لكن ناتج عن الزمن المتاح

التحدي 671 – صفحة 407 : الإنترنت مليئة بالحلول

التحدي 672 – صفحة 407 : هناك 2^n تتابع ممكن لرمي n قطعة نقدية . من هذه $n!/(\frac{n}{2}!)^2$ تحتوي n/2 طرة و n/2 نقش . من أجل قطعة نقد عادلة احتمال p للحصول على n/2 طرة في n رمية بالتالي هو

$$p = \frac{n!}{2^n \left(\frac{n}{2}!\right)^2} . \qquad (162)$$

نحن نقرب النتيجة هذه بمساعدة علاقة جوسبر $n! \approx \sqrt{(2n+\frac{1}{3})\pi}\,(\frac{n}{e})^n$ و نحصل على

$$p \approx \frac{\sqrt{(2n+\frac{1}{3})\pi}\,(\frac{n}{e})^n}{2^n \left(\sqrt{(n+\frac{1}{3})\pi}\,(\frac{n}{2e})^{\frac{n}{2}}\right)^2} = \frac{\sqrt{2n+\frac{1}{3}}}{(n+\frac{1}{3})\sqrt{\pi}} . \qquad (163)$$

من أجل n = 1 000 000 نحصل على الاحتمال p ≈ 0.0007979 و بالتالي هو قيمة صغيرة بين 1/1254& 1/1253

التحدي 673 – صفحة 407 : الإنتروبي يمكن أني عرف من أجل الكون ككل فقط إذا كان الكون جملة مغلقة و لكن هل الكون مغلق ؟ هذه القضية مناقشة في الجزء الأخير من مغامرتنا .

التحدي 676 – صفحة 408 : الجواب يعتمد على الحجم بالطبع . لكن العديد من الحالات ماتت ليلا لأنها عدلت منازلها النقالة لتكون كتيمة للهواء .

التحدي 680 – صفحة 408 : أملاح المعدن في الرماد تعمل كحافزات و السكر يحترق بدلا من أن ينصهر فقط . شاهد الفيديو للتجربة في www.youtube.com/watch?v=BfBgAaeaVgk

التحدي 685 – صفحة 409 : هو حوالي 10^{-9} لذلك العائد للأرض

التحدي 687 – صفحة 409 : سماكة الطيات في الدماغ ، الفقاعات في الرئة و كثافة الأوعية الدموية و حجم الخلايا البيولوجية

التحدي 688 – صفحة 409 : بخار الزئبق أعلى السائل يصبح مشبع

التحدي 689 – صفحة 409 : إن مشروع ناسا المخصص درس هذه المسألة . الشكل 326 يعطي مقارنة كمثال . يمكنك إيجاد مزيد من التفاصيل من موقعهم على الإنترنت

التحدي 690 – صفحة 409 : الخطر ناتج عن العواصف و المخاطر المالية هو أعلى بكثير

التحدي 691 – صفحة 410 : الدوامة داخل الأنبوب هي باردة قرب محوره و ساخنة في المناطق البعيدة عن المحور . بالرغم من أن الغشاء في منتصف الأنبوب (المبين في الشكل 285 في الصفحة 410) فإن الهواء من منطقة المحور يرسل لطرق و الهواء من المنطقة الخارجية للطرف الآخر . تسخين خارج المنطقة ناتج عن العمل الذي على الهواء الدوار في الداخل أن يقوم به للحصول على دوران الذي يستهلك كمية الحركة الزاوية . من أجل شرح مفصل ، أنظر الكتاب الجميل لـ MARK P. SILVERMAN ، و مع ذلك هي تتحرك : جمل غريبة و أسئلة محرجة في الفيزياء ، مطبعة جامعة كامبريدج ، 1993 ، صفحة 221

التحدي 692 – صفحة 410 : لا

التحدي 693 – صفحة 410 : في أعلى تركيز ممكن للكتلة الإنتروبي طبيعيا يكون أعلى قيمة ممكنة

التحدي 694 – صفحة 410 : الواحدات لا تتطابق

التحدي 695 – صفحة 410 : في حال الماء ، بعض الدورات تمزج الحبر ، و التدوير للعكس يزيد المزج . في حال الغليسرين بعض الدورات يبدو أنها تمزج الحبر و التدوير للخلف يزيل المزج

التحدي 696 – صفحة 411 : ضعها في الملابس

التحدي 700 – صفحة 411 : درجات الحرارة السالبة هي ركيزة مفهومية فقط من أجل الجمل ذات الحالات المتقطعة القليلة و هي ليست درجات حرارة حقيقية لأنه لا تصف حالات التوازن ، و في الواقع لا تطبق أبدا على الجمل ذات استمرارية الحالات

التحدي 701 – صفحة 413 : هذا أيضا صحيح من أجل شكل الأجسام البشرية ، التحكم الدماغي للحركة البشرية ، نمو الأزهار ، أمواج البحر ، تشكل الغيوم ، العمليات المؤدية لثوران البراكين ..الخ

التحدي 704 – صفحة 420 : أنظر اللغز حول حركة حدبات التزلج

التحدي 709 – صفحة 423 : أولا ، هناك العديد من الفراشات أكثر من الأعاصير . ثانيا ، الأعاصير لا تستند على توزعات أولية صغيرة لشكلها . ثالثا الاعتقاد في تأثير الفراشة يهمل كليا ناحية الطبيعة التي هي أساسية من أجل التنظيم الذاتي : الاحتكاك و التبديد . تأثير الفراشة يفترض أنه موجود و سيتطلب أن التبديد في الهواء سيكملك خواص غير حقيقية بشكل كامل . هذه ليست الحال في الغلاف الجوي . لكن الأهم من كل شيء ، أنه ليس هناك أساس تجريبي للتأثير : لم يتم أبدا ملاحظته و بالتالي غير موجود

التحدي 719 – صفحة 434 : لا . الطبيعة لا تسمح بأكثر من عشرين خانة / رقم للإحكام كما سنكتشف لاحقا في مشوارنا . هذا غير كافي من أجل كتاب قياسي . السؤال فيما إذا مثل هذا العدد يمكن أن يكون جزءا من كتابه الخاص يختفي بالتالي .

التحدي 720 – صفحة 434 : كل العبارات الثلاث هي كلام فارغ . معامل الجر / المقاومة يقتضي أن المساحة العرضية للسيارة معلومة بنفس الإحكام . و هذا في الحقيقة صعب جدا قياسه و إبقاؤه ثابت . في الحقيقة القيمة 0.375

لسيارة فورد إسكورت كانت خدعة ، حيث بينت ذلك العديد من القياسات. استهلاك الوقود هو حتى أكثر سخافة حيث أنه يقضي أن أحجام الوقود و المسافات يمكن قياسها بنفس الإحكام . استفتاء الآراء يؤخذ بواسطة الهاتف في الأكثر لألفي شخص بسبب المصاعب في اختيار عينة ممثلة صحيحة و هذا يعطي إحكام في الأكثر 3% نوعيا .

التحدي 722 – صفحة 435 : الفراغ – الزمن معرف باستخدام المادة ، المادة تعرف باستخدام الفراغ – الزمن

التحدي 723 – صفحة 435 : الحقيقة هي أن الفيزياء كانت تستند للتعريف المنتشر لمئات السنين . و بالتالي من الممكن البناء حتى للعلم الدقيق على الرمل . على أن إزالة الدورية هو هدف مهم .

التحدي 724 – صفحة 436 : كل قياس هو مقارنة مع معيار ، و كل مقارنة تتطلب ضوء أو حقل كهرطيسي آخر . هذا أيضا هو حال قياسات الزمن

التحدي 725 – صفحة 436 : كل قياس كتلة هو مقارنة مع معيار ، كل مقارنة تتطلب ضوء أو حقل كهرطيسي آخر ما.

التحدي 726 – صفحة 436 : قياسات الزوايا لها نفس خواص قياسات الطول أو الزمن

التحدي 728 – صفحة 451 : الكتلة هي مقياس لكمية الطاقة . مربع الكتلة يشكل معنى

التحدي 731 – صفحة 453 : حولي عشرة ميكرو غرامات

التحدي 732 – صفحة 454 : ربما الكمية ذات أكبر تغير هي الكتلة ، حيث السابقة من أجل $1\ eV / c^2$ ستكون مفيدة كما يمكن أن يحصل المرء من أجل الكتلة الكلية في الكون التي هي حوالي أكبر بـ 10^{90} مرة

التحدي 733 – صفحة 455 : العلاقة ذات n-1 هي تطابق أفضل . لماذا ؟

التحدي 736 – صفحة 455 : لا ! هي أكثر إحكاما بكثير لتعطي معنى . هي فقط معطاة كتوضيح من أجل سلوك التوزع الغوصي . توزعات القياس الحقيقية ليست غوصية إلى الإحكام الذي يقتضيه في هذه الأعداد

التحدي 737 – صفحة 456 : حوالي 0.3 m/s و هو ليس 0.33 m/s و ليس 0.333 m/s و ليس سلاسل أطول من ثلاثات .

التحدي 739 – صفحة 462 : الإبطاء يذهب بشكل رباعي مع الزمن لأن كل إبطاء جديد يضاف للقديم

التحدي 740 – صفحة 463 : لا . الخواص الوحيدة لأجزاء الكون واردة . الكون نفسه ليس له خواص كما هو مبين في المجلد الأخير (مجلد VI ، صفحة 110)

التحدي 741 – صفحة 523 : مثلا ، السرعة داخل المواد تطبأ و لكن بين الذرات ، الضوء ما يزال يسير بسرعة الخلاء.

مراجع

1. من أجل تاريخ العلم في القديم ، أنظر LUCIO RUSSO ، الثورة الفكرية ، 1996 , Felrinelli أيضا متوفر بلغات أخرى عديدة . وارد على الصفحة 15

2. إذا أردت الحصول على كتب فيزياء مدرسية أوضح و أكثر مقدمة اختصار في العالم هو كتاب مدرسي مجاني متوفر بالإنجليزية و بلغات أخرى عديدة مكتوب من قبل باحث الذي نذر حياته كلها لتدريس الفيزياء في المدارس الثانوية مع فريقه الجامعي : فريدريش هيرمان . مقرر فيزياء كارلز روه و هو يحمل مجانا بالإنجليزية و الإسبانية و الروسية و الإيطالية و الصينية من www.physikdialiktik.uni-larlsruhe.de/ index_en.html و هو أحد الكتب المدرسية الثانوية القليلة التي تأسر و تدهش حتى الفيزيائيين المحترفين (بحث عام 2013 حول هذا الكتاب من قبل C.STURNK & K.RINCKE حول جودة العلوم الفيزيائية الألمانية في مقرر الفيزياء في كارلزروه متوفر في الإنترنت و يقدم نقاط ممتعة كثيرة و هو يلقي الضوء على كل فيزيائي) . هذا يمكن أن يقال حتى أكثر من رائع الذي يتحدى النص المرافق FRIEDERICH HARRMANN & GEORGE JOB ، أثقال تاريخية على الفيزياء الذي محتواه أيضا متوفر في موقع كارلزروه بالإنجليزية و بعدة لغات أخرى .

الكتاب الجميل الذي يشرح الفيزياء و العديد من تطبيقاتها و التكنولوجيا بشكل حيوي و كامل هو لـ PAUL G. HEWITT , JOHN SUCHOCKI & LESLIE A. HEWITT ، علم الفيزياء المفهومي ، بنجامين / كومينز ، 1999 .

المقدمة العظيمة هي لـ KLAUS DRANSFELD , PAUL KIENLE 7 GEORGE KALVIUS ، الفيزياء 1 : الميكانيك و الحرارة ، أولنبورج ، 2005 .

سلسلة الكتب الشهيرة من أجل شغفها و فضولها هي RICHARD P. FEYNMAN , ROBERT B. LEIGHTON & MATTHEW SANDS ، محاضرات فينمان حول الفيزياء ، أديسون ويسلي 1977

المجلدات يمكن الآن قراءتها على الإنترنت من www.feynmanlectures.info

الكثير يمكن تعلمه حول الحركة و كتب المسائل . واحد من المجموعات أفضلها بنية للمسائل الجميلة التي لا تتطلب رياضيات كتب من قبل JEAN – MARC LEVY –LEBLOND ، الفيزياء في أسئلة ، الميكانيك ، فيبر 1998 .

المجموعة الممتازة الأخرى للأسئلة هي لـ YAKOB PERELMAN ، أوه الفيزياء ، دوند ، 2000 ، ترجمة من الأصل بالروسية .

كتاب المسائل الجيد هو لـ W.G.REES الفيزياء بالأمثلة : مائتي مسألة و حلولها ، مطبعة جامعة كامبريدج ، 1994

كتاب تاريخي جيد عن الأفكار الفيزيائية معطى بنص ممتاز من قبل DAVID PARK ، كيف و لماذا ،مطبعة جامعة برنستون ، 1988

---

*"اقرأ الكثير ، لكن لا شيء " مقولة 7 ,9,15 جايس بلينوس سيكوندوس (23/4 Novum Cmum توفي في 79 في ثوران فيسوفيوس) ، كاتب روماني شهير خاصة بعمله العلمي الرئيسي الكبير التاريخ الطبيعي و الذي ترجم و قرء لمدة تقريبا ألفي عام .

المقدمة الممتازة في الفيزياء هي لـ ROBERT POHL ، طريقة بول في الفيزياء ، كلاوس لودرس و روبرت بول ، سبرينجر 2004 في مجلدين مع أسطوانات مدمجة . و هو نسخة جديدة من الكتاب الذي عمره أكثر من سبعين عاما ، و لكن الجودة العلمية فيه بشكل خاص الجانب التجريبي من الفيزياء لم يسبق إليه .

كتاب المسائل الفيزيائية الآخر الممتاز الروسي ، يعرف بسراييفا ، يبدو أنه موجود بترجمة إسبانية فقط : V.D. BUJOVTSEV , V.D. JRIVCHENKOV , G. YA. MIAKISHEV & I.M.SARAEVA مسائل مختارة في الفيزياء العنصرية ، مير 1979

كتاب المسائل الفيزيائية الجيد الآخر هو لـ GIOVANNI TONZIG ، مائة خطأ فيزيائي الأساسية حسب الاستخدام ، ساسوني ، الطبعة الثالثة ، 2006 أنظر أيضا www.giovannitonzig.it ، المستشهد به في الصفحات , 120 , 15 218 , 323 & 528

3. عرض لخدع الحركة يمكن أن يوجد في موقع إنترنت ممتاز www.michaelbach.de/ot . شكل وهم الحركة المعقدة يوجد في www.michaelbach.de/ot/mot_rotsnake/index.html وهو شكل مختلف قليلا عن الأصلي لكيتاوكا أكي يوشي في www.ritsumei-ac.jp/~akitaoka-rotsnake.gif

المنشور بالشكل A. KITAOKA & H. ASHIDA المميزات الظواهرية للوهم الانزياحي المحيطي ، Vision 15 ، صفحة 262- 261 ، 2003 . الخدعة الشائعة هي الإدعاء أن الوهم ناتج عن أو يعتمد على الإجهاد . مستشهد به في الصفحة 16 .

4. هذه و الخدع الأخرى الرائعة أيضا توجد في AKIYOSHI KITAOKA ، عيون الخدعة ، Barnes & Noble , 2005 مستشهد به صفحة 16 .

5. المبدأ المعروف جيدا في العلوم الاجتماعية ، يطرح سؤالا من أجل كل جواب ، لكن يمكن أن يبدو غريبا ، هناك شخص ما – وغالبا مجموعة – التي تحمل هذا الرأي . على المرء أن يبحث في المراجع (أو الإنترنت) للتأكد من هذا .

حول سلوك المجموعة بشكل عام ، أنظر R. AXELROD ، تطور التعاون ، 1984 , Harper Collins . انتشار و قبول الأفكار ، مثل تلك الموجودة في الفيزياء ، هي أيضا مثال على التعاون البشري ، مع كل أخطارها الممكنة و ضعفها . مستشهد به صفحة 16 .

6. كل الكتب المعروفة لـ Parmendias & Heraclitus يمكن أن توجد في JEAN –PAUL DUMONT ، المدارس ما قبل سقراط ، 1988 , Folio – Gallimard . الآراء حول عدم وجود الحركة أيضا طرحت أيضا من قبل الكثير من المؤلفين المحدثين و الأكثر ازدراء مثل في 1710 من قبل Berkley . مستشهد به صفحة 17 . (المجلد III ، صفحة 251) .

7. مثال على الناس القلقين من قبل Zeno معطى من قبل WILLIAM MCLAUGHLIN ، يقوم بتفنيد تناقضات Zeno ، العلوم الأمريكية صفحة 71-66 ، تشرين الثاني 1994 . الحجة الفعلية لم تكن حول صفع الوجه باليد ، ولكن عن السهم الذي يضرب الهدف . أنظر أيضا المرجع 65 . المستشهد به في الصفحة 17 .

8. النص الكامل لكتاب الجمال و أشعار أخرى من أزهار الألم و احد من أرقى الكتب في الشعر الذي كتب قط ، يمكن أن يوجد في hypermedia.univ-paris8.fr/bibliotheque/Baudelaire/Spleen.html . استشهد به في الصفحة 18 .

9. المجموعة الشهيرة لأمثلة ممتعة للحركة في الحياة اليومية هو الكتاب الممتاز لـ JEARL WALKER ، السيرك الطائر للفيزياء ، 1975 . و موقعه على الإنترنت www.flyingcircusofphysics.com . الكتاب الجميل الآخر هو لـ CHRISTIAN UCKE & H. JOACHIM SCHLICHTING ، اللعب ، الفيزياء و المرح – الفيزياء في التفكير و العمل الجماعي ، مائة و خمسين أحجية فيزيائية ، مطبعة إرنست كليت ، 1985 . الكتاب أيضا يغطي العديد من أحجيات الساعة ، في الألغاز من 128 – 126 ؟ مستشهد به في الصفحة 19 .

10. مقدمة مفصلة و مستوفية في تاريخ الفيزياء الكلاسيكية معطاة في أول فصل من كتاب FLOYD KARKER RICHTMYER , EARLE HESSE KENNARD & JOHN N. COOPER ، مقدمة للفيزياء الحديثة ، ماكجروهيل 1969 ، مستشهد به في الصفحة 19 .

11. مقدمة إلى أبحاث الملاحظة / الإدراك هو لـ E BRUCE GOLDSTEIN كتب الملاحظة / كول ، الطبعة الخامسة ، 1998 ، مستشهد به في الصفحتين 26 & 21 .

12. مراجعة جيدة للحجج المستخدمة لإثبات وجود الله من الحركة معطاة من قبل MICHAEL BUCKLEY ، الحركة و حركة الله ، مطبعة جامعة برنستون 197 . شدة المعارك الناشبة حول هذه المحاولات الفاشلة هي أحد الفصول التراجيدية و الهزلية في التاريخ ، مستشهد به في الصفحة 21 .

13. THOMAS AQUINAS ، مجموعة علوم الدين أو مجموعة العلوم اللاهوتية ، 1265-1273 ، متوفر على الإنترنت باللاتينية في www.newandent.org/summa و باللغة الإنجليزية وعلى مخدمات عديدة أخرى . مستشهد به في الصفحة 21 .

14. لدراسة الحركات الداخلية أنظر الكتاب الجميل لـ RICHARD SCHWARTZ ، علاج جمل العائلات الداخلية . مطبعة جيلفورد ، 1995 ، استشهد به في الصفحة 21 .

15. من أجل وصف معتمد لتطور الحركة الصحيح في الأطفال و حول كيفية بناء شخصية صحية أنظر EMMI PIKLER ، اسمح لي بوقت – تطور الحركة الذاتية للأطفال حتى تمكنهم من المشي ، مطبعة بفلاوم ، 2001 و كتب أخرى . أنظر أيضا الموقع www.pikler.org . استشهد به في الصفحة 21 .

16. أنظر مثلا الكتاب الرائع لـ DAVID G. CHANDLER ، حملات نابليون – الفكر و طريقة الجندي الأعظم في التاريخ ، ماكميلان ، 1966 . استشهد به في الصفحة 21 .

17. RICHARD MARCUS ، الروليت الأمريكي ، مطبعة سان مارتين ، 2003، رواية مرعبة و قصة حقيقية مستشهد بها في الصفحة 21 .

18. الكتاب الجيد و المرح حول تغير السلوك هو الكتاب المعروف جيدا لـ RICHARD BANDLER ، استخدم دماغك للتغيير ، مطبعة ريل بيبل ، 1985 . أنظر أيضا RICHARD BANDLER & JOHN GRINDER ، من ضفادع إلى أمراء – البرمجة اللغوية العصبية ، إصدارات إيدن جروف ، 1990 ، مستشهد به في الصفحة 32 & 21 .

19. الكتاب الجميل حول آليات النمو البشري من الخلية الأصلية إلى الحجم الكامل لـ LEWIS WOLPERT انتصار الجنين ، مطبعة جامعة أوكسفورد ، 1991 . مستشهد به في الصفحة 21 .

20. حول موضوع الرشاقة و التوازن أنظر مثلا كتب حول تقنية ألكساندر مثل M. GELB ، تعلم الجسم – مقدمة لتقنية ألكساندر ، مطبعة أورم 1981 و RICHRAD BRENNAN مقدمة إلى تقنية ألكساندر ، ليتل براون وشركاه ، 1996 من ضمن آخرين ، فكرة تقنية ألكساندر هي إعادة الوضعية التي فيها مجموعات العضلات للاستناد و تلك التي للحركة هي مستخدمة فقط من أجل وظيفتها الخاصة ، و ليس العكس بالعكس . أي توتر عضلة غير لازم مثل صلابة / تيبس الرقبة هو تضييع للطاقة بسبب استخدام عضلات الاستناد من أجل الحركة و عضلات الحركة من أجل الاستناد . التقنية تعلم الطريقة للعودة إلى الاستخدام الطبيعي للعضلات .

حركة الحيوانات نوقشت بشكل واسع في القرن السابع عشر من قبل G.BORELLI حركة الحيوان ، 1680 . المثال على الطريقة الأحدث هي J.J.COLLINS & I. STEWART مشية سداسيات الأرجل و النماذج المذبذبة غير الخطية المقترنة ، السيبيرنتيك البيولوجي 68 ، صفحة 287-298 ، 1993 ، أنظر أيضا I. STEWART & M.GOLUBITSKY التناظر المخيف ، بلاكويل ، 1992 . مستشهد به في الصفحة 121 & 23

21. النتائج حول تطور الأطفال مذكورة هنا و فيما يلي سيتم استنتاجها بشكل أساسي من الدراسات التي بدأها جان بياجيه ، لمزيد من التفاصيل حول تطور الطفل أنظر لاحقا . (المجلد III ، صفحة 186)

في www.piaget.org يمكنك أن تجد موقع إنترنت يديره جمعية جان بياجيه . مستشهد به في الصفحة , 24 . 40 & 42

22. دماغ الزاحف (كل ؟اهرب ؟ تجاهل ؟) أيضا يعرف بمركب R يتضمن جذع الدماغ ، المخ ، العقد القاعدية و المهاد ، دماغ الثديي القديم (الانفعالات) أيضا يعرف بالجهاز الحوفي يحتوي اللوزة ، الوطاء و الحصين ، الدماغ البشري (و الرئيسيات) (العقلاني / المفكر) يدعى بالقشرة العصبية ، يتألف من المادة الرمادية الشهيرة . من أجل صور الدماغ ،أنظر الأطلس لـ JOHN NOLTE , 1999 . مستشهد به في الصفحة . 25

23. الفيلم في الزاوية اليسرى السفلى يمكن نسخه على حاسب بعد طباعة السطور التالية لمجموعة برمجيات Mathematica : مستشهد به في الصفحة 26 .

```
    « Graphics'Animation'
Nxpixels=72; Nypixels=54; Nframes=Nxpixels 4/3;
Nxwind=Round[Nxpixels/4]; Nywind=Round[Nypixels/3];
front=Table[Round[Random[]],{y,1,Nypixels},{x,1,Nxpixels}];
back =Table[Round[Random[]],{y,1,Nypixels},{x,1,Nxpixels}];
frame=Table[front,{nf,1,Nframes}];
Do[ If[ x>n-Nxwind && x<n && y>Nywind && y<2Nywind,
  frame[[n,y,x]]=back[[y,x-n]] ],
      {x,1,Nxpixels}, {y,1,Nypixels}, {n,1,Nframes}];
film=Table[ListDensityPlot[frame[[nf]], Mesh-> False,
  Frame-> False, AspectRatio-> N[Nypixels/Nxpixels],
  DisplayFunction-> Identity],    {nf,1,Nframes}]
ShowAnimation[film]
```

لكن نظام توجيه الحركة لدينا هو أقوى بكثير من المثال المبين في الزوايا اليسرى السفلية . فيما يلي فيلم مختلف يبين هذه النقطة .

```
    « Graphics'Animation'
Nxpixels=72; Nypixels=54; Nframes=Nxpixels 4/3;
Nxwind=Round[Nxpixels/4]; Nywind=Round[Nypixels/3];
front=Table[Round[Random[]],{y,1,Nypixels},{x,1,Nxpixels}];
back =Table[Round[Random[]],{y,1,Nypixels},{x,1,Nxpixels}];
frame=Table[front,{nf,1,Nframes}];
Do[ If[ x>n-Nxwind && x<n && y>Nywind && y<2Nywind,
  frame[[n,y,x]]=back[[y,x]] ],
     {x,1,Nxpixels}, {y,1,Nypixels}, {n,1,Nframes}];
film=Table[ListDensityPlot[frame[[nf]], Mesh-> False,
  Frame-> False, AspectRatio-> N[Nypixels/Nxpixels],
  DisplayFunction-> Identity],    {nf,1,Nframes}]
ShowAnimation[film]
```

التجارب المشابهة مثل استخدام نماذج عشوائية متغيرة تبين أن العين تتصور الحركة حتى في حالات يكون فيها كل مركبات فوريه للصورة صفر عمليا ، مثل هذه الحركة للصورة تسمى الحركة المتوازنة بالانزياح أو حركة غير خاصة بفوريه . العديد من الأمثلة واردة في J. ZANKER ، نمذجة تصور / إدراك الحركة البشرية I : المنبهات الكلاسيكية ، العلوم الطبيعية 81 ، صفحة 156-163 ، 1994 . و J. ZANKER ، نمذجة تصور / إدراك الحركة البشرية II : وراء منبهات حركة فوريه ، العلوم الطبيعية 81 ، صفحة 200-209 ، 1994 . الأبحاث الحديثة ساعدت في إيجاد البنى العصبونية المقابلة كما هو مبين في S.A.BACCUS , B.P.OLVECZKY , M. MANU & M. MEISTER ، دراة شبكية التي تحسب حركة الأجسام ، مجلة العلوم العصبية 28 ، صفحة 6807-6817 ، 2008 .

24. كل الأجزاء من هيراكليتوس هي من JOHN MANSLEZ ROBINSON مقدمة إلى الفلسفة اليونانية المبكرة ، هوجتون موفين 1968 ، الفصل 5 ، مستشهد به في الصفحة 27 .

25. على البلوك و الونش ، أنظر الشروحات من قبل دونالد سيمانيك في http://www.lhup.edu/~dsimanek/TTT-fool/fool.htm . مستشهد به في الصفحة مستشهد به في الصفحة 31

26. العرض لهذه الألغاز الجميلة يوجد في E.D.DEMAINE , M.L.DEMAINE , Y.N.MINSKI , J.S.B.MITCHELL , R.L.RIVEST & M.PATRASCU ألغاز تعليق الصور ، طبعة أولية في arxiv.org/abs/1203.3602 .

27. مقدمة إلى نيوتن الخيميائي هي الكتب لـ BETTY JO TEETER DOBBS ، أسس خيمياء نيوتن ، مطبعة جامعة كامبريدج ، 1983 ، و وجه الإله جانوس للعبقري ، مطبعة جامعة كامبريدج ، 1992 . وجد بأن نيوتن هو نوع الساحر المفكر ، الذي يبحث بشكل مغرق عن أمثلة العمليات حيث تتفاعل الآلهة مع العالم المادي . القصة التراجيدية و لكن الانفعالية . إن المراجعة الجيدة مقدمة من قبل R.G.KESSING مراجعة مقالة : خيمياء نيوتن ، الفيزياء المعاصرة 36 ، صفحة 117-119 ، 1995 .

إن اعتقاد نيوتن الديني عند الولادة ، يتميز بذلك العائد للباحثين عن الإله الذين كبروا بدون أب ، يمكن أن يوجد في العديد من الكتب التي تلخص تبادل الرسائل بين كلارك سكرتيره ، و لايبنتيز ، منافس نيوتن في الشهرة .مستشهد به في الصفحة 34 .

28. مقدمة لقصة الميكانيك الكلاسيكي التي تدمر بعض الأساطير المحيطة به – مثل فكرة أن نيوتن يمكن أن يحل معادلات تفاضلية أو أنه أوجد العلاقة F = ma هذه معطاة من قبل CLIFFORD A. TRUEDELLI ، مقالات في تاريخ الميكانيك ، سبرينجر ، 1968 . مستشهد به في الصفحات مستشهد به في الصفحات 227 & 178, 34

29. إن بطء السرعة الفعالة للضوء داخل الشمس هو ناتج عن التشتت المتكرر للفوتونات بفعل المادة الشمسية . أفضل تقدير لقيمتها هو من قبل R. MITLAS & K.R.SILLS حول مقياس زمن انتشار الفوتون للشمس . المجلة الفلكية 401 ، صفحة 759-760 ، 1992 . هم يعطون السرعة المتوسطة البالغة 0.97 cm/s خلال كل الشمس و قيمة تبلغ حوالي عشر مرات أصغر في مركزها . مستشهد به في الصفحة 36 .

30. C.LIU, Z.DUTTON , C.H.BEHROOZI & L.VESTERGAARD HAU مراقبة تخزين المعلومات الضوئية المتماسكة في وسط ذري باستخدام نبضات ضوء مثبتة ، الطبيعة 409 ، صفحة 493-490 ، 2001 . هناك أيضا تعليق على البحث من قبل E.A.CORNELL ، إيقاف الضوء في مساره ، 409 صفحة 462-461 ، 2001 . لكن بالرغم من المقولة ، فإن نبضات الضوء بالطبع لم يتم تثبيتها . هل يمكنك أن تعطي على الأقل سببين بدون حتى قراءة البحث ، و ريما سبب ثالث بعد قراءته ؟ (تحدي 741s) .

العمل كان تحسينا لتجربة سابقة حيث سرعة المجموعة للضوء البالغة 17 m/s الذي تم تحقيقه ، في غاز فائق البرودة لذرات الصوديوم في درجات حرارة نانو كالفين . هذا سجل من قبل L.VESTERGAARD HAU , S.E.HARRIS , Z.DUTTON & C.H.BEHROOZI تخفيض سرعة الضوء إلى 17 متر بالثانية في غاز ذري فائق البرودة ، الطبيعة 397 ، صفحة 598-594 ، 1999 . مستشهد به في الصفحة 36 .

31. RAINER FLINDT البيولوجيا في أرقام – مجموعة بيانات في جداول لأكثر من عشرة آلاف قيمة أساسية ، مطبعة الطيف الأكاديمي ، 2000 . مستشهد به في الصفحة 36 .

32. نفاثتين تم مراقبة سرعتهما من قبل I. F. MIRABEL & L.E. RODRIGUEZ مصدر ضوئي فائق في المجرة ، الطبيعة 371 ، صفحة 48-46 ، 1994 . مستشهد به في الصفحة 36 .

33. مقدمة جميلة لأخفض الحركات في الطبيعة ، التغيرات في المشهد الطبيعي ، لـ DETLEV BUSCHE , JÜRGEN KEMPF 7& INGRID STENGEL ، تشكيل الأرض في أطلس الكرة الأرضية للجيولوجيا الموفولوجية ، مطبقة بريموس ، 2005 ، مستشهد به صفحة 37

34. لبناء قرصك الشمس أنظر الكتاب الجميل و القصير لـ ARNOLD ZENKERT ، الساعة الشمسية الرائعة ، مطبعة VEB التقنية ،1984 . أنظر أيضا المقدمة الممتازة و الكاملة في هذا العالم الغريب بعض الشيء في www.sundials.co.uk . مستشهد به في الصفحة 42

35. مقدمة عن الإحساس بالزمن كنتيجة للساعات في الدماغ توجد في R.B.IVRY & R.SPENCER التمثيل العصبوني للزمن ، الرأي الجديد في البيولوجيا العصبية 14، صفحة 232-225 ، 2004 . الساعات الكيماوية في جسمنا موصوفة في JOHN D.PALMER . الساعة الحية ، مطبعة جامعة أكسفورد أو في A.AHLGREN & F. HABERG دورات الطبيعة : مقدمة للإيقاعات البيولوجية ، جمعية مدرسي العلوم الوطنيين ، 1990 . أنظر أيضا www.msi.umn.edu/~haberg/introd . مستشهد به في الصفحة 43

36. هذا أظهر من بين أشياء أخرى في عمل Anna Wierbicka التي ستناقش بمزيد من التفصيل في المجلدات القادمة (المجلد III ، صفحة 207) . الكتاب الأفضل مبيعا الرائع من قبل المؤلف التشومسكي ستيفن بينكر ، لغة الغريزة – كيف يخلق العقل اللغة، حوليات هاربر ، 1994 أيضا يناقش القضايا المتعلقة بهذا الموضوع ، و يدحض من بين ما يدحضه في الصفحة 63 العبارة الخاطئة التي تكرر غالبا أن لغة الهوبي هي استثناء . مستشهد به في الصفحة 43 .

37. لمزيد من المعلومات أنظر الكتب الممتازة و المجانبية حول الساعات البيولوجية لولفجانج إنجلمان في الموقع www.uni-tubingen.de/plantphys/bioclox . مستشهد به في الصفحة 44 .

38. B.GÜNTHER & E. MORGADO ، التقييس المتفاوت النمو للإيقاعات البيولوجية ، الأبحاث البيولوجية ، الأبحاث البيولوجية 38 ، صفحة 212-207 ، 2005 . مستشهد به في الصفحة 44 .

39. رفض أرسطو فكرة تدفق الزمن في الفصل الرابع من كتابه الفيزياء ، أنظر النص الكامل في classics.mit.edu/Aristotle/ physics.4.iv.html . مستشهد به في الصفحة 48 .

40. ربما الكتب الأكثر معلوماتية حول " سهم الزمن " في HANS DIETER ZEH ، الأساس الفيزيائي لاتجاه الزمن ، مطبعة سبرينجر ، الإصدار الرابع ، 2001 . و ما يزال أفضل كتاب في هذا الموضوع . أكثر الكتب الأخرى الموجودة – أنظر في الإنترنت – لكن ينقصها وضوح الأفكار .

أعمال المؤتمر النوعية هي J.J.HALLIWELL , J. PEREZ-MERCADER & WOJCIECH H. ZUREK الأصول الفيزيائية لعدم تناظر الزمن ، مطبعة جامعة كامبريدج ، 1994 ، مستشهد به في الصفحة 49

41. حول قضية الحركة المطلقة و النسبية هناك العديد من الكتب ولكن القليل من القضايا . الأمثلة هي JULIAN BARBOUR ، الحركة المطلقة أو النسبية ؟ المجلد 1 : دراسة من وجهة النظر الماكينية للاكتشاف و بنية نظريات الفراغ الزمن ، مطبعة جامعة كامبريدج ، 1989 ، JULIAN BARBOUR ، الحركة المطلقة أو النسبية ؟ المجلد 2 : البنية العميقة للنسبية العامة ، ، مطبعة جامعة أوكسفورد ، 2005 ، أو JOHN ERMAN ، العالم الكافي و الفراغ الزمن : النظريات المطلقة و النسبية للفراغ الزمن ، مطبعة MIT ، 1989 . الحل التأملي حول البديل بين الحركة المطلقة و النسبية مطروحة في المجلد VI ، مستشهد به في الصفحة 52 (المجلد VI ، صفحة 64)

42. خطوط الساحل و الفراكتالات الأخرى مقدمة بشكل جميل في HEINZ – OTTO PEITGEN , HARTMUT JÜRGEN & DIETMAR SAUPE ، الفراكتالات من أجل الدراسة الصفية ، مطبعة سبرينجر ، 1992 ، صفحة 232-245 . أيضا متوفر في العديد من اللغات الأخرى . مستشهد به في الصفحة 54

43. R.DOUGHERY & M. FORMAN ، تحليلات باناخ – تارسكي باستخدام مجموعات ذات خاصة بير ، مجلة الجمعية الرياضية الأمريكية 7 ، صفحة 75-124 ، 1994 . أنظر أيضا ALAN L.T.PATERSON ، التبعة / المسؤولية ، الرياضي الذكي 10 ، صفحة 21-28 ، 1998 . أخيرا هناك كتب لـ BERNARD R. GELBMAN & JOHN M.H.OLMSTED أمثلة معاكسة في التحليل ، هولدن – داي ، و نظرياتهم و الأمثلة المعاكسة في الرياضيات ، سبرينجر ، 1993 ، مستشهد به في الصفحة 57

44. الكتاب الجميل و لكن السهل هو STAN WAGON ، تناقضة باناخ تارسكي ، مطبعة جامعة كامبريدج ، 1993 . مستشهد به في الصفحة 476 & 58

45. حول أشكال بكتريا ماء الملح ، أنظر الفقرة المقابلة في الكتاب الممتع لـ BERNARD DIXON ، القوة غير المنظورة – كيف تحكم الميكروبات العالم ، W.H.Freeman ، 1994 . الكتاب هو حوالي ثمانين فقرة ، التي تقدم فيها العديد من الأحياء الدقيقة بشكل حيوي . مستشهد به في الصفحة 59

46. OLAF MEDENENBACH & HARRY WILK ، العالم السحري للمعادن ، إصدار سيجلوش ، 1977 .هو يجمع بين الصور الجميلة مع مقدمة لعلم البلورات ، المعادن و الأحجار . حول البلورات الأكبر أنظر P.C.RICKWOOD ، البلورات الأكبر 66،صفحة 885-908 ، 1981 ، أيضا متوفر على www.minsocam.org/MSA/collectors_corner/arc/large_crystals.htm . من أجل مثال معبر ، كهف نايكا في المكسيك أنظر www.naica.com.mx/ingles/index.htm . مستشهد به في الصفحة 59 .

47. أنظر مواقع الإنترنت www.weltbildfrage.de/3frame.htm و www.lhup.edu/~dsimanek/hollow/morrow.htm . مستشهد به في الصفحة 60 .

48. أصغر المسافات تقاس في مسرعات الجسيمات ، المسافة يمكن تحديدها من طاقة حزمة الجسيمات . في عام 1996 فإن القيمة البالغة 10^{-19} m (من أجل الحد الأعلى لحجم الكواركات) أخذت من التجارب الموصوفة في F.ABE & al. ، قياس توزعات ديجيت الزاوية بواسطة كاشف الاصطدام في مخبر فيرمي ، رسائل المراجعة الفيزيائية 77 ، صفحة 5336-5341 ، 1996 ، مستشهد به في الصفحة 66 .

49. المزيد حول وهم / انخذاع القمر يمكن أن يوجد في الموقع science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2008/16jun_moonillusion/ . كل أعمال بطليموس توجد على الإنترنت في www.ptolemaeus.badw.de . مستشهد به في الصفحة 69 .

50. هذه الألغاز مأخوذة من مجموعة الألغاز في www.mathematische-bastelein.de . مستشهد به في الصفحة 70 .

51. ALEXANDER K. DEWDNEY ، تماس الكون المسطح – الحاسب ذو العالم ببعدين ، كتب بوسيديون / سايمون و شوستر ، 1984 . أنظر أيضا EDWIN A. ABBOTT الأرض المسطحة : رومانسية الأبعاد العديدة ، 1984 . العديد من مؤلفي الخيال قد بحثوا في خيار الكون ذو البعدين قبل ذلك ، ودائما أجابوا بشكل غير صحيح بالإيجاب . مستشهد به في الصفحة 71 .

52. J. BOHR & K. OLSEN ، الفن القديم لوضع حبل ، طبعة أولية في arxiv.org/abs/1004.0841 مستشهد به في الصفحة 71 .

53. من أجل عرض و مراجع أنظر www.pbrc.hawaii.edu/~petra/animal_olypians.html ، مستشهد به في الصفحة 72 .

54. P. PIERANSKI , S.PRZYBYL & A.STASIAK ، عقد مفتوحة قوية ، المجلة الفيزيائية الأوربية E6 ، صفحة 123-128 ، 2001 ، طبعة أولية arxiv.org/abs/physics/0103016 . مستشهد به في الصفحة 73

55. في عالم الأعمال النارية ، أنظر قائمة الأسئلة المتكررة لمجموعة اليوزنيت rec.pyrotehnics ، العلوم الأمريكية صفحة 73-66 ، تموز 1990 . مستشهد به في الصفحة 75 .

56. هناك قصة كاملة خلف التغيرات في g . يمكن أن تكتشف في CHUJI TSUBOI ، الجاذبية ، ألين و أورين ، 1979 ، أو في WOLFGANG TORGE ، قياس الجاذبية ، دو جرويته 1989 ، أو في MILAN BURSA & KAREL PEC حقل الجاذبية و ديناميك الأرض ، سبرينجر 1993 . تغير ارتفاع التربة إلى حتى 0.3 m بسبب القمر هو أحد التأثيرات الممتعة لهذه الدراسات . مستشهد به في الصفحة 197 & 76 .

57. STILMAN DRAKE ، غاليليلو : مقدمة قصيرة جدا . مطبعة جامعة أكسفورد ، 2001، مستشهد به في الصفحة 76

58. ANDREA FROVA الفيزياء تحت الأنف – 44 قطع سهلة ، المكتبة العامة ريتزولي ، ميلانو ، 2001 . مستشهد به في الصفحة 77

59. من نواحي أخرى ، العلوم الأخرى تتمتع بدراسة المسارات المعتادة بكل التفاصيل . أنظر مثلا HEINI HEDIGER ، محرر ، شوارع الحيوانات ، فيفيج و ولده ، 1967 . مستشهد به في الصفحة 77

60. H. K. ERIKSEN , J.R. KRISTIANSEN , Ø. LANGANGEN & I.K. WEHUS كم السرعة يسبر بها ضربة برق الأوسية ؟ دراسة ديناميكية ، المجلة الأمريكية للفيزياء 77، صفحة 224-228 ، 2009 . مستشهد به في الصفحة 78 .

61. هذا نوقش في جريدة فرانكفورت العامة ، الثاني من آب 1997 ، وقت بطولة الرياضة العالمية . القيم هي من أجل أسرع جزء من سابق العدو 100m ، القيم الدقيقة سميت الأرقام القياسية العالمية لسرعة الجري في 1997 / و أعطيت بالشكل 43.372 km/h = 12.048 m/s من قبل بين جونسون للرجال و = 10.99 m/s 39.56 km/h للنساء . استشهد به في الصفحة 78 .

62. بيانات القفز الطويل و المراجع يمكن أن توجد في ثلاث مقالات كلها معنونة : هل القافز الطويل الجيد هو قافز عالي جيد ؟ في المجلة الأمريكية للفيزياء 69 ، صفحة 105-104 ، 2001 . بشكل خاص القافزين على مستوى العالم في المجال الطويل يجرون بسرعة 9.35 ± 0.15 m/s بسرعات انطلاق شاقولية تبلغ 3.35±0.15 m/s مما يعطي زوايا انطلاق (فقط 9 عشرين درجة . التقنية الجديدة لتحقيق زوايا انطلاق أعلى ستسمح للرقم القياسي العالمي للقفز الطويل بأن يزداد بشكل كبير . مستشهد به في الصفحة 78 .

63. دراسة البراز المطلق و آلياته هي جزء من البيولوجيا الحديثة . السبب هو أن اليساريع التي تقوم بهذا حددت من قبل M. WEISS ، النظافة الجيدة : لماذا مأوى مسكن اليساريع تطرح برازها ؟ رسائل بيئية 6 ، صفحة 370-361 ، 2003 الذي أيضا يعطي رقم قياسي حالي البالغ 1.5 m لحبات زنة 24 mg لنوع Epargyreus clarus . صورة الروث المتطاير هي من S. CAVENEY , H. MCLEAN & D. SURRY إطلاق البراز في يسروع قافز هو مقاد بالضغط . مجلة البيولوجيا التجريبية 201 ، صفحة 133 – 121 ، 1998 . مستشهد به في الصفحة 79 .

64. H.C.BENNET – CLARK تأثيرات المقياس في الحيوانات التي تقفز ، صفحة 201-185 في T.J.PEDLEY محرر ، تأثيرات المقياس في حركة الحيوانات ، أكادميك برس ، 1977 . مستشهد به في الصفحة 79

65. مقولات زينو يمكن أن توجد في أرسطو ، الفيزياء ، المجلد 9 ، يمكن أن توجد مترجمة لأي لغة تقريبا . موقع classics.mit.edu/Aristotle/physics.6.vi.html يعطي نسخة على الإنترنت بالإنجليزية . مستشهد به في الصفحة 520 & 83 .

66. أنظر مثلا K. V. KUMAR & W.T.NORFLEET قضايا سماحية التسارع البشري بعد رحلات الفضاء الطويلة ، مذكرة ناسا الفنية 104753 ، صفحة 55-1 ، 1999 . متوفر في ntrs.nasa.gov مستشهد به في الصفحة 85 .

67. علم المعاني يمكن أن يكون موضوعا رائعا مثلا عندما اكتشف البحث أصل الكلمة الألمانية Weib (امرأة مرتبطة بالإنجليزية بكلمة wife) وقد اكتشف عن طريق بضع نصوص في التوكارية – لغة هندو أوربية منقرضة من منطقة داخل الصين الحديثة – أنها تعني أصلا " عار " وقد استخدمت من أجل المنطقة التناسلية للأنثى في تعبير يعني " مكان العار " . مع الزمن أصبح التعبير يعني النساء بشكل عام ، بينما اختصر للمصطلح الثاني فقط . وهذا الارتباط اكتشف من قبل عالم اللغويات KLAUS T. SCHMIDT و هو يشرح طريقة خاصة لماذا ليست الكلمة مؤنثة بل حيادية أي لماذا تستخدم أداة 'das ' بدلا من 'die ' . جوليا سيمون ، اتصال خاص .

علم المعاني يمكن أيضا أن يكون بسيطا و متعة سهلة ، مثلا عندما يكتشف المرء في قاموس أوكسفور الإنجليزي أن " شهادة " و " خصية " لهاما نفس الأصل في الحقيقة في اللاتينية نفس الكلمة 'testis ' تستخدم لكلا المعنيين . مستشهد به في الصفحة 101 & 86 .

68 – عرض لآخر التطورات معطى من قبل J.T.ARMSTRONG , D.J.HUNTER, K.J.IHONSON & D. MOZURKEWICH ، القياس التداخلي البصري للنجوم في 1990s ، الفيزياء اليوم ، صفحة 49-42 . أكثر من 100 قطر نجمي معروفة اليوم في 1995 . العديد من الأدوات القوية تم التخطيط لها . مستشهد به في الصفحة 88

69 - كتاب البيولوجيا الجيد حلو النمو ARTHUR F. HOPPER & NATHAN H. HART أسس التطور الحيواني ، مطبعة جامعة أكسفورد ، 2006 ، مستشهد به في الصفحة 89 .

70- هذا مناقش كمثال في C.L.STONG العالم الهاوي – كيفية تغذية الطاقة الكهربائية لشيء يدور ، العلوم الأمريكية ، صفحة 120-125 ،كانون الأول 1975 . أيضا يناقش كيفية صنع صورة ساكنة من شيء يدور ببساطة باستخدام بضع مواشير ، هذا ما يعرف بمواشير دوف . الأمثلة الأخرى لربط شيء ما لجسم دوار معطاة من قبل E. RIFFLIN ، بعض الآليات المرتبطة بخيوط ديراك ، المجلة الأمريكية للفيزياء 47 ، صفحة ، صفحة 381- 379 ، 1979 . مستشهد به في الصفحة 89 .

71- JAMES A . YOUNG ، العشب الطيار هو في الحقيقة نادر تماما ، ما عدا في أفلام الغرب الأمريكية حيث كل المخرجين يشعرون بأنهم ملزمين بإعطاء شكل خاص . مستشهد به في الصفحة 90 .

72- الكتاب الكلاسيكي حول الموضوع هو لـ JAMES GRAY تحرك الحيوان ، فايدنفيلد و نيكلوسون 1968 ، مستشهد به في الصفحة 90

73- حول N. decemspinosa أنظر R.L.CALDWELL ، شكل فريد للحركة في فمويات الأرجل – الشقلبة للخلق ، الطبيعة 282 ، صفحة 73-71 ، 1979 و R. FULL , K.EARLS , M.WONG & R. CLADWELL الحركة مثل دولاب ؟ الطبيعة 365 ، صفحة 495 ، 1993 . حول اليساريع المتدحرجة ،أنظر J.BRACKENBURY ، كينماتيك اليساريع

الطبيعة 330 ، صفحة 453 ، 1997 ، و J.BRACKENBURY الحركة السريعة في اليساريع ، مجلة فيزيولوجيا الحشرات 45 ، صفحة 533 -525 ، 1999 . مزيد من الصور حول الأرجل يمكن أن توجد في rjf9.biol.berkeley.edu/twiki/bin/view/PolyPEDAL/LabPhotographs . مستشهد به في الصفحة 90

74 – تحرك العناكب من أنواع Cebrennus villosus قد وصفت من قبل Ingo Rechenberg من برلين . أنظر الفيديو في www.youtube.com/watch?v=Aayb_h31RyQ . مستشهد به في الصفحة 90 .

75 – أول التجارب تثبت دوران السياط كانت من قبل M. SILVERMAN & M.I.SIMON ، دوران السياط و آلية الحركة البكتيرية ، الطبيعة 249 ، صفحة 74-73 ، 1974 . من أجل بعض الصور الجميلة للجزيئات الموجودة أنظر NAMBA , الآلة البيولوجية الجزيئية : المحرك السوطي البكتيري و الفتيلة / الخيط ، وير 168 ، صفحة 193-189 ، 1993 ، أو الموقع www.nanonet.go.jp/english/ mailmag/2004/011a.html . الرقم القياسي العالمي الحالي لسرعة الدوران هو 1700 دورة بالثانية مسجل من قبل Y. MAGARIYAMA , S. SUGIYAMA , K. MURAMOTO , Y. MAKEKAWA , I. KAWAGISHI , Y.IMAE & S. KUDO دوران السياط السريع جدا ، الطبيعة 371 ، صفحة 752 ، 1994 .

المزيد عن البكتريا يمكن تعلمه من DAVID DUSENBERY ، الحياة على المستوى الصغير ، المكتبة العلمية الأمريكية 1996 . مستشهد به في الصفحة 92

76- S. CHEN & al. التنوع البنيوي لمحركات السياط البكتيرية ،مجلة EMBO ، 30 صفحة 2981-2972 ، 2011 أيضا على الإنترنت emboj.embopress.org/content/30/14/2972 . مستشهد به في الصفحة 92

77 – M.P.BRENNER , S.HILGENFELDT & D. LOHSE ، الإضاءة الصوتية ، مراجع الفيزياء الحديثة 74 ، صفحة 484-425 ، 2002 . مستشهد به في الصفحة 96

78 – K.R.WEININGER , B.P.BARBER & S.J.PUTTERMAN قياسات تشتت مي النبضي لتقوض الفقاعة الصوتية المضيئة ، رسائل المراجعة الفيزيائية 78 ، صفحة 1802-1799 ، 1997 . مستشهد في الصفحة 96 .

79- في الظلال ، أنظر النص الشائع الرائع من قبل ROBERTO CASATI ، اكتشاف الظلال – من أفلاطون إلى غاليليو ، تاريخ اللغز الذي أذهل العقول العظمية للبشرية .

، أوسكار مونادوري 2000 ، و موقعه الواقع www.shadowes .org : مستشهد به في الصفحة 98 .

80- هناك أيضا كتاب جميل لـ PENELOPE FARRANT ، اللون في الطبيعة ، بلاندفورد ، 1997 / مستشهد به في الصفحة 98 .

81- قوانين فيزياء الكرتون يمكن أن توجد بسهولة باستخدام أي محرك بحث على الإنترنت . مستشهد به في الصفحة 98

82 – من أجل عرض فضولي لخدع مستخدمة في السينما و التلفزيون ، التي تؤدي لبعض السلوك الغريب للصور المذكورة أعلاه ، معطى في BERNARD WILKIE تقنية التأثيرات الخاصة في التلفزيون ، مطبعة فوكال ، 1993 و كتبه الأخرى ، أو في مجلة سينفليكس . حول تقنيات السينما الرقمية أنظر PETER C. SLANSKY محرر ، الأفلام الرقمية ، السينما الرقمية ، مطبعة UVK ، 2004 /. مستشهد به في الصفحة 99 .

83- AETIUS آراء ، I , XXIII ، 3 . أنظر JEAN – PAUL DUMONT مدارس ما قبل سقراط ، فوليو إسيس ، غاليمار ، صفحة 426 ، 1991 . مستشهد به في الصفحة 99

84- GUISEPPE FUMAGALLI ، ماذا قال ؟ هويبلي ، 1983 . و هي من بابا الإسكندرية أوبوس سيناجوج ، كتاب VIII ، 19 . مستشهد به في الصفحة 236 & 100

85 – أنظر www.straightdope.com/classics/a5_262.html و الأكثر ريبة en.wikipedia.org/wiki/ Guillotine . مستشهد به في الصفحة 102 .

86 – أنظر بحث مسار التوقف من قبل A. DISESSA تدفق كمية الحركة كتصور بديل في الميكانيك الأولي 48 ، صفحة 365 ، 1980 و A. DISESSA : الأخطاء " تدفق كمية الحركة كتصور بديل في الميكانيك الأولي (المجلة الأمريكية للفيزياء 48 ، صفحة 365 (1980)) . 48 ، صفحة 784 ، 1980 . أيضا الكتاب المجاني الرائع لـ FRIEDRICH HERRMAN ، مقرر فيزياء كارلزوره ، يوضح هذه النقطة بشكل واسع ، أنظر المرجع 2 . مستشهد به في الصفحات 503 & 230 , 227 , 108 .

87 – من أجل دور و كيمياء الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) في الخلايا و في الكائنات الحية أنظر أي كتاب كيمياء ، أو ابحث على الانترنت . إن كسف الآليات حول ATP أعطى جائزة نوبل بالكيمياء في 1978 و في 1997 . مستشهد به 109 .

88 – صورة لهذه الساعة الفريدة يمكن أن توجد في مقالة لـ A. GARRETT ، الحركة الأبدية – الانفعال اللذيذ ، عالم الفيزياء صفحة 26-23 ، كانون الأول 1900 . مستشهد به في الصفحة 110 .

89- ESGER BRUNNER . Het ongelijk von Newton – het kleibakexperiment van's Gravesande nagespeld , Nederland tijdschrift voor natuurkunde صفحة 96-95 ، آذار 2012 . البحث يحتوي صور لطبعات الطين . مستشهد به في الصفحة 111 .

90- دراسة مستوفية تقدر أن استهلاك الطاقة العالمي الكلي في 2000 سيكون 500 EJ . وزارة الطاقة الأمريكية تقدر أن هذا حوالي 416 EJ . و نحن نأخذ القيمة الدنيا هنا . المناقشة و التحليل لاستخدام الكهرباء (14 EJ) و أشكال الطاقة الأخرى مع التغيرات لكل بلد يمكن إيجادها في S. BENKA ، تحدي الطاقة ، الفيزياء اليوم 55 ، صفحة 39-38 ، نيسان 2002 و في E.J. MONTIZ & M.A.KENDERDINE ، تحقيق تحديات الطاقة : التكنولوجيا و السياسة ، الفيزياء اليوم ، صفحة 55 ، صفحة 46-40 ، نيسان 2002 . مستشهد به في الصفحات 114 & 113

91- L.M.MILLER , F.GANS & A.KLEIDON تقدير قابلية استخلاص استطاعة الريح العامة العظمى و السطحية الأرضية و النتائج المناخية المرتبطة بها ، ديناميك الجمل الأرضية 2 ، صفحة 12-1 ، 2011 . مستشهد به في الصفحة 114 .

92- من أجل مراجعة ، أنظر البحث من قبل J.F.MULLIGAN & H.G.HERTZ ، محاضرة غير منشورة من قبل هاينريش هرتز : حول توازن الطاقة للأرض ، المجلة الأمريكية للفيزياء 65 ، صفحة 45-36 ، 1997 . مستشهد في الصفحة 114 .

93- من أجل صورة جميلة لهذا العمل الماكر أنظر غلاف المجلة و المقال لـ J. DARIUS قصة قطة ساقطة ، الطبيعة 308 صفحة 1984, 109 . مستشهد به في الصفحة 120 .

94 – NATTHI L. SHARMA ، ملاحظ جديدة حول حركة الدحرجة ، المجلة الأوربية للفيزياء 17، صفحة 353-356 ، 1996 : مستشهد به على الصفحة 121 .

95 – C. SINGH عندما يفشل الحدس الفيزيائي المجلة الأمريكية للفيزياء 70 ، صفحة 1103-1109 ، 2002 : مستشهد به في الصفحة 121

96 – هناك مراجع كثيرة حول المشي . من بين الكتب حول الموضوع ، فإن المقدمات المعروفة جيدا هي ROBERT MCNEILL ALEXANDER دراسة البيوميكانيك : الحيوانات في الحركة ، المكتبة العلمية الأمريكية ، 1992 ، و STEVEN VOGEL ، البيومكانيك المقارن – عالم الحياة الفيزيائي ، مطبعة جامعة برنستون ، 2003 ، مستشهد به في الصفحة 122

97 – SERGE GRACOVETSKY المحرك الفقاري ، مطبعة سبرينجر ، 1990 . الآن أيضا يعرف بأن المشية البشرية هي عشوائية . هذا مشروح من قبل M. PERC ديناميك المشية البشرية ، المجلة الأمريكية للفيزياء 26 ، صفحة 525-534 ، 2005 . حول فيزياء المشي و الجري ، أنظر أيضا الفصول الموافقة في كتاب رائع لـ WERNER GRUBER ، لا يعقل بشكل بسيط ، بسيط بشكل لا يعقل : الفيزياء اليومية ، Heyne ، 2006 . مستشهد به في الصفحة 122 .

98 – M. LLOBERA & T.J.SLUCKIN ، التحرك بشكل منكسر : تطلعات نظرية حول استراتيجيات التسلق ، مجلة البيولوجيا النظرية 249 ، صفحة 206-217 ، 2007 . مستشهد به في الصفحة 125 .

99- هذا الوصف للحياة و الموت يعرف بمفهوم النظرة الاستقلابية الأعظمية . أنظر التفاصيل في مكتبتك المفضلة . العبارة المختلفة هي التي أعطيت من قبل M. YA.AZBEL ، القياس البيولوجي العام و الأخلاق ، مداولات الأكاديمية الوطنية في الولايات المتحدة الأمريكية 91 ، صفحة 12457 -12453 ، 1994 . هو يشرح أن كل ذرة في الكائن الحي تستهلك في المتوسط عشرين جزيء أكسجين في دورة حياتها . مستشهد به في الصفحة 125 .

100- DUNCAN MACDOUGAL ، فرضية متعلقة بمادة الروح مع الدليل التجريبي على مثل هذه المادة ، الطب الأمريكي 2 ، صفحة 240-243 ، نيسان 1907 و DUNCAN MACDOUGAL ، فرضية متعلقة بمادة الروح مع الدليل التجريبي على مثل هذه المادة ، الطب الأمريكي 2 ، صفحة 395-397 ، نيسان 1907 . قراءة البحثين تبين أن المؤلف لديه القليل من الممارسة في تنفيذ قياسات الوزن و الزمن الموثوقة . مستشهد به في الصفحة 126 .

101 – قصة توقع الروليت الجيدة من 1970s يقصها THOMAS A. BASS ، الفطيرة الإيديومونية أيضا نشر تحت عنوان الكازينو النيوتوني ، أعيدت الطباعة ، 2000 . إن عرضا حتى عام 1998 معطى في بحث EDWARD O.THORP ، اختراع أول حاسب محمول ، مداولات الملتقى الدولي الثاني حول الحواسب المحمولة (ISWC 1998)

19-20 تشرين الأول 1998 ، بيتسبورغ ، بنسلفانيا ، الولايات المتحدة (IEEE جمعية الحاسوب) صفحة 8-4 ، 1998 قابل للتحميل من csdl.computer.org/comp/proceedings/iswc/1998/9074/00/9074toc.htm . مستشهد به في الصفحة 127 .

102 - هذا و العديد من المفاجآت الفيزيائية الأخرى موصوفة في نص محاضرة جميلة من قبل JOSEF ZWECK الفيزياء في الحياة اليومية ، ملاحظات محاضراته أقيمت في 1999/2000 في جامعة ريجينسبورغ . مستشهد به في الصفحة 131 &127 .

103 – توازن السفن ، مهم جدا في معديات السيارات ، وهو جزء ممتع من بناء السفن ، مقدمة عن ذلك أعطيت من قبل LEONHARD EULER ، العلوم البحرية 1749 . مستشهد به في الصفحة 129 .

104- THOMAS HEATH أريستاركوس من ساموس – كوبرنيكوس القديم ، دوفر 1981 أعيد طباعته من الإصدار الأصلي 1913 . معاهدة أريستاركوس معطاة باليونانية و الإنجليزية . كان أريستاركوس أول من مقترح لنظام مركزية

الشمس . و قد قاس أريستاركوس طول اليوم (في الحقيقة بتحديد عدد الأيام بالسنة) إلى إحكام مدهش لأقل من ثانية واحدة . و هذا الكتاب الممتاز أيضا يعطي عرض عن علم الفلك الإغريقي قبل أريستاركوس و مشروح بالتفصيل من أجل كل مفكر يوناني . إن نص أريستاركوس أيضا أعيد طبعه في ARISTARCHUS ، حول الحجوم و مسافات الشمس و القمر تقريبا 280 BCE في MICHAEL J. CROWE ، نظريات من القديم إلى ثورة كوبرنيكوس ، دوفر 1990 ، خاصة في الصفحة 29-27 . مستشهد به في الصفحة 135

105- T. GERKEMA & L. GOSTIAUX ، تاريخ مختصر لقوة كوريوليس ، أخبار الفيزياء الأوربية 43 ، صفحة 14-17 ، 2012 . مستشهد به في الصفحة 138

106- أنظر مثال الفيديوهات حول أثر كوريوليس في techtv.mit.edu/videos/3722 و techtv.mit.edu/videos/3714 أو ابحث عن فيديوهات على youtube.com / مستشهد به في الصفحة 139

107 – تأثير أثر كوريوليس على الجبال الجليدية درس بشكل أكبر من قبل الفيزيائي الذي تحول إلى باحث في المحيطات ولفريد إكمان (ولد في استوكهولم 1874 و توفي في غوستاد 1954) و الموضوع اقترح من قبل المستكشف الكبير Fridtjof Nansen الذي أيضا قام بأول قياسات . و في تقدير له يتحدث المرء عن طبقة إكمان ، نقل إكمان و حلزونات إكمان . أي نص حول علم المحيطات أو الجغرافيا الفيزيائية سيعطي مزيد من التفاصيل حولها . مستشهد به في الصفحة 139 .

108 – عرض لتأثيرات تسارع كوريوليس $a = -2\omega \times v$ في الإطار الدوار معطى من قبل EDWARD A . DESLOGE الميكانيك الكلاسيكي ، المجلد 1 ، جون ويلي و أولاده ، 1982 . حتى ما يعرف بجريان الخليج ، تيار الماء الدافئ المتدفق من الكاريبي إلى بحر الشمال يتأثر بها . مستشهد بها في الصفحة 139

109- المنشور الأصلي هو لـ A.H.SHAPIRO ، دوامة حوض الحمام ، الطبيعة 196 ، صفحة 1081-1080 ، 1962 وقد أنتج أيضا فيلمين عن التجربة . التجربة كررن عدة مرات في نصف الكرة الجنوبي و الشمالي حيث يصرف الماء باتجاه عقارب الساعة ، و أول اختبار في نصف الكرة الجنوبي كان من قبل L.M.TREFETHEN & al. دوامة حوض الحمام في نصف الكرة الجنوبي ، الطبيعة 201 ، صفحة 1085-1084 ، 1965 . قائمة المراجع الكاملة توجد في رسائل للمحرر للمجلة الأمريكية للفيزياء 62 ، صفحة 1994 ,1063 . مستشهد به في الصفحة 140

110 – الخدع مشروحة من قبل H. RICHARD CRANE ، نواس فوكو القصير : طريقة لإزالة التقدم الناتج عن التفلطح ، المجلة الأمريكية للفيزياء 49 ، صفحة 1981 ,1006-1004 . وبشكل خاص في H. RICHARD CRANE ، ساع الحائط لنواس فوكو ، المجلة الأمريكية للفيزياء 62 ، صفحة 1993 ,39-33. أيضا نواس فوكو كان موضوع أطروحة HEIKE KA,ERLING ONNES ، Nieuwe bewijzen der aswenteling der aarde ، جامعة جرونينجن ، مستشهد به في الصفحة 140 .

111- المرجع هو J.G.HAGEN دوران الأرض : ميكانيكها المتوقع القديم و الجديد ، المجلة الفلكية فاتيكانا الثانية . روما 1910 . تجربته نشرت بشكل J.G.HAGEN كيف تبين آلة أتوود دوران الأرض حتى بشكل كمي ، المؤتمر الدولي للرياضيات ، آب 1912 . مستشهد به في الصفحة 141 .

112- الأبحاث الأصلية هي A.H.COMPTON طريقة مخبرية لإظهار دوران الأرض ، العلوم 37 ، صفحة 806-803 A.H.COMPTON 1913 , مراقبة الأرض تدور ، ملحق العلوم الأمريكية رقم 2047 ، صفحة 197-196 ، 1915

و A.H.COMPTON تحديد خط العرض و طول اليوم السمتقل عن المراقبات الفلكية ، مجلة المراجعة الفيزيائية (السلسلة الثانية) 5 ، صفحة 117-109 ، 1915 ، استشهد به في الصفحة 141 .

113- حلقة G في Wettzel هي محكمة بدقة أقل من 10^{-8} التي كشفت حركة القطبين . من أجل التفاصيل أنظر K.U.SCHREIBER , A. VELIKOSELTSEV , M. ROTHMACHER , T. KLUEGEL , G.E. STEADMAN &

D.L.WILTSHIRE القياس المباشر لحركة القطب النهارية بواسطة جيروسكوباتت ليزرية حلقية ، مجلة أبحاث الجيوفيزياء B 109 ، صفحة 06405 ، 2004 ، مراجعة للمقالة في T. KLÜGEL , W. SCHLÜTER , U.CHREIBER & M.SCHNEIDER ،الليزر ذو الحلقة الكبيرة في المراقبة المستمرة لدوران الأرض ، مجلة من أجل طرق القياس 130 ، صفحة 99-108 ، شباط 2005 . استشهد به في الصفحة 142 .

114- R. ANDERSON , H.R.BILGER & G.E.STEDMAN ، تأثير ساغناك : قرن من مقاييس التداخل الدوارة للأرض ، المجلة الأمريكية للفيزياء 62 ، صفحة 975-985 ،1994

أنظر أيضا البحث الواضح و الشامل لـ G.E.STEDMAN اختبارات الليزر الحلقي للفيزياء الساسية و الجيوفيزياء ، تقارير عن التقدم في الفيزياء 60 ، صفحة 688 – 615 ، 1997 . استشهد به في الصفحة 144 .

115- حول طول اليوم ، أنظر الموقع maia.usno.navy.mil أو الكتب لـ K. LAMBECK ، دوران الأرض المتغير : أسباب جيوفيزيائية و نتائج مطبعة جامعة كامبريدج ، 1980 و لـ W.H.MUNK &G.F.MACDONALD دوران الأرض ، مطبعة جامعة كامبريدج ، 1960 . من أجل تجربة الليزر الحلقي الحديثة أنظر www.wettzell.ifag.de . مستشهد بها في الصفحة 200

116- H.BUCKA بحث في محاضرتين بسيطتين في إثبات دوران الأرض ، مجلة الفيزياء 126 ، صفحة 105-98، 1949 و H.BUCKA بحث في محاضرتين بسيطتين في إثبات دوران الأرض ، الجزء الثاني ، مجلة الفيزياء 128 ، صفحة 107-104، 1950 . استشهد بها في الصفحة 145

117 – مثال على البيانات من قبل C.P.SONETT , E.P.KVALE , A.ZAKHARIAN , M.A.CHAN & T.M.DEMKO ، المد و الجزء المتأخر في عصر البروتيوزوي و الباليوزوي ، تراجع القمر ودوران الأرض ، العلوم 273 ، صفحة 104-100 ، الخامس من تموز 1996 . لقد استنتجوا من تحليل ترسيب المد و الجزر أن الأيام كانت فقط بطول 19-18 ساعة في العصر الباليوزوي أي منذ 900 مليون سنة مضت ، و قد افترضوا أن السنة كانت بطول 31 مليون ثانية من ذلك الوقت حتى اليوم . أنظر أيضا C.P.SONETT & M.A.CHAN ، ديناميك الأرض – القمر في العصر النيوبرتيوزوي ، إعادة دراسة لصفائح المد و الجزر لوادي كوتن وود الكبير في 900MA ، رسائل البحث الجيوفيزيائي 25 ، صفحة 542-539 ، 1998 . التحديد الآخر تم من قبل G.E.WILLIAMS ، رواسب المد و الجزء و الرواسب الجليدية ما قبل الكامبري : نتائج ديناميك الأرض – القمر ما قبل الكامبري و المناخ البالايوي ، الجيولوجيا الرسوبية 120 ، صفحة 74-55 ، 1998 . باستخدام التشكيل الجيولوجي الذي يعرف بالإيقاعات المدية و الجزرية فقد استنتج أنه من حوالي ستمائة مليون سنة مضت كان هناك ثلاثة عشر شهرا في السنة و يوم و إثنان و عشرين ساعة . مستشهد به في الصفحة 145 .

118- من أجل قصة هذا التجميع للتاريخ و الفلك أنظر RICHARD STEPHENSON ، الكسوفات التاريخية و دوران الأرض . مطبعة جامعة كامبريدج ، صفحة 1996 . مستشهد به في الصفحة 146 .

119- B.F.CHAO تغيرات دوران الأرض المثارة بواسطة السوائل الجيوفيزيائية ، IVS 2004 ، مداولات الاجتماع العام / الصفحات 46-38 . مستشهد به في الصفحة 146 .

120- حول الدوران و تاريخ المجموعة الشمسية أنظر S. BRUSH نظريات أصل المجموعة الشمسية 1985-1956،مراجعات الفيزياء الحديثة 62 ، صفحة 112-43 ، 1990 . مستشهد به في الصفحة 146 .

121- موقع hpiers.obspm.fr/eop-pc يبين حركة محور الأرض خلال العشرة سنوات الماضية . خدمة خط العرض الدولية المؤسسة من قبل Küstner ، هي الآن جزء من خدمة دوران الأرض الدولية ، مزيد من المعلومات يمكن إيجادها في موقع www.iers.org . آخر فكرة هي أن ثلثي المركبة الدائرية للحركة القطبية التي في الولايات

المتحدة تعرف بتمايل تشاندلر باسم الشخص الذي نسب لنفسه الاكتشاف الذي تم من قبل Küstner و هو ناتج عن تذبذبات ضغط المحيط في قعر المحيطات و الثلث ناتج عن تغيرات الضغط في الغلاف الجوي للأرض . هذا مشروح من قبل R.S.GROSS إثارة تمايل تشاندلر ، رسائل الفيزياء الجيوفيزيائية 27 ، صفحة 2332-2329 ، 2000 . مستشهد به في الصفحة 147 .

122- S.B.LAMBERT , C.BIZOUARD & V.DEHANT التغيرات السريعة في الحركة القطبية خلال موسم شتاء 2005-2006 ، رسائل الأبحاث الجيوفيزيائية 33 ، صفحة LI3303 ، 2006 . مستشهد به في الصفحة 147 .

123- من أجل مزيد من المعلومات حول ألفريد فيجنر ، أنظر النص (البسيط) من قبل KLAUS ROHNBACH ، ألفريد فيجنر – باحث في القارات المتحركة ، مطبعة فرايس جايستيس ليبن 1993 ، حول تكتونيات الصفائح ، أنظر موقع www.scotese.com . حول الزلازل ، أنظر موقعي www.geo.ed.ac.uk/quakexe/quaks و www.iris.edu/sesmon . أنظر موقعي www.wr.usgs.gov و www.dartmouth.edu/~colcano لمعلومات عن البراكين. مستشهد به في صفحة 150 .

124 – J. JOUZEL & al. التغير المناخي المداري و الألفوي خلال آخر 800,000 سنة ، العلوم 317 ، صفحة 793-796 ، 2007 ،يأخذ البيانات من تراكيز النظائر المشعة في نوى الجليد . على عكس J.D.JAYS, J.IMRIE & N.J.SAHCKLETON تغيرات في مدار الأرض : صانع مدى العصور الجليدية ، العلوم 194 ، صفحة 1132-1121 ، 1976 ،يؤكد الترابط مع البارمترات المدارية بواسطة الحفر حرفيا في الطين الذي يكتشف المحيط في أماكن معينة . لاحظ أن الموقع مليء بالمعلومات عن العصور الجليدية . فقط أنظر في ميلكانوفيتش في محرك البحث . مستشهد به في الصفحة 154 &153 .

125- R. HUMPHREYS & J.LARSEN مسافة الشمس أعلى من المستوي المجري ، المجلة الفلكية 110 ، صفحة 2183-2188 ، 1995 . مستشهد به في الصفحة 153 .

126 – C.L.BENNET , M.S.TURNER & M.WHITE الرقيم الكوني ، الفيزياء اليوم 50 ، صفحة 38-32 ، تشرين الثاني 1997 . مستشهد به في الصفحة 155 .

127 – الموقع www.geoffreylandis.com/vacuum.html يعطي وصف لما يحدث . أنظر أيضا المواقع

www.geoffreylandis.com/ebullism.html ، imagine.gsfc.nasa.gov/docs/ask_astro/answers/ 970603.html . كلها تعطي تفاصيل عن تأثيرات الخلاء على البشر . مستشهد به في الصفحة 161 .

128- R.MCN.ALEXANDER تصميم الساق و تقنية القفز للبشر ، فقاريات أخرى و حشرات ، الدراسات الفلسفية للجمعية الملكية في لندن B347 ، صفحة 249-235 ، 1995 . مستشهد به في الصفحة 169 .

129- J.W.GLASHEEN & T.A.MCMAHON ، نموذج هيدروديناميكي في سحلية بازيليسك ، الطبيعة 380 ، صفحة 342-340 . من أجل صور أنظر أيضا العالم الجديد ، صفحة 18 ، 30 آذار 1996 ، أو العلوم الأمريكية صفحة 49-48 ، أيلول 1997 أو موقع المؤلف rjf2.biol.berkeley.edu/Full_Lab/FL_Personnel/J_Glasheen/ J_Glasheen.html .

العديد من طيور الشاطئ أيضا لها المقدرة على الجري فوق الماء ، باستخدام نفس الآلية .مستشهد به في الصفحة 170 .

130- A.FERNANDEZ-NIEVES & F.J.DE LAS NIEVES حول نظام الدفع للكاياك و طائر البازيليكوس ، المجلة الأوربية للفيزياء 19 ، صفحة 429-425 ، 1998 . مستشهد به في الصفحة 170 .

131 – Y.S.SONG , S.H.SHUR & ,.SITTI نمذجة السيقان الاستنادية من أجل تصميم المحاكي للطبيعة لروبوت عداء ، مداولات المؤتمر الدولي IEEE حول الربوتيات و الأتمتة ، أورلندو ، الولايات المتحدة 2006 . , S.H.SHUR Y.S.SONG, S.J.LEE & M.SITTI روبوت يمشي فوق الماء مصغر مستهلم بيولوجيا ، مداولات الروبوتيات : العلم

والجمل ا ، بوسطن ، الولايات المتحدة . أنظر أيضا الموقع www.me.cmu.edu/faculty1/sitti/nano/projects/watestrider . مستشهد به في الصفحة 170

132- J.IRIARTE –DIAZ التقييس التفاضلي لأداء محرك متحرك في الثدييات الصغيرة و الكبيرة البرية . مجلة البيولوجيا التجريبية 205 ، صفحة 2897-2908 ، 2002 . مستشهد به في الصفحة 556 & 171 .

133- M. WITTLINGER , R.WEHNER & H.WOLF مقياس سرعة النملة : الخطو على الطوالة و الجدعة ، العلوم 312 ، صفحة 1867-1965 ، 2006 . مستشهد به في الصفحة 171 .

134- P.G.WEYAND , D.B.STERLIGHT ; M.J.BELLIYYI & S.WRGHT سرعات الجزء العليا الأسرع تتحقق بواسطة قوى أرضية أكبر وليس حركات أكثر ، مجلة الفيزيولوجيا التطبيقية 89 ، صفحة 1999-1991 ، 2000 . مستشهد به في الصفحة 171 .

135- المادة حول مناقشة الظل هي من كتاب ROBERT M. PRYCE كوك و بيري ، كتب ستاك بول ، 1997 . أنظر أيضا تفاصيل غرباء بيري في WALLY HERBERT حبائل الغار ، دبل داي 1989 . القصة لحزينة لروبرت بيري أيضا يقصها عدد القرن من الناشيونال جيوغرافيك ، أيلول 1988 . نظرا لأن جمعية الناشيونال جيوغرافيك قد مولت بيري في محاولته و قد دعمته حتى أعلن الكونجرس الأمريكي أنه أول رجل يصل للقطب ، فإن التارجع (الجزئي) جدير بالذكر . (المجلة بعدها غيرت رأيها لاحقا ، و باعت المزيد من النسخ ، والآن تدعي ثانية أن بيرل وصل للقطب الشمالي) . بالمناسبة ، صور كوك ، الذي ادعى أنه كان في القطب الشمالي حتى قبل بيري ، لديه نفس المشكلة في طول الظل . و كلا الرجلين لديه تاريخ في الخداع حول استغلالهما . بالنتيجة أول رجل وصل للقط الشمالي ربما هو رولد أموندسن الذي وصل هناك بعد بضعة أشهر و الذي كان أول رجل يصل للقطب الشمالي . مستهد به في الصفحة 135

136 – القصة موجودة في M. NAUENBERG ، هوك الحركة المدارية و مبادئ نيوتن ، المجلة الأمريكية للفيزياء 62 ، صفحة 331-350 ، 1994 . مستشهد به في الصفحة 178 .

137- مزيد من التفاصيل معطاة من قبل D.RAWLINS في ضاعف غروب شمسك أو كيف يمكن لأي شخص أن يقيس حجم الأرض بواسطة ساعة يد و مسطرة مترية ، المجلة الأمريكية للفيزياء 47 ، 1979 ، صفحة 128-126. القياس البسيط الآخر لنصف قطر الأرض باستخدام فقط جهاز تحديد الاتجاه معطى من قبل- R.O'KEEFE & B. GHAVIMI ALAGHA في مركز التجارة العالمي و المسافة لمركز العالم ، المجلة الأمريكية للفيزياء 60 ، صفحة 185-183 ، 1992 . مستشهد به في الصفحة 179 .

138 – مزيد من التفاصيل حول قياسات المسافة الفلكية يمكن أن توجد في الكتاب الصغير الجميل لـ A. VAN HELDEN ، قياس الكون ، مطبعة جامعة شيكاغو 1985 في NIGEL HENBEST & HEATHER COOPER دليل إلى المجرة ، مطبعة جامعة كامبريدج 1994 . مستشهد به في الصفحة 179 .

139- الكثير من التفاصيل توجد في M. JAMMER مفاهيم الكتلة في الفيزياء الكلاسيكية و الحديثة ، أعيد طباعته من قبل دوفر ، 1997 ومفاهيم في القوة ، دراسة في أسس الميكانيك ، مطبعة جامعة هارفارد ، 1957 . هذه النصوص الكهربائية و المبحوثة بشكل كامل تعطي الكثير من التفاصيل و تشرح وجهات نظر فلسفية عديدة ولكن ينقصها العبارات و الخلاصات حول الوصف الدقيق للطبيعة وبالتالي ليست مساعدة في القضايا الأساسية .

Jean Buridan (عاش في الفترة 1295-1366) ينتقد التمييز الحركة دون القمرية و خارج القمرية في كتابة دو كايلو ، وهو واحد من أعمال العديدة ، مستشهد به في الصفحة 180 .

140- D. TOPPER & D.E.VINCENT تحليل مخطط المقذوف لنيوتن ، المجلة الأوربية للفيزياء 20 ، صفحة 59-66 ، 1999 . مستشهد به في الصفحة 180 .

141- القصة السخيفة للمتر واردة في رواية تاريخية لـ KEN ALDER ، قياس كل الأشياء : ملحمة السبع سنوات و الخطأ المخفي الذي حول العالم ، مطبعة فري 2003 ، مستشهد به في الصفحة 183 .

142- H. CAVENDISH تجارب لتحديد كثافة الأرض ، أعمال فلسفية للجمعية الملكية 88 ، صفحة 469-526 ، 1798 . في الحقيقة أول قيمة لثابت الجاذبية G موجودة في المراجع هي فقط من 1873 من قبل ماري ألفريد كورنو

وجان بابتيستان بيل اللذين استخدما شكل محسن من طريقة طافينديش . مستشهد به في الصفحة 185 .

143 – حول قياس الأبعاد الفراغية عن طريق الجاذبية – و الفشل في إيجاد دليل عن عدد مختلف عن الثلاثة – أنظر المراجعة من قبل E.G.ADELBERGER , B.R.HECKEL & A.E. NELSON اختبارات قانون الجاذبية ذو التربيع العكسي ، المراجعة السنوية للعلوم النووية و الجسيمات 53 ، صفحة 77-121 ، 2003 . أيضا arxiv.org/hep-ph/ 0307284 أو المراجعة من قبل J.A. HEWETT & M.SPIROPULU ، مجسات فيزياء الجسيمات ذات الأبعاد الفراغية الزمنية الزائدة ، المراجعة السنوية للعلوم النووية و الجسيمات 52 ، صفحة 397-424 ، 2002 ، arxiv.org/ hep-ph/0205106 مستشهد به في الصفحة 188 .

144- هناك العديد من الكتب التي تشرح أصل الشكل المحكم للأرض مثل كتاب الجيب S. ANDERS لأن الأرض تدور ، مطبعة هاري دويتش ، 198% . مستشهد به في الصفحة 188

145- شكل الأرض موصوف بشكل أكثر أحكاما بواسطة نظام الجيوديزيا العالمي . من أجل عرض ذلك أنظر en.wikipedia.org/wiki/World_Geodetic_System & www.dqts.net/wgs84.htm . أنظر أيضا موقع الخدمة الدولية لدوران الأرض في hpiers.obspm.fr . مستشهد به في الصفحة 188

146- G.HECKMAN & M.VAN HANNNDEL ; De vele beweijzen van Kepler's wet over ellipsenbanen een voor 'het Boek'? , Netherlands tijdschrift voor natuurkunde 73 ، صفحة 366-368 ، تشرين الثاني 2007 ، مستشهد به في الصفحة 177 .

147- W.K.HARTMAN , R.J.PHILLIPS & G.J.TAYLOR محررين ، أصل القمر ، المعهد القمري و الكواكبي 1986 ، مستشهد به في الصفحة 191 .

148- إذا أردت القراءة عن حركة القمر في كل تفاصيلها الرائعة ، انظر إلى MARTIN C. GUTZWILLER ، القمر – الأرض – الشمس : المسائل الثلاثة الأقدم للجسم ، مراجعات الفيزياء الحديثة ، 70 ، صفحة 589-639 ، 1998 ، مستشهد به في الصفحة 191 .

149- DIETRICH NEUMANN الساعات الفيزيولوجية للحشرات – إلى الفيزيولوجيا البيئية القمرية الدورية التي تتحكم بوقت إزهار النباتات ، العلوم الطبيعية ، 82 ، صفحة 310-320 ، 1995 ، مستشهد به في الصفحة 192 .

150- أصل فترة الدورة الشهرية / الطمثية لم يتم معرفتها بعد ، لكن هناك شروحات حول كيفية تزامنها مع الدورات الأخرى . من أجل شروحات عامة أنظر ARKADY PIKOVSKY , MICHAEL ROSENBLUM & JÜRGEN KURTHS ، التزامن : مفهوم كوني/ عام في العلوم غير الخطية ، مطبعة جامعة كامبريدج ، 2002 ، مستشهد به في الصفحة 192 .

151- J. LASKAR , F. JOUTEL & P. ROBUTEL ، استقرار ميل / انحراف الأرض بواسطة القمر ، الطبيعة 361 ، صفحة 615-617 ، 1993 ، مستشهد به في الصفحة 192 .

152- NEIL F. COMINS ماذا إذا لم يكن القمر موجودا ؟ - رحلات إلى الأراضي التي يمكن أن تكون ، هاربر كولينز ، 1993 /، مستشهد به في الصفحة 192

153 – مقترح جديد هو M. CUK , D.P.HAMILTON , S.J.LOCK & S.T.STEWART تطور المد و الجزر للقمر من الميل العالي ، الأرض ذات كمية الحركة الزاوية العالية ، الطبيعة 539 ، صفحة 402-406 ، 2016 ، مستشهد به في الصفحة 192 .

154- M. CONNORS , C. VEILLET , R.BRASSER , P.A. WIEGERT , P.W.CHODAS , S. MIKKOLA & K.A.INNANEN ، اكتشاف شبه قمر /تابع للأرض ، علوم النيازك و الكواكب ، 39 ، صفحة 1251-1255 ، 2004 ،

و R. BRASSER , K.A.INNANEN ,M.CONNORS , C.VEILLET , P.A. WIEGERT , S.MIKKOLA & P.W.CHODAS ، الكويكبات المتشاركة المدار العابرة / الانتقالية ، إيكاروس ، 171 ، صفحة 102-109 ، 2004 ،

أنظر أيضا P.W.CHODAS , S.MIKKOLA & K.A.INNANEN ، الكويكبات بشكل حدوات الحصان و أنصاف التوابع / الأقمار في مدارات تشبه الأرضية ، العلوم القمرية و الكواكبية ، 35 ، صفحة 1562 ، 2004 ، أعيد طباعته في www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2004/pdf/1565.pdf مستشهد به في الصفحة 195 .

155- P.A.WIEGERT , K.A.INANNEN &S.MIKKOLA المرافق الكوكبي للأرض ، الطبيعة 387 ، صفحة 685 -686 ، 12 حزيران 1997 ، مع تعليق على الصفحة 651-652 . التقاصيل حول المدار و حول حقيقة أن نقاط اللاغرانجيان لا تشكل دائما مثلثات متساوية الأضلاع يمكن أن توجد في F.NAMOUNI , A.A.CHRISTOU & C.D. MURRAY ، الديناميك متحد المدار في تخالف المراكز الكبير و الميل ، رسائل المراجعة الفيزيائية 83 ، صفحة 2506-2509 ، 1999 ، مستشهد به في الصفحة 194 .

156- SIMON NEWCOMB ، أوراق فلكية للتقويم الفلكي الأمريكي 1 ، صفحة 472 ، 1882 ، مستشهد به في الصفحة 197

157- من أجل صور متحركة عن المدر و الجزر أنظر إلى www.jason/oceanobs.com/html/applications/ marees/m2_atlantique_fr.html ، مستشهد به في الصفحة 197

158- المقدمة الجميلة في الكلاسيك G.FLAK & W.RUPPEL ، الميكانيك ، النسبية ، الجاذبية – كتاب تعليمي ، مطبعة سبرينجر، الطبعة الثالثة ، 1983 مستشهد به في الصفحة 197 .

159- J.SOLDER كتاب سنوي للفلك البرليني من السنة 1801 , 1804 صفحة 161، مستشهد به في الصفحة 201 .

160- المساواة اختبرت أولا بإحكام من قبل R. VON EÖTVÖS ; V. PEKAR , E.FEKETE ، حوليات الفيزياء و الكيمياء 59 ، صفحة 354 ، 1896 و R. VON EÖTVÖS ; V. PEKAR , E.FEKETE ملتقيات قوانين التناسب للعطالة و الجاذبية ، حوليات الفيزياء 4 ، لايبزيك 68 ، صفحة 66-11 ، 1922 . لقد وجد اتفاقا إلى خمسة أجزاء من 10^9 . مزيد من التجارب أجريت من قبل P.G.ROLL , R. KROTKOW & R.H.DICKE ، تكافؤ الكتلة العطالية و الجاذبية غير الفعالة ، حوليات الفيزياء (نيويورك) 26 ، صفحة 442-517 ، 1964 ، واحد من أكثر المقالات البحثة متعة و تسلية في الفيزياء التجريبية ، و من قبل V.B.BRAGINSKY & V.I.PANOV ، الفيزياء السوفيتية – JETP 34 ، صفحة 463-466 ، 1971 . النتائج الحديثة مع أخطار أقل من جزء واحد في 10^{12} معطاة من قبل Y.SU & al. اختبارات جديدة لعمومية السقوط الحر ، مراجعة الفيزياء D50 ، صفحة 3614-3636 ، 1994 . العديد من التجارب اقترحت لاختبار المساواة في الفراغ بأقل من جزء واحد في 10^{16} . مستشهد به في الصفحة 202

161- HE ، H.EDELMANN , R.NAPIWOTZKI , U.HEBER , N.CHRISTLIEB & D.REIMERS 0437-5439 : نجم من نوع B ذو سرع فائقة غير محدودة ، المجلة الفيزيائية الفلكية 634 ، صفحة L181- L184 ، 2005 ، استشهد بها في الصفحة 209

162- هذا مشروح كمثال من قبل D.K.FIRPIC & I.V.ANCIN الكواكب ، بعد كل شيء ، يمكن أن تتحرك في دوائر تامة – لكن في فضاء السرعة ! المجلة الأوربية للفيزياء 14 ، صفحة 255-258 ، 1993 ، مستشهد به في الصفحة 209 & 500 .

163 –أ نظر L. HODGES قوة حقل الجاذبية داخل الأرض ، المجلة الأمريكية للفيزياء 59 ، صفحة 956-954 ، 1991 ، مستشهد به في الصفحة 210 .

164- المقولة مثار الجدل مقترحة من قبل A.E.CHUBYKALO & S.J.VALEV نظرية حول تناسب الكتل العطالية و الجاذبية في الميكانيك الكلاسيكي ، المجلة ألأوربية للفيزياء 19 ، صفحة 6-1 ، 1998 ، طباعة أولية في arXiv.org/abs/physics/9805003 . هذا البحث يمكن أن يكون خاطئ ، أنظر التعليق القوي من قبل B. JANCOVICI المجلة الأوربية للفيزياء ، 19 ، صفحة 399 ، 1998 ، و الإجابة في arXiv.org/abs/physics/ 9805003 مستشهد به في الصفحة 212 .

165 – P. MOHAZZABI & M.C.JAMES خط الاستقامة و شكل الأرض ، المجلة الأمريكية للفيزياء 68 ، صفحة 1041-1038 ، 2000 ، مستشهد به في الصفحة 212 .

166- من NEIL DE GASSE TYSON الكون حتى الأرض ، مطبعة جامعة كولومبيا 1994 ، مستشهد به في الصفحة 213 .

167-G.D.QUINLAN الكوكب X : أسطورة مبينة ، الطبيعة 363 ، صفحة 19-18 ، 1993 ، مستشهد به في الصفحة 213 .

168- أنظر en.wikipedia.org/wiki/90377_Sedna ، مستشهد به في الصفحة 213

169 – أنظر R.MATTHEWS ليست فرصة / مصادفة كرة ثلج ... العالم الجديد 12 تموز 1997 ، صفحة 27-24

الإدعاء الأصلي من قبل LOUIS A. FRANK , J.B.SIGWARTH & J.D.CRAVEN حول فيض المذنبات الصغيرة في الغلاف الجوي العلوي للأرض ، الجزئين I & II ، رسائل الأبحاث الجيوفيزيائية 13 ، صفحة 306-303 ، صفحة 310-307 ، 1986 . آخر ملاحظات دحضت الإدعاء . مستشهد به في الصفحة 214 .

170- شكل الشعاع مشروح بشكل جميل من قبل J. EVANS . شكل الشعاع لقانون نيوتن للحركة ، المجلة الأمريكية للفيزياء 61 ، صفحة 350-347 ، 1993 ، مستشهد به في الصفحة 217 .

171 – هذا مثال صغير من النص الجميل لـ MARK P. SILVERMAN و مع ذلك هي تتحرك : جمل غريبة و أسئلة حاسمة في الفيزياء ، مطبعة جامعة كامبريدج 1993 . هذا كنز نفيس لأي شخص مهتم في تفاصيل الفيزياء . مستشهد به في الصفحة 217 .

172 G.-L.LESAGE لوكريس النيوتوني ، ملاحظات جديدة من الأكاديمية الملكية للعلوم و الرسائل الجميلة صفحة 431-404 ، 1747 أو www3.bbaw.de-bibliotek/digital/strucktur/03-nouv/1782/ jpg-0600/00000495.htm أنظر أيضا en.wikipedia.org/wiki/Le_Sage's_theory_of_gravitation .في الحقيقة أول من اقترح فكرة الجاذبية بالنتيجة للجسيمات الصغيرة التي تدفع كتل حولها كان نيكولاس فاتيو دو دوييه في 1688 . مستشهد به في الصفحة 218

173 – J. LASKAR تجربة عددية حول السلوك العشوائي للمجموعة الشمسية ، الطبيعة 338 ، صفحة 238-237 ، 1998 ، و J. LASKAR الحركة العشوائية للمجموعة الشمسية – تقدير عددي لحجم المناطق العشوائية ، إيكاروس 88 ، صفحة 291-266 ، 1990 . العمل من قبل لاسكر لاحقا وسع من قبل جاك ويسدوم ، باستخدام حاسبات مصنوعة خصيصا ، تتابع فقط الكواكب ، بدون الأخذ بالحسبان الأجسام الصغيرة . لمزيد من التفاصيل أنظر G.J.SUSSMAN & J.WISDOM التطور العشوائي للمجموعة الشمسية ، العلوم 257 ، صفحة 62-56 ، 1992 . اليوم مثل هذه الحسابات يمكن أن تتم على حاسبك الشخصي المنزلي بواسطة برنامج متوفر مجانا على الإنترنت . مستشهد به في الصفحة 219

174- B.DUBRULLE & F.GRANER قوانين تيتوس – بود في المجموعة الشمسية . أولا : ثبات المقياس يشرح كل شيء ، الفلك و الفيزياء الفلكية 282 ، صفحة 268-262 ، 1994 و قوانين تيتوس – بود من نماذج القرص ، الفلك و الفيزياء الفلكية 282 ، صفحة 276-269 ، 1994 . مستشهد به في الصفحة 219 .

175 –M . LECAR قـانـون بـود ، الـطبيعة 242 ، صـفحة 319-318 ، 1973 و M. HENON تـعليق عـلى " الـبنية الـطنينية للمجموعـة الشمسية من قبل A.M.Molchanov ، إيكاروس 11 ، صـفحة 94-93 ، 1969 .مستشهد بـه فـي الصفحة 219 .

176 – CASSIUS DIO التاريـخ الرومـاني تـقريبا 220 ، الـكتاب 18, 37 . مـن أجـل تـرجمة إنـجليزيـة أنـظر الـموقـع Penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Cassius_Dio/37*.html . مسـتشهد بـه فـي الـصفحة 220

177- أنـظر الـبحث الـجميل لـ A.J. SIMOSON ، الـسقوط فـي ثـقب عـبر الأرض ، مـجلة الـريـاضـيات 77 ، صـفحة 188-171 ، 2004 . أنظر أيضا A.J. SIMOSON ، جاذبية الجحيم ، 75 ، صفحة 350-335 ، 2002 . مستشهد به في الصفحة 502 & 222 .

178- M.BEVIS , D. ALSDORE , E. KENDRICK, L.P.FORTES , B.FORSBERG , R. MALLEY & J. BECKER ، التذبذبات الفصلية في كتلة نهر الأمازون و الاستجابة المرنة للأرض ، رسائل البحث الجيوفيزيائية 32 ، صفحة L16308 ، 2005 . مستشهد به في الصفحة 222 .

179 – D. HESTENES , M. WELLS & G. SWACKHAMER جـرد مـفهوم الـقوة ، مـعلم الـفيزيـاء 30 ، صـفحة 158-141 ، 1982 . المؤلفون طوروا اختبارات للتأكد من فهم مفهوم القوة الفيزيائية لدى الطلاب ، العمل يرافقه الكثير من الاهتمام في حقل تعليم الفيزياء . مستشهد به في الصفحة 228 .

180- مـن أجـل مـراجـعة جـيدة حـول الاحـتكاك ، مـن الـفيزيـاء إلـى الاقـتصاد ، الـعمارة أو نـظريـة الـتنظيم ، أنـظر A. AKERMAN محرر ، ضرورة الاحتكاك – تسعة عشرة مقالة حول القوة الحيوية ، مطبعة سبرينجر 1993

. مستشهد به في الصفحة 223 .

181- أنـظر M. HIRANO , K.SHINJO , R.KANECKO & Y. MURATA قـياس الانـزلاق الـفائـق بـواسـطة المجهـر الماسح النفقي ، رسائل المراجعة الفيزيائية 78 ، صفحة 1451-1448 ، 1997 . أنظر أيضا مناقشة نتائجهم من قبل SERGE FAYEULLE ، الانزلاق الفائق : عندما يتوقف الاحتكاك ، عالم الفيزياء ، صفحة 30-29 ، 1997 .

مستشهد به في الصفحة 233

182 – C. DONALD AHRENS علم الأرصـاد الـجوية اليومية : مقدمة للطقس ، المناخ ، و البيئة ، شركة الطباعة الغربية ، 1991 ، مستشهد به في الصفحة 234

183- هذا الموضوع مناقش بإسهاب من قبل J.R.MUREIKA مـا هو فـي الـحقيقة أفضل أداء في سباق المائة متر ؟ الرياضة : مسار كندا الوطني و مجلة الجري الميداني ، تموز 1997 . و يمكن أيضا أن يوجد في /arxiv.org/abs physics/9705004 مع أبحاث أخرى حول مواضيع مشابهة من قبل نفس المؤلف . مستشهد به في الصفحة 234

184 – F.P.BOWDEN & D. TABOR الاحتكاك و تزييت الأجسام الصلبة ، مطبعة جامعة أكسفورد ، الجزء الأول ، نسخة مراجعة ، 1954 و الجزء الثاني 1964 ، مستشهد به في الصفحة 235

185- كتاب قوي حول العنف البشري بقلم JAMES GILLIAN ، العنف – الوباء المميت عندنا و أسبابه ، جروسيت / بوتنام 1992 ، مستشهد به في الصفحة 235

186 – الاختبارات الأساسية لعشوائية سلاسل الأعداد – من بين اختبار غوريلا – يمكن أن توجد في البحث المعتمد من قبل G. MARSAGLIA & W.W.TSANG بعض الصعوبة في تجاوز الاختبارات للعشوائية ، مجلة برمجيات الإحصاء 7 ، صفحة 8 ، 2002 . يمكن أيضا تحميله من www.jstatsoft.org/v07/i03 . مستشهد به في الصفحة 238

187- أنـظر الـكتاب الـممتع حـول الـموضـوع مـن قـبل JAROSLAW STRZALKO , JUILUSZ GRABSKI , PRZEMYSLAW PERLIKOWSKI , ANDRZEIJ STEFANSKI & TOMASZ KAPITANIAK ديـنامـيك الـمقامـرة :

أصل العشوائية في الجمل الميكانيكية ، سبرينجر 2009 و أيضا المنشورات الأحدث من قبل Kapitaniak . مستشهد به في الصفحة 238

188- من أجل ناحية حول الإرادة الحرة ، أنظر الكتاب الآسر لـ BERT HELLINGER ، الحظ الثنائي / الثاني ، مطبعة كارل أوير سيستيم 1997 . المؤلف يشرح كيفية العيش بأمان و بأعلى درجة ممكنة من المسؤولية للمرء عن أفعاله بتخفيض الارتباط مع قدر الآخرين . ويصف تقنية قوية لتحقيق هذا الهدف .

وجهة النظر المختلفة كليا معطاة من قبل AUNG SUU KYI ، التحرر من الخوف ، بنجوين ، 1991 . إحدى النساء الأشجع على الأرض ، وقد فازت بجائزة نوبل للسلام في عام 1991 . التقنية الشخصية الفعالة مقدمة من قبل PHIL STUTZ & BARRY MICHELS الأدوات ، شبيجل و جراو 2012 . مستشهد به في الصفحة 241

189 – HENRIK WALTER الفلسفة لعصبية للإرادة الحرة ، مطبعة مينتيس ، بادربورن 1999 . ايضا متوفر في ترجمة إنجليزية . مستشهد به في الصفحة 241 .

190- GIUSEPPE FUMAGALLI ، ماذا يدعى ؟ هويبلي 1983 مستشهد به في الصفحة 241

191 – أنظر المصدر التعليمي على رابط Peaucullier – Lipkin من قبل D.W.Henderson & D. Taimina الذي يوجد في kmoddl.library.cornell.edu/tutorials/11/index.php . الإنترنت تحتوي العديد من الصفحات الأخرى حول الموضوع . مستشهد به في الصفحة 242

192 – القصة الجميلة للعربة المشيرة للجنوب يخبرها في الملحق JEAMES FOSTER& J.D.NIGHTGALE . دورة قصيرة في النسبية العامة ، مطبعة سبرينجر ، الطبعة الثانية ، 1998 . مثل هذه العربات موجودة في الصين كما يخبر بذلك أخصائي الشؤون الصينية العظيم جوزيلف نيدهام و لكن إنشائها غير معلوم . العربة موصوفة من قبل فوستر و نايتنجيل هي التي بنيت في عام 1947 من قبل جورج لانكستر ، وهو مهندس بريطاني ، مستشهد به في الصفحة 243

193- T. VAM DE KAMP , P. VAGOVIC , T. BAUMBACH & A. RIEDEL برغي بيولوجي في ساق الخنفساء ، العلوم 33 ، صفحة 52 ، 2011 . مستشهد به في الصفحة 243 .

194- M.BURROWS & G.P.SUTTON المسننات المبتادلة التأثير تزامن سرعات الرجل الدافعة في حشرة قافزة ،العلوم 341 ، صفحة 1256-1254 ، 2013 ، مستشهد به في الصفحة 243 .

195- أنظر مثلا Z. GHAHRAMANI ، عناصر بناء الحركة ، ،الطبيعة 407 ، صفحة 683-682 ، 2000 . الباحثين في التحكم بالروبوت أيضا يهتمون بمثل هذه المواضيع . مستشهد به في الصفحة 243 .

196 – G. GUTIERREZ , C. FEHR , A. CALZADILLA & D.FIGUEROA التحكم بالسائل الصاعد عبر جدار لبيضة تدور ، المجلة الأمريكية للفيزياء 66 ، صفحة 445-442 ، 1998 . مستشهد به في الصفحة 243 .

197 – السد التاريخي معطى في WOLFGANG YOURGRAY & STANLEY MANDELSTAM مبادئ التغير في ديناميك و نظرية الكم ، دوفر 1986 ، مستشهد به في الصفحة 247

198- C.G.GRAY & E.F.TAYLOR عندما لا يكون الفعل الأقل ، المجلة الأمريكية للفيزياء ، 74 ، صفحة 458-434 ، 2007 . مستشهد به في الصفحة 252 .

199- MAX PÄSLER ، مبادء الميكانيك ، والتر دو جرويتر و شركاه1968 ، مستشهد به في الصفحة 253

200 – العلاقات بين اللاغرانجيانات الممكنة مشروحة من قبل HERBERT GOLDSTEIN ، الميكانيك الكلاسيكي ، الطبعة الثانية ، أديسون ويسلي 1980 . مستشهد به في الصفحة 254

201 – عبارة هيمنغواي مستشهد بها من قبل مارلين ديتريش في AARON E. HOTCHNER ، بابا هيمنغواي ، راندوم هاوس ، 1966 ، في الجزء الأول ، الفصل الأول ، مستشهد بها في الصفحة 255

202- C.G.GRAY , G. KARL & V.A.NOVIKOV من ماوبريتيوس إلى شرودنغر . تكميم المبادئ التغيرية الكلاسيكية ، المجلة الأمريكية في الفيزياء 67 ، صفحة 959-961 ، 1999 . مستشهد به في الصفحة 256 .

203 – J.A.MOORE مقدمة في تعليمات الفيزياء من أجل الاختصاص غير العلمي ، المجلة الأمريكية في الفيزياء 46 ، صفحة 607-612 ، 1999 . مستشهد به في الصفحة 256 .

204 – أنظر مثلا ALAN P. BOSS الكواكب خارج المجموعة الشمسية ، الفيزياء اليوم 49 ، صفحة 32-38 ،أيلول 1996 . مستشهد به في الصفحة 256 . المعلومات الأحدث يمكن أن توجد في موسوعة الكواكب خارج المجموعة الشمسية ، الموجودة في www.obspm.fr/planets من قبل جان شنايدر في مرصد باريس . مستشهد به في الصفحة 260

205 – مقالة المراجعة الجيدة هي من قبل DAVID W.HUGHES المذنبات و الكويكبات ، الفيزياء المعاصرة ، 35 ، صفحة 75-93 ، 1994 . مستشهد به في الصفحة 260 .

206 – G.B.WEST , J.H.BROWN & B.J.ENQUIST النموذج العام لأصل قوانين التقييس المتفاوت النمو في البيولوجيا العلوم 267 ، صفحة 122-126 ،نيسان 1997 .مع تعليق في الصفحة مع تعليق في الصفحة 34 حول نفس القضية . القواعد التي تحكم خواص التفرع في الأوعية الدموية ، الأوعية اللمفاوية في جمل الأوعية في النباتات مشروحة . للمزيد حول النباتات ، أنظر أيضا البحث G.B.WEST , J.H.BRWON & B.J.ENQUIST ، نموذج عام من أجل بنية و تفاوت النمو في الأجهزة الوعائية للنبات ، الطبيعة 400 ، صفحة 664-667 ، 1999 . مستشهد به في الصفحة 262 .

207 – J.R.BANAVAR , A.MARTIN & A. RINALDO الحجم و الشكل في شبكات النقل الفعال ، الطبيعة 399 ، صفحة 130-132 ، 1999 . مستشهد به في الصفحة 262 .

208 – N. MORIERA الماشين بخطى سريعة الجدد – البشر الجدد ذوي المشية الفعال يغيرون شكل علم الروبوتيات ، أخبار العلم على الإنترنت السادس من آب 2005 . مستشهد به في الصفحة 263 .

209 – WERNER HEISENBERG الجزء و الكل ، بيبر 1969 . مستشهد به في الصفحة 265 .

210 – أنظر العرض الواضح من قبل E.H.LOCKWOOD & R.H.MACMILLAN ، التناظر الهندسي ، مطبعة جامعة كامبريدج 1978 ، مستشهد به في الصفحة 265 .

211 – JOHN MANSLEY ROBINSON ، مقدمة للفلسفة اليونانية المبكرة ، هوجتون مافين 1968 ، الفصل 5 ، مستشهد به في الصفحة 269 .

212 - أنظر مثلا B. BOWER نظرية الطفل عن العقل ، أخبار العلم 144 ، صفحة 41-44 ، مستشهد به في الصفحة 270 .

213 – الكتاب الأجمل حول هذا الموضوع هو النص لـ BRANKO GRÜNBAUM & G.C.SHEPHARD ، القرميد و النماذج ، W.H.Freeman و شركاه ، نيويورك 1987 . وقد ترجم إلى عدة لغات و أعيد نشره عدة مرات . مستشهد به في الصفحة 272 .

214 – حول التنسورات و المجسمات الناقصة في الفراغ ثلاثي الأبعاد أنظر mysite.du.edu/~jacivert/phys/ ellispo.htm . في الفراغ – الزمن رباعي الأبعاد التنسورات هي مجردة أكثر بحيث تفهم . مع تركيز على تطبيقاتها في النسبية فإن مثل هذه التنسورات مشروحة في R. FORSCH ، أربع تنسورات اللغة الأمم للفيزياء الكلاسيكية ، vdf Hochschulverlag ، 2006 ، متوفر جزئيا من books.google.com . مستشهد به في الصفحة 277 .

215- U . NIEDERER المجموعة الثابتة الكينماتيكية الأعظمية لمعادلة شرودنجر الحرة ، Helvetica Physics Acta 45 ، صفحة 802-810 ، 1972 . أنظر أيضا مقدمة من قبل O. JAHN & V.V.SREEDHAR ، المجموعة الثابتة الأعظمية لمعادلات نيوتن لجسيم نقطي حر ، arxiv.org/abs/math-ph/0102011 . مستشهد به في الصفحة 278 .

216 – القصة موجودة في السيرة الذاتية الممتعة لأينشتاين من قبل A. PAIS الحاذق هو الرب – علم و حياة ألبرت أينشتاين ، مطبعة جامعة أكسفورد 1982 . مستشهد به في الصفحة 279 .

217– W. ZÜREN & WIDIMER – SCHNIDRIG التذبذب الذاتي العام للأرض ، مجلة الفيزياء 1 ، صفحة 49-55 ، 2002 . مستشهد به في الصفحة 289 .

218 – N. GAUTHIER ماذا يحدث للطاقة و كمية الحركة عندما نبضتين موجيتين متحركتين بشكل متعاكس تتراكبان ؟

المجلة الأمريكية للفيزياء 71 ، صفحة 787-790 ، 2003 . مستشهد به في الصفحة 299 .

219 – ملخص معلوماتي وحديث عن البحث الحالي حول الأذن و تفاصيل وظيفتها www.physicsweb.org/article/world/15/5/8 . مستشهد بها في الصفحة 302

220- الخبير الجديد في فيزياء الغناء هو إيجنو تيتسه . من بين كتبة العديدة و أبحاثه المقدمة الشائعة I.R.TITIZE الآلة البشرية ، العلوم الأمريكية ، صفحة 94-101 ،كانون الثاني 2008 . العديد من كتبه أبحاثه و عروضه مجانية التحميل في الموقع www.ncvs.org للمركز الوطني للصوت و الكلام . و هي قيمة لكل شخص لديه شغف بالغناء و الصوت البشري . أنظر أيضا المقالة و المقطوعات الصوتية في www.scientificamerican.com/artilce.cfm?id=sound-clips-human-instrument . البحث المهم أيضا من M. KOB & al. تحليل و فهم صوت الغناء : تقدم جديد و أسئلة مفتوحة ، اللمعلوماتية البيولوجية الحالية 6 ، صفحة 362-374 ، 2011 . مستشهد به في الصفحة 307 .

221 – S. ADACHI مبادئ إنتاج الصوت في أدوات النفخ ، علم الصوتيات و التكنولوجيا 25 ، صفحة 400-404 ، 2004 . مستشهد به في الصفحة 308 .

222 – المراجع حول النغمات و تأثيراتها واسعة . مثلا الناس الذين درسوا الفروقات و تأثيرات طبقات الصوت العديدة بتفصيل كبير . العديد من المواقع مثل bellssouthpwp.net/j/d/delaub/jstudio.htm يسمح بالاستماع إلى الموسيقى المعزوفة بطبقات موسيقية مختلفة . الناس حتى بحثوا فيما إذا كانت الحيوانات تستخدم طبقة الصوت المجردة أو اللونية . (أنظر مثلا K.LEUTWYLER دراسة الدماغ الموسيقي ، العلوم الأمريكية كانون الثاني 2001) . هناك أيضا دراسات عن تأثير الترددات المنخفضة ، لنغمات الضرب ، و العديد من التأثيرات الأخرى على البشر . لكن العديد من الدراسات تخلط الحجج الجدية و غير الجدية . و من السهل الضياع فيها . مستشهد به في الصفحة 309 .

223- M. FATEMI , P.L.OGBURN & J.F.GREENLEAF ، البحث الجنيني بواسطة الأمواج فوق الصوتية التشخيصية النبضية ، مجلة فوق الصوتيات في الطب 20 ، صفحة 883-889 ، 2001 .أنظر أيضا M. FATEMI , A. ALIZARD & J.F.GREENLEAF مميزات الصوت المسموع المتولد عن أنظمة التصوير فوق الصوتية ، مجلة الجمعية الصوتية في أمريكا 117 ، صفحة 1448-1455 ، 2005 . مستشهد به في الصفحة 312 .

224- أنا أعلم أن امرأة أخصائية في النسائية التي خلال حملها الخاص صورت طفلها كل يوم بآلة التصوير بالأمواج فوق الصوتية التي لديها . الطفل ولد بمشاكل سمعية قوية التي لم تشفى . مستشهد به في الصفحة 312 .

225- R. MOLE الأخطار الممكنة في التصوير بالأمواج فوق الصوتية ودوبلر في طب التوليد ، قضايا الولادة في الرعاية قبل الولادة ، 13 ، صفحة 37-29 ، 2007 مستشهد به في الصفحة 313 .

226- A.L.HODGKIN & A.F.HUXLEY وصف كمي لتيار الغشاء و تطبيقه في الناقلية و الإثارة للعصب ، مجلة الفيزيولوجيا 117 ، صفحة 544-500 ، 1952 . هذا البحث الشهير للبيولوجيا النظرية حاز مؤلفه على جائزة نوبل في الطب في 1963 ، مستشهد به في الصفحة 314 .

227 – F. FILLIPOV السوليتون متعدد الأغراض ، مطبعة سبرينجر 2000 . أنظر أيضا J.S. RUSSEL تقرير عن الاجتماع الرابع عشر للجمعية البريطانية لتقدم العلم ، موراي ، لندن ، 1844 ، صفحة 390-311 ، 1952 .مستشهد به في الصفحة 317 & 315 .

228 – R.S.WARD السوليتونات و أشكال الحقل الممتدة الأخرى ، طباعة أولية /arxiv.org/abs/hep-th 0505135 ، مستشهد به في الصفحة 317

229 – D.B.BAHR , W.T.PFEFFER & R.C.BROWNING الحركة المدهشة لحدبات التزلج ، الفيزياء اليوم 62 ، صفحة 69-68 ، تشرين الثاني 2009 . مستشهد به في الصفحة 318

230- N.J.ZABUSKY & M.D.KRUSKAL تبادل تأثير السولويتونات في البلازما بدون صدم و عودة الحالات الابتدائية ، رسائل مراجعة الفيزياء ، 15 ، صفحة 243-240 ، 1965 . مستشهد به في الصفحة 316 .

231 – O. MUSKENS , De kortste knal ter wereld ,Netherlands tjischrift voor naturkunde ، صفحة 73-70 ، 2005 . مستشهد به في الصفحة 317 .

232 – E.HELLER الأمواج المخيفة : مجرد سوء حظ أو يمكن تجنبها ؟ أخبار الفيزياء الأوربية صفحة 161-159 ، أيلول / تشرين الأول 2005 ، قابل للتحميل من www.europhysicsnews.org ، مستشهد به في الصفحة 319 .

233- أنظر المقالة الجميلة لـ D. AARTS , M.SCHMIDT & H.LEKKERKERKER ، Directe visuele waarneming van thermische capillaire gloven , Nedelands tjischrift voor naturkunde ، 70 ، صفحة 218-216 ، 2004 . مستشهد به في الصفحة 320 .

234 – من أجل المزيج عن قناة الصوت المحيطية أنظر رواية TOM CLANCY السعي وراء أكتوبر الأحمر . أنظر أيضا النص الفيزيائي لـ R. A. MULLER أسرار الحكومة للمحيطات ، الجو و الصحون الطائرة /web.archive.org web/*/muller.lbl.gov/teaching/Physics10/chapters.9-SecretsofUFOs.html ، 2001 . مستشهد به في الصفحة 321 .

235- B. WILSON , R.S.BATTY & L.M.DILL سمك الرنكة الباسيفيكي ينتج أصوات نبضية عالية ، رسائل البيولوجيا 271 ،عدد S3 ، 7 شباط 2004 . مستشهد به في الصفحة 321 .

236- A.CHABCHOUB & M. FINK توليد معكوس زمنيا لأمواج W الحمراء ، رسائل المراجعة الفيزيائية 112 صفحة 124101 ، 2014 . طبعة أولية من arxiv.org/abs/1311.2990 ، أنظر أيضا المراجع الواردة . مستشهد به في الصفحة 323 .

237 – أنظر مثلا المقالة لـ G. FRITCH ، ما تحت الصوت الفيزياء في وقتنا الحالي 13 ، صفحة 110-104 ، 1982 . مستشهد به في الصفحة 324 .

238- تحويلات المويجات طورت من قبل الرياضيين الفرنسيين أليكس جروسمان ، جان مورليه و تيري بول . البحث الأساسي هو A. GROSMANN , J. MORLLET & T. PAUL التحويلات التكاملية المرتبطة بالتمثيلات المربعة القابلة للتكامل ، مجلة الفيزياء الرياضية ، 26 ، صفحة 2479-2473 ، 1985 . من أجل مقدمة حديثة أنظر STEPHANE MALLAT ، جولة مويجية لمعالجة الإشارة . أكاديمك برس 1999 . مستشهد به في الصفحة 325 .

239 – P. MANOGG ، الانفجار و الانفجار الفائق في الطيران فوق الصوتي ، محاضرة رياضية و في العلوم الطبيعية ، 35 ، صفحة 26-33 ، 1982 . معلمي للفيزياء في المدرسة الثانوية . مستشهد به في الصفحة 326 .

240 – أنظر المقدمة الممتازة من قبل L. ELLERBRBREOK & L.VAN DEN HOORN ، In het kielzog van Kelvin , Nederlands tijdschrift voor naturkunde ، 73 ، صفحة 310-313 ، 2007 . حول الاستثناءات لزاوية كلفين ، أنظر www.graingerdesigns.net/oshunpro/design-technology/wave-cancellation مستشهد به في الصفحة 327 .

241- JAY INGRAM سرعة العسل – و مزيد حول علوم الحياة اليومية ، 2003 أنظر أيضا W.W.L. AU &J.A.SIMMONS تحديد الموقع بالصدى في الدولفينات و الخفافيش ، الفيزياء اليوم 60 ، صفحة 40-45 ، 2007 . مستشهد به في الصفحة 327 .

242 – M. B. BOITI , J.-P. LEON , L. MARTINA & F. PEMPINELLI ، تشتت السوليتونات الموضعية في المستوي ، رسائل الفيزياء A 132 ، صفحة 432-439 ، 1988 ، A.S.FOKAS & P.M. SANTINI ، البنى المتماسكة في الأبعاد المتعددة ، رسائل مراجعة الفيزياء 63 ، صفحة1333- 1329 ، 1989 . J. HIETARINTA & R. HIROTA ، الحلول متعددة الدروميون لمعادلة دايفي – ستيوارتسون ، رسائل الفيزياء A 145 ، صفحة 237-244 ، 1990 . مستشهد به في الصفحة 327 .

243 – من أجل بعض الأبحاث الرائعة ، أنظر J.L.HAMMACK , D.M.HENDERSON & H. SEGUR ، الأمواج المتقدمة ذات نماذج السطح ذو البعدين المستمر في المياه العميقة ، مجلة ميكانيك الموائع 523 ، صفحة 52-1 ، 2005 . من أجل صورة جميلة لأمواج سنويدية متقاطعة / عابرة أنظر A.R.OSBORNE النمذجة فائقة السرعة لأمواج الماء الضحلة : معادلات KdV & KP . الجيوفيزياء الدولية 97 ، صفحة 821-856 ، 2010 .

أنظر أيضا en.wikipedia.org/wiki/Cnoidal, en.wikipedia.org/wiki/Tidal_bore & en.wikipedia.org/wiki/Waves_and_shallow_water_wave من أجل أول طبعة . مستشهد به في الصفحة 328 .

244- تغير تردد الصوت بواسطة حجم زجاجة مشروح في hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/Hbase/Waves/ cavity.html . مستشهد به في الصفحة 328

245 –المقدمة الجميلة هي لـ NEVILLE H. FLETCHER & THOMAS D. ROSSING فيزياء الآلات الموسيقية ، الطبعة الثانية ، سبرينجر 2000 . مستشهد يه في الصفحة 328 .

246 – M. AUSLOOS & D.H.BERMAN تابع فايرشتراس – ماندلبروت متعدد المتحولات ، مداولات الجمعية الملكية في لندن A 400 ، صفحة 331- 350 ، 1985 . مستشهد به في الصفحة 331 .

247 – عقيدة الكنسية الكاثوليكية ، الجزء الثاني ، الفقرة الثانية ، الفصل الأول ، المقالة الثالثة ، تصريحات , 1376 1377, 1413 توجد في www.vatican.va/archive/ENG0015/__P41.HTM أو www.vatican.va/ مع شروحاتها في www.vatican.va/archive/compendium_ccc/archive/ENG0014/__P40.HTM & www.vatican.va/archive/documents/archive_2005_compendium-ccc-en.html ، مستشهد به في الصفحة compendium_ccc/documents/archive_2005_compendium-ccc-it.html . 334

248 – النص الأصلي لإدانة غاليليلو 1633 يمكن أن يوجد في it.wikisource.org/wiki/Sentenza_di_condonna_di_Galielio_Galilei . مستشهد به في الصفحة 334 .

249 – التراجع الذي أجبر على توقيعه غاليليو في 1633 يمكن أن يوجد في it.wikisource.org/wiki/Abiura_di_Galielio_Galilei . مستشهد به في الصفحة 334 .

250 – M. ARTIGAS وثيقة جديدة حول قضية غاليليو : EE291 ، الوثائق الرسمية الفلسفية 10 ، صفحة 199-214 ، 2001 . مستشهد به في الصفحة 335 .

251- أكثر هذه النقاط مجلية مباشرة أو بشكل غير مباشر في كتاب ANNIBALE FANTOLI ، غاليليو : من أجل الكوبرنيكوسية و من أجل الكنيسة ، منشورات مرصد الفاتيكان ، الطبعة الثانية 1996 و من قبل جورج كوين مدير مرصد الفاتيكان ، في خطاباته و منشوراته مثلا G. COYNE ، غاليليو : من أجل الكوبرنيكوسية و من أجل الكنيسة ، Zwoje 3/36 ، يوجد في www.zwoje-scrolls.com/zwoje36/text05p.htm . مستشهد به في الصفحة 335

252 – THOMAS A. MCMAHON & JOHN T. BONNER حول الحجم و الحياة ، العلوم الأمريكية / فريمان ، الكتاب الآخر من قبل جون بونر الذي حاز على جائزة نوبل في البيولوجيا هو JOHN T. BONNER لماذا الحجم مهم : من الباكتريا إلى الحيتان الزرقاء ، مطبعة جامعة برنستون 2011 . مستشهد به في الصفحة 335 .

253 – G.W.KOCH , S.C.SILETT , G.M.JENNINGS & S.D. DAVIS حدود ارتفاع الشجر ، الطبيعة 428 ، صفحة 851-854 ، 2004 . مستشهد به في الصفحة 336 .

254 – المقالة البسيطة التي تشرح طول الشجر هي A. MINEYEV الشجار جديرة ببول بونيمان ، الكم صفحة 10-4 ، كانون الثاني – شباط 1994 . (بول بونيمان هو عملاق أسطوري حطاب و هو بطل في أوائل المتقدمين في الولايات المتحدة) . لاحظ أن نقل السوائل في الأشجار لا يضع أي قيود / حدود على ارتفاعها ، نظرا لأن الماء يضخ على طول جذوع الشجرة (ما عدا في الربيع حيث يضخ من الجذور) بواسطة التبخر من الأوراق . هذا العمل تقريبا بدون حدود لأن أعمدة الماء عندما يتم تجنب التشكل النووي بعناية ، يمكن وضعه تحت إجهادات الشد أكثر من مائة بار ، المقابل إلى ألف متر . أنظر أيضا P.NOBEL فيزيولوجيا النبات ، أكاديمك برس ، الطبعة الثانية 1999 . الشجرة الصنعية – بالرغم من كونها صغيرة – باستخدام نفس الآلية تم بناؤها ودراستها من قبل T.D. WHEELER & A.D.STROOCK نتح الماء عند ضغوط سلبية في شجرة تركيبية ، الطبيعة 455 ، صفحة 212-208 ، 2008 . أنظر أيضا N.M.HOLBROOK & M.A.ZWIENIECKI نقل الماء لأعلى الأشجار ، الفيزياء اليوم ، صفحة 77-76 ، 2008 . مستشهد به في الصفحة 357 & 336 .

255- مثل هذه المعلومات يمكن أن تؤخذ من مقالة المراجعة الممتازة لـ M.F.ASHBY حول الخواص الهندسية للمواد ، الوثائق التعدينية 37 ، صفحة 1293-1273 ، 1989 . المقالة تشرح أيضا المعايير العامة المتعدد التي تحدد اختيار المواد و تعطي جداول عديدة لتوجيه الاختيار . مستشهد به في الصفحة 336 .

256 – أنظر البحث الجميل لـ S.E.VIRGO عدد لوشميدت ، تقدم العلم 27 ، صفحة 649-634 ، 1933 . أيضا متوفر مجاما بصيغة HTML من الإنترنت . مستشهد به في الصفحة 340 & 338 .

257 – أنظر البحث الرائع من قبل PTER PESIC ، تقدير عدد أفوغادرو من ضوء السماء و ضوء الهواء ، المجلة الأوربية للفيزياء 26 ، صفحة 187-183 ، 2005 . العبارة الخاطئة بأن اللون الأزرق ناتج عن تذبذبات الكثافة دحض في C.F.BOHERN & A.B.FRASER لون السماء ، معلم الفيزياء 238 ، صفحة 272-267 ، 1985 . أيضا يشرح أن تغيرات لون السماء مثل لون الحليب ، هي ناتجة عن التشتت المتعدد . مستشهد به في الصفحة 510 & 339 .

258 – من أجل صورة عن ذرة الباريوم الوحيدة – التي سميت أستريد – أنظر HANS DEHMELT تجارب على جسيم تحت ذري معزول في السكون ، مراجعات الفيزياء الحديثة 62 ، صفحة 1240-1137 ، 1980 . انظر أيضا الصورة في الصفحة 342 . مستشهد به في الصفحة 342 .

259 – المخططات ثلاثية الأبعاد أنتجت لأول مرة من قبل HANS WERNER FINK & al. ، التمييز الذري في التصوير ثلاثي الأبعاد ذو الطاقة عديمة العدسة ، رسائل مراجعة الفيزياء 67 ، صفحة 1546-1543 ، 1991 . مستشهد به في الصفحة 342

260 – ليزر الذرة الوحيدة بني في عام 1960 من قبل K.AN , J.J. CHILDS , R.R.DASARI & M.S.FELD الميكروليزر : ليزر بذرة واحدة في طنان ضوئي ، رسائل مراجعة الفيزياء 73 ، صفحة 3375 ، 1994 . مستشهد به في الصفحة 342

261 – الصورة إلى يسار الشكل 240 في الصفحة 342 هي أول صورة التي تبين البنى دون الذرية (مرئية كظلال على الذرات) لقد نشرت من قبل F.J. GIESSIBL , S. HEMBACHER , H. BIELEFELDT& J. MANNHART ، المزايا تحت الذرية على سطح السليكون (7x7)- (111) الملاحظة بواسطة المجهر ذو القوة الذرية ، العلوم 289 ، صفحة 422-425 ، 2000 . مستشهد به في الصفحة 342

262 – من أجل مثال C. SCHILLER , A.A.KOOMAND , T.L. VAN ROOY , C. SCHÖNENBERGER & H.B. ELSWIJK ، إزالة قدرة رؤوس باعث حقل التنغستين خلال السن اللافظ / الرشاش ، رسائل العلوم السطحية 339 ، صفحة L925-L930 ، 1996 . مستشهد به في الصفحة 342

263 – U.WEITERSTALL & J.C.H.SPENCE ، STM مع محلل زمن الطيران من أجل التعريف للنوع الذري MSA 2000 ، فيلادلفيا ، الفحص المجهري و التحليل الدقيق 6 ملحق 2 ، صفحة 718، 2000 . مستشهد به في الصفحة 343 .

264 – P. KREHL , S. ENGEMANN & D.SCHWNKEL لغز تشقق السوط – مكتشف من قبل ترابط كيناماتيك رأس السوط مع إصدار موجة الصدمة ، أمواج الصدم 8 ، صفحة 9-1 ، 1998 .

المؤلفون استخدموا كاميرات عالية السرعة لدراسة حركة السوط . تم إضافة ناحية أخرى من قبل A. GORIELY & T. MACMILLEN ، شكل تشقق السوط ، رسائل مراجعة الفيزياء 88 ، صفحة 244301 ، 2002 . هذه المقالة تركز على الشكل ذو الرأس المستدق للسوط . لكن بإهمال الخصلة – القطعة في نهاية السوط المطلوب أن تجعله يتشقق – في رسالة لاحقة تبين أن هناك المزيد بحاجة لاكتشاف . مستشهد به في الصفحة 347

265 – Z. SHENG & K. YAMAFUJI تحقيق الركوب البشري للدراجة وحيدة العجلة بواسطة روبوت ، مداولات المؤتمر الدولي IEEE 1991 حول الروبوتيات و الأتمتة ، المجلد 2 ، صفحة 1326-1219 ، 1995 . مستشهد به في الصفحة 347 .

266 – حول الدراجات وحيدة العجلة البشرية ، أنظر JACK WILEY ، الكتاب الكامل للدراجات وحيدة العجلة ، لودي 1984 و SEBESTIAN HOEHER ، ركوب الدراجات وحيدة العجلة و الفيزياء ، راينبيك ، 1991 . مستشهد به في الصفحة 347 .

267 – W. THOMSON محاضرة إلى الجمعية الملكية في إدنبره ، 18 شباط 1876 ، مداولات الجمعية الملكية في إدنبره 6، صفحة 94 ، 1869 . مستشهد به في الصفحة 348 .

268 – S.T.THORODDSEN & A.O.SHEN النفاثات الجبيبية ، فيزياء الموائع 13، صفحة 6-4 ، 2001 . و A . O. SHEN & S.T.THORODDSEN النفث الحبيبي ، فيزياء الموائع 14، صفحة S3 ، 2002 . مستشهد به في الصفحة 348 .

269 – M.J.HANCOOK & J.W.M.BUSH أنابيب الموائع ، مجلة ميكانيك الموائع 466 صفحة 303-285 ، 2002

. A.E.HOSOI & J.W.M. BUSH عدم الاستقرار التبخري في أفلام التسلق ، مجلة ميكانيك الموائع 442 صفحة 239-217 ، 2001 . J.W.M.BUSH & A.E.HASHA حول اصطدام النفاثات الصفحية : سلاسل المائع و عظام السمك ، مجلة ميكانيك الموائع 511 صفحة 310-285 ، 2004 . مستشهد به في الصفحة 352 .

270- الرقم القياسي الحالي من أجل الضغط السلبي للماء حقق من قبل Q. ZHENG , D.J.DURBEN , G.H. WOLF & C.A.ANGEL سوائل في الضغوط السلبية الكبيرة : الماء عند حد تشكيل النوى المتجانس العلوم 254 صفحة 832-829 ، 1991 . مستشهد به في الصفحة 357 .

271 – H. MARIS & S. BALIBAR الضغوط السلبية و التكهف في الهليوم السائل ، الفيزياء اليوم 53 صفحة 34-29 ، 2000 . سبيستيان بلير أيضا كتب عدة كتب شائعة التي تقود في الموقع www.lps.ens.fr/~balibar مستشهد به في الصفحة 357 .

272 - الحالة الحالية لفهمنا للدوامية موصوفة من قبل G. FALKOVICH & K.P.SREENIVASAN دروس من دوامي الهيدروديناميك ، الفيزياء اليوم 59 صفحة 49-43 ، 2006 . مستشهد به في الصفحة 361 .

273 – K. WELTNER مقارنة لشروحات قوة الرفع الهوائية الديناميكية ، المجلة الأمريكية للفيزياء 55 صفحة 54-50 ، 1987 . K. WELTNER قوة الرفع الديناميكية الهوائية ، المجلة الأمريكية للفيزياء 28 صفحة 82-78 ، 1990. أنظر أيضا user.uni-frankfurt.de/~weather/Flight/PHYSIC4.htm و www.av8.com/how/htm/airfoils.html مستشهد به في الصفحة 361 .

274 – L. LANOTTE , J.MAUER , S. MENDEZ , D.A.FEDOSOV , J.-M.FROMENTAL , V.CLAVERIA , F.NICOUD , G.GOMPPER & M. ABKARIAN الخلايا الحمراء الأشكال الديناميكية تحكمها رقة القص للدم تحت شروط التدفق الدوراني الدقيق ، مداولات الأكاديمية الوطنية للعلوم للولايات المتحدة ألأمريكية 2016 . طباعة أولية في arxiv.oeg/abs/1608.03730 . مستشهد به في الصفحة 366

275 – S.GEKLE , I.R. PETERS ,J.M.GORDILLO , D. VAN MEER & D. LOHSE التدفق الهوائي الصوتي الفائق الناتج عن صدم الصلب – السائل ، رسائل مراجعة الفيزياء 104 صفحة 024501 ، 2010 . أفلام التأثير يمكن أن توجد من physics.aps.org/articles/v3/4 ، مستشهد به في الصفحة 368

276 – أنظر الكتاب الجميل لـ RAINER F. FOELIX بيولوجيا العناكب ، مطبعة تيميه ، 1996 أيضا متوفر في طبعة أحدث بالإنجليزية RAINER F . FOELIX بيولوجيا العناكب ، مطبعة جامعة أكسفورد ، الطبعة الثالثة . المنتدى الخاص مخصص فقط للعناكب يمكن أن يوجد على الإنترنت . مستشهد به في الصفحة 368 .

277 – أنظر الموقع www.esa.int/esaCP/SEMER89U7TG_index_0.html ، مستشهد به في الصفحة 368 .

278 – من أجل بحث رائع للاهتمام و تقنيات الغوص بلا تنفس ، أنظر UMBERTO PELIZZARI الإنسان و البحر ، فلاماريون 1994 . يستشهد باليتساري و يشرح قول إنزو مايوركا : " أول نفس تأخذه عندما تعود للسطح هو مثل أول نفس تأخذه عندما تدخل الحياة " مستشهد به في الصفحة 369 .

279 – LYDERIC BOCQUET فيزياء قفز الحجر ، المجلة الأمريكية للفيزياء 17 صفحة 155-150 ، 2003 .

الرقم القياسي الحالي يحمله كورت شتاينر يبلغ 40 قفزة . أنظر & pastoneskipping.com/steiner.htm www.stoneskipping.com الموقع www.yeeha.net/nassa/guin/ge.html هو من قبل حامل الرقم القياسي العالمي السابق جيروم كولمان ماكجي ، مستشهد به في الصفحة 372 .

280 – S.F.SISTLER & L.E.SCRIVEN تأثير إبريق الشاي : تدفقات مشكلة لصفائح مع انعطاف ، ترطيب ، و تباطؤ مجلة ميكانيك الموائع 263 صفحة 62-19 ، 1994 . مستشهد به في الصفحة 374 .

281 – J. WALKER الغليان و تأثير لايدن فروست ، فصل من DAVID HOLLIDAY , ROBERT RESNICK & JEARL WALKER أسس الفيزياء ، ويلي 2007 . الفصل يمكن أيضا إيجاده على الإنترنت كملف pdf . مستشهد به في الصفحة 375

282 – E. HOLLANDER ، Over trechters en zo… , Nederlands tkjdschrift voor naturkunde 68 ، صفحة 302 ، 2002 . مستشهد بها في الصفحة 376 .

283 – S. DORBOLO , H. CAPS & N. VANDEWALLE عدم استقرار المائع في الفقاعات المضادة في الولادة و الوفاة ، المجلة الجديدة للفيزياء 5 ، صفحة 161 ، 2003 . مستشهد بها في الصفحة 377 .

284 – T.T.LIM ملاحظة حول القفز الضفدعي بين حلقات الدوامة عند عدد رينولدز منخفض ، فيزياء الموائع 9، صفحة 241-39 ، 1997 . مستشهد بها في الصفحة 378 .

285 – P. AUSSILLOUS & D. QUERE خواص الرخام السائل ، مداولات الجمعية الملكية لندن 462 صفحة 973-999 ، 2006 .والمراجع فيها . مستشهد بها في الصفحة 378 .

286 – الثيرموستاتيك و الثيرموديناميك صعبة التعلم لأنها حقول لم تكتشف في شكل منهجي . أنظر C. TRUESDELL التاريخ التراجيدي للثيرموديناميك 1854-1822 ، مطبعة سبرينجر 1980 . الكتاب الممتاز و المتقدم حول الثيرموستاتيك و الثيرموديناميك لـ LINDA REICHT منهاج متقدم في الفيزياء الإحصائية و يلي الطبعة الثانية 1998 . مستشهد به في الصفحة 381 .

287 – تمدد الغاز كان الطريقة الأساسية المستخدمة لتعريف مقياس درجة الحرارة الرسمي . فقط في عام 1990 طرحت طرق أخرى رسميا ، مثل القياس الحراري بالإشعاع الكلي (في المجال 373 K – 140 K) ، القياس الحراري بالضجيج (1235 K – 900 K & 4 K – 2K) ، القياس الحراري الصوتي (حوالي) ، القياس الحراري الصوتي (حوالي 303 K) ، القياس الحراري المغناطيسي (2.6 K – 0.5 K) و القياس الحراري الإشعاعي الضوئي (أعلى من) 730 K . القياس الحراري الإشعاعي ما يزال الطريقة الأساسية في المجال من حوالي 3K إلى حوالي 1000 K

هذا مشروح بالتفصيل في R.L.RUBSY , R.P.HUDSON , M.DURIEUX , J.F. SCHOOLEY , P.P.M. CTEUR & C.A.SWENSON ، أساس ITS-90 ، التنبؤ بالطقس 28 ، صفحة 18-9 ، 1991 . حول نقطة غليان الماء أنظر أيضا المرجع 315 ، مستشهد به في الصفحات 546 , 383 و 550 .

288 – الطرق الأخرى لغش سحوبات اليانصيب تتم باستخدام كرات ذات كتل مختلفة أو كرات المصقولة أكثر . أحد الأمثلة على مثل هذا الغش اكتشف في عام 1999 . مستشهد به في الصفحات 382

289 - أنظر مثلا النص الآسر لـ GINO SEGRE مسألة درجات : ماذا تكشف درجة الحرارة حول الماضي و المستقبل لأجناسنا . الكوكب و الكون . فايكنج ، نيويورك 2002 . مستشهد به في الصفحات 383

290 – D.KARSTÄDT ; F.PINNO , K.-P. MÖLLMAN & M . VOLLMER ، دراسة الحرارة في محاضرة : مساهمة لعرض الطرق الحرارية ، عملي فيزياء العلوم الطبيعية 48-5 ، صفحة 31-24 ، K.-P. . 1999 MÖLLMAN & M . VOLLMER شيء آخر مختلف ، رؤية فيزيائية ، عرض عدم تغير شكل الطاقة و فيزياء الإشعاع من أجل الدراسة (الجامعية) ، الفيزيائي 56 ، صفحة 69-65 ، 2000 ؛ D. KARSTÄDT , K.P- MÖLLMAN F.PINNO & M.VOLLMER . هناك المزيد لمشاهدته أكثر مما تكشفه العين : عرض عمليات انتقال الطاقة و قوانين الإشعاع من أجل تعليم الفيزياء . معلم الفيزياء 39 ، صفحة 376 -371 ، 2001 ، K.-P. MÖLLMAN & M . VOLLMER 28 ، صفحة S37- S50 ، 2007 . مستشهد به في الصفحة 385 .

291 – أنظر من أجل مثال عن المقالة لـ H. PRESTON – THOMAS مقياس درجة الحرارة العالمي لعام 1990 ITS-90 ، التنبؤ بالطقس 27 ، صفحة 10-3 ، 1990 و تصويب الأخطاء H. PRESTON – THOMA ، مقياس درجة الحرارة العالمي لعام ITS-90 1990 ، التنبؤ بالطقس 27 ، صفحة 107 ، 1990 مستشهد به في الصفحات 389

292 من أجل مراجعة أنظر CHRISTIAN ENSS & SIEGFRED HUNKLINGER فيزياء درجة الحرارة المنخفضة ، سبرينجر 2005 ، مستشهد به في الصفحات 389 .

293 – البحث الشهير حول الحركة البراونية الذي أسهم بكثير من شهرة أينشتاين هو A. EINSTEIN حول النظرية الحركية الجزيئية للحرارة المطلوبة في الموائع الدوارة ذات الأجزاء / المكونات المعلقة ، حوليات الفيزياء 17 ، صفحة 560-549 ، 1905 . في السنوات التالية كتب أينشتاين سلسلة من الأبحاث الأخرى حول هذا الموضوع . مثلا لقد نشره في رسالة الدكتوراه له عام 1905 بشكل A. EINSTEIN تحقيق جديد للأبعاد الجزيئية ، حوليات الفيزياء 19 ، صفحة 306-289 ، 1906 .وقد صحح خطأ صغيرا في A. EINSTEIN تصحيح عملي : تحقيق جديد للأبعاد الجزيئية ، حوليات الفيزياء 34 ، صفحة 592-591 ، 1911 .حيث استخدام البيانات الجديدة التي وجد أن قيمتها $6.6.10^{23}$ لعدد أفوكادرو . لكن قبل خمس سنوات من سموكولوفسكي و أينشتاين فإن الرجل الذي نما عقله عمليا قام بنفس الحسابات ، ولكن في مجال مخالف : الرياضي لويس باشولييه قام بهذا في دراسة الدكتوراه حول خيارات التخزين ، وهذا المحلل المالي الشاب بالتالي كان أذكى من أينشتاين . استشهد به في الصفحة 390 .

294 - أول تأكيد تجريبي للتوقع أجري من قبل J. PERRIN في مداولات أكاديمية العلوم 147 ، صفحة 476-475 و صفحة 532-530، 1908 . وقد جمع بعبقرية كل المناقشة في J. PERRIN الذرات ، مكتبة فليكس ألكان ، باريس ، 1913 . استشهد به في الصفحة 392 .

295 – PIEERE GASPARD & al. الدليل التجريبي على العشوائية الميكروسكوبية ، الطبيعة 394 ، صفحة 865 ،27 آب 1998 . استشهد به في الصفحة 392 .

296 – المقدمة الممتازة في فيزياء الحرارة هو كتاب LINDA REICHL مقرر حديث في الفيزياء الإحصائية ، ويلي الطبعة الثانية ، 1998 . استشهد به في الصفحة 393 .

297 – حول الرقم القياسي لسرعة الدراجة ، أنظر الموقع fredrompelberg.com أيضا يبين تفاصيل الدراجة التي استخدمها . و حول تأثير المقاومة للحركة أنظر B. BLOCKEN , Y. TOPARLAR & T. ANDRIANNE الفائدة الديناميكية الهوائية للدراج باتباع دراجة نارية ، مجلة هندسة الرياح و الديناميك الهوائي الصناعي 2016 ، متوفر للتحميل المجاني في www.urbanphysics.net . استشهد به في الصفحة 379 .

298 – F. HERRMANN مدى القيم في محاضرة فيزيائية ، رسائل فيزيائية 54 ، صفحة 832-830 ، أيلول 1998 أنظر أيضا ملاحظات حول محاضرته في المقدمة العام للفيزياء في الموقع www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/skripten . استشهد به في الصفحة 393 & 352 , 331 .

299 – هذه النقاط يوضحها و يثبتها كما في طريقته N.G.VAN KAMPEN الإنتروبي ، Nedelands tijdschrift voor naturkunde 62 ، صفحة 396-395 ، في 3 كانون الأول 1996 . استشهد به في الصفحة 396 .

300 – هذه النتيجة المخيبة للأمل لكل الجهود المبذولة حتى الآن كما كان جورج نيكوليس يشدد دائما في مقرراته الجامعية . لقد وضع سيت ليود قائمة بـ 31 تعريف مقترح للتعقيد ، الحاوية من ضمن ما تحتوي على البعد الفراكتالي ، التقعيد القواعدي ، التعقيد الحاسوبي ، العمق الثيرموديناميكي أنظر مثلا ملخص قصير في العلوم الأمريكية صفحة 77، حزيران 1995 . استشهد به في الصفحة 396 .

301- الإنتروبي الأصغري مناقش من قبل L. SZILARD حول الإنتروبي ألأصغري في جملة ثيرموديناميكة في عمليات المعرفة الذكية . مجلة الفيزياء 53 ، صفحة 856-840، 1929 . هذا البحث الكلاسيكي يمكن أيضا أن يوجد في ترجمة إنجليزية في أعماله المجموعة . استشهد به في الصفحة 397 .

302 – G.C.COHEN – TANNOUDI الثوابت العامة ، بلوريه ، آشيت ، 1998 . أنظر أيضا L. BRILLOUIN العلم و نظرية المعلومات ، أكاديمك برس ، 1962 . استشهد به في الصفحة 397 .

303 – H.W.ZIMMERMANN إنتروبيات الجسيمات و إنتروبي الكوانتا IV : الغاز المثالي ، القانون الثاني في الثيرموديناميك ، و علاقة الارتياب p –t ، مجلة الكيمياء الفيزيائية 217 ، صفحة 78-55 ، 2003 و H.W.ZIMMERMANN إنتروبيات الجسيمات و إنتروبي الكوانتا V : علاقة الارتياب p –t ، مجلة الكيمياء الفيزيائية 217 ، صفحة 1108-1097 ، 2003 ، استشهد به في الصفحة 398 & 397 .

304 – أنظر مثلا A.E. SHALYT – MARGOLIN & A.YA.TREGUBOVICH ، علاقة الارتياب المعمم في الثيرموديناميك arxiv.org/abs/gr-qc/0307018 أو J. UFFINK & J. VAN LITH –VAN DIS ، علاقات الارتياب الثيرموديناميكية ، أسس الفيزياء 29 ، صفحة 655 ، 1999 . استشهد به في الصفحة

305 – B. LAVENDA الفيزياء الإحصائية : طريقة احتمالية ، ويلي – إنترسينس ، 1991 استشهد به في الصفحة 398 & 397 .

306 – الكلام موجود في مقدمة من قبل جورج والد لنص من قبل LAWRENCE J. HENDERSON . مطابقة البيئة ، ماكميلان ، نيويورك ، 1913 ، أعيد طباعته في 1958 . استشهد به في الصفحة 398 .

307 – المقدمة الرائعة للكيمياء هي في كتاب JOHN EMSLEY الجزيئات في معرض ، مطبعة جامعة أكسفورد ، 1998 ، استشهد به في الصفحة 399

308 – B. POLSTER ما هي أفضل طريقة لربط حذائك ؟ الطبيعة 420 ، صفحة 476 ، 5 كانون الأول 2002 ، استشهد به في الصفحة 400

309 – L. POLTZMANN حول الاستخدام الميكانيكي لقانوني الثيرموديناميك الأساسيين ، مداولات الأكاديمية الملكية للعلوم في فينا 53 ، صفحة 155-220 ، 1866 ، استشهد به في الصفحة 401

310- أنظر مثلا صفحة الإنترنت www.snopes.com/science/cricket.asp ، استشهد به في الصفحة 404

311- H.DE.LANG التغذي الجزيئي ، Nederlands tijdschrift voor naturkunde 74 ، صفحة 431-433 ، 2008 ، استشهد به في الصفحة 404

312 – EMILE BROEL مقدمة هندسية للفيزياء ، جويتييه – فيلار 1912 . استشهد به في الصفحة 404

313- أنظر V.L.TELEGDI إنريكو فيرمي في أمريكا ، الفيزياء اليوم 55 ، صفحة 38-43 ، حزيران 2002 ، استشهد به في الصفحة 405

314- K. SCHMIDT – KIELSEN حيوانات الصحراء : مسائل فيزيولوجية للحرارة و الماء ، مطبعة جامعة أكسفورد 1964 ، استشهد به في الصفحة 406

315 – بعد اتصال شخصي من قبل ريتشارد روزبي ، هذه هي القيمة لعام 1997 ، بينما كانت قد قدرت بأنها 99.975 ºC في عام 1989 كما سجل من قبل GARETH JONES & RICHARD RUSBY ، رسميا :يغلي الماء عند 99.975 ºC ، عالم الفيزياء 2 ، صفحة 23-24 ، أيلول 1989 ، و R.L.RUSBY كي المقياس المعياري ، الطبيعة 338 ، صفحة 1169 ، آذار 1989 ،لمزيد من التفاصيل حول قياسات درجة الحرارة أنظر المرجع 287 . استشهد به في الصفحة 544 & 406 .

316- لماذا الأنتروبي يتشكل عندما تمسح المعلومات ، و لكن ليس عندما تكتب ، هذا مشروح في C.H.NENNETT & R. LANDAUER الحدود الأساسية للحوسبة ، العلوم الأمريكية 253:1 ، صفحة 48-56 ، 1985 ،النتيجة : يجب علينا أن ندفع لرمي الجرائد بعيدا ، وليس شرائها . استشهد به في الصفحة 407

317 – أنظر مثلا ، G. WIFT المحركات الحرارية الصوتية و البرادات ، الفيزياء اليوم 48 ، صفحة 22-28 ، تموز 1995 ، استشهد به في الصفحة 410

318- مستشهد به في D. CAMPBELL , J. CRUTCHFIELD , J. FARMER & E. JEN ، الرياضيات التجريبية : دور الحوسبة في العلوم غير الخطية ، اتصالات جمعية آلات الحوسبة 28 ، صفحة 374-384 ، 1985 ، استشهد به في الصفحة 413

319- من أجل المزيد حول أشكال ندف الثلج ، أنظر الكتاب الشهير لـ W.A.BENTLEY & W.J.HUMPHREYS بلورات الثلج ، منشورات دوفر ، نيويورك 1962 . هذه الطبعة الثانية للأصل من عام 1931 ، تبين جزءا كبيرا من النتائج التي كانت شغف بنتلي طيلة حياته ، وهي عدة آلاف صور لندف الثلج . استشهد به في الصفحة 413

320- K. SCHWENK لماذا الثعابين لها ألسنة منشعبة العلوم 263 ، صفحة 1573-1577 ، 1994 استشهد به في الصفحة 416

321 – الأيدي البشرية ليس له خمسة أصابع في حوالي حالة من كل ألف ، كيف تضمن الطبيعة هذه الدقة ؟ الآليات التفصيلية غير معلومات بشكل كامل بعد . و من المعلوم أن تشكيل التنظيم الذاتي و الفراغي و الزمني خلال تكاثر الخلايا و تمايزها في الجنين هو عامل حاسم . و في نظام التنظيم الذاتي هذا فإن عامل الانتساخ GLI3 يلعب دورا أساسيا . استشهد به في الصفحة 417

322- E. MARTINEZ , C.PEREZ – PENICHET , O. SOTOLONG COSTA . O.RAMOS , K.J. MALØY , S. FOUADY , E.ALTSHULER أمواج فردية صاعدة في التدفقات الحبيبية ، مراجعة الفيزياء 75 ، صفحة 031303 ، 2007 . و E.ALTSHULER , O.RAMOS , E. MARTINEZ , A.J.BATISTA – LEYVA , A.RIVERA & K.E.BASSLER ، تشكل كومات الرمل بواسطة الأنهار الدوارة ، رسائل المراجعة الفيزيائية 91 ، صفحة 014501 ، 2003 ، استشهد به في الصفحة 418

323 – P.B.UMBANHOWAR , F.MELO & H.L.SWINNEY إثارات موضعية في طبقة حبيبية مهتزة شاقوليا ، الطبيعة 57 ، صفحة 793-796 ، 29آب 1996 ، استشهد به في الصفحة 419

324 – D.K.CAMPBELL , S. FLACH & Y.S. KIVSHAR ، تحديد موضع الطاقة عن طريق عدم الخطية و التقطيع ، الفيزياء اليوم 57 ، صفحة 43-49 ، كانون الثاني 2004 ، استشهد به في الصفحة 419

325- B. ANDREOTTI أغنية الكثبان كجسيم موجي في نمط القفل . رسائل المراجعة الفيزيائية 92 ، صفحة 238001 ، 2004 ، استشهد به في الصفحة 419

326 – D.C.MAYA & B.A.FAYBISHENKO. ألواح الغسيل في الطرقات السريعة غير المعبدة كجملة ديناميكية معقدة 5 ، صفحة 51-60 ، 2000 ، أنظر أيضا N. TABERLET , S.W.MORRIS & J.N.MCELWAINE : طرق ألواح الغسيل : ديناميك التموجات الجبيبية المشكلة بواسطة العجلات المتحرجة ، رسائل المراجعة الفيزيائية 99 ، صفحة 068003 ، 2007 . استشهد به في الصفحة 558 &420

327 – K.KÖTTER ,E. GOLES & M.MARKUS بنى الصدف /الغطاء ذات الأعداد السحرية للكرات في قرص دوامي / برام ، المراجعة الفيزيائية E60 ، صفحة 7185-7182 ، 1999 ، استشهد به في الصفحة 420

328 – المقدمة الجيدة هي كتاب DANIEL WALGRAEF ، تشكيل النموذج الفراغي الزمني مع أمثلة في الفيزياء ، الكيمياء و علم المواد ، سبرينجر 1996 . استشهد به في الصفحة 420 .

329 – من أجل مراجعة أنظر رسالة الدكتوراه لـ JOCELINE LEGA أخطاء / عيوب طبولوجية مرتبطة بكسر ثبات الانتقال في الزمن ، جامعة نيس ، 1989 ، استشهد به في الصفحة 422 .

430 – فكرة الآليات الرائعة في أساس ضربات القلب معطاة من قبل A. BABLOYANTZ & A. DESTEXHE ، هل القلب الطبيعي هو هزاز دوري ؟ السيبرنتيك البيولوجي ، 58 ، صفحة 211 -203 ، 1989 . استشهد به في الصفحة 423 .

431 – من أجل مراجعة حديثة قصيرة عن الدوامية أنظر L.P.KDANOFF ، نموذج الدوامية ، الفيزياء اليوم 48 ، صفحة 13 -11 ، أيلول 1995 . استشهد به في الصفحة 424 .

432 – من أجل مقدمة واضحة أنظر T. SCHMIDT & M.MAHRL نموذج رياضي بسيط لصنبور ينقط ، المجلة الأوربية للفيزياء 18 ، صفحة 383 -377 ، 1997 . استشهد به في الصفحة 424 .

333- رياضيات نماذج الفرو تم دراستها بتفصيل كبير . بتغيير البارمترات في معادلات التفاعل – الانتشار من الممكن شرح نماذج حمر الوحش ، الفهود ، الزرافات ، و العديد من الحيوانات الأخرى . المعادلات يمكن فحصها بملاحظة كيفية استمرار النماذج المحسوبة في الذيل ، التي تبدو عادة مختلفة تماما . في الحقيقة أكثر النماذج تبدو مختلفة إذا لم يكن الفرو مسطحا و لكن منحنيا . هذه ظاهرة عامة صالحة أيضا من أجل نماذج البقع لحقائب السيدات كما هو مبين في S.S.LIAW , C.C.YANG , R.T.LIU & J.T.HONG ، نموذج تورينج من أجل نماذج الخنافس المؤنثة ، المراجعة الفيزيائية E64 ، صفحة 041909 ، 2001 . استشهد به في الصفحة 424 .

334- مراجعة للمرح العلمي يمكن أن توجد في المقتطفات الأدبية الشهيرة لـ R.L.WEBER حررت من قبل E. MENDOZA ، مشي عشوائي في العلم ، معهد الفيزياء ، 1973 . أيضا متوفر في العديد من الترجمات الواسعة . استشهد به في الصفحة 424 .

335 – W. DREYBRODT فيزياء النوازل ، الفيزياء في وقتنا الحالي صفحة 30-25 ، الفيزياء في وقتنا الحالي شباط 2009 ، استشهد به في الصفحة 425 .

336- K. MERTENS , V. PUTKARADZE & P. VOROBIEFF نماذج الجدل على مستوي مائل ، الطبيعة 430 ، صفحة 165 ، 2004 . استشهد به في الصفحة 426 .

337- هذه التجارب البسيطة الجميلة منشورة في G.MÜLLER ، أعمدة النشاء : نموذج تناظري لأعمدة البازلت مجلة أبحاث الجيوفيزياء

103 ، صفحة 15263-15239 ، 1998 . في G.MÜLLER ، المحاكاة التجريبية لأعمدة البازلت ، مجلة علوم البراكين و الأبحاث الجيولوجية الحرارية ، 86 ، صفحة 96-93 ، 1998 و في G.MÜLLER تشقق الجفاف في الصلابة ، أوراق فيزيائية ، 55 ، صفحة 37-35 ، 1999 . استشهد به في الصفحة 427 .

338 – للحصول على شعور باللزوجة أنظر الكتاب الرائع لـ STEVEN VOGEL ، الحياة في الموائع المتحركة ، البيولوجيا الفيزيائية للتدفق ، مطبعة جامعة برنستون 1994 ، استشهد به في الصفحة 428 .

339- B. HOF , C.W.H. VAN DOORNE , J. WESTERWEEL , F.T.M.NIEUWSTADT , H. WEIDEN , R.KERSWELL , F. WALEFFE , H.FAISST & B. ECKHARDT ، الملاحظة التجريبية للأمواج المنتلقة بشكل غير خطي في تدفق أنبوبي ، العلم 305 ، صفحة 1598-1594 ، 2004 .أنظر أيضا B. HOF & al. العمر المنتهي للدوامية في تدفقات القص ، الطبيعة 443 ، صفحة 59 ، 2006 . استشهد به في الصفحة 428 .

340- الكتاب الرائع حول الموضوع هو لـ KENNETH LAWS & MARTHA SWOPE الفيزياء و فن الرقص : فهم الحركة ، مطبعة جامعة أكسفورد . أنظر أيضا KENNETH LAWS & M. LOTT رسالة المصدر PoD-1 : فيزياء الرقص ، المجلة الأمريكية للفيزياء 81 ، صفحة 13-7 ، 2013 . استشهد به في الصفحة 428 .

341 – الشكل الرائع لبلورات الثلج مقدم في C. MAGONO & C.W.LEE ، التصنيف الطقسي لبلورات الثلج الطبيعية ، مجلة كلية العلوم ، جامعة هوكايدو Ser VII , II صفحة 325-321 ، 1966 ، أيضا على الإنترنت eprints.lib.hokudai.ac.jp . استشهد به في الصفحة 429 .

342 – JOSEF H . REICHHOLF ، تاريخ طبيعي قصير لآخر ألف سنة ، مطبعة فيشر 2007 ، استشهد به في الصفحة 429

343 – أنظر مثلا E. F. BUNN التطور و القانون الثاني في الثيرموديناميك ،المجلة الأمريكية للفيزياء 77 ، صفحة 925-922 ، 2009 . استشهد به في الصفحة 430 .

344 – أنظر البحث J.MALDACENA , S.H.SHENKER & D. STANFORD حد على العشوائية ، طباعة أولية مجانية في www.arxiv.org/abs/1503.01409 الحد / القيد لم يوضع بعد في سؤال . استشهد به في الصفحة 430

345- المقدمة الجيدة لفيزياء أسراب الطيور هي لـ T. FEDER الفيزياء الإحصائية هي من أجل الطيور ، الفيزياء اليوم 60 ، صفحة 30-28 ، 2007 . استشهد به في الصفحة 431 .

346- نموذج ناجيل – شريكنبيرغ من أجل حركة السيارات ، مثلا يشرح كيف أن التذبذبات البسيطة في الحركة يمكن أن تؤدي لاختناق .مستشهد به في الصفحة 431 .

347- J.J.LISSAUER الحركة العشوائية في المجموعة الشمسية ، مراجعات الفيزياء الحديثة 71 ، صفحة 845-835 ، 1999 . استشهد به في الصفحة 432 .

348 – أنظر JEAN – PAUL DUMONT المدارس قبل سقراط ، فوليو إيسييه ، جاليمار ، 1991 ، صفحة 426 ، استشهد به في الصفحة 433 .

349 – من أجل معلومات حول العدد π و حول بعض الثوابت الرياضية ، الموقع oldweb.cecm.sfu.ca/pi/ pi.html يعطي أكثر المعلومات استفاضة و المراجع . أيضا له رابط للعديد من المواقع الأخرى حول الموضوع ، التي تتضمن عرض في mathworld.wolfram.com/Pi.html . العلاقة البسيطة لـ π هي

$$\pi + 3 = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n\,2^n}{\binom{2n}{n}} \qquad (164)$$

أو العلاقة الجميلة المكتشفة في 1996 من قبل بايلي ، بروين و بلوفه

$$\pi = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{16^n}\left(\frac{4}{8n+1} - \frac{2}{8n+4} - \frac{1}{8n+5} - \frac{1}{8n+6}\right). \qquad (165)$$

الموقع المذكور أيضا يشرح الطرق المتكشفة حديثا لحساب الأرقام الثنائية الخاصة لـ π من دون حساب كل السابقة . و الأرقام المعروفة لـ π تتجاوز كل اختبارات العشوائية كما يشرح الموقع mathworld.wolfram.com/ PiDigits.html . لكن هذه الخاصة ، المسماة الانتظام ، لم يتم إثباتها قط وهي أكبر مسألة مفتوحة حول π . من الممكن أن نظرية الديناميك العشوائي ستؤدي إلى حل هذا اللغز في السنوات القادمة .

الطريقة الأخرى لحساب π و الثوابت الأخرى اكتشفت ونشرت من قبل D.V.CHUDNOVSKY & G.V. CHUDNOVSKY ، حساب الثوابت الكلاسيكية ، مداولات الأكاديمية الوطنية للعلوم (الولايات المتحدة الأمريكية)

86 ، صفحة 8182-8178 ، 1989 . إن الأخوة تشودونفسكي قد بنوا حاسبا فائقا في شقة جريغوري بقيمة سبعين ألف يورو تقريبا ، و لعدة سنوات حازوا على الرقم القياسي لحساب أكبر عدد من الأرقام لـ π . و قد تصارعوا لعقود مع كانادا ياسوماسا الذي يحمل الرقم القياسي في عام 2000 ، وحسب على حساب فائق صناعي . و لكن من 2009 فصاعدا فإن الرقم القياسي (المتتالي) لخانات π حسب على حاسب شخصي مكتبي . و أول من قام بذلك فابريسه بيلارد و الذي احتاج 123 يوما و استخدم علاقة تشودونفسكي . و قد حسب بيلارد أكثر من 2.7 مليون مليون خانة ، كما يخبر بذلك bellard.org . بالنسبة لأكثر الأرقام القياسية الجديدة أنظر en.wikipedia.org/wiki/Chronology -_of_computation_of_%CF%80 . العلاقة الجديدة لحساب π ما تزال بحاجة لاكتشاف .

من أجل حساب ثابت أويلر γ أنظر أيضا D. W.DETEMPLE ، تقارب أسرع لثابت أويلر ، الذكي الرياضي ، صفحة 468-470 ، أيار 1993 . استشهد به في الصفحة 464 & 434 .

350 – إن استشهاد / مقولة جونسون الموجودة في WILLIAM SEWARD ، السير الذاتية 1799 . لمزيد من التفاصيل أنظر القصة في quoteinvestigator.com/2014/11/08/without_effort/ . استشهد به في الصفحة 438 .

351 – أول سجل مكتوب للحرف U يبدو أنه لـ LEON BATTISTA ALBERTI ، قواعد لغة توسكانا ، 1442 ، أول قواعد للغة حديثة (غير لاتينية) ، مكتوبة من قبل عبقري الذي كان ذكيا ، معماريا و أب التشفير . أول سجل مكتوب للحرف J يبدو أنه لـ ANTONIO DE NEBRIJA ، القواعد الكاستيلينة ، 1492 . و قبل كتابته فإن نبريجا عاش لعشر سنوات في إيطاليا ، بحيث أنه من المستحيل أن التمييز I/J هو ذو أصل إيطالي أيضا . نبريجا كان أحد الدارسين الإسبان الأكثر أهمية . استشهد به في الصفحة 439 .

352 – لمزيد من المعلومات حول الرسائل من الألف إلى الياء أنظر إلى التقرير الشامل الموجود في موقع www.everytype.com/standards/wynnyogh/thorn.html ، استشهد به في الصفحة 439 .

353 – من أجل تاريخ حديث للغة الإنجليزية أنظر DAVID CRYSTAL قصص الإنجليزية ، ألين لاين 2004 . استشهد به في الصفحة 439 .

354 – HANS JENSEN الصحيفة ، برلين 1969، مترجم إلى الإنجليزية بمعنى إشارة ، رمز و نص : سرد لجهود الإنسان في الكتابة ، بوتنام سنز 1970 ، استشهد به في الصفحة 440 .

355 – DAVID R . LIDE محرر ، دليل CRC للكيمياء و الفيزياء الطبعة الثامنة و السبعين ، مطبعة CRC ، 1997 هذا المرجع الكلاسيكي يظهر في إصدار جديد كل عام . الأبجدية العبرية الكاملة معطاة في الصفحة 90-2 . قائمة المختصرات للمقادير الفيزيائية المستخدمة في العلاقات المعتمدة من قبل ISO , IUAP & IUPAC يمكن إيجادها هناك أيضا .

لكن معيار ISO 31 الذي يعرف هذه المختصرات ، يكلف حوالي ألف يورو ، و هو غير متوفر على الإنترنت ، و بالتالي يمكن بأمان تجاهله ، مثل أي معيار الذي يفترض أن يستخدم في التعليم و لكنه يبقى غير ممكن الوصول إليه للمعلمين . استشهد به في الصفحة 444 & 441 .

356- أنظر النص الجميل من قبل PETER T. DANIELS & WILLIAM BRIGHT أنظمة الكتابة العالمية ، مطبعة جامعة أكسفورد ، 1996 . استشهد به في الصفحة 442 .

357 – قصة تطور الأعداد يخبرها بشكل أكثر امتاعا من قبل GEORGES IFRAH التاريخ العام للأرقام ، Seghres 1981 ، الذي ترجم إلى عدة لغات . وهو يجمع كل الأصول لإشارات العدد في عشرة جداول جميلة ، واحد لكل رقم في نهاية الكتاب . و لكن الكتاب نفسه يحوي الكثير من الأخطاء الحقائقية في كل صفحة ، كما شرح مثلا المراجعة الموجودة في www.ams.org/notices/200201/rev-dauben.pdf ، و www.ams.org/notices/200202/rev-dauben.pdf . استشهد به في الصفحة 442 .

358 – أنظر مثلا الكتاب الرائع من قبل STEVEN B. SMITH الحاسبات الذهنية العظيمة – علم النفس ، الطرق و حياة أعاجيب الحساب ، مطبعة جامعة كولومبيا ، 1983 . الكتاب أيضا يقدم تقنيات التي يستخدمونها ، و أن أي شخص آخر يمكن أن يضاهيها . استشهد به في الصفحة 443 html. .

359 – أنظر مثلا المقالة " المفهوم الرياضي " في موسوعة الرياضيات ، عشرة مجلدات ، كاولر أكاديمك ناشرون 1988-1993 . لكن قبل كل شيء أنظر إلى الموقع المليء بالمعلومات و الجميل jeff560.tripod.com/mathsym

المصدر الرئيسي لكل هذه النتائج في البحث الكلاسيكي و الشامل ، هو من قبل FLORIAN CAJORI تاريخ المفاهيم الرياضية مجلدين / شركة أوبن كورت للنشر 1928-1929 . إشارة الجذر التربيعي مستخدمة من قبل كريستوف رودولف ، 1525 Die Coss , Vuolfius Cephaleus Joanni Jung : Aregentorati, (العنوان الكامل كان Behend vnnd Hubsch Rechnung durch die kunstreichen reglen Algebre so gemeinlicklich die Coss lessen on allen mündtliche vnterricht mag begriffen werdern , etc.) ، استشهد به في الصفحة 443 & 444 .

360- J.TSCHICHOLD ، Formenwamdlungen der et-Zeichen , Stempel AG ، 1953 . استشهد به في الصفحة 445 .

361 – MALCOM B. PARKES التوقف و الأثر : مقدمة لتاريخ التنقيط في الغرب ، مطبعة جامعة كاليفورنيا ، 1993 . استشهد به في الصفحة 445 .

362 – هذا مشروح من قبل BERTHOLD LOUIS ULLMAN ، الكتابة القديمة و تأثيرها 1932 . استشهد به في الصفحة 445 .

363- PAUL LEHMANN ، بحث في العصور الوسطى – الرسائل و المقالات ، أنطون هيرسيمان 1961 ، صفحة 4-21 مستشهد به في الصفحة 445

264 – BERNARD BISCHOFF ، علم الكتابات القديمة للعصور الرومانية القديمة و العصور الوسطى الشرقية ، مطبعة إريش شميدت 1979 ، صفحة 215-219 . مستشهد به في الصفحة 446

265- HUTTON WEBSTER أيام الاستراحة :دراسة في القانون الأول و الأخلاق ، ماكميلان ، 1916 ، اكتشاف اليوم التعس في بابل تم في 1869 من قبل جورج سميث ، الذي أعاد أيضا اكتشاف ملحمة جلجاميش الشهيرة . مستشهد به في الصفحة 446 .

366 – الارتباطات بين الجذور اليونانية و العديد من الكلمات الفرنسية و بالتالي العديد من الإنجليزية يمكن أن يستخدم لبناء بسرعة مفردات لليونانية القديمة بدون الكثير من الدراسة ، كما هو مبين في المجموعة العملية من قبل J.CHAINEUX ، بعض الجذور الإغريقية ، فيتيرن – دو ميستر 1929 . أنظر أيضا DONALD M. AYERS الكلمات الإنجليزية من اللاتينية و العناصر الإغريقية ، مطبعة جامعة أريزونا 1986 ، مستشهد به في الصفحة 447 .

367 – من أجل الكتابة جيدا اقرأ WILLIAM STRUNK & E.B.WHITE عناصر الأسلوب ، ماكميلان 1935 ، 1979 أو WOLFGANG SCHNEIDER ، الألمانية للمتعلمين – الأسلوب - غرونر و يار 1987 . مستشهد به في الصفحة 448 .

368 – نظام الواحدات الدولي ، المكتب الدولي للأوزان و المقاييس ، بافليون دو برتوي ، بارك دو سان كلود ، 92310 سيفر ، فرنسا . كل التطورات الجديدة المتعلقة بواحدات SI منشورة في مجلة علوم القياس المحرر من قبل نفس الهيئة . بإبداء المسار البطيء لمؤسسة قديمة أطلقت BIPM موقع فقط في 1998 و هي الآن يمكن الوصول إليها في www.bipm.fr . أنظر أيضا www.utc.ft/~tthomass/Themes/Unites/index.html ، وهذا يشمل السير الذاتية للناس الذين أعطوا أسماءهم لواحدات عديدة . موقع مكافئها البريطاني www.npl.co.uk/npl/reference هو أفضل بكثير و هو يعطي العديد من التفاصيل و كذلك الشكل باللغة الإنجليزية لتعريف واحدات SI . مستشهد به في الصفحة 449 .

396 – الإنجيل في حقل قياس الزمن القديم هو عمل من مجلدين من قبل J. VANIER & C. AUDION ، فيزياء الكم لمعايير التردد الذري ، أدام هيلجه ، 1989 . العرض الشائع هو لتوني جونز ، تقسيم الثانية ، معهد الفيزياء للنشر ، 2000 . الموقع opdafl.obspm.fr/www/lexique.html يعطي مصطلحات مستخدمة في المجال . من أجل القياسات المحكمة للطول ، الأدوات المختارة هي الليزرات الخاصة مثل الليزرات ذات قفل النمط ، و أمشاط التردد . هناك مراجع ضخمة حول هذه المواضيع . و كذلك مراجع ضخمة حول قياسات التيار الكهربائي المحكمة ، و هناك سباق جاري من أجل أفضل طريقة للقيام بهذا : عد الشحنات أو قياس القوى المغناطيسية . و القضية ما تزال مفتوحة .

حول قياسات الكتلة الذرية ، أنظر المجلد حول النسبية (مجلد II ، صفحة 58) . حول القياسات عالية الإحكام لدرجة الحرارة أنظر المرجع 287 . مستشهد به في الصفحة 450 .

370 – سوابق SI غير الرسمية اقترحت أولا في 1990s من قبل K. Aronson من جامعة أكسفورد و يمكن أن يصبح مستخدما بشكل عام في المستقبل . أنظر العالم الجديد 144 ، صفحة 81 ، 3 كانون الأول 1994 . المقترحات الأقل جدية أيضا موجودة . مستشهد به في الصفحة 451 .

371 - الساعة الأكثر إحكاما المصنوعة عام 2004 لها إحكام يبلغ جزء واحد في 10^{15} . الإحكام الأعلى قد توقع بأنه ممكن قريبا ، من بين الأشياء الأخرى من قبل M.TAKAMOTO , F. –L. HONG , R. HIGASHI & H. KATORI ، ساعة ذات بلورة بصرية ، الطبيعة 435 ، صفحة 324-321 ، 2005 . مستشهد به في الصفحة 453 .

372 – J.BERGQUIST محرر ، مداولات الملتقى الخامس حول معايير التردد و القياس ، العالم العلمي ،1997

مستشهد به في الصفحة 453 .

373- J.SHORT تفاحات نيوتن تسقط من عند الإله ، العالم الجديد 2098 ، صفحة 5 ، 6 أيلول 1997 . مزيد من التفاصيل يمكن أن توجد في R.G.KEESING ، تاريخ شجرة تفاحة نيوتن ، الفيزياء المعاصرة ، 39 ، صفحة 377-391 ، 1998 . مستشهد به في الصفحة 455 .

374 – المفاهيم المتعددة هي حتى موضوع معيار دولي منفصل ، ISO 5725 حيث العنوان الدقة و الإحكام لطرق القياس و النتائج . مقدمة جيدة لـ JOHN R. TAYLOR ، مقدمة لتحليل الخطأ : دراسة الارتيابات في القياسات الفيزيائية ، الطبعة الثانية ، الكتب العلمية الجامعية ، 1997 . مستشهد به في الصفحة 455 .

375 – القيم الموصى الأحدث ما يكون (2010) للثوابت الفيزيائية الأساسية توجد فقط في الموقع physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html . هذه المجموعة من الثوابت تنتج عن الضبط الدولي و يوصى بها من أجل الاستخدام الدولي من قبل اللجنة حول البيانات من أجل العلم و التكنولوجيا (CODATA) وهي هيئة في مجلس الاتحادات العلمية الذي يجمع معا الاتحاد الدولي للفيزياء البحتة و التطبيقية (IUPAP) ، الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة و التطبيقية (IUPAC) و منظمات أخرى . موقع IUPAC هو www.iupac.prg . مستشهد به في الصفحة 457 .

367 - بعض القصص يمكن أن توجد في كتاب لـ N.W.WISE قيم الإحكام ، مطبعة جامعة برنستون 1994 . إن مجال القياسات عالية الإحكام التي تأتي منها نتائج هذه الصفحات هي عالم بذاته . و المقدمة الجميلة عنها هي لـ J.D.FAIRBANKS , B.S.FEAVER , C.W.EVERITT & P.F.MICHAELSON ، محررين ، قرب الصفر : حدود الفيزياء ، فريمان 1998 . مستشهد به في الصفحة 455 .

377 – من أجل التفاصيل أنظر المرجع الفلكي المعروف جيدا ، P. KENNETH SEIDELMANN ملحق شرح للموسوعة الفلكية 1992 مستشهد به في الصفحة 462 .

378 – .F.F.STANAWAY & al كم سرعة مشي الحاصد القوي ؟ تحليل منحني مميز لتشغيل المستقبل في الرجال الأصحاء بعمر سبعين سنة و أكثر . المجلة الطبية الأمريكية 343 ، صفحة 7679 ، 2011 . هذا البحث من قبل فريق بحث أسترالي كان يستند لدراسة لـ 1800 رجل من الشيوخ الذين تمت متابعتهم سنين عديدة ، البحث جزء من إصدار عيد الميلاد لعام 2011 و هوق ابل للتنزيل مجانا من www.bmj.com . تبين الأبحاث الإضافية أن المشي و التدريب على المشي يمكن في الحقيقة أن يدفع الموت بعيدا ، كما هو ملخص في K.JAHN & T.BRANDT كيف يغير العمر و المرض المشي ، الأخبار الأكاديمية 03 ، صفحة 25-22 ، 2012 . البحث يبين أيضا ن المشي البشري بانتصاب منذ على الأقل 3.6 مليون عام و أن سرعة المشي تتناقص بحوالي 1% كل عام بعد عمر 60سنة مستشهد به في الصفحة 476 .

تصديق

إقرارات

العديد من الناس يحتفظون بمنحة الفضول حية ساعدوا في جعل هذا المشروع يصبح حقيقة . أكثر من قام بذلك Peter Rudolph & Saverio Pascazio الذين سواء كانوا موجودين أو لا مرجعا دائما لهذا المشروع .

Fernand Mayne , Anna Koolen , Ata Masafumi , Roberto Crespi , Serge Pahaut , Luca Bomebelli , Herman Elswijk , Marcel Krijn , Marc de Jong , Martin van der Mark , Kim Jalink أبـــواي ، Peter & Isabella Schiller Mike van Wijk, Renate Georgi , Paul Teglaar, Barbara & Edgar Augel , M. Jamil , Ron Murdock , Carol Pritchard , Richatd Hoffman , Stephan Schiller , Franz Aichinger و أكث هم زوجتي Britta الذين كلهم قدموا نصائح قيمة و تشجيع .

العديد من الناس ساعدوا في المشروع و جمع المواد . و أكثرها فائدة كان Mikael Johansson , Bruno Barberi Gneco , Lothar Beyer العديد من التحسينات من قبل Bert Sierra و المقترحات التفصيلية من قبل Claudio Farinati العديد من التحسينات من قبل Eric Sheldon ، المقترحات التفصيلية من قبل Andrew Young و المساعدة المستمرة و النصيحة من قبل Jonatan Kelu التصحيحات من قبل Elmar Bartel و بشكل خاص المساعدة الشاملة و الشغف و الضمير الحي لـ Adrian Kubala .

المواد المهمة قدمت من قبل , Bert Peeters , Anna Wierzbicka , William Beaty , Jim Carr , John Merrit John Baez , Frank DiFilippo , Jonathan Scott , Jon Thaler , Luca Bombelli , Douglas Singleton , George McQuarry , Tilman Hausherr , Brian Oberquell , Peer Zalm ,Martin van der Mark , Valdimir Surdin , Julia Simon , Antonio Fermani , Don Page , Stephan Haley , Peter Mayr , Allan Hayes , Norbert Dragon , Igor Ivanov , Doug Renselle , Wim de Muynck , Steve Carlip , Tom Bruce , Ryan Budney , Gary Ruben , Chris Hillman , Olivier Glassey , Jochen Greiner , squark , Martin Hardcastle , Mark Biggar , Pavel Kuzin , Douglas Brenber , Luciano Lombardi , Franco Bagnoli , Lukas Fabian Moser , Dejan Corovic , Paul Vannoni , John Haber , Saverio Pascazio , Klaus Finkenzeller , Leo Bolin , Jeff Aronson , Roggie Boone , Lawrence Tuppen , Quentin David Jones , Arnaldo Uguzzoni , Frans van Nieuwpoort , Alan Mahoney , Britta Schiller , Petr Danecek ,Ingo Thies , Vitaliy Solomatin , Carl Offner , Nuno Proenca , Elena

Colazingari , Paula Henderson , Daniel Darre , Wolfganag Rankl , John Heumann , Joseph Kiss , Martha Weiss , Anotnio Gonzalez , Antonio Martos , Andre Slabber , Ferdinand Bautista , Zoltan Hacsi , Pat Furrie , Michael Reppisch ,Enrico Pasi , Thomas Koppe , Martin Rivas , Herman Beeksma , Tom Helmond , John Brandes , Vlad Tarko , Nadia Murillo , Ciprian Dobra , Romano Peini , Harald van Lintel , Andrea Conti , Francois Belfort , Dirk Van de Moortel , Heinrich Neumaier , Jaroslaw Krolikowski , John Dahlman , Fathi Namouni , Pauel Towsend , Sergi Emelin , Freeman Dyson , S.R. Madhu Rao , David Parks , Jurgen Janek , Daniel Huber , Alfons Buchmann , William Purves , Pietro Redondi , Damoon Saghin , Frank Sweetser , Markus Zecherle , Zach Joseph Espiritu , Marian Denes , Miles Mukta إضافة إلى عدد من الناس الذين أرادوا ألا يسموا .

أدوات البرمجيات قد تم تدقيقها وبمساعدة واسعة حول الأحرف و الطباعة من قبل Michael Zedler & Achim Blumensath و بدعم متكرر و قيم من Donald Arseneau و أتت المساعدة من Ulrike Fischer , Piet van Ostrum, Gerben Wierda , Klaus Bohncke , Craig Upright , Herbert Voss , Andrew Trevorrow , Danie Els , Heiko Oberdiek , Sebastian Rahtz , Don Storz , Vincent Darley , Johan Linde ,Joseph Hertzlinger , Rick Zaccone , John Warkentin , Ulrich Diez , Uwe Siart , Will Robertson , Koseph Wright , Enrico Gregorio , Rolf Niepraschk , Alexander Grahn , Werner Fabian & Karl Koller .

الطباعة و تصميم الكتاب استفادت من التشاور المهني مع Ulrich Dirr . و الطباعة تحسنت كثيرا بمساعدة Johann Küster و خطوطه Minin Math . تصميم الكتاب و موقعه على الإنترنت أيضا يعود كثيرا بالفضل على الاقتراحات و الدعم لزوجتي بريتا .

أيضا اشكر القانونيين و دافعي الضريبة في ألمانيا الذين على عكس البلدان الأخرى في العالم ، يسمحون للمقيمين باستخدام مكتبات الجامعات المحلية .

من عام 2007إلى2011 فإن الطباعة الإلكترونية و توزيع كتاب جبل الحركة كان مدعوما بسخاء من قبل مؤسسة Klaus Tschira .

مصادر الأفلام

إن الصور المتحركة الجميلة لـ dodecaeder الدوارة المرفقة في الصفحة 90 و الكرة المخفية في الصفحة 168 هي حقوق نسخ و تفضل لـ Jason Hise وقد صنعها من أجل هذا الكتاب و من أجل موقع Wikimedia Commons . العديد من الرسوم المتحركة له توجد في الموقع www.entrpygames.net . الصور المتحركة الواضحة للسطح البرام المعلق المبين على الصفحة 148 كان قد صنع من أجل هذا الكتاب من قبل Lucas Brbosa . الصور المتحركة المذهلة للمجموعة الشمسية في الصفحة 155 صنعت لهذا الكتاب من قبل Rhys Taylor و هي الآن موجودة في موقعه www.rhysy.net . الصور المتحركة الجميلة لتحولات القمر في الصفحة 190 حسبت من البيانات الفلكية الفعلية و هي حق نسخ و تفضل من قبل Martin Elsässer . و يمكن أن توجد في موقعه www.mondatlas.de/lunation.html . الفيلم الجميل للأقمار الصناعية الثابتة في المدار في الصفحة 195 هي حق نسخ و تفضل من قبل Michael Kunze و يمكن أن توجد في موقعه www.sky-in-motion.de/en . الصور المتحركة الجميلة للكواكب و الكويكبات في الصفحة 220 هي حق نسخ و تفضل من قبل Hans Christian Greier .

و يمكن أن توجد في موقعه www.parallax.at . فيلم الكوارتز المتذبذب في الصفحة 290 هو حق نسخ و تفضل من قبل Micro Crystal و هي جزء من مجموعة سواتش ، و توجد في www.microcyrstal.com . مجموعة الصور المتحركة التوضيحية و سرعة الموجة في الصفحة 298 و الصور المتحركة التوضيحية للحركة الجزيئية في موجة صوتية في الصفحة 310 هي تفضل وحق نسخ لـ IVSR في جامعة ساوثامبتون . فيلم الموجة الحمراء في الصفحة 322

هـي تـفضل و حـق لـ Amin Chabchoub الـتفاصـيل يـمكن أن تـوجـد فـي journals.aps.org/prx/abstract/ 10.1103/PhysRevX.2.011015 . أفـلام الـسولـينونـات فـي الـصفحة أفـلام الـسولـينونـات فـي الـصفحة 316 و الدورميونات في الصفحة 328 هي حق نسخ و تفضل من قبل Jarmo Hiertarinta و هي يمكن أن توجد في موقعه users.utu.fi/hiertarin . فيلم دوامة الضفدع القافز في الصفحة 378 هو حق نسخ و تفضل من Lim Tee Tai و يمكن أن يوجد عن طريق موقع ديناميك الموائع العائد لـه serve.me.nus.edu.sg . فيلم ندفة الثلج المتنامية في الـصفحة 420 هـو حـق نـسخ و تـفضل مـن قـبل Kenneth Libbercht . يـمكن أن يـوجـد فـي مـوقـعه www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals .

مصادر الصور

صورة الطرف الشرقي من ذروة Langtang Lirung في هيمالايا النيبالية المبينة على الغلاف الأمامي هي تفضل و حق نسخ من Kevin Hite و توجد في مفكرته التشاركية thegettingthere.com . صورة البرق في الصفحة 14 هي تفضل وحق نسخ لـ Harald Edens و يمكن أن توجد في www.lightingsafety.noaa.gov/photos.htm و www.weather-photography.com .

خـدعـة الحـركـة فـي الـصفحة 18 هـي تـفضل و حـق نـسخ لـ Michael Bach و تـوجـد عـلى مـوقـعه www.michaelbach.de/ot/mot_rotsnake/index.html . و هـي شـكل آخـر للخـدعـة مـن قـبل Kitaoka Akiyoshi الموجودة في www.ritsumei.ac.jp/~akitaoka و مستخدمة هنا بإذن منه . الأشكال في الصفحات , 20 206 & 57 صنعة خصيصا لهذا الكتاب و هي حق نسخ لـ Luca Gastaldi . الصورة عالية السرعة لكرة التنس المرتدة في الصفحة 20 هي تفضل و حق نسخ / ملكية لـ

اتحاد التنس الدولي و قد قدمت من قبل Janet Page . شكل Etna في الصفحات 130& 22 هي حق ملكية و تفضل من Marco Fulle و توجد في موقعه الرائع www.stromboli.net . الصورة الشهيرة لـ Les Poulains و منارتها من قـبل Philip Plisson فـي الـصفحة 23 و هـي تـفضل وحـق مـلكية لـ Pecheurs d'Image أنـظر الـموقـع www.plisson.com و www.pecheurs-d-images.com . و يـوجـد أيـضا فـي Plisson's magnus opus La Mer و هو كتاب رائع لصور البحر . الصورة في الصفحة 23 لألكساندر توسكانوف يقفز من عجلة نهائية لأخرى هي حق ملكية و تفضل من سيرك موسكو الحكومي . صورة الغزال في الصفحة 25 هي حق ملكية و تفضل من تـونـي رودجيرز و أخذت من موقعه www.flickr.com/photos/moomm . صور أجهزة قياس السرعة في الصفحة 35 هـي تـفضل و حـق مـلكية لـ Fachhochschule Koblenz مـن سيلفا و تـريـسـر و ويـكيميديـا . المخـطط فـي الـصفحة المخـطط فـي الـصفحة 38 أعيد رسمه و ترجم من الكتاب الرائع لـ HENEK TENNEKES ، De wetten van de vliegkunst – Over stijgen , dalen , vliegen en zweven . من 1993 , Aramith Utgevers .

صور كرة الطاولة في الصفحة 40 و صنبور الماء الذي ينقط في الصفحة و صنبور الماء الذي ينقط في الصفحة 353

هي حق ملكية و تفضل من قبل Andrew Davidhazy و توجد في موقعه www.rit.edu/~andpph

صورة قطيرة الماء المرتدة في الصفحة 40 ، هي حق ملكية و تفضل من قبل Max Groenendijk و توجد في موقعه www.lightmotif.nl . صـورة الـقرص الشمسـي الـمحكم فـي الـصفحة 45 هـي حـق مـلكية و تـفضل مـن Stefan Pietrzik و تـوجـد فـي commons.wikimedia.org/wiki/Image:Präzission-Sonnenuhr_mit_Sommerwalze.jpg . صور الساعة الأخرى في الشمل هي من مصادر مجال مفتوح كما هو مبين . المخطط على مقياس الإيقاعات البيولوجية في الصفحة 47 مرسوم من قبل المؤلف باستخدام البيانات من منظمة الـبيولـوجـيا الجـزيـئية الأوربـية الـموجـود فـي www.nature.com/embo/journal/v6/n1s/fig_tab/7400425_f3.html و إنريك مورغادو . رسم الأذن البشرية في الصفحة 50 و في الصفحة 324 هو حق ملكية لـجامـعة نـورث ويسـترن و تـفضل مـن تـيم هـايـن و تـوحـد فـي مـوقـعه www.dizziness-and-balance.com/disorders/bppv/otoliths.html . التوضيحات لمقياس المسماك ذو الورنية و لولب الميكرومتر في الصفحة & 54 65 هي حق ملكية لمديان فيركشتات ، تفضل من ستيفان بوجش و أخذت من المنهج التعليمي الموجود على موقعهما www.medien-werkstatt.de . صورة النمر في الصفحة 54 حق ملكية لحديقة حيوانات نـابولـي (في فلورديا و ليس في إيطاليا) و تفضل من تيم تيلتسلاف : أنظر موقعهم في www.napleszoo.com . أجهزة قياس

الطول الأخرى في الصفحة 54 هي تفضل وحق ملكية لكينس و ليكا جيوسيستمز توجد في www.lecia-heosystems.com . صورة مقياس الانحناء في الصفحة 55 هي حق ملكية و تفضل من قبل فرانك مولر و توجد على الموقع www.wikimedia.org . صورة البلورة إلى يسار الصفحة 58 هي حق ملكية و تفضل من ستيفان ولفسريد و توجد في www.mindat.org . صورة البلورة إلى يمين الصفحة 58 هي تفضل من توليو بيرنابي ، حق ملكية لـ Arch . Speleoresearch & Films /La Venta و توجد في www.laventa.it و www.baica.com.mx . شكل الأرض المجوفة في الصفحة 60 تفضل من هيلموت دييل ، وقد رسم من قبل إيزولد دييل . الصور الرائعة في الصفحة 510 & 212 , 216 , 179 , 150 , 69 تفضل وحق ملكية لأنتوني أيومامايتيس ، وقصة الصور موجودة في موقعه الجميل www.perseus.gr . صورة ضد الغسق في الصفحة 71 هي تفضل وحق ملكية لبيجي بيترسون . صور الحبل في الصفحة 72 تفضل و حق ملكية لبيوتر بيرانسكي . صورة النطاط المطلق في الصفحة 79 تفضل و حق ملكية لستانلي كايفيني ، صورة حساس الوسادة الهوائية في الصفحة 86 تفضل و حق ملكية لبوش ، صورة مقياس التسارع تفضل و حق ملكية لريكر إلكترونيكس ، الرسوم الثلاث للأذن البشرية هي حق ملكية لجتمعة نورث ويسترن و تفضل من تيم هاين و توجد في موقعه www.dizziness-and-balance.com/disorders/bppv/otoliths.html . صورة الجوزاء في الصفحة 87 هي تفضل وحق ملكية

لماثيو سبنيللي ، و هي معروضة أيضا على antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap030207.html . في الصفحة 87 رسم أحجام النجم هي تفضل و حق ملكية لدايف جارفيس . صورة Regulus و المريخ في الصفحة 88 هي تفضل وحق ملكية ليورجن ميشلبيرغر ، و توجد في www.jmichellberger.de . في الصفحة 91 صورة الدودة الفية تفضل و حق ملكية لديفيد باركس و توجد على موقعه www.mobot.org/mobot/madagascar/image.asp?relation=A71 . صورة البرص الذي يتسلق نافذة الباص في الصفحة 91 هي تفضل و حق ملكية لمارسيل بريندسن ، و توجد في موقعه www.flicker.com/photos/perendm . صورة الأمبية (المتحول) هي تفضل وحق ملكية لأنطونيو جويلن أوتورينو و مأخوذة من موقعه الرائع Proyecto Agua في www.flicker.com/photos/microagua . صورة N. decemspinosa في الصفحة 91 تفضل و حق ملكية لروبرت فول و توجد في موقعه rjf9.biol.berkeley.edu/twiki/bin/view/PolyPEDAL/LabPhotograhs

صورة P. ruralis في الصفحة 91 هي تفضل وحق ملكية لجون براكينبيري ، وهي جزء من مجموعته الرائعة في الموقع www.sciencephoto.co.uk . صورة العنكبوت المتحرج في الصفحة 91 هي تفضل و حق ملكية لإينجو ريشينبيرغ و يمكن أن توجد في www.bionik.tu-berlin.de بينما صورة الطفل المتشقلب هي تفضل و حق ملكية لكارفا جافي و يمكن أن توجد في www.flickr.com/photos/karavajavi . صور المحركات السوطية في الصفحة 93 هي حق ملكية و تفضل من قبل ويلي و أولاده و توجد في emboj.embopress.org/content/30/14/2972 الفيلمين الرائعين حول سياط البكتريا في الصفحة 94 هي حق ملكية و تفضل من مدرسة الخريجين لفرونتير بيوسينسز في جامعة أوساكا .

الصورة الرائعة لمذنب ماكنوت في الصفحة 95 تفضل و حق ملكية لمكتشفه روبرت ماكنوت و مأخوذة من موقعه www.mso.anu.edu.au/~rmn و توجد أيضا في antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap070122.html . صورة الإضاءة الصوتية في الصفحة 96 هي تفضل وحق ملكية لديتليف لوسه . صورة الكيلوغرام القياسي في الصفحة 100 تفضل و حق ملكية للمكتب الدولي للأوزان و القياسات (BIPM) . في الصفحة 108 صورة ميزان مندلييف هي حق ملكية اثينك تانك و تفضل من جاك كيربي ، و يمكن أن توجد في الموقع www.birminghamstories.co.uk

صورة الميزان المخبري هي حق ملكية وتفضل لميتلر – توليدو . صورة جهاز قياس الكتلة الكونية هو تفضل من ناسا . في الصفحة 115 صور مقاييس الاستطاعة تفضل وحق ملكية لـ SRAM ، للعناصر الليزرية وويكيميديا . المخطط المقاس للمشي البشري في الصفحة 122 تفضل و حق ملكية لراي ماكوي . في الصفحة 129 صورة الجيروسكوبات المكدسة هي تفضل من ويكيميديا . صورة الساعة التي لا تحتاج لربط هي حق ملكية لجيغر لو كولتر و تفضل من رالف ستيير . إن تاريخه وعمله موصوف بالتفصيل في البرشور المتوفر من الشركة . موقع الشركة هو www.Jaeger.LeCoultre.com . صورة رفع السفينة في ستريبي –ثيو في الصفحة 132 هو تفضل و حق ملكية لجان ماري أورناريت و يوجد في Wikimedia Commons . صورة الحجر المتمايل السلتي في الصفحة 133 هو تفضل وحق ملكية لإيد كيث وو يوجد في Wikimedia Commons .

صورة ذيول النجم في الصفحة 137 هو تفضل و حق ملكية لروبرت شفارتز ، وقد عرض على apod.nasa.gov/apod/ap120802.html . صورة جيروسكوب فوكو في الصفحة 142 تفضل و حق ملكية لمتحف CNAM ، في الكونسرفاتوار الوطني للفنون و المهن في باريس الذي موقعه www.arts-et-metiers.net . صورة الجيروسكوب الليزري في الصفحة 142 تفضل و حق ملكية لـ JAXA ، وكالة استكشاف الفضاء اليابانية و بوجد في موقعهم jda.jaxa.jp .

في الصفحة 143 النموذج ثلاثي الأبعاد للجيروسكوب هو حق ملكية و تفضل من زاك جوزيف إسبيريتو . رسم الجيروسكوب الليزري المحكم في الصفحة 144 هو تفضل لتوماس كلوجيل ، وحق ملكية للهيئة الاتحادية للخرائط و الجيوديزيا . صورة جهاز القياس هي تفضل و حق ملكية لكارل زيبس . الآلة واقعة في Fundamentalisation Wettzell و موقعها في www.wettzell.ifag.de . شكل الصفائح التكتونية في الصفحة 149 هي من فليم أنتج من قبل مشروع جلوب هولو لناسا و يمكن أن يوجد في svs.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/details.cgi?aid=1288

مخطط سجل درجة الحرارة في الصفحة 154 هو حق ملكية و تفضل من جان جوزيل و العلم / AAAS . صورة قيادة السيارة عبر الثلج في الصفحة 156 هي حق ملكية و تفضل من قبل نايل بروفو في neilprovo.com . صور ذبابة الرافعة لذبابة الرفع و ثقالاتها في الصفحة 160 هي من قبل بينتسو ، توجد في Wikimedia Commons ومن قبل سين ماكان من موقعه ibycter.com . صور MEMS و المخطط تفضل و حق ملكية من قبل ST Microelectronics

في الصفحة 166 الشكل 123 هو تفضل و حق كملكية لمشروع جيميني الدولي (مرصد جيميني / جمعية جامعات من أجل البحث في الفلك) في www.ausgo.unsw.edu.au و www.gemini.edu و الصورة بواسطة الأقمار الصناعية الثابتة في المدار هي حق ملكية و تفضل من مايكل كونتسه و يمكن أن توجد تماما قبل الفيلم الجميل بنفس القدر في www.sky-in-motion.de/de/zeitraffer_einzel.php?NR=12 . صورة ظل الأرض في الصفحة 167 هي تفضل و حق ملكية لأيان آر ريس و توجد في موقعه weaknuclearforce.wordpress.com/2014/03/30/earths-shadow .

عضاءة البازيليسك التي تجري على الماء صفحة 169 و على الغلاف الخلفي تفضل وحق ملكية للمجموعة البلجيكية TERRA VZW و توجد على موقعهم www.terravyw.org . صورة الماشي فوق الماء في الصفحة 170 هي تفضل وحق ملكية لتشارلز ليوالين . صورة روبوت الماء في الصفحة 170 هي تفضل وحق ملكية للمعهد الأمريكي للفيزياء.

مخطط قياس التنامي حول سرعة الجري في الثدييات هو تفضل و حق ملكية لخوسيه دياز و مجلة البيولوجيا التجريبية وهو منسوخ و معدل بإذن من المقالة الأصلية ، المرجع 132 التي توجد في jeb.biologists.org/content/205/18/2897 . شكل حركة المريخ في الصفحة 175 هي تفضل وحق ملكية

لتونك تيزيل . صورة ساعة النواس المحكم في الصفحة 181 هي حق ملكية لإروين ساتلر OHG ، وتفضل من السيدة ستيفاني ساتلر ريك و يمكن أن توجد في موقع www.erwinsattler.de .

الشكل حول التثليث لخط طول باريس في الصفحة 184 هي تفضل وحق ملكية لكين ألدر ، و توجد في موقعه www.kenalder.com . صور الشكل المنزلي لتجربة كافينديش في الصفحة 185 هي تفضل وحق ملكية لجون ووكر و توجد في موقعه www.fourmilab/ch/gravitation/foobar . صور تجربة كافنديش المحكمة في

الصفحة 186 هي تفضل وحق ملكية لمجموعة إيوت واش في جامعة واشنطن وتوجد في الموقع www.npl.washington.edueoywash . صورة الأرض المفلطحة في الصفحة 189 هي تفضل وحق ملكية

من قبل مركز الأبحاث الجيولوجية في بوتسدام التي توجد في www.gfz-potsdam.de . خرائط القمر في الصفحة 191 هي تفضل من برنامج الأبحاث الفلكية الجيولوجية USGS ، astrogeology.usgs.gov ، بشكل خاص مارك روسيك و ترينت هاير . مخطط المدارات في الصفحة 193 هو تفضل وحق ملكية من جيوفري مارسي . في الصفحة 196 ، المدار الكويكبي هو تفضل و حق ملكية لسيبو ميكولا . صورة المد و الجزر في الصفحة 197 هي حق ملكية و تفضل من جيل ريجنييه و توجد في موقعه www.gillesregnier.com و هو أيضا يبين صور متحركة عن ذلك المد و الجزر في كامل اليوم . صورة مبين النيزك الرائع في الصفحة 205 هي تفضل و حق ملكية من براد جولدباينت و توجد في موقعه goldpaintphotography.com و هي أيضا معروضة في apod.nasa.gov/apod/

ap17808.html . صورة النيزك في الصفحة206 هي تفضل و حق ملكية لروبرت ميخائيليان و توجد على موقعه www.fotoarena.nl/tag/robert-mikaelyan/ .

الصور للنزول السريع للثلج في الصفحة 208 هي حق ملكية و تفضل لسيمون أوريغون ، www.simonorigone.it و إيريك بارون www.ericbarone.com . صورة توابع غاليليو في الصفحة 210 هي تفضل و حق ملكية لروبين سكاجيل أخذت من موقعه www.galaxypix.com . في الصفحة 217 صور الزهرة هي حق ملكية لواه ! و تفضل من Wikimedia Commons أنظر أيضا apod.nasa.gov/apod/ap060110.html . في الصفحة 218 الرسم القديم للو ساج تفضل من Wikimedia . صورة الأجسام الكوكبية في الصفحة 221 حق ملكية و تفضل من أليكس سينيري و قد عرضت على apod.nasa.gov/apod/ap160816.html .

صور الخسوفات الشمسية في الصفحة 223 هي تفضل وحق ملكية من المركز الوطني للدراسات الفضائية في www.cnes.fr و لوران لافيديه ، من موقعه الجميل www.PixHeaven.net . صور القطوع الزائدة المائية في الصفحة 226 هي حق ملكية و تفضل من شركة أوساي و توجد على موقعهم www.oase-livingwater.com , صورة مسنن الحشرة في الصفحة 224 هي حق ملكية و تفضل من ماكون بوروز و توجد على موقعه www.zoo.cam.ac.uk/departments/insect-neuro . صور أزهار الأقحوان في الصفحة 245 هي حق ملكية و تفصل من جورجيو دي إيوريو توجد على موقعه www.flickr.com-photos.gioischia و توماس لووتي ، توجد على موقعه www.tiptom.ch-album/blumen/ . صورة الألعاب النارية في شانتيلي على الصفحة 248 هي تفضل وحق ملكية من كريستوف بلان و مأخوذة من موقعه الجميل christopheblanc.fr . في الصفحة 247 الصورة الجميلة لـ M74 هي حق ملكية و تفضل لمايك هانكي و توجد على موقعه الجميل cdn.mikesastrophotos.com . شكل زهرة لا تنساني في الصفحة 266 تفضل و حق ملكية لماركو سافيلا . صورة مجموعات ورق الجدران في الصفحة 267 حق ملكية و تفضل لرور بار ناتان و مأخذوة من موقعه الرائع www.math.toronto.edu/~drorbn/Gallery . صور التناظرات للأجسام الصلبة في الصفحة 268 خي حق ملكية و تفضل من جوناثان جوس و مأخوذة من موقعه www.phys.ncl.ac.uk/staff.njpg/szmmetry . ايضا دايفيد ميرمين و نايل أشكروفت أعطوا مباركتهم لا ستخدامها . في الصفحة 291 مخطط تحليل فوريه هو تفضل من ويكيميديا . رسومات الجرس الرنان في الصفحة 291 تفضل وحق ملكية لـ H. Spiess . صورة أسطوانة الفينيل في الصفحة 292 ، المقياس = الواحد ، هي حق ملكية لكريس سوبرانوفيتس و تفضل من جامعة روكستر ، يمكن إيجادها في مرقعه الخبير www.optics.rochester.edu/workgroups/cml/opt307/spr05/chris . في الصفحة 295 صور موجة الماء هي تفضل و حق ملكية لإريك ويليس ، ويكيميديا و أليهوك . أشكال التداخل في الصفحة في الصفحة 302 هي حق ملكية و تفضل لروديجر باشوتا و توجد في موسعته الليزرية الحرة في www.rp-photonics.com

في الصفحة 307 رسومات الحنجرة هي تفضل من ويكيميديا . الصور لمقياس شدة الريح المصغر في الصفحة 311 هي حق ملكية لميكروفلاون و تفضل لمارسين كوروباسيفيتش . مزيد من الصور يمكن أن توجد في موقعهم www.mircoflown.com . صورة آلة التصوير المحمولة بالأمواج فوق الصوتية في الصفحة 312 هي تفضل و حق ملكية لشكرة جنرال إلكتريك . صورة الأمواج فوق الصوتية في الصفحة 312 هي تفضل و حق ملكية لويكيميديا.

شكل السوليتون في قناة المياه في الصفحة 315 هو تفضل و حق ملكية لودغالد دونكان و أخذ من موقعه www.ma.hw.ac.uk/solitons/solition1.html . الصورة في الصفحة 318 تفضل و حق ملكية لأندرياس هاليرباخ و موجودة على موقعه www.donvanone.de . صورة مكهب روبيك في الصفحة 344 هي تفضل من ويكيميديا . في الصفحة 325 صور أمواج الصدمة هي حق ملكية و تفضل من أندرو دافيدهيزي ، غاري سيتلز و ناسا . صور اليقظة في الصفحة اليقظة في الصفحة 326 هي تفضل من ويكيميديا و تفضل وحق ملكية لكريستوفر ثورن . في الصفحة في الصفحة 329 صور أمواج الماء غير العادية هي حق ملكية و تفضل من ديان هندرسون ، شخص مجهول و ويكيميديا . جبل الفراكتال في الصفحة 332 تفضل و حق ملكية لباول مارتيز ، الذي يشرح في موقعه www.gameprogrammer.com/fractal.html كيفية برمجة مثل هذه الصور . صورة قطيرة الزيت على سطح الماء في الصفحة 333 تفضل و حق ملكية لولفجانج وريكنر و توجد في sciencedemonstrations.fas.harvard.edu/icb .

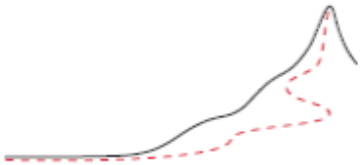
صورة فقاعة الصابون في الصفحة 340 هي حق ملكية و تفضل من LordV و توجد في موقعه www.flickr.com/photos/lordv . صور كربيد السليكون في الصفحة صور كربيد السليكون في الصفحة 341 حق ملكية و تفضل من ديتمر سيشه . صورة شاردة الباريوم الوحيدة في الصفحة في الصفحة 342 حق ملكية و تفضل من فيرنر نويهاوسر في جامعة هامبورغ . صورة AFM للسيليكون في الصفحة 342 هي حق ملكية جامعة أوسبورغ و مستخدمة من قبل إذن لطيف من جيرمان هامرل . صورة ذرات الهليوم على المعدن في الصفحة 342 حق ملكية و تفضل من IBM . صورة AFM في الصفحة 343 هي حق ملكية لنانو سيرف (أنظر www.nanosurf.ch) و مستخدمة بإذن لطيف من روبرت سوم . صورة برج تنسجريتي في الصفحة تنسجريتي في الصفحة 347 حق ملكية و تفضل من كينيث سنيلسون . صورة الأتوميوم في الصفحة 349 هي تفضل وحق ملكية من قبل أسبيل أتوميوم Vzw و مستخدمة بإذنهم بالتعاون مع SABAM في بلجيكا . كلا من صورة و الأتوميوم نفسه هي تحت حق ملكية . و صور النفاق الحبيبي في الصفحة 350 في الرمل هي حق ملكية و تفضل من آمي شين الذي اكتشف الظاهرة مع سينجوردور توردسن .

صور الآلات في الصفحة 350 هي تفضل و حق ملكية لـ ASML و Voith . صورة حفار السطل المدولب في الصفحة 351 هي حق ملكية و تفضل من RWE و يمكن أن توجد على موقعهم www.rwe.coom . صور حركة المائع في الصفحة 353 هي حق ملكية و تفضل من جون بوش، معهد ماساشوستس للتقانة و مأخوذة من موقعه www.math.mit.edu/~ bush . في الصفحة358 صور تناقض المائع هي تفضل وحق ملكية لـ IFE . صور تجارب ماجدبروغ التاريخية من قبل Guericke في الصفحة 359 هي حق ملكية للبريد الألماني , شركة أوتو فون جويركه في www.ovgg.ovgg.de ، و فوتوتيك الألمانية في www.deutschefototek.de و هي مستخدمة بإذن خاص منهم . في الصفحة 360 صورة التدفق الصفحي هي حق ملكية و تفضل لمارتين توم و توجد على موقعه www.flickr.com/photos/39904644@N05 و صورة الماء المنصهر هي تفضل و حق ملكية لستيف بوتلر ، و توجد على موقعه www.flickr.comphotos/11665506@N00 . القارب المبحر في الصفحة في الصفحة 361 هي تفضل وحق ملكية لـ Bladerider International . الصورة للغلاف الجوي في الصفحة 363 هي حق ملكية لـ Sebman81 , وتفضل لويكيميديا . صورة الحاسب المميزة حول مقدار الماء على الأرض في الصفحة 369 حق ملكية و تفضل لجاك كوك ، أدام نيمان ، معهد وودز هول لدراسات المحيطات ، هاوارد بيرلمان و USGS وقد عرضت في apod.nasa.gov.apod/ap160911.html . صور أنظمة قياس سرعة الريح في الصفحة 373 تفضل و حق ملكية لـ AQSystems من www.aqs.se و ليوسفير من www.leosphere.fr . في الصفحة 375 صور لايدن فروست هي تفضل و حق ملكية لكينجي لوبيز – ألت و توجد على www.seiousseats.com/2010/08/how-to-boil-water-faster-simmer-temperatures.html . صورة حلقة الدخان في إتنا على الصفحة 377 تفضل و حق ملكية من دنيبلا تشيزسسبانسكي وتوجد على مواقعها الشاملة www.vulkanachive.de و www.vulkane.net

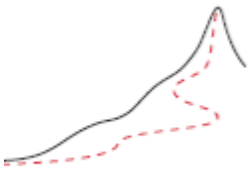
في الصفحة 379 صور القطيرات المتدحرجة هي حق ملكية و تفضل من دايفيد كويريه و مأخوذة من iusti.polytech.univ-mrs.fr/~aussillous/marbles.htm . صور التخطيط الحراري لدراجة مكبوحة في الصفحة 382 هي حق ملكية لكلاوس بيتر مولمان ، ومايكل فولمر ، المدرسة العليا التخصصية في براندنبورغ / ألمانيا وتفضل من مايكل فولمر و فرانك بينو . صورة الصفحة 382 هي تفضل و حق ملكية لـ ISTA . صور مقاييس درجة الحرارة في الصفحة في الصفحة 385 هي تفضل و حق ملكية لويكيميديا ، رون ماركوس ، شركة براون ، يونيفرسوم ، ويكيميديا و ثيرموديفايسز . صورة المنطاد في الصفحة 388 هي حق ملكية ليوهان دو يونج و تفضل لسجل المناطيد الهولندي الذي يوجد في www.dutchbaloonregister.nl ، صورة الطلع في الصفحة 390 هي من منشأة المجهر الإلكتروني لكلية دارتموند و تفضل من ويكيميديا . صورة المجهر النفقي الماسح للذهب في الصفحة399 هي تفضل من سيلفي روسيت و حق ملكية لـ CNRS في فرنسا . صورة أنبوب دوامة رانك- هيلش تفضل و حق ملكية لكولكويب . صور وشكل الصفحة 417 حق ملكية و تفضل من إرنستو ألتسولر ، كارلو نودا ، و العاملين معهم و توجد في موقعهم www.complexexperiment.net .

صورة تجعد الطريق هي تفضل لديفيد مايس و مأخوذة من بحثه المرجع 326 . صورة الأوسيلون في الصفحة 419 هي تفضل و حق ملكية لباول أومباندهاور . رسم الكرات الدوارة في الصفحة 419 تفضل وحق ملكية لكارستن كوتر . فراكتال النواس في الصفحة 423 هو تفضل و حق ملكية لباول نايلاندر ويوجد في موقعه bugman123.com . المائع المتدفق فوق صفيحة مائلة في الصفحة 425 هو تفضل و حق ملكية فاكتانج بوتكارادزه . صورة تفاعل بيلوسوف –

زابوتنسكي في الصفحة 426 هو تفضل و حق ملكية لجامعة ياماجوشي و يوجد في معرض الصور لديهم في www.sci.yamaguchi-u.ac.jp/sw/sw2006/ . صور أعمدة النشاء في الصفحة 427 هي حق ملكية لجيرهارد مولر (1940-2000) و هي تفضل من إنجريد هورنشن . الصور الأخرى في نفس الصفحة هي تفضل و حق ملكية لرافائيل كيسلر من موقعه www.raphaelk.co.uk ، لبوب يوهالد من موقعه www.ferrum.edu/bpohald و سيدريك هوسلر . في الصفحة 429 المخطط حول بلورات الثلج حق ملكية و تفضل من كينيث ليبريخت ، أنظر موقعه www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals . صورة سرب الزرازير في الصفحة 430 هي حق ملكية و تفضل من أندريا كافانيا ، و الفيزياء اليوم , صورة انفجار فقاعة الصابون في الصفحة 472 هي حق ملكية و تفضل من بيتر فينيرويتر و توجد في موقعه homepage.univie.ac.at/Peter.Wienerroither . صورة الحزم الفرعية في الصفحة 475 هي حق ملكية و تفضل من فريتز بييري و هاينتس ريدر و توجد على موقعهم www.beatenbergbilder.ch . الرسم على الصفحة 480 هو تفضل و حق لكية لدانييل هاوكينز . الصورة لمسطرة منزلقة في الصفحة 484 هي تفضل و حق ملكية ليورن لوتجينز و توجد على موقعه www.joernluetjens.de . في الصفحة 488 مخطط الدراجة هو تفضل و حق ملكية لأريند شفاب . في الصفحة 501 صورة القرص الشمسي هو تفضل و حق ملكية لستيفان بيترزيك . في الصفحة 505 صور المدخنة هي حق ملكية و تفضل لجون جلاسر و فرانك سيبنر . صورة مقياس الريح المتحرك في الصفحة 513 هي تفضل و حق ملكية لتوبياس كلاوس . كل المخططات هي حق ملكية لكريستوف شيلر . إذا كانت تشك بأن حق ملكيتك لم يعطى بشكل صحيح أو تم الحصول عليه فإن هذا لم يتم عمدا لذا اتصل من فضلك بناء حول هذه الحالة .



NAME INDEX



SUBJECT INDEX