



المملكة العربية السعودية
جامعة أم القرى
كلية العلوم التطبيقية
قسم الفيزياء

Umm Al-Qura University
Faculty of Applied Science
Physics Department

الفيزياء العامة

General Physics

4031101-4

اعداد

اساتذة القسم

المحتويات

الصفحة	البند	
	الباب الأول: القياس في الفيزياء	الباب الأول : القياس في الفيزياء
١	مقدمة	
٢	الكميات الأساسية والكميات المشتقة	
٢	الوحدات	
٤	النظام البريطاني للوحدات	
٤	نظام الـ cgs للوحدات	
٤	النظام الدولي للوحدات	
٥	تعريف وحدة الطول بالنظام الدولي للوحدات	
٦	تعريف وحدة الكتلة بالنظام الدولي للوحدات	
٧	تعريف وحدة الزمن	
٩	الرموز البادئة	
١٠	نظرية الأبعاد وتطبيقاتها	
١١	تطبيق نظرية الأبعاد في استنتاج أبعاد الكميات المشتقة بواسطة الكميات الأساسية	
١٣	تطبيق نظرية الأبعاد في التأكد من صحة القوانين الفيزيائية	
١٥	تطبيق نظرية الأبعاد في استنتاج بعض القوانين الفيزيائية	
١٧	تطبيق نظرية الأبعاد في إيجاد وحدات الثوابت الفيزيائية	
١٩	تطبيق نظرية الأبعاد في التحويل من نظام وحدات إلى نظام آخر	
٢٢	تمارين محلولة	
٢٦	واجبات وأنشطة	
	الباب الثاني: المتجهات	الباب الثاني : المتجهات
٢٨	الكميات القياسية والكميات المتجهة	
٣٠	الاحداثيات	
٣١	الاحداثيات الكارتيزية	
٣٢	الاحداثيات القطبية	
٣٣	الاحداثيات الكروية	
٣٢	جمع المتجهات	
٣٢	جمع المتجهات بالطريقة الهندسية	
٣٥	سالب المتجهة	
٣٦	مركبات المتجهة	
٣٨	متجهة الوحدة	
٤٠	جمع المتجهات بطريقة المركبات (الطريقة التحليلية)	
٤١	طرح المتجهات	
٤٧	ضرب المتجهات	
٤٧	ضرب متجهة بكمية قياسية	

٤٨	الضرب القياسي لمتجهين	
٥٠	الضرب الاتجاهي لمتجهين	
٥٦	تمارين محلولة	
٥٨	واجبات وأنشطة	

٦٠	الباب الثالث : الحركة الخطية	الباب الثالث : الحركة الخطية
٦٠	مقدمة	
٦٠	وصف الحركة	
٦٠	الموضع	
٦١	المسافة	
٦٢	الازاحة	
٦٢	السرعة القياسية	
٦٣	السرعة المتجهة	
٦٤	العجلة (التسارع)	
٧٠	معادلات الحركة لجسم يتحرك بعجلة منتظمة	
٧٤	السقوط الحر للأجسام	
٧٨	تمارين محلولة	
٨٠	واجبات وأنشطة	

٨٢	الباب الرابع : قوانين نيوتن للحركة	الباب الرابع : قوانين نيوتن للحركة
٨٢	مقدمة	
٨٢	قانون نيوتن الاول	
٨٣	كمية التحرك	
٨٣	قانون نيوتن الثاني	
٨٤	القوة	
٨٥	الكتلة والوزن	
٨٨	قانون نيوتن الثالث	
٩٠	تطبيقات على قوانين نيوتن	
٩٦	تمارين محلولة	
٩٨	واجبات و أنشطة	

١٠٠	الباب الخامس : الشغل والطاقة	الباب الخامس : الشغل والطاقة
١٠٠	الشغل	
١٠٣	الشغل الناتج من مجموعة قوى	
١٠٣	الشغل الناتج من قوة متغيرة	
١٠٤	الشغل المبذول بواسطة زنبرك	
١٠٩	الطاقة	
١٠٩	طاقة الحركة	
١٠٩	نظرية الشغل-الطاقة	
١١٢	طاقة الوضع	

١١٤	القدرة	
١١٧	تمارين محلولة	
١٢١	واجبات وانشطة	

١٢٣	الباب السادس : خواص الموائع الساكنة	الباب السادس : خواص الموائع الساكنة
١٢٣	مقدمة	
١٢٣	الكثافة	
١٢٤	الضغط	
١٢٩	قاعدة باسكال	
١٣١	الطفو وقاعدة ارشميدس	
١٣٤	قياس الضغط	
١٣٤	البارومتر	
١٣٦	المانومتر	
١٣٧	التوتر السطحي	
١٣٩	طاقة السطح	
١٤٠	زاوية التلامس	
١٤١	الخاصية الشعرية	
١٤٤	تمارين محلولة	
١٤٥	واجبات وانشطة	

١٤٧	الباب السابع : خواص الموائع المتحركة	الباب السابع : خواص الموائع المتحركة
١٤٧	انسياب الموائع	
١٤٩	معدل انسياب السائل	
١٤٩	معادلة الاستمرارية	
١٥٢	الشغل المبذل في دفع سائل	
١٥٣	معادلة برنولي	
١٥٥	تطبيقات على معادلة برنولي	
١٥٥	ايجاد سرعة انسياب سائل من فتحة جانبيه اسفل مستودع	
١٥٧	الانبويه ذات الاختناق (مقياس فنطوري)	
١٥٨	مضخة التفريغ المائية	
١٥٩	البخاخ (الرزاز)	
١٦٢	اللزوجة	
١٦٦	تمارين محلولة	
١٦٧	واجبات وانشطة	

١٦٩	الباب الثامن : الحرارة والديناميكا الحرارية	الباب الثامن : الحرارة والديناميكا الحرارية
١٦٩	مقدمة	
١٦٩	درجة الحرارة والثرموترات	
١٦٩	مقاييس درجة الحرارة	
١٧٢	انواع الثرموترات	
١٧٦	الحرارة والطاقة	
١٧٨	الاتزان الحراري	
١٨١	انتقال الحرارة	
١٨٦	التمدد الحراري	
١٩٠	تمارين محلولة	
١٩٢	واجبات وانشطة	

١٩٤	الباب التاسع : الضوء الهندسي	الباب التاسع : الضوء الهندسي
١٩٤	طبيعة الضوء	
١٩٨	انعكاس الضوء	
١٩٨	الانعكاس عند سطح مستوي	
١٩٩	مصطلح الاشارات	
٢٠٠	الانعكاس عند سطح كروي	
٢٠٣	مواصفات الصور المتكونة بواسطة المرايا الكرية	
٢٠٧	انكسار الضوء	
٢٠٧	الانكسار عند سطح مستوي	
٢٠٧	قانون سنل	
٢٠٩	الزاوية الحرجة والانعكاس الكلي الداخلي	
٢١٢	العدسات	
٢١٢	العدسة المحدبة	
٢١٣	العدسة المقعرة	
٢١٦	تمارين محلولة	
٢١٨	واجبات وانشطة	

الباب الأول

القياس في الفيزياء Measurement

مقدمه:

علم الفيزياء هو علم "دراسة وتقنين الظواهر الطبيعية"، والظاهرة الطبيعية هي "حدث يتكرر بتكرار نفس الظروف والشروط"، فمثلا اذا رفعت القلم إلى اعلى وتركته، ماذا تتوقع؟ بالطبع سيسقط القلم على الارض، واذا قمت بتكرار هذه العملية عدة مرات فسوف يقع القلم. هذا الحدث يسمى ظاهرة طبيعية. وجميع الظواهر الطبيعية تحدث في المادة والطاقة فقط. والمادة هي أي شيء له كتله وحجم، فالنبات والحيوان والانسان والماء والهواء والغازات كلها مواد لأن كل منها له كتله وحجم، ويمكن ان تتواجد المادة على الصورة الصلبة او السائلة او الغازية، كما يمكن ان تتواجد على هيئة مواد حيوية مثل النبات والحيوان. أما الطاقة فهي "أي مؤثر ليس له كتله ولا حجم". فمثلا اذا وضعت يديك بالقرب من مصدر ساخن فستشعر بالحرارة، واذا قربت مغناطيس من قطعه حديد فسينجذبا، وإذا تعرض شخص الى صدمة كهربية فسيشعر بألم، وفي جميع تلك الاحوال لا يمكنك ان تحسب كتلة او حجم الحرارة او الكهرباء، ولكن فقط ما تستطيع ان تصفه هو مقدار هذا التأثير. هذا المؤثر يطلق عليها اسم الطاقة. وتصنف الطاقة على حسب نوع التأثير، فمثلا لدينا الطاقة الكهربائية والطاقة الحرارية والطاقة المغناطيسية والطاقة الضوئية وطاقة الحركة، وكلها صور من صور الطاقة. كما ان تأثير هذه الطاقة على المادة يعطي ما يسمى بـ "الخواص الفيزيائية للمادة" ومن ثم فيكون لدينا الخواص الكهربائية للمادة والخواص الحرارية للمادة والخواص الضوئية للمادة وهكذا.

علم الفيزياء هو العلم الذي يهتم بدراسة كل تلك الظواهر المصاحبة للمادة والطاقة. ويهتم علم الفيزياء عند دراسة الظواهر الطبيعية بالآتي:

- ١ - تحديد المفاهيم الفيزيائية المصاحبة للظاهرة الطبيعية بحيث ان كل مفهوم يمكن التعبير عنه بكمية فيزيائية، مثل درجة الحرارة والحجم والضغط والطاقة ،، الخ.
- ٢ - تقنين الظواهر الطبيعية لتصبح على صورة علاقة رياضية تربط بين الظاهرة واسبابها.
- ٣ - تقدير الكميات الفيزيائية باستخدام وحدات مناسبة ومعرفة جيدا.
- ٤ - قياس الكميات الفيزيائية في المعمل مع تحديد الدقة في القياس.
- ٥ - حساب الكميات الفيزيائية باستخدام القوانين والعلاقات الفيزيائية.
- ٦ - عمل نمذجة بغرض تفسير الظواهر الطبيعية.

الكميات الأساسية والكميات المشتقة Basic and Derived Physical Quantities

أى كمية فيزيائية (مثل السرعة - المسافة - الزمن - القوة) لها مفهوم خاص بها، فمثلا السرعة عبارة عن المسافة المقطوعة على الزمن أى مسافة / زمن، وكذلك المساحة عبارة عن طول $\times$ عرض أى مربع الطول، ومثل هذه الكميات يمكن التعبير عنها بواسطة المسافة والزمن وكذلك الكتلة. فأي كمية فيزيائية تحتاج فى وصفها ومعرفتها إلى حاصل ضرب أو حاصل قسمة أى كميتين من (المسافة أو الزمن أو الكتلة) فيطلق على تلك الكمية الفيزيائية كمية مشتقة، أما الكميات مثل الطول أو الزمن أو الكتلة فهي كميات أولية لا تحتاج لتحديد لها إلى حاصل ضرب أو قسمة كميتين فيزيائيتين، ويطلق على هذه الكميات بالكميات الأساسية.

ومن ذلك نصل إلى التالي:

الكمية الفيزيائية الأساسية (Basic Quantities) هي الكميات التى لا تحتاج الى أكثر من كمية لتحديد لها وهي (الطول - الكتلة - الزمن)

الكمية الفيزيائية المشتقة (Derived Quantities) هي الكميات التى تحتاج الى أكثر من كمية أساسية لتحديد لها (مثل السرعة - العجلة - القوة - الضغط - المساحة - الحجم الخ...)

الوحدات Units

يهتم علماء الفيزياء بتحويل المفاهيم الفيزيائية إلى كميات قابلة للقياس. يقول اللورد كلفن "عندما تتمكن من قياس ما تتحدث عنه والتعبير عنه عددياً فإنك تعرف بعضاً عنه. ولكن إذا لم تتمكن من قياسه والتعبير عنه عددياً، تكون معرفتك عنه قاصره وغير مرضيه" وتُعد هذه العبارة كمبدأً أساسياً للعاملون فى حقل العلوم بصفه عامه وللمهتمون بمجال الفيزياء بصفه خاصه فى سبيل تنقيح أفكارهم وتمحيص مفاهيمهم حتى تصبح خاليه من الشوائب من ناحيه وأكثر دقه من ناحيه أخرى.

ويتضمن قياس أى كمية فيزيائية بالضروره مقارنتها بكمية أخرى من نفس النوع تكون بمثابة كمية قياسيه أو معيار "**وحده**" لمعرفة عدد مرات إحتواء الكمية الفيزيائية بالوحدات. أى أن وحدة قياس الشئى هى جزء معين منه معروف ومحدد مسبقاً.

لذلك يتطلب تقدير أى كمية فيزيائية لتصبح قابلة للقياس خطوتين:

الخطوة الأولى : إختيار المعيار "الوحدة" الذى يتفق فى طبيعته مع الكمية المراد قياسها.

والخطوة الثانية هى تعيين قيمة الكمية المراد قياسها بدلالة المعيار الذى تم إختياره.

فعندما نتحدث عن مسافة ما وانها تساوى ٥ كم فإننا نكون قد إختارنا الكيلومتر كوحده أو معيار للمسافة فى هذه الحالة. وأن المسافة المعنيه تساوى ٥ أمثال هذا المعيار أو هذه الوحدة. وإذا إختارنا المتر لتقدير نفس المسافة نجد أنها تساوى ٥٠٠٠ متر وهذا يعنى أن القيمة العددية الجديده تساوى ألف مره القيمة العددية السابقه، أى أنه كلما كانت الوحدة كبيره كلما كانت القيمة العددية صغيره. وهنا يمكن القول أن القيمة العددية لكمية ما تتناسب عكسيا مع قيمة الوحدة المختاره كمعيار. ويمكن صياغة هذه النتيجة عندما نريد تقدير كمية فيزيائية كالآتى

$$N_1 S_1 = N_2 S_2$$

حيث N_1, N_2 هما القيمتان العدديتان لكمية فيزيائية مناظرين لمعيارين (لوحدين) هما S_1, S_2 على الترتيب.

ويتطلب ان يتصف المعيار او الوحدة بما يلى:

- ١- أن يكون معرفا بالضبط.
- ٢- أن يكون له مقدار مناسب.
- ٣- غير قابل للتلف.
- ٤- لا تتغير قيمته مع الزمن.
- ٥- لا يتغير بتغير الظروف الطبيعیه مثل الضغط - ودرجة الحراره- ألخ .
- ٦- إمكانية الحصول عليه فى أى مكان دون مشاكل.

أنظمة الوحدات System of Units

١- النظام البريطاني (British system of unit)

ويطلق عليه أحيانا *FPS system of unit*، وذلك لأنه يستخدم وحدات القدم والباوند والثانية، ففي هذا النظام نجد أن:

الرمز	الوحدة الأساسية	الكمية الفيزيائية
ft	foot	الطول Length
lb	pound	الكتلة Mass (الباوند (الرطل)
s	second	الزمن Time (الثانية)

٢- نظام الـ (cgs system of unit)

ويطلق عليه النظام العلمي (أو نظام جاوس)، ويعتمد هذا النظام على السنتيمتر والجرام والثانية.

الرمز	الوحدة الأساسية	الكمية الفيزيائية
cm	centimeter	الطول Length (السنتيمتر)
g	gram	الكتلة Mass (الجرام)
s	second	الزمن Time (الثانية)

٣- النظام الدولي للوحدات (International System of Units (SI)

اتجه العلماء بعد الحرب العالميه الثانيه إلى تعميق الترابط والتعاون العلمى بين الدول وقد أدى هذا إلى محاولة توحيد نظام القياس عند الدول وخلق نظام جديد للقياس سُمي بالنظام الدولي لوحدات القياس .

ويتميز النظام الدولي بأنه

- ١- لغه مشتركه لجميع الدول
- ٢- صالح لكل المجالات
- ٣- توجد بين الوحدات المشتقه والأساسيه فى هذا النظام علاقات بسيطه
- ٤- إختفاء المعاملات العدديه التى كانت توجد فى ظل النظم الأخرى ومن ثم تيسر إجراء الحسابات.

ويتكون النظام الدولي من سبع وحدات أساسية وهى :

جدول (١) : الوحدات الأساسية فى النظام الدولي للوحدات

الرمز	الوحدة الأساسية	الكمية الفيزيائية
m	meter	المتر Length الطول
kg	kilogram	الكيلوجرام Mass الكتلة
s	second	الثانية Time الزمن
A	ampere	الأمبير Electric current التيار الكهربى
K	kelvin	الكلفن Temperature درجة الحرارة
mol	mole	المول Amount of substance كمية المادة
cd	candela	القنديلة Luminous intensity شدة الاستضاءة

تعريف وحدة الطول فى النظام الدولي للوحدات

تم تعريف المتر فى بداية نشأته بأنه لمسافه المقاسه عند درجة الصفر المئوى بين علامتين محفورتين على ساق ذات شكل معين مصنوعه من سبيكة ٩٠% بلاتين، ١٠ من الإيريديوم، و محفوظه فى المكتب الدولى للموازين و المكايل بفرنسا.

وفى عام ١٩٦٠ تم تقديم تعريف اخر أو بديل أخر للمتر العيارى بدلا تلك السبيكة فى باريس حيث تم تحديد المتر العيارى على انه يساوى ١٦٥٠٧٦٣٧٣ ضعفا للطول الموجى للضوء الأحمر البرتقالى المنبعث من ذرة الكريبتون ٨٦ فى أنابيب التفريغ الكهربى.

وبحلول عام ١٩٨٣ فقد تم تقديم تعريف جديد للمتر حيث تم تحديد المتر العيارى على أنه المسافة التى يقطعها الضوء فى الفراغ خلال جزء قدرة $\frac{1}{299792458}$ من الثانية. وذلك التعريف قد تم تقديمه بعد ان اصبح قياس سرعة الضوء فى الفراغ تتم بدقة متناهية.

فى ١٦ نوفمبر ٢٠١٨، صوتت اللجنة الدولية للأوزان والمقاييس (CIPM) بالإجماع على إجراء تعديلات بسيطة على الوحدات الأساسية SI، خلال المؤتمر العام السادس والعشرين بشأن الأوزان والمقاييس (CGPM) وستدخل التعديلات حيز التنفيذ فى ٢٠ مايو ٢٠١٩.

الجدول التالي يوضح بعض الأطوال الموجودة في الطبيعة بالوحدات الدولية (المتر):

Distance from Earth to the nearest large galaxy (the Andromeda galaxy, M31)	$2 \times 10^{22} \text{ m}$
Diameter of our galaxy (the Milky Way)	$8 \times 10^{20} \text{ m}$
Distance from Earth to the nearest star (other than the sun)	$4 \times 10^{16} \text{ m}$
One light year	$9.46 \times 10^{15} \text{ m}$
Average radius of Pluto's orbit	$6 \times 10^{12} \text{ m}$
Distance from Earth to the Sun	$1.5 \times 10^{11} \text{ m}$
Radius of Earth	$6.37 \times 10^6 \text{ m}$
Length of a football field	10^2 m
Height of a person	2 m
Diameter of a CD	0.12 m
Diameter of the aorta	0.018 m
Diameter of a period in a sentence	$5 \times 10^{-4} \text{ m}$
Diameter of a red blood cell	$8 \times 10^{-6} \text{ m}$
Diameter of the hydrogen atom	10^{-10} m
Diameter of a proton	$2 \times 10^{-15} \text{ m}$

تعريف وحدة الكتلة في النظام الدولي للوحدات

الأساس العياري للكتلة هو كتلة أسطوانة من سبيكة ٩٠% بلاتين ، ١٠% من الإيريديوم و هي محفوظة في المكتب الدولي للموازين والمكاييل بفرنسا. وهذه الأسطوانة تمثل الكيلو جرام كوحده عياريه للكتلة، والشكل (١) يوضح صورة للكيلوجرام العياري المحفوظ في وعاء زجاجي مزدوج الجدران ومحفوظ في باريس.

كما يوجد اساس عياري آخر وهو وحدة الكتلة الذرية (a.u) Atomic mass unit وهي تساوى $\frac{1}{12}$

من كتلة ذرة الكربون والعلاقة بين وحدة الكتلة الذرية والكيلوجرام هي

$$1 \text{ (a.u)} = 1.6605402 \times 10^{-27} \text{ kg}$$



شكل (١): صورة للكيلوجرام العياري المحفوظ في وعاء مزدوج الجدران

الجدول التالي يوضح قيمة بعض الكتل الموجودة في طبيعته بالوحدات الدولية (الكيلوجرام):

Galaxy (Milky Way)	4×10^{41} kg
Sun	2×10^{30} kg
Earth	5.97×10^{24} kg
Space shuttle	2×10^6 kg
Elephant	5400 kg
Automobile	1200 kg
Human	70 kg
Baseball	0.15 kg
Honeybee	1.5×10^{-4} kg
Red blood cell	10^{-13} kg
Bacterium	10^{-15} kg
Hydrogen atom	1.67×10^{-27} kg
Electron	9.11×10^{-31} kg

تعريف وحدة الزمن في النظام الدولي للوحدات

إصطلاح أن يكون الأساس العياري للزمن هو الفترة الزمنية لعام إستوائى وهو عام ١٩٠٠ ميلاديه، وقد تم تقديره في مكان يقع على خط الإستواء الأرضى. وتعرف الوحدة المستخدمه وهى الثانيه بأنها

تساوى $\frac{1}{31556925.9747}$ من الفترة الزمنية العياريه السابقه (وهى عام استوائى كامل). كذلك

تعرف بأنها $\frac{1}{86400} = \frac{1}{60 \times 60 \times 24}$ من متوسط اليوم الشمسى. وكما هو معروف بأن اليوم الشمسى هو المدة الزمنية التى تمضى بين تعامد الشمس مرتين متتاليتين على نفس المكان من سطح الكره الأرضيه.

ومع ظهور الساعة الذرية العيارية والتي تعتمد فى عملها على نظير السيزيوم ١٣٣ والموجودة فى المكتب الوطنى للمعايرة بولاية كلورادو بالولايات المتحدة الاميركية National Bureau of Standard in Boulder, Colorado, USA ، فمنذ ١٩٦٧ اصبح تعريف الثانية على انها تساوى الفترة الزمنية التى تستغرقها ذرة السيزيوم (Cs-133) لعمل 9,192,631,770 اهتزازة،
الجدول التالي يوضح قيمة بعض الفترات الزمنية الموجوده في الطبيعه بوحدات الثانية:

Age of the universe	$5 \times 10^{17} \text{ s}$
Age of the Earth	$1.3 \times 10^{17} \text{ s}$
Existence of human species	$6 \times 10^{13} \text{ s}$
Human lifetime	$2 \times 10^9 \text{ s}$
One year	$3 \times 10^7 \text{ s}$
One day	$8.6 \times 10^4 \text{ s}$
Time between heartbeats	0.8 s
Human reaction time	0.1 s
One cycle of a high-pitched sound wave	$5 \times 10^{-5} \text{ s}$
One cycle of an AM radio wave	10^{-6} s
One cycle of a visible light wave	$2 \times 10^{-15} \text{ s}$

الرموز البادئة Prefixes

الرموز البادئة هي احرف توضع قبل الوحدة ويشير كل حرف الى قيمة الأسس المضروب في الرقم ١٠، طبقا للجدول التالي، فمثلا نكتب $10^6 m$ على النحو التالي

$$10^6 m = Mm$$

$$10^3 m = km$$

$$10^{-3} m = mm$$

$$10^{-6} m = \mu m$$

Power	Prefix	Abbreviation
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^2	hecto	h
10^1	deka	da
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	milli	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f

نظرية الأبعاد و تطبيقاتها Theory of Dimensions

أبعاد الكمية الفيزيائية Dimension of the physical quantity، يشير الى طبيعة الكمية بغض النظر عن الوحدات المستخدمة، فمثلا طبيعة المسافة هي طول ويرمز له بالرمز L وطبيعة المساحة هي عبارة عن طول $\times$ طول ويرمز له بالرمز L^2 ، وهكذا، وبالنسبة لأبعاد الكميات الأساسية نجد ان الكتلة تأخذ الرمز M والطول يأخذ الرمز L والزمن يأخذ الرمز T . وللتعبير عن أبعاد الكمية الفيزيائية فسنستخدم الأقواس المربعة [] وتوضع بينها رمز الكمية الفيزيائية فمثلا عندما نريد التعبير عن أبعاد السرعة فنكتب الأتي $[v]$ ، اي اننا وضعنا السرعة v بين قوسين مربعين، وحيث ان السرعة عبارة عن المسافة المقطوعة على الزمن فإن ابعاد السرعة هي

$$[v] = L/T = LT^{-1}$$

وكذلك ابعاد المساحة A هي

$$[A] = L \times L = L^2$$

وتنص نظرية الأبعاد على وجوب وجود تجانس في الأبعاد لكل طرف من أطراف المعادلات الفيزيائية، فمثلا إذا لدينا علاقة فيزيائية على النحو التالي

$$XYZ = ABC$$

فنظرية الأبعاد توجب وجود تجانس لحاصل ضرب الكميات الفيزيائية على طرفي المعادلة، وإذا لم يتحقق التجانس في الأبعاد بين طرفي المعادلة فإن المعادلة خطأ.

تطبيقات نظرية الأبعاد:

يمكن استخدام نظرية الأبعاد في ما يلي:

- ١ - إستنتاج أبعاد الكميات المشتقة بواسطة الكميات الأساسية
- ٢ - التأكد من صحة القوانين الفيزيائية والميكانيكية
- ٣ - إستنتاج بعض القوانين بسهولة
- ٤ - إيجاد وحدات الثوابت الفيزيائية
- ٥ - التحويل من نظام معين إلى نظام آخر

هذا النوع من الحسابات المبنية على ابعاد الكميات الفيزيائية يسمى بالتحليل البعدي Dimensional Analysis.

ملاحظات عند استخدام وتطبيق التحليل البعدي

١. اذا كان فى احد اطراف المعادلة كميتين أو اكثر (مضروبين أو مقسومتين) فيجب ضرب أو قسمة ابعاد كل كمية لينتج ابعاد الكمية المحصلة.
٢. اذا كان فى احد اطراف المعادلة حدين أو اكثر، فيعامل كل حد لحاله ، ولكى تكون العلاقة سليمة فيجب ان يتساوى ابعاد كل حد مع ابعاد الطرف الآخر للمعادلة.

أولاً: إستنتاج أبعاد الكميات المشتقة بواسطة الكميات الأساسية

الوحدات المشتقة Derived units

ذكرنا فيما سبق ان هناك ثلاث وحدات اساسية وهى وحدة الطول ووحدة الكتلة ووحدة الزمن، ولكن معظم الكميات الفيزيائية ليست وحدات اساسية ولكنها تتكون من اكثر من وحدتين اساسيتين، وفى هذه الحالة يطلق على وحدات هذه الكميات "الوحدات المشتقة" أى أن الوحدات المشتقة هى تلك الوحدات التى يمكن إستنتاجها من الوحدات الأساسية. فكل كمية فيزيائية وحده مشتقة من الوحدات الأساسية ولكى نعين الوحدات المشتقة يجب معرفة مفهوم الكمية الفيزيائية المراد تعيين وحدتها أولاً. فعلى سبيل المثال السرعة عباره عن مسافه على زمن فيكون وحداتها متر/ث ، وأيضا العجله عباره عن تغير السرعة بالنسبه للزمن أى أن وحدتها تكون متر/ث^٢. الجدول (٢) يوضح أبعاد ووحدات بعض الكميات الفيزيائية المشتقة.

جدول (٢) أبعاد بعض الكميات الفيزيائية

الكمية	العلاقة المعبره عنها	المعادله البعديه	الوحدات التي تقاس بها
السرعه	المسافة ÷ الزمن	LT^{-1}	م/ث m/s
العجله	التغير في السرعه ÷ للزمن	LT^{-2}	م/ث ^٢ m/s^2
كمية التحرك	الكتله × السرعه	MLT^{-2}	كج.م/ث ^٢ $kg.m/s^2$
القوة	الكتله × العجله	MLT^{-2}	كج.م/ث ^٢ $kg.m/s^2$
الشغل- الطاقة	القوة × المسافه	ML^2T^{-2}	كج.م ^٢ /ث ^٢ $kg.m^2/s^2$
الضغط	القوة ÷ المساحه	$ML^{-1}T^{-2}$	كج/م ^٢ /ث ^٢ $kg/m.s^2$
الحجم	مكعب الطول	L^3	م ^٣ m^3
الكثافه	الكتلة ÷ الحجم	ML^{-3}	كج/م ^٣ kg/m^3
التوتر السطحي	القوة ÷ الطول	MT^{-2}	كج/ث ^٢ kg/s^2
انحدار السرعه	السرعه ÷ المسافه	T^{-1}	ث ^{-١} s^{-1}
اللزوجه	القوة ÷ (ميل السرعه × المساحه)	$ML^{-1}T^{-1}$	كج/م/ث $kg/m.s$
المرونه	مربع السرعه × الكثافه	$ML^{-1}T^{-2}$	كج/م/ث ^٢ $kg/m.s^2$
السرعه الزاويه	مقلوب الزمن	T^{-1}	ث ^{-١} s^{-1}
التردد	مقلوب الزمن	T^{-1}	ث ^{-١} s^{-1}
عجله الزاويه	السرعه الزاويه ÷ الزمن	T^{-2}	ث ^{-٢} s^{-2}
القدره	الشغل ÷ الزمن	ML^2T^{-3}	كج.م ^٢ /ث ^٣ $kg.m^2/s^3$
عزم القوه	قوه × مسافه	ML^2T^{-2}	كج.م ^٢ /ث ^٢ $kg.m^2/s^2$
القصور الذاتي	كتله × مربع الطول	ML^2	كج.م ^٢ $kg.m^2$
ثابت الجاذبيه	قوة × مربع الطول ÷ مربع الكتلة	$L^3M^{-1}T^{-2}$	م ^٣ /كج/ث ^٢ $m^3/kg.s^2$

ملحوظة: الكميات باللون الاخضر للمعرفة فقط

ثانيا: التأكد من صحة القوانين الفيزيائية والميكانيكية

مثال (١) :

نعلم أن القانون الذى يربط المسافة S بالزمن t والسرعة الابتدائية v_0 والعجلة a لجسم يسير بعجلته منتظمة هو:

$$S = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

إختبر صحة القانون من وجهة نظر الأبعاد

الحل:

أبعاد للطرف الأيسر $[S] = L$

أبعاد للطرف الأيمن:

الحد الأول :

$$[v_0 t] = L T^{-1} \times T = L$$

و الحد الثانى

$$\left[\frac{1}{2} a t^2 \right] = L T^{-2} \times T^2 = L$$

واضح أن المعادله متجانسة الأبعاد فى الطرفين أى أنها صحيحة من وجهة نظر الأبعاد.

مثال (٢):

إذا أعطى زمن الذبذبه فى البندول البسيط بالعلاقة الآتية

$$t = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

حيث ℓ هى طول البندول و g عجلة الجاذبيه الأرضيه إختبر صحة العلاقة

الحل:

بداية لا ننظر الى النسبة التقريبية π لأنها نسبه وليس لها وحدات، وهى مجرد رقم، وبذلك تكون

ابعاد الطرف الأيسر

$$[t] = T$$

أبعاد الطرف الأيمن

$$\left[\sqrt{\frac{\ell}{g}} \right] = \left[\frac{L}{LT^{-2}} \right]^{1/2} = T$$

وحيث ان المعادلة البعدية للطرفين متطابقة، فإن العلاقة صحيحة من وجهة نظر الأبعاد.

مثال (٣):

باستخدام نظرية الأبعاد تحقق من صحة المعادلة الآتية

$$PV = (1/3)Mv^2$$

حيث P , V هما ضغط و حجم غاز وزنه الجزيئي M و متوسط سرعة جزيئاته v

الحل:

بداية لا ننظر الى الأرقام الثابته مثل $1/3$ ، كما فى حالتنا،

ابعاد الطرف الأيسر

$$[P V] = ML^{-1}T^{-2} \times L^3 = ML^2 T^{-2}$$

$$[Mv^2] = ML^2T^{-2} = ML^2 T^{-2} \quad \text{ابعاد الطرف الأيمن}$$

إذن المعادلة متجانسه من وجهة نظر الأبعاد أى أنها صحيحة من وجهة نظر الأبعاد.

مثال (٤):

كره من معدن كثافته (ρ_s) و نصف قطرها r تسقط رأسيا بسرعه منتظمه v فى سائل كثافته (ρ_L) و

لزوجه η . باستخدام تحليل الأبعاد أثبت صحة القانون الآتى:

$$\eta = k \frac{r^2}{v} (\rho_s - \rho_L)g$$

حيث k مقدار ثابت ، g عجلة الجاذبيه الأرضيه

الحل:

أبعاد الطرف الأيسر : معامل اللزوجه

$$[\eta] = ML^{-1}T^{-1}$$

أبعاد الطرف الأيمن :

$$\left[\frac{r^2}{v} \right] = \frac{L^2}{LT^{-1}} = LT \quad \text{الحد الأول:}$$

$$[\rho_s - \rho_L] = ML^{-3} \quad \text{الحد الثاني (الكثافة):}$$

$$[g] = LT^{-2} \quad \text{الحد الثالث عجلة الجاذبية الأرضية:}$$

بضرب الثلاث حدود فإن المعادلة البعدية للطرف الأيمن

$$\left[\frac{r^2}{v} (\rho_s - \rho_L) g \right] = ML^{-1}T^{-1}$$

أى أن العلاقة صحيحة من وجهة نظر الأبعاد.

ثالثاً: إستنتاج بعض قوانين الفيزياء

مثال (٥):

إستنتج العلاقة التى تعطى زمن ذبذبه البندول البسيط إذا علم أن ذلك يعتمد على طول الخيط L و كتلة الكره المعلقه M وعجلة الجاذبيه الأرضيه g .

الحل:

حيث أن t تعتمد على كل من g, m, L

إذن يمكن كتابة t كدالة فى كل من g, m, L على النحو التالي

$$t = f(L, m, g)$$

حيث f داله مجهوله ولتعيئها نختار الصوره الأتيه

$$t = k \cdot L^\alpha \cdot m^\beta \cdot g^\gamma \quad (1)$$

حيث k مقدار ثابت ليس له وحدات ، وكذلك α, β, γ قوى أسيه مجهوله ولتعيئ قيمها تكتب المعادله (١) على صورة معادلة أبعاد كما يلى :

$$[t] = [L]^\alpha \cdot [m]^\beta \cdot [g]^\gamma$$

ثم نعوض بأبعاد كل كميته

$$T = L^{\alpha} \cdot M^{\beta} \cdot (LT^{-2})^{\gamma}$$

بإعادة ترتيب المعادلة السابقة ثم مساواة الأسس للكميات الفيزيائية الأساسية نجد أن:

$$L^0 \cdot M^0 \cdot T = L^{\alpha+\gamma} \cdot M^{\beta} \cdot L^{-2\gamma}$$

نلاحظ هنا أننا ضربنا الطرف الأيسر في $M^0 \cdot L^0$ ، فمن المعلوم أن أي كمية أس صفر تساوي ١.

وشرط تجانس الأبعاد تقتضى أن يكون أس أى بعد فى الطرف الأيسر يساوى نفس الأس لنفس البعد فى الطرف الأيمن وبالتالي بمساواة الأسس فى الطرفين نحصل على

$$\alpha + \gamma = 0 \quad : \quad \text{أس البعد } L$$

$$\beta = 0 \quad : \quad \text{أس البعد } M$$

$$-2\gamma = 1 \quad : \quad \text{أس البعد } T$$

و منها نجد أن

$$\gamma = -\frac{1}{2}, \quad \alpha = \frac{1}{2}$$

و بالتعويض فى المعادله (١) عن قيمة الأسس نجد أن

$$t = k \cdot L^{1/2} \cdot m^0 \cdot g^{-1/2}$$

$$\therefore t = k \sqrt{\frac{L}{g}}$$

والتحليل البعدى لا يستطيع أن يحدد قيمة الثابت k لذا نلجأ فى هذه الحالة إلى التجربه العمليه الذى يمكن بواسطها تعيين الثابت k .

مثال (٦):

إستنتج القانون الذى يعطى المدى R لمقذوف إذا علمت أن ذلك يعتمد على كل من سرعة المقذوف الابتدائية v_0 وعجلة الجاذبيه الأرضيه g .

الحل:

نفرض ان العلاقة تتبع قانون الأس كما يلي :

$$R = f(v_0, g)$$

$$R = k v_0^\alpha g^\beta \quad (1)$$

حيث k ثابت عددي، وتكون المعادلة البعدية للطرفين على النحو التالي

$$L = [LT^{-1}]^\alpha [LT^{-2}]^\beta$$

بإعادة كتابة هذه المعادلة لفصل كل بعد اساسي نحصل على

$$LT^0 = L^{\alpha+\beta} T^{-\alpha-2\beta}$$

وبمساواة أسس الأبعاد في الطرفين نجد أن

$$\alpha + \beta = 1$$

$$-\alpha - 2\beta = 0$$

وبحل هاتين المعادلتين نجد أن

$$\beta = -1, \quad \alpha = 2$$

وبالتعويض عن ذلك في معادلة (١)

$$R = k v_0^2 g^{-1}$$

$$\therefore R = k \frac{v_0^2}{g}$$

رابعاً: إيجاد وحدات الثوابت الفيزيائية

مثال (٧):

إذا كان قانون الجذب العام يعطى بالعلاقة

$$F = k \frac{M_1 M_2}{D^2}$$

حيث F هي القوة و M_1, M_2 هما كتلتا الجسمين و D المسافة بينهم و k ثابت.

أوجد وحدات الثابت k .

الحل:

معادلة الأبعاد للطرف الأيمن MLT^{-2}

معادلة الأبعاد للطرف الأيسر $M^2L^{-2}[k]$

وبمساواة الطرفين نجد أن

$$MLT^{-2} = M^2 L^{-2} [k]$$

ومن هنا نجد أن أبعاد الثابت k هي

$$[k] = M^{-1}L^3T^{-2}$$

وبالتالي وحداته بالنظام الدولي تساوى $m^3kg^{-1}s^2$.

مثال (٨):

إذا كان معدل سريان سائل في أنبوه نصف قطرها r وطولها L وفرق الضغط عليها P تعطى بالعلاقة

$$Q = \frac{\pi r^4 P}{8\eta L}$$

فما هي وحدات معامل اللزوجة η .

الحل:

أبعاد الطرف الأيسر Q (معدل السريان = الحجم ÷ الزمن) L^3T^{-1}

أبعاد الطرف الأيمن :

$$\left[\frac{\pi r^4 P}{8\eta L} \right] = \frac{L^4 \cdot ML^{-1}T^{-2}}{[\eta] L} = \frac{L^3 \cdot M T^{-2}}{[\eta]}$$

وبمساواة الطرفين نجد أن أبعاد معامل اللزوجة : $[\eta] = M L^{-1} T^{-1}$

ومن ذلك نجد أن وحدات معامل اللزوجة بالنظام الدولي هي $kg m^{-1} s^{-1}$

خامسا: التحويل من نظام وحدات إلى نظام آخر

يعتمد تحويل الوحدات من نظام الى نظام على حقيقة هامه وهى أن حاصل ضرب أى كميّه فيزيائية في ١ صحيح لا يغير من قيمة الكمية الفيزيائية، فمثلا $1 \text{ min} = 60 \text{ s}$ ، وهذا يعنى أن $\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 1$ بالمثل $1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m}$ ، وبالتالي فإن $\frac{1 \text{ ft}}{0.3048 \text{ m}} = 1$.

مثال (٩)

احسب سرعة سيارة تتحرك بسرعة 55 miles per hours بنظام الوحدات الدولية،

الحل:

لاستخدام معاملات التحويل فإننا نعلم ان

$$1 \text{ mi} = 1609 \text{ m}, \quad \text{so} \quad \frac{1609 \text{ m}}{1 \text{ mi}} = 1$$

$$1 \text{ h} = 3600 \text{ s}, \quad \text{so} \quad \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 1$$

بالتالي فإن السرعة تساوي

$$55 \frac{\text{mi}}{\text{h}} = 55 \frac{\text{mi}}{\text{h}} \times \frac{1609 \text{ m}}{1 \text{ mi}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 25 \text{ m/s}$$

مثال (١٠)

احسب حجم وعاء يحتوي على ١٦ جالون بوحدات cm^3 ، علما بأن الجالون يسع ٢٣١ بوصة مربعة.

الحل:

لاستخدام معاملات التحويل فإننا نعلم ان

$$1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}, \quad \text{so} \quad \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} = 1, \quad \text{and} \quad \left(\frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} \right)^3 = 1$$

$$1 \text{ gal} = 231 \text{ in}^3, \quad \text{so} \quad \frac{231 \text{ in}^3}{1 \text{ gal}} = 1$$

بالتالي فإن حجم الوعاء يساوي

$$\text{The volume} = 16 \text{ gal} \times \frac{231 \text{ in}}{1 \text{ gal}} \times \left(\frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} \right)^3 = 6.1 \times 10^4 \text{ cm}$$

معاملات التحويل

تحويلات وحدات الكتلة	
1 (kg)	2.21 Pound رطل
1 pound	453.59 g

تحويلات وحدات الزمن	
1 day	86400 s
1 year	$3.16 \times 10^7 \text{ s}$

تحويلات وحدات الطول	
1 (in) بوصة =	2.54 cm
1 (ft) قدم =	12 in
	0.3048 (m)
1 yard (yd) ياردة =	3ft = 36 in
	0.9144 m
1 (mi) ميل =	1760 yd
	5280 ft
	1.609344 (km)
1 (m)	3.28 (ft)
1 Light year السنة الضوئية	$9.461 \times 10^{15} \text{ (m)}$

مثال (١١)

أثبت أن $1 \text{ N (Newton)} = 10^5 \text{ dyne}$ ، حيث الداين هو وحدة القوة بنظام وحدات cgs.

الحل:

$$\begin{aligned} 1 \text{ N (Newton)} &= 1 \text{ kg m s}^{-2} = 10^3 \text{ g} \cdot 10^2 \text{ cm s}^{-2} \\ &= 10^5 \text{ g cm s}^{-2} = 10^5 \text{ dyne} \end{aligned}$$

مثال (١٢)

احسب معامل التحويل للسنة الضوئية، علماً بأن سرعة الضوء تساوي $3 \times 10^8 \text{ m/s}$.

الحل:

السنة الضوئية هي مقياس للمسافات بين النجوم والكواكب، وهي تساوي المسافة التي يقطعها الضوء في زمن قدرة سنة كاملة، وبالتالي فإن زمن السنة الكاملة بوحدات الثانية تساوي

$$1 \text{ y} = \frac{365.25 \text{ d}}{1 \text{ y}} \times \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ d}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 3.16 \times 10^7 \text{ s}$$

بالتالي فإن المسافة المقطوعة بواسطة الضوء خلال عام كامل، أي خلال $3.16 \times 10^7 \text{ s}$ ، تساوي

$$1 \text{ light} - \text{year} = 3 \times 10^8 \text{ (m/s)} \times 3.16 \times 10^7 \text{ (s)} = 9.48 \times 10^{15} \text{ m}$$

تمارين محلولة Solved problems

١	الوحدة الأساسية للكتلة في النظام الدولي للوحدات هي		
A	الجرام	B	الباوند
C	الكليوجرام	D	النيوتن

٢	الحجم يعتبر		
A	كمية اساسية	B	كمية مشتقة
C	كمية متجه	D	لا شيء مما ذكر

٣	إذا علمت ان الكثافة هي الكتلة ÷ الحجم، فإن ابعاد الكثافة هي		
A	ML^{-3}	B	ML^2
C	ML^3	D	ML^{-2}

٤	إذا علمت ان ابعاد القوة هي MLT^{-2} ، فإن وحدة القوة بالنظام الدولي هي		
A	$kg\ m\ s^2$	B	$lb\ ft\ s^{-2}$
C	$g\ m\ s^{-2}$	D	$kg\ m\ s^{-2}$

٥	إذا علمت ان اليارده تعادل ٣ قدم، فإن ٦٣ قدم تعادل		
A	189 yd	B	21 yd
C	63 yd	D	18 yd

٦	١ μm، يعادل		
A	$10^{-6}m$	B	$10^{-9}m$
C	$10^{-3}m$	D	$10^{-1}m$

٧	سرعة سيارة تتحرك بسرعة 100 kg/h، فإن سرعة السيارة بالنظام الدولي للوحدات		
A	50 m/s	B	28 m/s
C	30 m/s	D	100 m/s

٨	طائرة تطير على ارتفاع ٣٥٠٠٠ قدم، فإن ارتفاع الطائرة بالوحدات الدولية		
A	23151 m	B	35000 m
C	15000 m	D	10667 m

٩	كره نصف قطرها $r = 4 \text{ in}$ ، فإن مساحة سطح الكره ($A = 4\pi r^2$)		
A	$13 \times 10^3 cm^2$	B	$1.3 \times 10^{-3} cm^2$
C	$1.3 \times 10^3 cm^2$	D	$1.3 \times 10^3 cm$

١٠	أي من الوحدات التالية يتم استخدامها لتقدير المسافات		
A	السنة الضوئية	B	الباوند
C	الكيلوجرام	D	الساعة

١١ . باستخدام نظرية الابعاد، تحقق من صحة العلاقة التالية $x = \frac{1}{2}at^2$ ، حيث x ، هي المسافة و a هي التسارع (العجلة)، و t هو الزمن.

الحل:

ابعاد الطرف الأيسر

$$[x] = L$$

أبعاد الطرف الأيمن

$$[at^2] = \frac{L}{T^2} \times T^2 = L$$

حيث ان ابعاد طرفي العلاقة متساويان، فإن العلاقة صحيحة من وجه نظر الابعاد.

١٢ . وضح ان العلاقة $v = v_0 + at$ ، هي صحيحة من وجه نظر الابعاد

الحل:

ابعاد الطرف الأيسر

$$[v] = LT^{-1}$$

أبعاد الطرف الأيمن

$$[v_0] = LT^{-1} \quad \text{الحد الاول}$$

$$[at] = \frac{L}{T^2} \times T = LT^{-1} \quad \text{الحد الثاني}$$

حيث ان ابعاد طرفي العلاقة متساويان، فإن العلاقة صحيحة من وجه نظر الابعاد.

١٣ . إذا علمت ان التسارع (العجلة) التي يتحرك بها جسم على محيط دائرة يعتمد على نصف قطرها R ، والسرعة الخطية v ، استنتج شكل العلاقة.

الحل:

نفرض ان الصورة العامة لشكل العلاقة هي

$$a = k R^{\alpha} v^{\beta}$$

حيث k ثابت عددي ، α, β هما الأسس، والمطلوب ايجادهم لتحديد شكل العلاقة:

ابعاد الطرف الايسر هو

$$[a] = \frac{L}{T^2}$$

ابعدا الطرف الايمن هو

$$[R^{\alpha} v^{\beta}] = L^{\alpha} (LT^{-1})^{\beta} = L^{\alpha+\beta} T^{-\beta}$$

بمساواة ابعاد الطرفين نجد ان

$$L T^{-2} = L^{\alpha+\beta} T^{-\beta}$$

ولكي تكون المعادلة صحيحة فلا بد من تساوي الأسس لكل بعد اساس، وبالتالي نجد ان

$$\beta = 2, \text{ and } \alpha = 1$$

بالتعويض نجد ان التسارع يأخذ العلاقة التالية

$$a = \frac{v^2}{R}$$

واجبات وأنشطة Homework and Activities

أولاً: التقارير

مطلوب من كل طالب عمل تقرير واحد عن احدى النقاط التالية:

- الوحدات المستخدمة لقياس الأطوال في العهد الرومان والقدماء المصريين و العرب.
- الوحدات المستخدمة لقياس الكتل في العهد الرومان والقدماء المصريين و العرب.
- الوحدات المستخدمة لقياس الحجم في العهد الرومان والقدماء المصريين و العرب.

ثانياً: الخرائط الذهنية

مطلوب من كل طالب تصميم خريطة ذهنية واحدة في احدى النقاط التالية:

- خريطة ذهنية عن انظمة الوحدات الثلاثة (النظام الأنجليزي – النظام العلمي – النظام الدولي)
- خريطة ذهنية عن استخدامات نظرية الابعاد.
- خريطة ذهنية عن ابعاد الكميات الأساسية والكميات المشتقة

ثالثاً: بعض الأنشطة الأخرى

قد يتم تكليف الطالب ببعض الواجبات الأخرى على حسب الاستاذ.

رابعاً: ملف الإنجاز

كل طالب مكلف باعداد ملف الانجاز الخاص به، وهو عبارة عن ملف مكتوب عليه اسم الطالب، ورقمه الجامعي، ورقم الشعبة، واسم الاستاذ، والعام الجامعي، ويحتوى على نسخة من كل ما يكلف به الطالب من أنشطة وواجبات. ويسلم ملف الانجاز الى الاستاذ فى نهاية الفصل الدراسي، او على حسب ما يقرر الاستاذ، ويمكن للاستاذ الاطلاع على الملف فى اى وقت.

خامساً: اجب عن الاسئلة الآتية:

- ١- متوسط نصف قطر الأرض $6.37 \times 10^6 m$ ، فاحسب محيط بوحدات الكيلومتر والميل.
- ٢- غرفة ابعادها $21 ft \times 13 ft \times 12 ft$ ، احسب حجم الهواء الموجود فى الغرفة بوحدات النظام الدولي، وإذا علمت ان كثافة الهواء $1.21 \times kg/m^3$ ، احسب كتلة الهواء الموجود في الغرفة بوحدات الكيلوجرام.

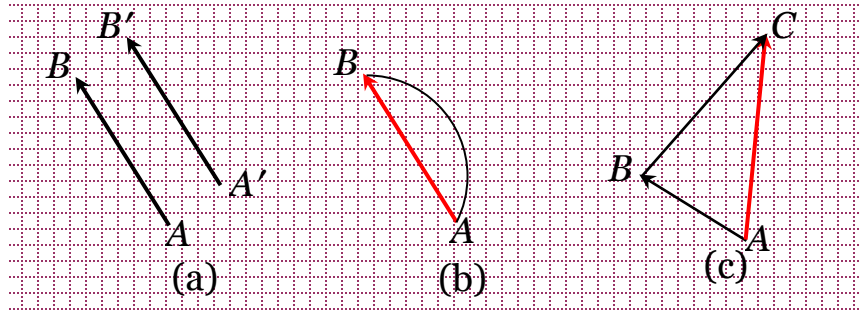
- ٣- اثبت ان العلاقة $v = v_0 + at$ ، صحيحة من وجهة نظر الابعاد، حيث v هي السرعة النهائية و v_0 هي السرعة الابتدائية و a هي العجلة، و t هو الزمن.
- ٤- اثبت ان العلاقة $x = x_0 + v_0 t + at^2$ ، صحيحة من وجهة نظر الابعاد، حيث x, x_0 هما الازاحة الابتدائية والنهائية، و v_0 هي السرعة الابتدائية و a هي العجلة، و t هو الزمن.
- ٥- إذا علمت ان قيمة عجلة الجاذبية الارضية بالنظام الدولي هي $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ، اوجد قيمة عجلة الجاذبية الارضية بالنظام البريطاني.
- ٦- إذا علمت ان القوة = الكتلة في العجلة ، وان وحدة القوة بالنظام الدولي للوحدات هي النيوتن، اوجد معامل التحويل لوحدة القوة بالنظام البريطاني بدلالة وحدة القوة بالنظام الدولي.

الباب الثاني

المتجهات Vectors

الكميات القياسية والكميات المتجهة: Vectors and Scalars

التغير في موقع نقطة يسمى إزاحة، الشكل (1a) يبين إزاحة نقطة من الموضع A إلى الموضع B. هذه الإزاحة يمكن تمثيلها برسم خط مستقيم يصل النقطة A بالنقطة B. ويوضع سهم في نهاية الخط ليبين اتجاه الإزاحة. وبهذا تكون بداية الإزاحة عند النقطة A ونهايتها عند رأس السهم عند النقطة B. الإزاحة هنا هي AB.



شكل (١): رسم توضيحي لتمثيل المتجهات

نلاحظ في نفس الشكل أن الانتقال حدث من A' إلى B' عبر الخط المستقيم A'B'، له نفس الطول والاتجاه للخط AB. في هذه الحالة نقول أن الإزاحة AB تكافئ الإزاحة A'B' لأنهما متساويتان في المقدار (الطول) والاتجاه. هذا معناه أن الإزاحة تتحدد بطول واتجاه. وهذا يؤدي إلى التعريف التالي، يتساوى متجهين إذا كان لكل منهما نفس المقدار والاتجاه.

مسار الحركة من A إلى B لا ينبغي بالضرورة أن يكون خطا مستقيما، بل يمكن أن يكون مسار الحركة دائريا أو خطا متعرجا. ويكون السهم من A إلى B ممثلا لصافي الحركة وليس هو المسار الحقيقي للحركة شكل (b).

وقد يتم الانتقال من نقطة إلى أخرى عبر إزاحتين متتاليتين كما هو موضح في الشكل (c) فالإزاحة الأولى تمت من A إلى B، والإزاحة الثانية حدثت من B إلى C، وصافي الحركة للإزاحتين هي من

A إلى C مباشرة. AC هنا يمثل محصلة لإزاحتين هما AB ، BC أو نقول يمثل جمع للإزاحتين والجمع هنا ليس جمعا جبريا. كما أنه يجب ملاحظة أن الرقم وحده (أى طول الإزاحة المحصلة) لا يحدد بالضبط هذه الإزاحة (AC)، فلا بد لتحديد ما من معرفة المقدار والاتجاه.

تعريف المتجه: الكميات التى تسلك سلوك الإزاحات تسمى متجهات، وعليه فإن الكميات المتجهة (المتجه) هى كميات يلزم لمعرفة معرفة كامله ان نحدد مقدارها واتجاهها. وهذه الكميات تخضع فى جمعها (وضربها) لقوانين محددة تختلف عن جمع (أو ضرب) الأعداد الجبرية كما سيرد توضيح ذلك لاحقا.

من أمثلة الكميات المتجهة: الإزاحة، السرعة، التسارع (العجلة)، كمية الحركة، القوة.

الكميات القياسية: هي كميات يلزم لمعرفة معرفة كامله هو تحديد مقدارها فقط (ومقدار الكمية عبارة عن رقم مضروب في وحدة قياس)

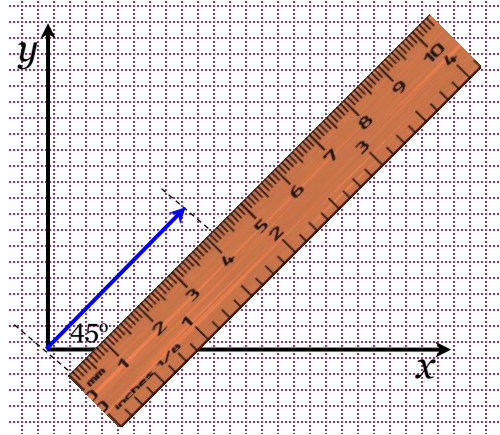
من أمثلة الكميات القياسية: الزمن، درجة الحرارة، الكتلة، الطول، الكثافة، الحجم.

تمثيل ورمز المتجه (الكمية المتجهة): لتمثيل المتجه بيانيا نرسم سهمها طوله يتناسب مع مقدار المتجه (بإختيار مقياس رسم مناسب)، وميله يمثل اتجاه المتجه.

فعلى سبيل المثال إزاحة مقدارها 4.2 m فى اتجاه الشمال الشرقى يمكن تمثيلها على ورقة بيانية بمقياس رسم 1 cm لكل 10 m أى بواسطة سهم طوله 4.2 cm، ويصنع هذا السهم زاوية قدرها 45° مع محور السينات (محور x) أو محور الصادات ونضع فى نهاية علامة سهم ← كما هو موضح فى الشكل (٢).

نقطة البداية لهذا السهم (المتجه) تسمى ذيل المتجه، ونقطة النهاية تسمى رأس المتجه، أما رمز المتجه فهو صيغة لتعريف المتجه كتابيا. فى الكتب المطبوعة يتم تعريف رمز المتجه بإستخدام حرف تخين

مثل (**A** أو **a** فهذه حروف تخينة تختلف عن الحروف الخفيفة مثل **A** أو **a**). أما عند كتابة الرمز باليد فيكتب سهم فوق الحرف مثل $\vec{A}$.



شكل (٢) : كيفية رسم المتجه وتمثيلة بيانيا.

مقدار المتجه او القيمة المطلقة

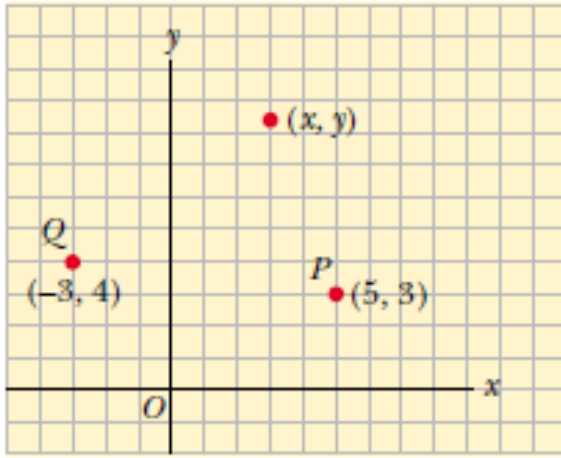
The magnitude of the vector or the absolute value of the vector

بالنسبة لمقدار المتجه **d** يتم التعبير عنه في الكتب المطبوعة بحرف خفيف مثل d ، ويمكن التعبير عنه بوضع رمز المتجه بين خطين متوازيين مثل $|\mathbf{d}|$.

الاحداثيات Coordinates

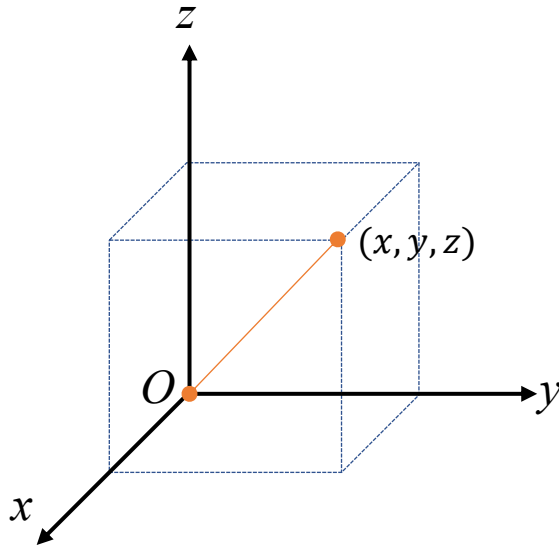
لتمثيل نقطة او متجه في مستوى او في الفراغ يلزمنا تحديد احداثيات تمثل اطار ثابت وواضح ومعروف تماما بحيث ننسب اليه النقطة او المتجه، ومن ثم يتم تحديد موضع النقطة بالنسبة لتلك الاحداثيات. واذا كنا نتحدث عن نقطة في مستوى، فيمكن استخدام الاحداثيات المتعامدة (الكارتيذية) في المستوى او يمكن استخدام الاحداثيات القطبية، واذا كنا نتحدث عن نقطة في الفراغ، فيمكن ان نتحدث عن الاحداثيات المتعامدة في الفراغ او يمكن استخدام الاحداثيات الكروية، كما يوجد ايضا الاحداثيات الاسطوانية (والاخير له لن نشير اليها في منهجنا هذا).

□ الإحداثيات الكارتيزية Cartesian coordinates



الشكل (أ) : تمثيل نقطة في مستوى بالإحداثيات المتعامدة (الكارتيزية) (x, y)

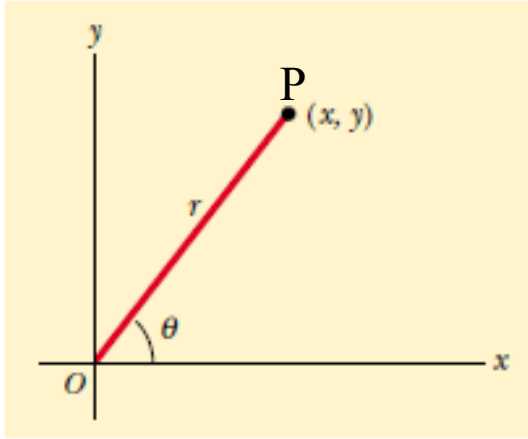
في الإحداثيات الكارتيزية أو الإحداثيات المتعامدة في مستوى، يتم تمثيل البيانات باستخدام محورين متعامدين، المحور الأفقي (محور x) ويمثل المتغير المستقل، والمحور الرأسى (محور y) ويمثل المتغير التابع، وكلا المحورين يتقاطعا في نقطة تسمى نقطة الأصل، وأي نقطة يمكن تمثيلها بمركبتين (x, y) ، والمتجه الواصل من نقطة الأصل $(0,0)$ إلى النقطة (x, y) يمثل متجه الموضع للنقطة (x, y)



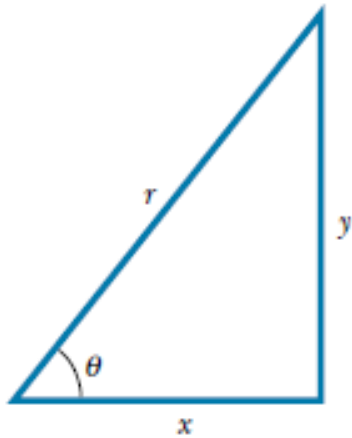
الشكل (ب) : تمثيل نقطة في الفراغ بالإحداثيات المتعامدة (الكارتيزية) (x, y, z)

الإحداثيات الكارتيزية في الثلاث أبعاد، هنا يتم تمثيل البيانات باستخدام ثلاث محاور متعامدة، المحورين x, y هما محورين متعامدين في المستوى الأفقي، والمحور الثالث z ، هو محور عمودى على كلا المحورين ويمثل المحور الرأسى في هذه الحالة، ونقطة تقاطع الثلاث محاور تسمى نقطة الأصل. وأي نقطة يمكن تمثيلها بثلاث مركبات (x, y, z) ، والمتجه الواصل من نقطة الأصل $(0,0,0)$ إلى النقطة (x, y, z) هو متجه الموضع للنقطة (x, y, z) .

□ الاحداثيات القطبية Polar coordinate



الشكل (ج) : تمثيل نقطة في مستوى
بالاحداثيات القطبية (r, θ)



في نظام الاحداثيات القطبية يمكن وصف اى نقطة P فى مستوى باحداثين، هما (r, θ) ، حيث r = المسافة بين النقطة P و نقطة الاصل θ = زاوية ميل r علي الأفقي كما في الشكل. ويكون احداثي النقطة P بالاحداثيات القطبيه هي (r, θ) ، وبالاحداثيات الكارتيزية هي (x, y) . ويمكن ايجاد العلاقة بين الاحداثيات القطبية والاحداثيات الكارتيزية من الشكل المقابل، الاحداثيات الكارتيزية للنقطة P بدلالة الاحداثيات القطبية

$$x = r \cos \theta$$

$$y = r \sin \theta$$

الاحداثيات القطبية لنقطة P بدلالة الاحداثيات الكارتيزية

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

□ الاحداثيات الكروية Spherical coordinates

تستخدم الاحداثيات الكروية لوصف نقطة في الفراغ، اى في الثلاث ابعاد، فمثلا النقطة P يمكن وصفها في الاحداثيات الكارتيزية بـ (x, y, z) ، اما في الاحداثيات الكروية فتوصف بـ (r, θ, ϕ) ، حيث

r = الخط الواصل بين النقطة P ونقطة الاصل

θ = زاوية ميل r على محور z

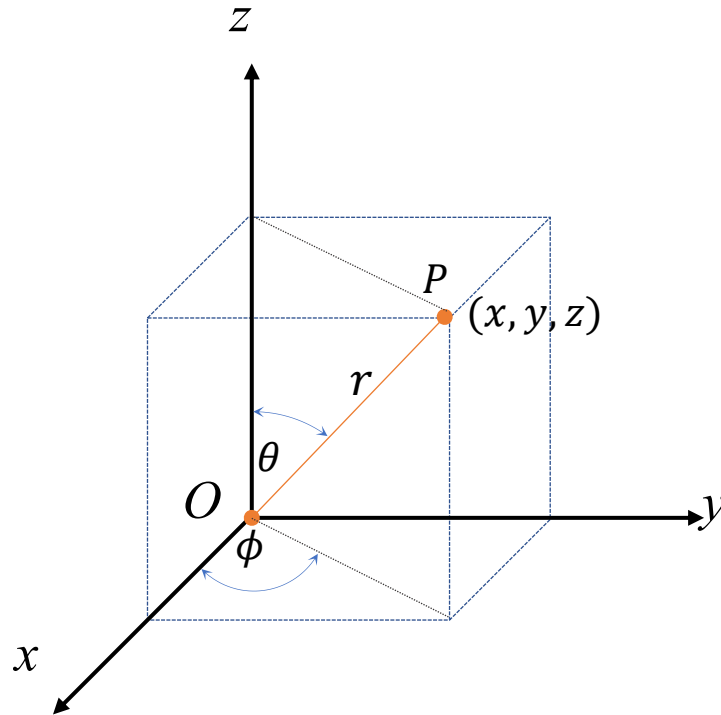
ϕ = زاوية ميل مسقط r على المستوى xy على محور x .

والعلاقة بين الاحداثيات الكروية والاحداثيات الكارتيزية للنقطة P يمكن ايجادها من الرسم كالتالي:

$$x = r \sin \theta \cos \phi$$

$$y = r \sin \theta \sin \phi$$

$$z = r \cos \theta$$



الشكل (د) : تمثيل نقطة في الفراغ بالاحداثيات الكروية (r, θ, ϕ)

جمع المتجهات Adding Vectors

هناك طريقتان لجمع المتجهات:

١- الطريقة الهندسية **Geometric Method** أو تسمى طريقة الرسم (الطريقة البيانية)

.Graphical Method

٢- الطريقة التحليلية **Analytical Method** أو تسمى بطريقة المكونات (أو المركبات)

.Component's Method

جمع المتجهات بالطريقة الهندسية:

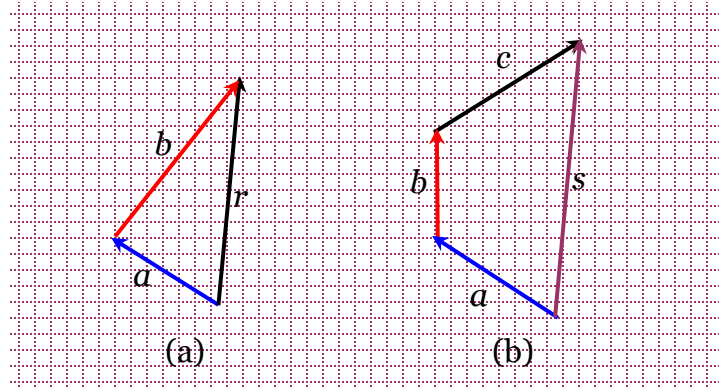
بمقياس رسم مناسب نرسم الإزاحة الممثلة للمتجه a ومن نهاية المتجه a أو رأس المتجه a نرسم المتجه b ثم نصل بين ذيل المتجه a (نقطة البداية) ورأس المتجه b (نقطة النهاية) كما في شكل (٣)، هذا الخط الواصل بين بداية a ونهاية b يعطينا متجه جديد r وهو الذى يمثل حاصل جمع المتجهين a و b .

إتجاه هذا المتجه يكون من بداية a إلى نهاية b ، ومقداره هو طول المتجه r ، ويسمى بمحصلة المتجهين a ، b رياضياً نعبر عن جمع المتجهات بالعلاقة:

$$\vec{a} + \vec{b} = \vec{r} \quad (1)$$

ويمكن تعميم هذه الطريقة لجمع أكثر من متجهين. كما هو موضح فى شكل (3b)، حيث يمثل المتجه s حاصل الجمع المتجه لثلاث متجهات هي: a ، b ، c . ونكتب

$$\vec{a} + \vec{b} + \vec{c} = \vec{s} \quad (2)$$

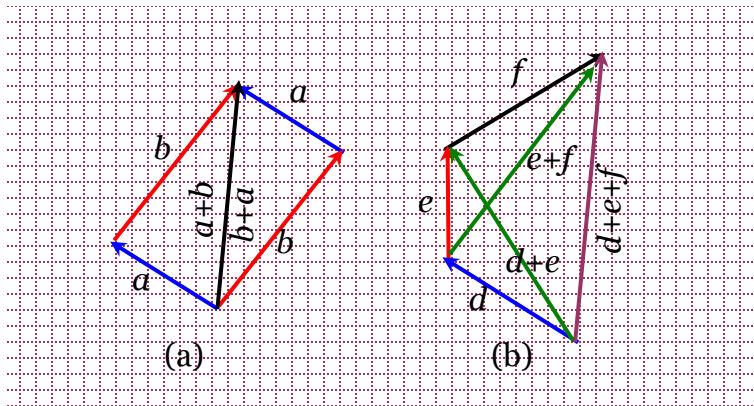


الشكل (٣) : جمع المتجهات بالطريقة الهندسية.

بإمعان النظر في شكل (٤) يمكننا أن نستنتج قاعدتين مهمتين لجمع المتجهات:

$$\vec{a} + \vec{b} = \vec{b} + \vec{a} \quad (3) \quad 1. \text{ قاعدة التبديل}$$

$$\vec{d} + (\vec{e} + \vec{f}) = (\vec{d} + \vec{e}) + \vec{f} \quad (4) \quad 2. \text{ قاعدة التجميع}$$



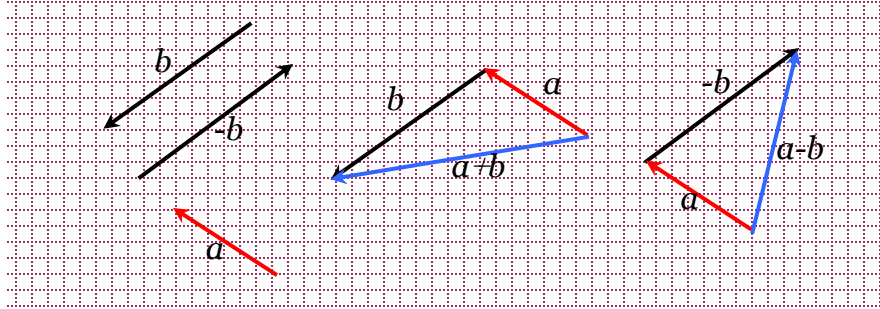
الشكل (٤) : تحقيق قانون التبديل والتجميع في عملية جمع المتجهات

سالبة المتجه : negative of vector

سالبة المتجه b هو متجه مقداره يساوى مقدار المتجه b ويضاده في الاتجاه ويرمز له بالرمز $-b$ وعليه فإن عملية طرح المتجهات يمكن النظر إليها باعتبارها جمع متجهين مختلفي الإشارة:

$$\vec{a} - \vec{b} = \vec{a} + (-\vec{b}) \quad (5)$$

تذكر من أنه بالرغم من إستخدامنا للإزاحات لبيان هذه العمليات إلا أن القوانين تنطبق على كل الكميات المتجهة مثل السرعات والقوى.

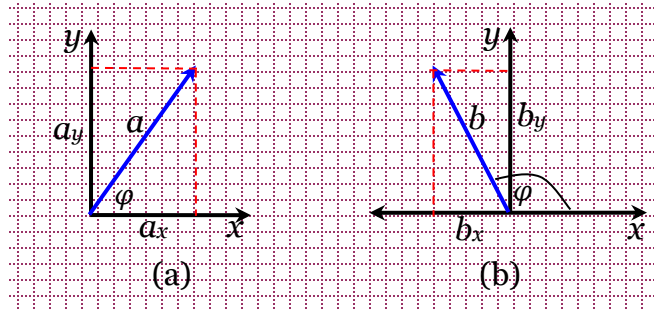


الشكل (٥) : المتجه السالب

مركبات المتجهات: Components of Vectors

الطريقة الثانية للجمع تتضمن تحليل كل متجه إلى مركباته بالنسبة لنظام إحداثيات معين. شكل (٦) يوضح متجه a حيث وضعت بدايته عند نقطة الأصل لنظام إحداثيات مستطيل. لو رسمنا خطوط عمودية من رأس المتجه على المحاور (x, y) فإن الكميات a_x و a_y تسمى المركبات الكارتيذية (Cartesian components) للمتجه a ، وهذه الطريقة تسمى تحليل المتجه إلى مركباته.

لاحظ أن مركبات متجه ما يمكن أن تكون موجبة أو سالبة أو صفر. في الشكل (6-a) نلاحظ أن مركبتى المتجه a (وهما a_x و a_y) موجبتان.



الشكل (٦) : مركبات المتجه

أما فى الشكل (6-b) نلاحظ أن المركبة الأفقية (السينية) b_x سالبة بينما المركبة العمودية (الصادية) b_y موجبة.

المتجه a يصنع زاوية φ مع الإتجاه الموجب لمحور x ، ويمكن أن نكتب مركبات هذا المتجه بالصورة:

$$a_x = a \cos \varphi, \quad a_y = a \sin \varphi \quad (6)$$

إشارة كل مركبة تعتمد على الربع الذى توجد فيه الزاوية. مركبات أى متجه تسلك سلوك الكميات القياسية لأنها يلزم لتحديد لها فى أى نظام للإحداثيات يلزمنا رقم وإشارة جبرية فقط. إذا علمت مركبات متجه ما فيمكن تعيين مقدار المتجه والزاوية التى يصنعها مع محور x وذلك كالاتى:

فحيث ان كل من a_x و a_y متعامدان فيمكن حساب مقدار المتجه a من العلاقة:

$$a = \sqrt{(a_x^2 + a_y^2)} \quad (7)$$

ولتحديد إتجاهه نعين ظل الزاوية التى يصنعها مع محور x ، ومنها نحصل على الزاوية:

ظل الزاوية التى يصنعها المتجه a مع محور السينات:

$$\tan \varphi = \frac{a_y}{a_x} \quad (8)$$

وتكون الزاوية ϕ هى :

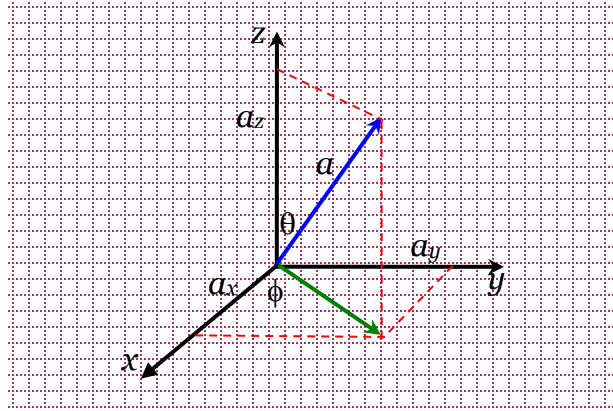
$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{a_y}{a_x} \right) \quad (9)$$

بهذه الطريقة تم تحليل كل من المتجهين السابقين فى بعدين. وبالإمكان إجراء عملية تحليل أى متجه فى ثلاثة أبعاد بإستخدام نفس الطريقة السابقة. لهذا الغرض نحتاج إلى ثلاثة محاور (إحداثيات) متعامدة x, y, z (المحور الثالث هنا z يكون عمودى على الصفحة). نلاحظ هنا أن رأس المتجه يكون فى الفراغ نسقط من رأس المتجه ثلاث أعمدة على الإحداثيات الثلاثة كما موضح فى شكل (٧). من هندسة الشكل يمكن إستنتاج مركبات المتجه a وهى على الصورة:

$$a_x = a \sin \theta \cos \phi \quad \text{مركبة } a \text{ فى إتجاه محور } x$$

مركبة a فى إتجاه محور y $a_y = a \sin \theta \sin \phi$

وفى إتجاه محور z $a_z = a \cos \theta$



الشكل (٧) : مركبات المتجه فى الإحداثيات الثلاثة.

متجه الوحدة: The Unit Vector

احد الطرق للتعبير عن المتجه a هو اختيار متجه مقدار طوله يساوي الوحدة ويأخذ نفس اتجاه المتجه الأصلي ويسمى هذا الأخير بمتجه الوحدة، ونرمز لمتجه الوحدة فى هذه الحالة بالرمز التالي $\hat{a}$ ، ثم نضرب متجه الوحدة فى رقم وليكن N ، بحيث N يعطى مقدار المتجه الأصلي أى أن $N = |a|$ و متجه الوحدة $\hat{a}$ يعطى الاتجاه، أى أن

$$a = N\hat{a}$$

$$\therefore \hat{a} = \frac{a}{N} = \frac{a}{|a|}$$

يسمى المتجه $\hat{a}$ بـ متجه الوحدة (unit vector) وينطق a-hat .

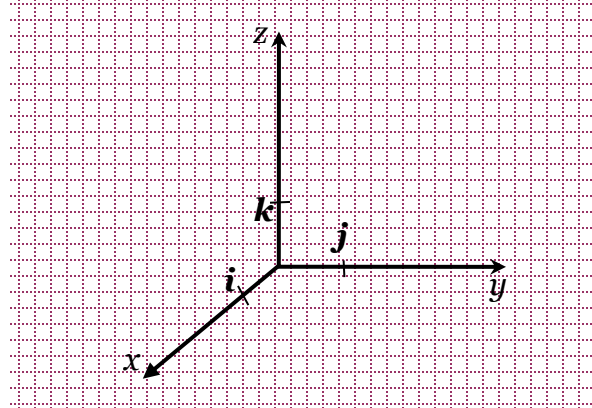
وإذا كان متجه الوحدة يأخذ اتجاه محور x فقط، فيرمز له بالرمز $\hat{i}$ ، وإذا كان متجه الوحدة فى اتجاه محور y فيرمز له بالرمز $\hat{j}$ ، وإذا كان فى اتجاه محور z فيرمز له بالرمز $\hat{k}$. أى أن $\hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$ هي متجهات الوحدة فى الثلاث ابعاد الكارتيزية x, y, z على الترتيب كما هو موضح فى شكل (٨). وفى هذه الحالة يمكن التعبير عن أى متجه a فى ثلاثة أبعاد بدلالة مركباته ومتجهات الوحدة:

$$\mathbf{a} = a_x \mathbf{i} + a_y \mathbf{j} + a_z \mathbf{k} \quad (11)$$

وفى بعدين

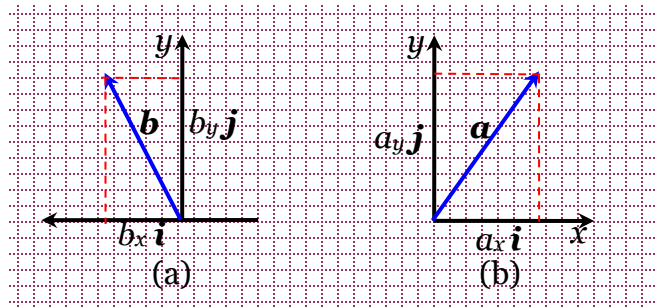
$$\mathbf{a} = a_x \mathbf{i} + a_y \mathbf{j} \quad (12)$$

و يطلق على الكميات a_x, a_y, a_z بقيمة مركبات المتجه $\mathbf{a}$.



شكل (٨): متجهات الوحدة

يوضح شكل (٩) متجهين $\mathbf{a}, \mathbf{b}$ رسماً بدلالة مركباتهما. هذه الطريقة تستخدم كثيراً مع الكميات الفيزيائية المتجهة.



شكل (٩) : مركبات المتجه بدلالة متجه الوحدة

جمع المتجهات بطريقة المركبات:

بعد أن عرفنا كيفية تحليل المتجهات إلى مركباتها نتناول الآن كيفية جمع المتجهات بالطريقة التحليلية. إفتراض أن المتجه s هو حاصل جمع المتجهين a, b .

$$s = a + b \quad (13)$$

إذا تساوى المتجهان s , $(a+b)$ فإنه يلزم أن يكون لهما نفس المقدار ونفس الإتجاه. هذا لا يتحقق إلا إذا كانت قيم مركباتهما متساوية. هذا يؤدي إلى صياغة الإستنتاج الآتى

((يتساوى المتجهان فقط عندما يتساوى قيم مركباتهما المتناظرة مع بعضهما))

فمثلا فى المعادلة السابقة لو أعدنا كتابتها بدلالة المركبات نجد أن:

$$s_x \mathbf{i} + s_y \mathbf{j} = a_x \mathbf{i} + a_y \mathbf{j} + b_x \mathbf{i} + b_y \mathbf{j}$$

$$s_x \mathbf{i} + s_y \mathbf{j} = (a_x + b_x) \mathbf{i} + (a_y + b_y) \mathbf{j} \quad (14)$$

وبمساواة المركبات السينية (مركبات x) على الطرفين نحصل على :

$$s_x = (a_x + b_x)$$

$$s_y = (a_y + b_y) \quad (15) \quad \text{ومركبات } y$$

ويمكن تحديد مقدار (طول) المتجه s بدلالة مركباته (باستخدام العلاقة ٧) من العلاقة التالية:

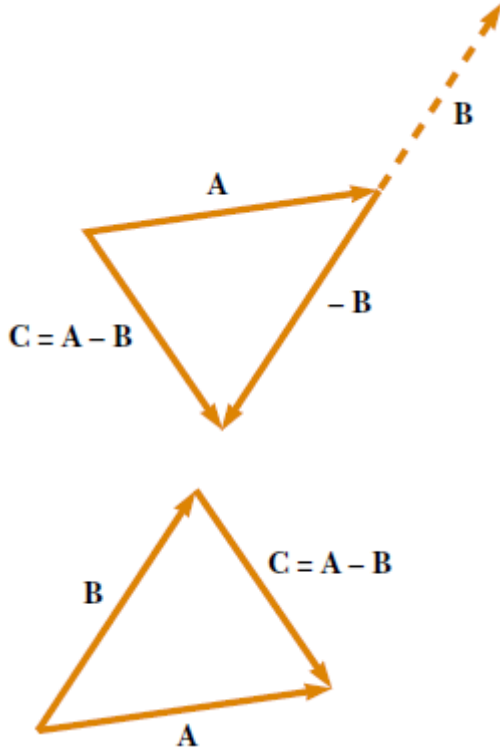
$$s = \sqrt{(s_x^2 + s_y^2)} = \sqrt{(a_x + b_x)^2 + (a_y + b_y)^2} \quad (16)$$

وإتجاه المتجه s يتحدد بتعيين زاوية ميله على الإتجاه الموجب لمحور x كما يلي:

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{s_y}{s_x} = \tan^{-1} \frac{(a_x + b_x)}{(a_y + b_y)} \quad (17)$$

طرح المتجهات subtracting Vectors:

طريقة طرح المتجهات بسيطة إذا اعتبرناها أنها تشبه عملية الجمع بين متجه، وبين سالب المتجه الآخر، بمعنى للحصول على حاصل طرح متجهين



$$C = A - B = A + (-B)$$

فإننا نوجد أولاً المتجه السالب للمتجه B . ويمكن تمثيل عملية الطرح كما في الشكل المقابل حيث أننا قمنا بإيجاد المتجه $-B$ وذلك بعكس المتجه B ، ثم نقوم بعملية الجمع بين المتجه A ، والمتجه $(-B)$. وإذا استخدمنا طريقة المركبات و كان لدينا متجهين

$$A = A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j} + A_z \mathbf{k}$$

$$B = B_x \mathbf{i} + B_y \mathbf{j} + B_z \mathbf{k}$$

فالمتجه السالب للمتجه B يساوي

$$-B = -B_x \mathbf{i} - B_y \mathbf{j} - B_z \mathbf{k}$$

وبالتالي فإن حاصل طرحهم يساوي

$$C = A - B = A + (-B) = (A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j} + A_z \mathbf{k}) + (-B_x \mathbf{i} - B_y \mathbf{j} - B_z \mathbf{k})$$

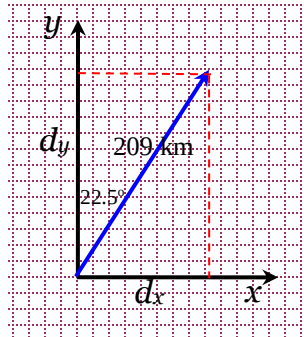
$$C = A - B = (A_x - B_x) \mathbf{i} + (A_y - B_y) \mathbf{j} + (A_z - B_z) \mathbf{k}$$

أمثلة على جمع المتجهات:

مثال (١):

طائرة تقطع مسافة 209 km فى خط مستقيم يصنع زاوية قدرها 22.5° مع إتجاه الشمال ويميل نحو الشرق. إحسب بعد الطائرة عن نقطة البداية فى كلا الإتجاهين الشرقى والشمالى.

الحل:



نختار الإتجاه الموجب لمحور x ممثلاً لإتجاه الشرق وكذلك الإتجاه الموجب لمحور y ممثلاً لإتجاه الشمال. نرسم متجة إزاحة d من نقطة الأصل صانعا زاوية 22.5° مع المحور y (إتجاه الشمال) ويميل ناحية الشرق كما هو موضح فى الشكل.

طول هذا المتجه ممثل بالمقدار 209 km ، مسقط هذا المتجه على محور x وهو d_x يمثل المسافة التى قطعتها الطائرة فى إتجاه الشرق. ومسقطه على محور y وهو d_y يمثل المسافة التى قطعتها الطائرة فى إتجاه الشمال.

الزاوية التى يصنعها هذا المتجه مع الإتجاه الشرقى هى: $\varphi = 90^\circ - 22.5^\circ = 67.5^\circ$

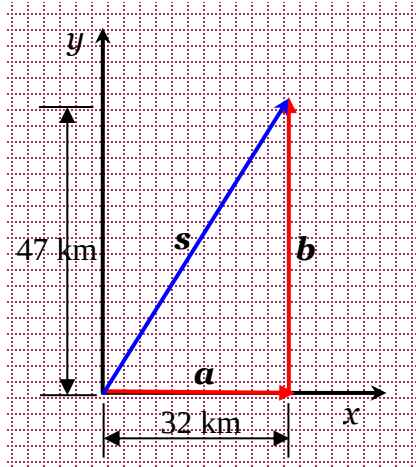
بعد الطائرة عن نقطة الاصل فى اتجاه الشرق هو: $d_x = d \cos \varphi = 209 \cos 67.5^\circ = 80.0 \text{ km}$

بعد الطائرة عن نقطة الاصل فى اتجاه الشمال هو: $d_y = d \sin \varphi = 209 \sin 67.5^\circ = 193 \text{ km}$

مثال (٢):

سيارة قطعت مسافة 32 km بإتجاه الشرق، ثم توجهت نحو الشمال وقطعت مسافة 47 km قبل أن تتوقف. أوجد محصلة إزاحة السيارة؟

الحل:



نختار نظم الإحداثيات بحيث $+x$ يكون نحو الشرق، $+y$ يكون في اتجاه الشمال، ونرمز للإزاحتين المتتاليتين a ، b كما هو موضح بالشكل.

نلاحظ أن b ليس لها مركبة في اتجاه الشرق (اتجاه x)، وكذلك a ليس لها مركبة في اتجاه الشمال (اتجاه y).

وبالتالي فإن محصلة الإزاحتين هي: $s = a + b$

وتكون مركبات المحصلة هي:

$$s_x = a_x + b_x = 32 \text{ km} + 0 = 32 \text{ km}$$

$$s_y = a_y + b_y = 0 + 47 \text{ km} = 47 \text{ km}$$

وبهذا يكون مقدار الإزاحة هو:

$$s = \sqrt{s_x^2 + s_y^2} = \sqrt{(32 \text{ km})^2 + (47 \text{ km})^2} = 57 \text{ km}$$

وتصنع الإزاحة زاوية مقدارها φ مع محور السينات تعطى بالعلاقة

$$\tan \varphi = \frac{s_y}{s_x} = \frac{47}{32} = 1.47 \Rightarrow \varphi = \tan^{-1} 1.47 = \tan^{-1}(1.47) = 56^\circ$$

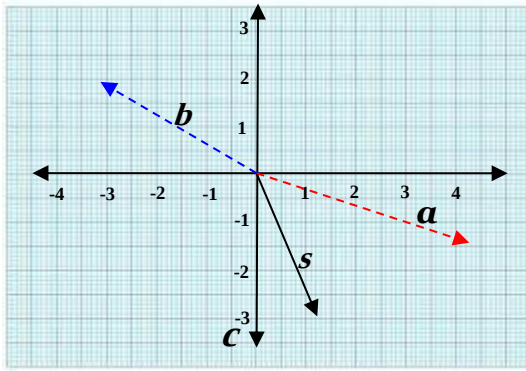
مثال (٣):

ثلاث متجهات تقع في نفس المستوى بالنسبة لإحداثي كارتيزي مستطيل هي:

$$a = 4.3 \mathbf{i} - 1.7 \mathbf{j}, \quad b = -2.9 \mathbf{i} + 2.2 \mathbf{j}, \quad c = -3.6 \mathbf{j}$$

حيث أن المركبات لها وحدات اختيارية. أوجد المتجه s الذي يمثل مجموع هذه المتجهات.

الحل:



يمكن كتابة مركبات متجه المحصلة s كما يلي:

$$s_x = a_x + b_x + c_x$$

$$\therefore s_x = 4.3 - 2.9 - 0 = 1.4$$

$$s_y = a_y + b_y + c_y \quad \text{بالمثل:}$$

$$\therefore s_y = -1.7 + 2.2 - 3.6 = -3.1$$

$$\therefore \mathbf{s} = s_x \mathbf{i} + s_y \mathbf{j} = 1.4 \mathbf{i} - 3.1 \mathbf{j}$$

المتجهات الأربعة موضحة في الشكل المقابل.

مقدار المتجه s هو:

$$s = \sqrt{s_x^2 + s_y^2} = \sqrt{(1.4)^2 + (-3.1)^2} = 3.4$$

وإتجاهه نحصل عليه كالآتي:

$$\tan \varphi = \frac{s_y}{s_x} = \frac{-3.1}{1.4} \Rightarrow \varphi = \tan^{-1} \left(\frac{-3.1}{1.4} \right) = 294^\circ$$

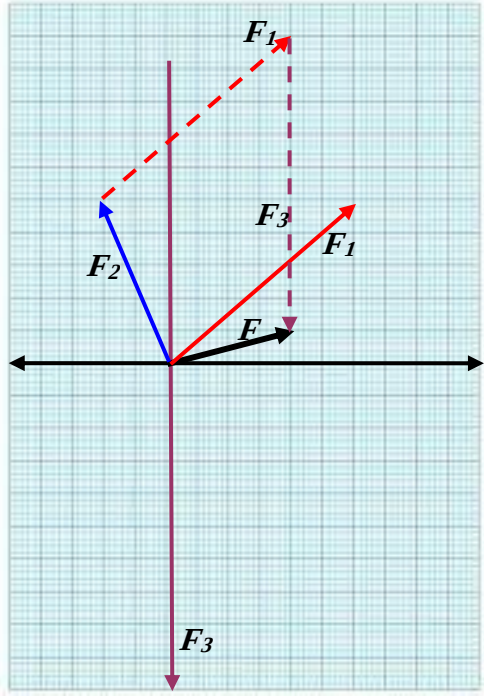
مثال (٤):

تؤثر ثلاث قوى على جسم يقع عند نقطة الأصل للمحاور الكارتيزية كالآتي:

الأولى 20 N في إتجاه الشمال الشرقي وتميل بزاوية 40° على الأفقى، الثانية 15 N في إتجاه يصنع زاوية مقدارها 110° مع الإتجاه الموجب لمحور x ، الثالثة مقدارها 25 N في إتجاه الجنوب (الإتجاه السالب لمحور y). المطلوب: إيجاد محصلة هذه القوى مقداراً واتجاهها بالطريقتين: الهندسية والتحليلية.

الحل:

أولاً: الطريقة الهندسية



نأخذ مقياس رسم مناسب لتمثيل هذه القوى وليكن

5 N لكل 1 cm فيكون

طول متجه القوة الأولى F_1 يعادل 4 cm

طول متجه القوة الثانية F_2 يعادل 3 cm

طول متجه القوة الثالثة F_3 يعادل 5 cm

ونستخدم المنقلة لتحديد إتجاه كل قوة والمسطرة

لتحديد طول متجه القوة ونرسم متجهات القوى

الثلاثة كما في الشكل المقابل. وتكون المحصلة هي

الخط الواصل بين بداية متجه القوة الأولى ونهاية

القوة الأخيرة بحيث تقفل المضلع.

من الرسم نجد أن طول المحصلة = 2 cm وعليه يكون مقدارها = 10 N، وإتجاهها نحصل عليه

بقياس الزاوية التي تصنعها مع محور x نجد أن 11° .

ثانياً: الطريقة التحليلية.

نحل كل قوة إلى مركبتين إحداها في الإتجاه x والأخرى في الإتجاه y .

$$F_{1x} = F_1 \cos 40 = 20 \times (0.7660) = 15.32 \text{ N}$$

$$F_{2x} = F_2 \cos 110 = 15 \times (-0.3420) = -5.13 \text{ N}$$

$$F_{3x} = F_3 \cos 270 = 0$$

$$F_{1y} = F_1 \sin 40 = 20 \times (0.6428) = 12.8557 \text{ N}$$

$$F_{2y} = F_2 \sin 110 = 15 \times (0.9397) = 14.0954 \text{ N}$$

$$F_{3x} = F_3 \sin 270 = 25 \times (-1) = -25$$

مجموع مركبات القوى فى الإتجاه x

$$F_x = 15.32 - 5.13 + 0 = 10.19 \text{ N}$$

مجموع مركبات القوى فى الإتجاه y

$$F_y = 12.8557 + 14.0954 - 25 = 1.9511 \text{ N}$$

مقدار المحصلة

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{(10.19)^2 + (1.9511)^2} = \sqrt{107.64} = 10.375 \text{ N}$$

إتجاه المحصلة مع اتجاه محور x :

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{F_y}{F_x} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{1.9511}{10.19} \right) = \tan^{-1}(0.1914) = 10.8^\circ$$

ضرب المتجهات Multiplication of vectors

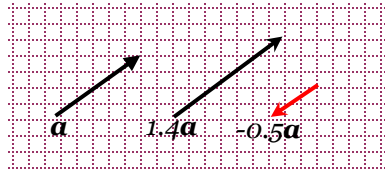
عند جمع كميات قياسية فإن الكميات المضافة يجب أن يكون لها نفس الأبعاد. نفس القاعدة تعتبر صحيحة عند جمع الكميات المتجهة. من ناحية أخرى بإمكاننا ضرب كميات قياسية لها أبعاد مختلفة ونحصل على حاصل ضرب له بعد يختلف عن أبعاد كل من الكميتين المضروبتين. (مثلاً، المسافة = السرعة × الزمن). وكما هو الحال بالنسبة للكميات القياسية، فإن المتجهات يمكن أن تضرب ببعضها للحصول على كميات فيزيائية لها أبعاد مختلفة. ولكون المتجهات تتحدد بمقدار وإتجاه فإن ضرب المتجهات لا يتبع بالضبط نفس قوانين ضرب الأعداد الجبرية (أو الكميات القياسية) بل هناك قوانين خاصة بضرب المتجهات سنتعلم بعضها منها في هذا الجزء.

يوجد ثلاث أنواع من عمليات ضرب المتجهات:

١. ضرب متجه بكمية قياسية والنتاج كمية متجهة.
٢. ضرب كمية متجهة في كمية متجهة والنتاج كمية قياسية وهذا النوع يسمى **الضرب القياسي**.
٣. ضرب كمية متجهة في كمية متجهة والنتاج كمية متجهة وهذا النوع يسمى **الضرب الاتجاهي**.

أولاً: ضرب متجه بكمية قياسية.

ضرب كمية قياسية c بكمية متجهة a يكتب ca وهذا متجه جديد مقداره يساوي $c|a|$ وله نفس إتجاه المتجه a إذا كانت c كمية موجبة، وعكس إتجاه المتجه a إذا كانت c كمية سالبة. الشكل (١٠) يوضح المتجه الناتج من ضرب كمية قياسية في كمية متجهة.



شكل (١٠)

مثال على هذا النوع من الضرب: ضرب الكتلة في التسارع (العجلة) والنتاج هو القوة وهي كمية متجهة (رياضياً نعبر عن ذلك $F = ma$). وكل من الكتلة والتسارع والقوة لهم أبعاد مختلفة، ولكن متجه القوة في نفس اتجاه متجه التسارع

ثانيا: الضرب القياسي Scalar product.

فى هذا النوع من الضرب يتم ضرب كمية متجهة فى كمية متجهة للحصول على كمية قياسية. فإذا كانت a كمية متجهة، b كمية متجهة بينما زاوية φ فإننا نعبر عن هذا النوع من الضرب رياضيا بالآتى:

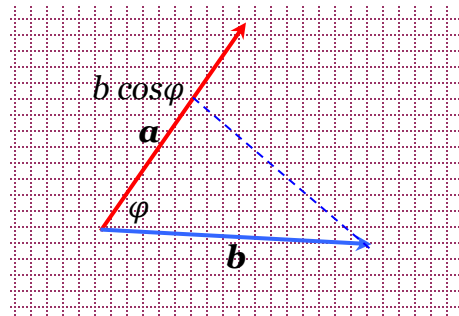
$$a \cdot b = ab \cos \varphi \quad (18)$$

وينطق هذا الضرب كالأتي، a دوت b . ولذلك احيانا يسمى الضربة بـ dot product.

مثال على الضرب القياسي: القوة . الإزاحة = الشغل، فالقوة (F) كمية متجهة والإزاحة (d) ايضا كمية متجهة، أما ناتج عملية الضرب القياسي لهما وهو الشغل (W) فهو كمية قياسية. رياضيا نعبر عن ذلك بالعلاقة التالية:

$$F \cdot d = W$$

وبإمكاننا تصور الضرب القياسي لمتجهين على أنه ضرب مقدار أحدهما فى مركبة المتجه الأخر، كما فى الشكل (١١).



شكل (١١)

وكما هو ملاحظ فإن حاصل الضرب القياسي لمتجهين يعتمد على القيمة المطلقة لكلا المتجهين وعلى الزاوية المحصورة بين المتجهين φ . وهناك عدة حالات خاصة:

- ١- إذا كانت الزاوية حادة فإن $\cos \varphi > 0$ وبالتالي فإن حاصل الضرب القياسي موجب.
- ٢- إذا كانت الزاوية قائمة أى ان المتجهان متعامدان فإن $\cos \varphi = 0$ أى ان حاصل الضرب القياسي لأي متجهين متعامدين يتلاشى أى يساوى صفر.

- ٣- إذا كانت الزاوية منفرجه فإن $\cos \varphi < 0$ وبالتالي فإن حاصل الضرب القياس سالب.
- ٤- إذا كانت الزاوية تساوي صفر، فإن $\cos \varphi = 1$ ، وبالتالي فإن حاصل الضرب القياس يكون أقصى قيمة موجبة ويساوي حاصل ضرب مقدارى المتجهين $a \cdot b = ab$
- ٥- إذا كانت الزاوية تساوي ١٨٠ درجة، فإن $\cos \varphi = -1$ ، وبالتالي فإن حاصل الضرب القياس يكون أقصى قيمة سالبة ويساوي $a \cdot b = -ab$

كما ان الضرب القياسى يحقق خاصية التبديل أى أن

$$a \cdot b = b \cdot a = ab \cos \varphi$$

حاصل الضرب القياسى لمتجهات الوحدة على المحاور الكارتيزية:

$$i \cdot i = j \cdot j = k \cdot k = 1 \quad (19)$$

وذلك لأنهم فى نفس الاتجاه.

وحاصل الضرب القياسى لأى متجهين مختلفين من متجهات الوحدة = صفر، أى أن

$$i \cdot j = i \cdot k = j \cdot k = 0 \quad (20)$$

وذلك لتعامد المتجهات.

حساب الزاوية المحصورة بين متجهين باستخدام الضرب القياسى:

إذا أعطى كل متجه بدلالة مركباته فيمكننا حساب مقدار الزاوية بين المتجهين كما يلى:

لنفرض أن المتجهين هما:

$$A = a_x i + a_y j + a_z k, \quad B = b_x i + b_y j + b_z k$$

(١) نوجد حاصل ضربهم القياسى مع تطبيق القواعد (١٨) ، (١٩) ، (٢٠) فنحصل على:

$$A \cdot B = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z$$

(٢) نحسب مقدار كل متجه، حيث نحصل على

$$B = \sqrt{b_x^2 + b_y^2 + b_z^2} \quad , \quad A = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

(٣) نطبق تعريف الضرب القياسي لحساب الزاوية بين المتجهين

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = AB \cos \varphi$$

٤. ومن ذلك نحسب الزاوية بين المتجهين من العلاقة التالية

$$\varphi = \cos^{-1} \frac{\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}}{AB} = \frac{(a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z)}{\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \sqrt{b_x^2 + b_y^2 + b_z^2}}$$

مثال (٥):

احسب الزاوية المحصورة بين المتجهين: $\mathbf{A} = 2\mathbf{i} + 3\mathbf{j} - \mathbf{k}$, $\mathbf{B} = 3\mathbf{i} + 4\mathbf{j} - 5\mathbf{k}$

الحل:

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = 2 \times 3 + 3 \times 4 - 1 \times (-5) = 23$$

$$A = \sqrt{2^2 + 3^2 + 1^2} = \sqrt{14} = 3.74 \quad \text{مقدار المتجه } \mathbf{A}$$

$$B = \sqrt{3^2 + 4^2 + 5^2} = \sqrt{50} = 7.07 \quad \text{مقدار المتجه } \mathbf{B}$$

$$\cos \varphi = \frac{\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}}{AB} = \frac{23}{3.74 \times 7.07} = \frac{23}{26.44} = 0.8699$$

$$\varphi = \cos^{-1} 0.8699 = 29.56^\circ$$

ثالثا: الضرب الاتجاهي Vector Product or Cross Product

فى هذا النوع من الضرب يتم ضرب كمية متجهة فى كمية متجهة أخرى وناتج الضرب يكون متجه ثالث عمودى على كل من المتجهين الأصليين.

وإذا كان لدينا المتجهان $\mathbf{a}$ ، $\mathbf{b}$ ، فإن حاصل الضرب الاتجاهي لهما يعبر عنه بالعلاقة التالية:

$$\mathbf{c} = \mathbf{a} \times \mathbf{b} \quad (21)$$

حيث c هو المتجه الناتج من الضرب، ولفظيا نعبر عن هذا الضرب بقولنا a كروس b (cross) ولذلك يطلق عليه احيانا cross product. ومقدار المتجه الناتج نعبر عنه بالعلاقة:

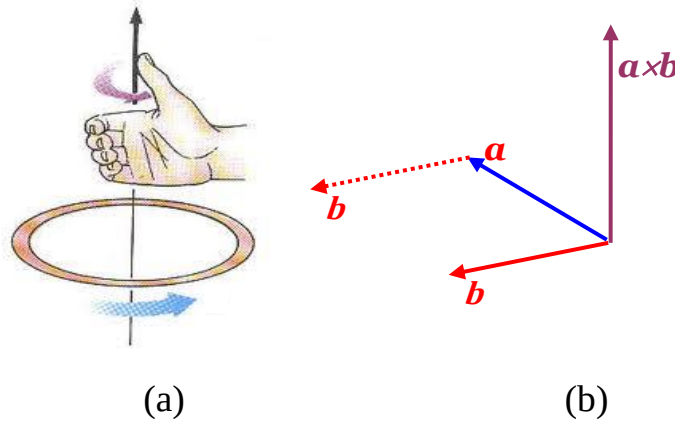
$$c = |c| = |a \times b| = ab \sin \varphi \quad (22)$$

حيث φ هي الزاوية بين المتجهين.

اتجاه المتجه الناتج c يعتمد على اتجاه عملية الضرب. الشكل (١٢) يوضح كيفية تحديد اتجاه المتجه الناتج باستخدام قاعدة اليد اليمنى. اذا اردت ان تحدد اتجاه حاصل ضرب المتجهين $a \times b$ ، فانقل المتجه b ليصبح ذيله فى نهاية المتجه a ، ثم لف الأصابع الاربعة لليد اليمنى بحيث تأخذ مستوى المتجهين وتشير الاصابع الى اتجاه الدوران من a الى b ، اجعل الابهام عمودي على مستوي الأصابع، فيكون اتجاه الابهام ممثلا لاتجاه المتجه الناتج.

ونلاحظ ان اتجاه المتجه الناتج من عملية ضرب $a \times b$ ، يكون فى عكس اتجاه المتجه الناتج من عملية الضرب $b \times a$ ، ولكن كلاهما له نفس المقدار ويعطى بالعلاقة (٢٢)، ونستنتج من ذلك ان عملية الضرب الاتجاهي هي عملية ليست تبادليه ، اي لا يمكن تبديل المتجهين مكان بعضها اثناء عملية الضرب لأن

$$a \times b = -(b \times a) \quad (23)$$

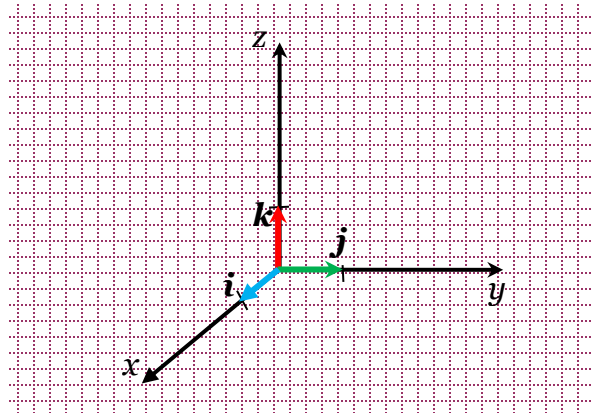


الشكل (١٢) : تمثيل الضرب الإتجاهي

كما نلاحظ ان قيمة المتجه الناتج من عملية الضرب الاتجاهي تعتمد على قيمة الزاوية بين المتجهين، فإذا كان المتجهان متعامدين فإن $\sin \varphi = 1$ ، وبالتالي فالقيمة المطلقة للمتجه الناتج تكون اكبر ما يمكن وتساوي $c = ab$ ، وإذا كان المتجهان لهما نفس الاتجاه فإن $\sin \varphi = 0$ ، وبالتالي فالقيمة المطلقة للمتجه الناتج تتلاشى وتساوي الصفر، $c = 0$

الضرب الاتجاهي لمتجهات الوحدات الكارتيزية (i, j, k) :

عند اجراء الضرب الاتجاهي لمتجهات الوحدة فإننا نطبق نفس القواعد السابقة، أي ان الناتج سيكون متجه عمودي على كل من المتجهين الأصليين وعمودي عليهم ومقدارة لا بد وان يساوي الواحد، وذلك لأنه ناتج ضرب متجهات الوحدة كالتالي، $|i \times j| = 1 \times 1 \times \sin 90 = 1$ ، ويبقى فقط تحديد اتجاه المتجه الناتج والذي مقداره يساوى الواحد، اي أنه سيكون متجه الوحدة المتعامد مع كل من المتجهين الاصلين ويبقى تحديد اتجاه باستخدام قاعدة اليد اليمنى، كما سبق وذكرنا.



عند اختلاف متجهى الوحدة:

$$i \times j = k \quad , \quad j \times k = i \quad , \quad k \times i = j$$

$$j \times i = -k \quad , \quad k \times j = -i \quad , \quad i \times k = -j \quad (24)$$

عند ضرب متجه الوحدة فى نفسه:

$$i \times i = j \times j = k \times k = 0 \quad (25)$$

وذلك لأن الزاوية بين أى متجهين تساوي صفر

طريقة الضرب الاتجاهي لمتجهين بدلالة مركباتهما:

نفرض ان لدينا متجهين يعطى بالعلاقة التالية:

$$\mathbf{A} = a_x \mathbf{i} + a_y \mathbf{j} + a_z \mathbf{k} \quad , \quad \mathbf{B} = b_x \mathbf{i} + b_y \mathbf{j} + b_z \mathbf{k}$$

مع الأخذ في الاعتبار قواعد الضرب الاتجاهي لمتجهات الوحدة $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ ، فإن حاصل الضرب الاتجاهي لهذين المتجهين يمكن كتابته على الصورة التالية

$$\mathbf{A} \times \mathbf{B} = (a_x \mathbf{i} + a_y \mathbf{j} + a_z \mathbf{k}) \times (b_x \mathbf{i} + b_y \mathbf{j} + b_z \mathbf{k})$$

$$\begin{aligned} \mathbf{A} \times \mathbf{B} = & a_x b_y (\mathbf{i} \times \mathbf{j}) + a_x b_z (\mathbf{i} \times \mathbf{k}) + a_y b_x (\mathbf{j} \times \mathbf{i}) + a_y b_z (\mathbf{j} \times \mathbf{k}) \\ & + a_z b_x (\mathbf{k} \times \mathbf{i}) + a_z b_y (\mathbf{k} \times \mathbf{j}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore \mathbf{A} \times \mathbf{B} = & a_x b_y (\mathbf{k}) + a_x b_z (-\mathbf{j}) + a_y b_x (-\mathbf{k}) + a_y b_z (\mathbf{i}) + a_z b_x (\mathbf{j}) \\ & + a_z b_y (-\mathbf{i}) \end{aligned}$$

بإعادة ترتيب الحدود نحصل على

$$\mathbf{A} \times \mathbf{B} = (a_y b_z - a_z b_y) \mathbf{i} + (a_z b_x - a_x b_z) \mathbf{j} + (a_x b_y - a_y b_x) \mathbf{k}$$

$$\mathbf{A} \times \mathbf{B} = (a_y b_z - a_z b_y) \mathbf{i} - (a_x b_z - a_z b_x) \mathbf{j} + (a_x b_y - a_y b_x) \mathbf{k}$$

في الحقيقة ان المعادلة الاخيرة تكافئ رياضيا التعبير التالي:

$$\mathbf{A} \times \mathbf{B} = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix} \quad (23)$$

$$\mathbf{A} \times \mathbf{B} = (a_y b_z - a_z b_y) \mathbf{i} - (a_x b_z - a_z b_x) \mathbf{j} + (a_x b_y - a_y b_x) \mathbf{k}$$

أي يمكن التعبير عن الضرب الاتجاهي باستخدام المصفوفات.

مثال (٦):

مقدار المتجه a هو 7.4 وحدة ويقع في المستوى xy ويصنع زاوية مقدارها 250° مع محور x وفي عكس اتجاه دوران عقارب الساعة ، والمتجه b مقداره 5 وحدات وله اتجاه محور z .

(١) أوجد حاصل الضرب القياسي: $a \cdot b$

(٢) أوجد حاصل الضرب المتجه $a \times b$ مع تحديد اتجاه المتجه الناتج من الضرب.

الحل:

(١) بالنسبة لحاصل الضرب القياسي للمتجهين: بما أن المتجه a يقع في المستوى xy والمتجه b

يأخذ اتجاه محور z ، بالتالي فإن المتجه a عمودي على المتجه b ، أي ان الزاوية المحصورة

بينهم $\varphi = 90^\circ$ ، وبالتالي فإن حاصل الضرب القياسي لهم يساوي

$$a \cdot b = ab \cos \varphi = ab \cos 90^\circ = (7.4)(5)(0) = 0$$

(٢) بالنسبة لحاصل الضرب الاتجاهي لهم فيعطى بالعلاقة التالية

$$|a \times b| = ab \sin \varphi = (7.4)(5) \sin 90^\circ = 37 \text{ unit}$$

المتجه الناتج من هذا الضرب عمودي على كل من المتجهين a و b اي عمودي على المستوى المتكون

منهما. ومعنى هذا أن المتجه الناتج يقع في المستوى xy ، ويصنع زاوية مقدارها $250^\circ - 90^\circ =$

160° مع الإتجاه الموجب لمحور x ، أى أنه يصنع مع المتجه a زاوية 90° ومع x زاوية 160°

كما هو موضح فى الشكل (١٣).

ويمكن اجراء تلك الحسابات باستخدام مركبات المتجات ثم تطبيق المعادلة (23) على النحو التالي:

مركبات المتجه a :

$$a_x = 7.4 \cos 250^\circ = -2.53 , \quad a_y = 7.4 \sin 250^\circ = -6.95 , \quad a_z = 0$$

مركبات المتجه b :

$$b_x = 0 , \quad b_y = 0 , \quad b_z = 5$$

و حاصل الضرب الاتجاهي للمتجهين يساوي

$$\mathbf{a} \times \mathbf{b} = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ -2.53 & -6.95 & 0 \\ 0 & 0 & 5 \end{vmatrix}$$

$$\mathbf{a} \times \mathbf{b} = [(-6.95)(5) - (0)(0)]\mathbf{i} + [(0)(0) - (-2.53)(5)]\mathbf{j} \\ + [(-2.53)(0) - (-6.95)(0)]\mathbf{k}$$

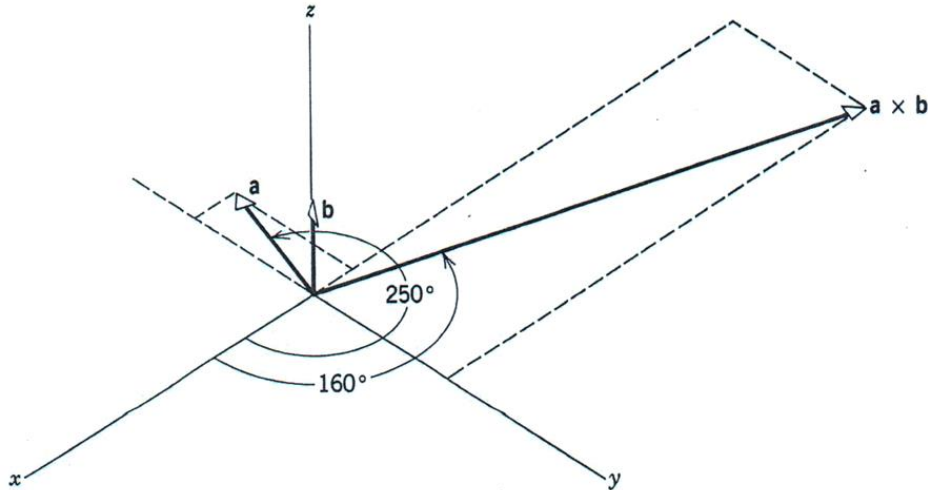
$$\mathbf{a} \times \mathbf{b} = -34.75\mathbf{i} + 12.65\mathbf{j}$$

و واضح ان المتجه الناتج يقع فى المستوى xy ، ويمكن حساب الزاوية التى يصنعها مع محور x ، كالتالى:

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{12.65}{-34.75} = \tan^{-1} -0.364 = 160^\circ$$

و يمكن حساب مقدار المتجه الناتج من مركبات المتجه الناتج كالاتى:

$$|\mathbf{a} \times \mathbf{b}| = \sqrt{(34.75)^2 + (12.65)^2} = \sqrt{1207.6 + 160} = \sqrt{1367.6} \\ = 36.98 \text{ unit}$$



شكل (١٣)

تمارين محلولة Solved problems

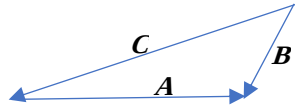
١	مقدار المتجه الناتج من حاصل ضرب متجهين $A \times B$ هو		
A	$AB \cos \varphi$	B	$AB \tan \varphi$
C	$AB \sin \varphi$	D	$-AB \cos \varphi$

٢	إذا كانت مركبات المتجه B هي $B_y = 7.5$, $B_x = 2.5$ ، فإن الزاوية بين المتجه ومحور x		
A	25	B	72
C	55	D	18

٣	مقدار المتجه $A = 5i + 6j - 7k$ هو		
A	10.5	B	-10
C	20	D	18

٤	المتجهين $A = 3i - 5j + 4k$, $B = 7i - 8j - 9k$ ، اوجد المتجه $S = A - B$		
A	$4i - 3j - 13k$	B	$-10i + 12j + 13k$
C	$10i - 12j - 13k$	D	$-4i + 3j + 13k$

٥	المتجه السالب للمتجه A ، هو متجه له		
A	نفس الاتجاه والمقدار	B	نفس المقدار ومعاكس الاتجاه
C	له نفس المقدار فقط	D	لا شيء صحيح مما سبق

بالإشارة الى الشكل المقابل، فأى من العلاقات التالية صحيحة 			٦
$C+B=A$	B	$A+B+C=0$	A
$A+C=B$	D	$A+B=C$	C

متجهين $A = -3i + 6j - 5k$ ، $B = -2i + 3j + k$ ، فإن حاصل الضرب $A \cdot B$ يساوي			٧
19	B	-12	A
30	D	14	C

متجهان ، مقدار الأول $A = 6 \text{ m}$ ، والمتجه الثاني $B = 2i + j \text{ (m)}$ ، وكانت الزاوية بينهم 30° ، فإن حاصل الضرب القياسي لهم $A \cdot B$ يساوي			٨
32.8 m^2	B	11.6 m	A
11.6 m^2	D	2.2 m^2	C

إذا كان متجهان لهما نفس المقدار ونفس الاتجاه، فيقال انهما			٩
مختلفان	B	متصاحبان	A
متفقان	D	متساويان	C

مقدار متجه الموضع r للنقطة $A(3,4,5)$ ، يساوي			١٠
8.18	B	7.07	A
6.54	D	3.21	C

واجبات وأنشطة Homework and Activities

أولاً: التقارير

مطلوب من كل طالب عمل تقرير واحد عن احدى النقاط التالية:

- الكميات القياسية والكميات المتجهة.
- جمع وطرح المتجهات.
- ضرب المتجهات.

ثانياً: الخرائط الذهنية

مطلوب من كل طالب تصميم خريطة ذهنية واحدة في احدى النقاط التالية:

- الكميات القياسية والكميات المتجهة.
- جمع وطرح المتجهات.
- ضرب المتجهات.

ثالثاً: بعض الأنشطة الأخرى

قد يتم تكليف الطالب ببعض الواجبات الأخرى على حسب الاستاذ.

رابعاً: ملف الإنجاز

كل طالب مكلف باعداد ملف الانجاز الخاص به، وهو عبارة عن ملف مكتوب عليه اسم الطالب، ورقمه الجامعي، ورقم الشعبة، واسم الاستاذ، والعام الجامعي، ويحتوى على نسخة من كل ما يكلف به الطالب من أنشطة وواجبات. ويسلم ملف الانجاز الى الاستاذ فى نهاية الفصل الدراسي، او على حسب ما يقرر الاستاذ، ويمكن للاستاذ الاطلاع على الملف فى اى وقت.

خامساً: اجب عن الاسئلة الآتية:

١- اعتبر إزاحتين، إحداها مقدارها 3 m والثانية مقدارها 4 m. وضح بالرسم كيف يمكن جمع هاتين الإزاحتين لنحصل على إزاحة محصلة مقدارها:

5 m (ج)

1 m (ب)

7 m (أ)

٢- سار طالب على قدميه مسافة 250 m فى اتجاه يصنع زاوية قدرها 35° شرق الشمال ثم سار ناحية الشرق فقطع مسافة طولها 170 m.

(أ) استعمل طريقة الرسم لإيجاد الإزاحة النهائية (المحصلة) اعتبار من نقطة البداية.

(ب) قارن محصلة الإزاحتين هذه بطول المسافة التى مشاها الطالب.

٣- متجه a طوله 5.2 units ويتجه ناحية الشرق، ومتجه آخر b له المقدار 4.3 units ويتجه بزاوية 35° غرب الشمال. بالتمثيل البيان للمتجهات (بالرسم) أوجد مقدار واتجاه الأتى:

$$(أ) \quad a+b \quad (ب) \quad a-b$$

٤- إذا أعطيت المتجهان: $a = 4i - 3j + k, b = -i + j + 4k$ فأوجد :

$$(أ) \quad a+b \quad (ب) \quad a-b \quad (ج) \quad \text{متجه } c \text{ بحيث أن } a - b + c = 0$$

٥- متجه d مقداره 2.6 m ويتجه ناحية الشرق. ما هو مقدار واتجاه كل من المتجهات الأتية:

$$(أ) \quad -d \quad (ب) \quad d/2 \quad (ج) \quad -2.5 d \quad (د) \quad 5d$$

٦- متجهان r مقداره 4.5 units، والآخر s ومقداره 7.3 unit، يقعان فى المستوى xy . الأول يصنع زاوية 320° مع الإتجاه الموجب لمحور x والثانى يصنع الزاوية 85° فى نفس الإتجاه. ما هى قيمة كل من :

$$(أ) \quad r \cdot s \quad (ب) \quad r \times s$$

٧- استخدم الضرب القياسى لإيجاد الزاوية بين المتجهين:

$$A = 3i + 3j + 3k, \quad B = 2i + j + 3k$$

٨- ثلاث متجهات هى :

$$a = 3i + 3j - 2k, \quad b = -i - 4j + 2k, \quad c = 2i + 2j + k$$

$$\text{احسب (أ) } a \cdot (a \times b) \quad (ب) \quad a \cdot (b + c) \quad (ج) \quad a \times (b + c)$$

الباب الثالث

الحركة الخطية (في بعد واحد) Motion in one dimension

مقدمة:

إن دراسة الحركة في بعد واحد يسهل علينا تقديم بعض المفاهيم الأساسية عن حركة الاجسام بدون تعقيد مثل السرعة والعجلة وبطرق رياضية سهلة. والدراسة في بعد واحد تسهل علينا مناقشة كثير من الحالات الفيزيائية مثل سقوط الأجسام، حركة قطار بعجلة (بتسارع)، وحركة سيارة في حالة إستخدام مكابح (حالة فرملة)، والتزلج، وحركة الإلكترون في أنبوبة الأشعة السينية وغيرها من الظواهر.

وصف الحركة Description of Motion

لوصف حركة جسم فنحتاج الى تحديد؛ موضع الجسم Position، سرعة الجسم (القياسية او المتجهة) speed or velocity، تسارع الجسم acceleration، كل ذلك مع الزمن.

ويمكن وصف حركة جسم بطريقتين :

١- بالمعادلات الرياضية (الوصف الرياضي)

٢- بالرسم البياني.

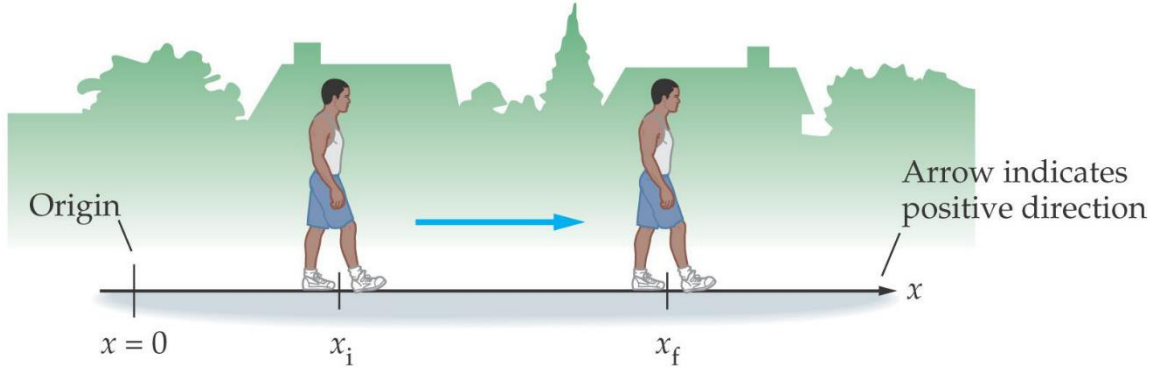
الوصف الرياضي يعتبر الافضل بالنسبة لحل المسائل لأنه اكثر دقه من طريقة الرسم، ومع ذلك يعتبر الرسم وسيلة مساعدة تزودنا بنظرة فيزيائية محسوسة أكثر من المعادلات الرياضية. إن الوصف الكامل لحركة جسم يتم استخلاصه من الوصف الرياضي وهو يتضمن اعتماد موضع (مكان) الجسم x مع الزمن t .

بمعنى ان موضع الجسم يتغير بتغير الزمن ونقول ان موضع الجسم دالة function في الزمن وتكتب هذه الدالة على الصورة $x(t)$.

الموضع Position

قبل البدء في وصف حركة جسم، فمن المناسب ان نستخدم اطار احداثي لوصف الاحداث والحركة التي تجري في هذا الاطار، فمثلا اذا كان جسم يتحرك في بعد واحد (مثل سيارة تتحرك في شارع

مستقيم) فمن المناسب ان ننسب موضع الجسم اثناء حركته بالنسبة لنقطة ثابتة، ويمكن التعبير رياضيا عن موضع هذا الجسم بالعلاقة $x(t)$. كما في الشكل (١):

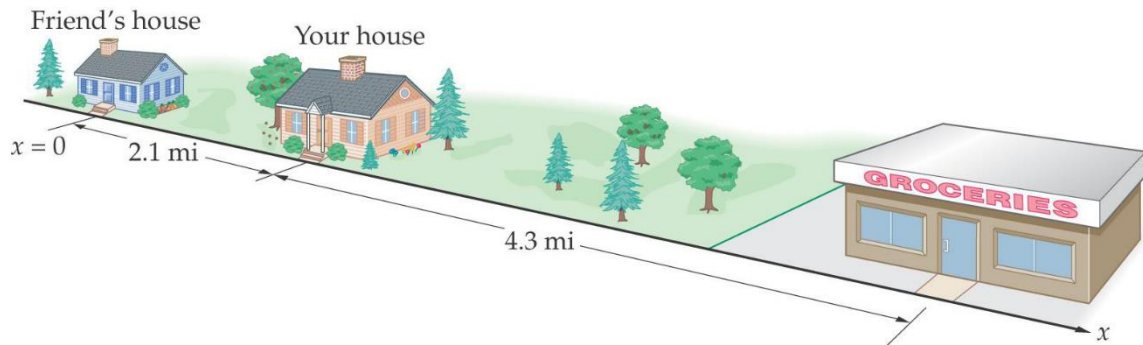


الشكل (١) : موضع الجسم على محور الاحداثيات

ويمكن وصف التغير في الموضع من الموضع الابتدائي x_i الى الموضع النهائي x_f ، بمصطلحين وهما المسافة distance، والإزاحة displacement،

المسافة distance

المسافة هي طول الرحلة المقطوعه بغض النظر عن الاتجاه وهي كمية قياسية ودائما موجبه ووحداتها بالنظام الدولي المتر m، فمثلا في الرسم التالي، اذا تمشيت من المنزل الى دكان البقال ثم عودت الى المنزل مرة اخرى كما في الشكل (٢)، فإن المسافة المقطوعه تساوى 8.6 mi.



الشكل (٢) : المسافة التي يقطعها الجسم على محور الاحداثيات

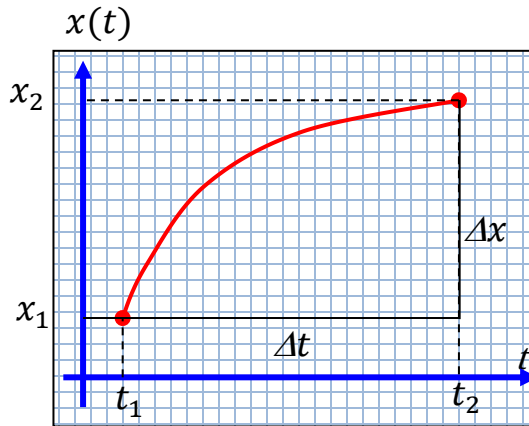
الإزاحة displacement

الإزاحة هي التغير في الموضع وهي كمية متجهة ويمكن ان تكون موجبه او سالبة او صفر ووحداتها بالنظام الدولي المتر m، فمثلا في الرسم السابق، اذا تمشيت من المنزل الى دكان البقال ثم عودت الى المنزل مرة اخرى فإن المسافة المقطوعة تساوى 8.6 mi ميل ولكنك ستعود الى الموضع الابتدائي، أى ان التغير في الموضع النهائي يساوي صفر، أى الإزاحة تساوي صفر.

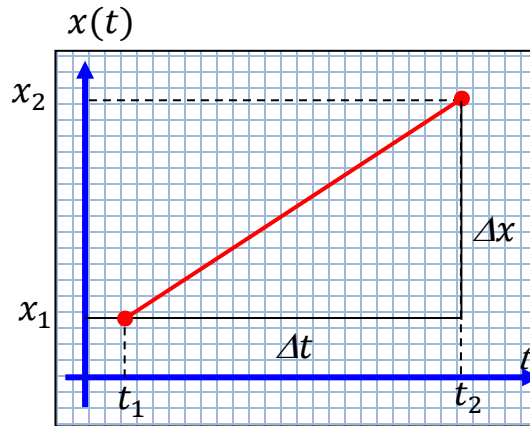
التغير في الإزاحة او المسافة بالنسبة للزمن يعطى السرعة، وهناك نوعان من السرعة، السرعة القياسية، والسرعة المتجهة

السرعة القياسية speed

السرعة القياسية هي معدل تغير المسافة بالنسبة للزمن، ووحدتها بالنظام الدولي m/s، وهي دائما موجبة لأن كل من المسافة والزمن موجبين، ويمكن ان تكون السرعة منتظمة او ثابتة constant speed، وعندها يقطع الجسم مسافات متساوية في ازمته متساوية كما في الشكل (٣)، ويمكن ان تكون متغيره (او غير منتظمة فتزيد في موضع ما وتقل في موضع اخر) variable speed، كما في الشكل (٤).



شكل (٤): السرعة الغير منتظمة



شكل (٣): السرعة المنتظمة

وهنا يجب ان نفرق بين مفهومين:

السرعة المتوسطة Average speed

فى حالة لما تكون الحركة مصحوبه بتغير فى السرعة كما هو موضح فى الشكل (٥)، فإنه من المناسب ان نستخدم تعبير السرعة المتوسطة. وهى تمثل متوسط السرعة طوال الرحلة، ويمكن وصفها بانها المسافة المقطوعة x على زمن الرحلة t ، ويمكن التعبير عنها بالعلاقة

$$v = \frac{x}{t} \quad (m/s)$$

السرعة اللحظية Spontaneous speed

وهى تمثل السرعة اللحظية عند نقطة ما فى الرحلة، ويمكن التعبير عنها بالعلاقة الآتية

$$v = \frac{dx}{dt} \quad (m/s)$$

فمثلا السرعة التى يقرأها عداد السيارة، تمثل السرعة اللحظية.

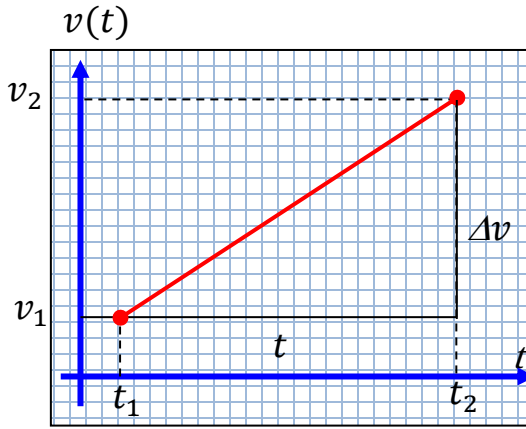
السرعة المتجهة Velocity

السرعة المتجهة هي معدل تغير الإزاحة بالنسبة للزمن وهي كمية متجهة، ويمكن ان تأخذ قيم موجبه او سالبة او صفر، ووحدتها m/s، وايضا هناك سرعة متوسطة و سرعة لحظية،

السرعة المتجهة المتوسطة Average velocity

وهى تمثل متوسط السرعة المتجهة طوال الرحلة، ويمكن وصفها بانها المسافة المقطوعة x على زمن الرحلة t ، ويمكن التعبير عنها بالعلاقة

$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (m/s)$$



وإذا كان التغير في السرعة تغيراً خطياً، أي تتغير السرعة من سرعة ابتدائية v_i ، إلى سرعة نهائية v_f ، كما في الشكل المقابل، فإن يمكن التعبير عن السرعة المتوسطة بالعلاقة

$$\bar{v} = \frac{v_i + v_f}{2}$$

السرعة اللحظية Spontaneous velocity

وهي تمثل السرعة اللحظية عند نقطة ما في الرحلة، ويمكن التعبير عنها بالعلاقة الآتية

$$v = \frac{dx}{dt} \quad (m/s)$$

التسارع (العجلة) Acceleration

إذا كان هناك تغير في السرعة المتجهة مع الزمن، فيقال إن هناك تسارع أو عجلة، ويوصف التسارع بأنه معدل تغير السرعة مع الزمن، ويمكن حساب التغير في السرعة من العلاقة $\Delta v = v_f - v_i$ ، خلال فترة زمنية مقدارها $\Delta t = t_2 - t_1$ ، حيث v_i تمثل السرعة الابتدائية، و v_f تمثل السرعة النهائية، وتكون العجلة (التسارع) المتوسط يعطى بالعلاقة

$$\text{average acceleration} = \bar{a} = \frac{v_f - v_i}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

ولأن السرعة كمية متجهة فإن العجلة كمية متجهة، كما أن وحدات العجلة بالنظام الدولي للوحدات هو m/s^2 ، وهنا عدة حالات يجب الإشارة إليها:

١- إذا كانت $v_f > v_i$ ، فإن $\Delta v = +ve$ ، وبالتالي فإن العجلة تكون موجبة، أي أن السرعة تزداد.

٢- إذا كانت $v_f < v_i$ ، فإن $\Delta v = -ve$ ، وبالتالي فإن العجلة تكون سالبة، أي أن السرعة تتناقص (حالة الفرملة).

٣- إذا كانت $v_f = v_i$ ، فإن $\Delta v = 0$ ، وبالتالي فإن العجلة تكون صفر، أي أن السرعة ثابتة.

ومن الجدير بالذكر أنه يمكن التعبير عن العلاقة بين السرعة الابتدائية والسرعة النهائية والعجلة والزمن بالعلاقة التالية :

$$a = \frac{v_f - v_i}{t}$$

وبالتالي فإنه يمكن كتابة العلاقة السابقة على الصورة التالية

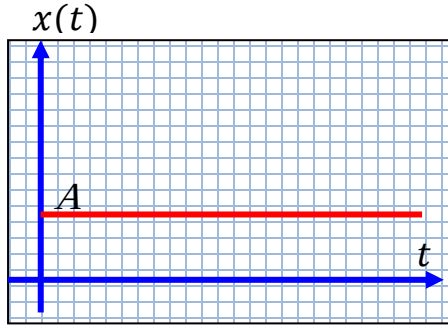
$$v_f = v_i + at$$

وأيضاً يمكن إيجاد السرعة اللحظية عند أي لحظة من العلاقة الآتية

$$a = \frac{dv}{dt}$$

هناك عدة حالات للحركة يمكن التعبير عنها من خلال الدول والرسم:

(١) فى حالة السكون (عدم وجود حركة على الإطلاق) No Motion at all



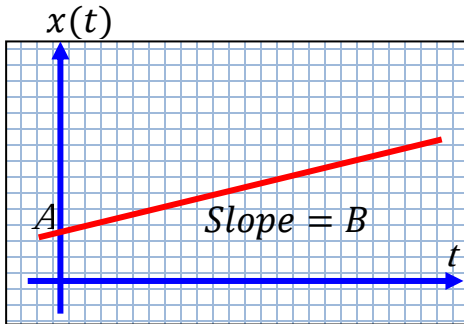
هنا الجسم ثابت عند الإحداثى الرأسى A فى جميع الأزمنة، ويعبر عن ذلك رياضيا بالدالة او المعادلة

$$x(t) = A$$

والتمثيل البياني لهذه الحالة كما فى الشكل (٥).

الشكل (٥)

(٢) الحركة بسرعة ثابتة : Motion at constant speed



معدل حركة جسم هو سرعته (أى معدل تغير موضعه بالنسبة للزمن) ، وفى حالة الحركة فى بعد واحد فإن السرعة إما ان تكون موجبه او سالبة إعتقادا على إتجاه الحركة فى الإتجاه الموجب لمحور x ، او فى الإتجاه السالب لمحور $-x$. وكما هو معلوم ان السرعة المتجهة velocity كمية متجهة تتحدد بمقدار وإتجاه، ومقدار السرعة القياسية speed دائما موجب ولا يدلنا على الإتجاه.

الشكل (٦)

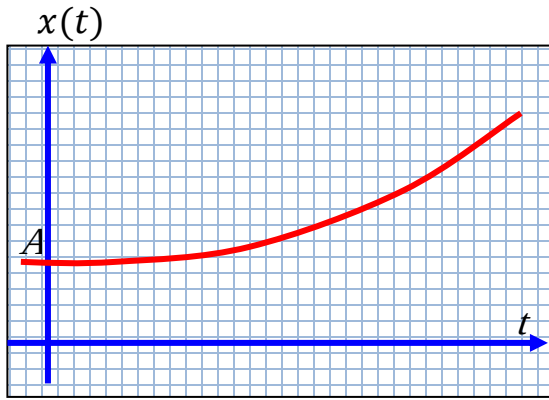
الشكل (٦) يوضح التمثيل البياني لحركة جسم يتحرك بسرعة ثابتة. وكما هو مبين بالشكل، فإن مكان الجسم يتغير مع الزمن ويمثل هذا التغير بخط مستقيم، ميله مقدار ثابت ويساوى السرعة. وكلما زاد الميل كلما زادت السرعة. ويمكن التعبير عن هذا النوع من الحركة رياضيا بالمعادلة:

$$x(t) = A + Bt$$

الصورة العامة لمعادلة خط مستقيم له الشكل السابق هي $(y = mx + c)$ ، وميل الخط هنا هو B . من الشكل السابق يتضح ان موضع الجسم x عند الزمن صفر $(t = 0)$ يساوى A . والجسم يتحرك بسرعة ثابتة فى الإتجاه الموجب لـ x ولهذا نقول ان سرعته موجبة.

(٣) الحركة بعجلة (بتسارع) ثابتة Acceleration Motion:

فى هذه الحالة فإن السرعة تتغير (إما بالزيادة او بالنقصان) وسندرس هنا حالة الزيادة أى فى حالة حدوث تسارع. يعرف التسارع على انه معدل تغيير السرعة بالنسبة للزمن، ولهذا فإن ميل المنحنى بين كل من x و t سيتغير. أى انه لن يوجد خط مستقيم يمثل العلاقة بين كل من x و t فى هذه الحالة.



الشكل (٧)، يوضح هذا النوع من الحركة، حيث نجد ان العلاقة بين الموضع والزمن لا تعطى خط مستقيم، ويمكن التعبير عن هذه الحالة رياضيا بالعلاقة التالية

$$x(t) = A + Bt + Ct^2$$

حيث ان كل من A, B, C ثوابت.

الشكل (٧)

بتفاضل العلاقة السابقة بالنسبة للزمن نحصل على

$$v = \frac{dx}{dt} = \dot{x} = 0 + B + \frac{1}{2}Ct$$

هذه المعادلة تعطي السرعة عند أى لحظة، وإذا عوضنا عن الزمن $t=0$ ، فإن $v_{t=0} = v_i = B$ ، أى ان الثابت B يمثل السرعة الابتدائية، وإذا قمنا بتفاضل العلاقة السابقة مرة اخرى بالنسبة للزمن نحصل على:

$$a = \frac{dv}{dt} = \ddot{x} = \frac{1}{2}C$$

مثال (١):

قطع سائق سيارة وهو يقود سيارته مسافة قدرها 5.2 km بسرعة 43 km/h ، وعندها نفذ الوقود فإضطر الى السير على قدمه ليصل إلى اقرب محطة فقطع مسافة قدرها 1.2 km في زمن قدرة 27 min . احسب السرعة المتوسطة من زمن بداية الحركة بالسيارة وحتى زمن وصول المحطة.

الحل:

$$\Delta x = 5.2 \text{ km} + 1.2 \text{ km} = 6.4 \text{ km}$$

$$\Delta t = \frac{5.2 \text{ km}}{43 \text{ km/h}} + \frac{27 \text{ min}}{60} = 0.571 \text{ h}$$

ومن ثم فإن السرعة المتوسطة تساوى

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{6.4 \text{ km}}{0.571 \text{ h}} = 11.2 \text{ km/h}$$

مثال (٢) :

إفترض ان تغير الموضع بالنسبة للزمن يعطى بالعلاقة $x(t) = 3.0 + 1.0t + 2.0t^2$ ، احسب السرعة اللحظية عند اللحظة $t = 1 \text{ s}$.

الحل:

اولا نوجد السرعة بتفاضل العلاقة السابقة بالنسبة للزمن فنحصل على

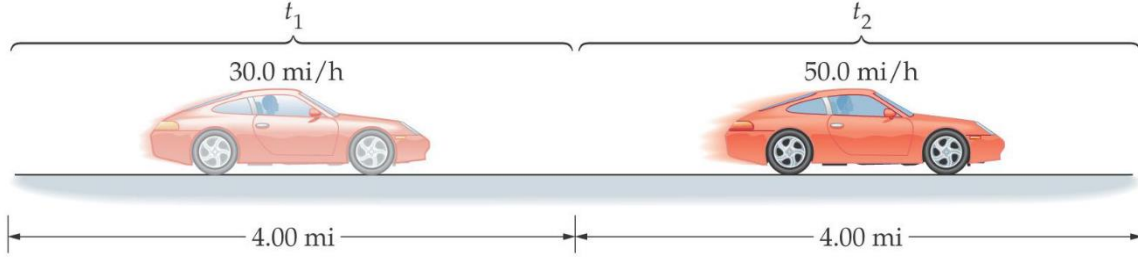
$$v(t) = \frac{dx}{dt} = 0 + 1.0 + 4.0t$$

وبالتعويض عن $t=1 \text{ s}$ ، فنحصل على السرعة اللحظية بعد ثانية واحدة

$$v(1) = 1.0 + 4.0 = 5.0 \text{ s}$$

مثال (٣) :

من خلال الشكل، هل السرعة المتوسطة للسيارة تساوى 40 mi/h، او اكثر من ذلك او اقل



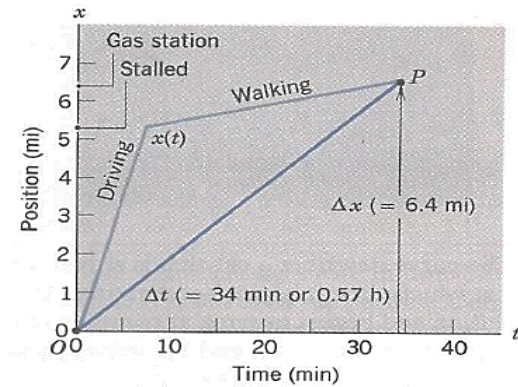
الحل:

سيتم شرحه للطلاب في المحاضرة

مثال (٤) :

سائق قاد سيارته من منزله وحتى مسافة 5.2 mi بسرعه 43 mi/h، وعندئذ نفذ الوقود من السيارة واضطر ان يسير على قدميه مسافة 1.2 mi خلال ٢٧ دقيقة لشراء وقود من اقرب محطة وقود، احسب السرعة المتوسطة لاجمالي الرحله (اى من المنزل وحتى محطة الوقود).

الحل:



$$\Delta x = 5.2 \text{ mi} + 1.2 \text{ mi} = 6.4 \text{ mi}$$

$$\begin{aligned} \Delta t &= \frac{5.2 \text{ mi}}{43 \text{ mi/h}} + 27 \text{ min} \\ &= 7.3 \text{ min} + 27 \text{ min} \\ &= 34 \text{ min} = 0.57 \text{ h} \end{aligned}$$

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{6.4 \text{ mi}}{0.57 \text{ h}} = 11.2 \text{ mi/h}$$

معادلات الحركة لجسم يتحرك بعجلة منتظمة

فى هذا الجزء سنستنتج معادلات الحركة لجسم يتحرك بعجلة ثابتة، فإذا افترضنا ان الجسم يتحرك من الموضع الابتدائى x_i حيث السرعة الابتدائية هي v_i إلى الموضع النهائى x_f حيث السرعة النهائية هي v_f ، خلال فترة زمنية قدرها t بعجلة منتظمة مقدارها a ، فإن:

١- السرعة المتوسطة تعطى بالعلاقة

$$\bar{v} = \frac{x_f - x_i}{t} = \frac{v_f + v_i}{2}$$

٢- من العلاقة السابقة نجد ان العلاقة بين الموضع النهائية والموضع الابتدائية والسرعة المتوسطة تعطى بالعلاقة

$$x_f = x_i + \frac{1}{2}(v_f + v_i)t$$

٣- العلاقة بين السرعة النهائية والسرعة الابتدائية والعجلة والزمن تعطى بالعلاقة

$$v_f = v_i + at$$

٤- من المعادلتين السابقتين، وبالتعويض عن السرعة الابتدائية او النهائية بدلالة العجلة والزمن ، نحصل على العلاقة بين الموضع والسرعة والعجلة والزمن:

$$x_f = x_i + v_i t + \frac{1}{2}at^2 \quad , \quad x_f = x_i + v_f t - \frac{1}{2}at^2$$

٥- وبالتعويض عن الزمن $t = \frac{v - v_o}{a}$ فى العلاقة السابقة فإن العلاقة بين الموضع والسرعة

والعجلة يمكن استنتاجها ايضا لتصبح على الصورة التالية :

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a(x_f - x_i)$$

الجدول (١) يعطى معادلات الحركة لجسيم يتحرك بعجلة منتظمة.

جدول (١) : معادلات الحركة لجسيم يتحرك بعجلة منتظمة

١	لا يوجد مسافات	$v_f = v_i + at$
٢	لا يوجد سرعة نهائية	$x_f = x_i + v_i t + \frac{1}{2}at^2$
٣	لا يوجد سرعة ابتدائية	$x_f = x_i + v_f t - \frac{1}{2}at^2$
٤	لا يوجد زمن	$v_f^2 = v_i^2 + 2a(x_f - x_i)$
٥	لا يوجد عجلة	$\bar{v} = \frac{x_f - x_i}{t} = \frac{v_f + v_i}{2}$
٦	لا يوجد عجلة	$x_f = x_o + \frac{1}{2}(v_f + v_o)t$

مثال (٥):

إذا ضغطت على مكابح (فرامل) سيارتك التى تسير بسرعة 85km/h، حتى وصلت السرعة إلى 45 km/h، حيث قطعت السيارة مسافة 105 m، فاحسب مايلى:

أ- قيمة العجلة بافتراض انها كانت ثابتة خلال هذه الفترة.

ب- الفترة الزمنية المستغرقة لإنخفاض سرعة السيارة.

الحل:

نختار اولاً الإتجاه الموجب ليكون هو اتجاه السرعة، ونحدد نقطة البداية لتكون عند نقطة الأصل، أى أن $x_o = 0$ عند الزمن $t = 0$.

معطيات المسألة	لإيجاد العجلة نستخدم المعادلة حيث لا يوجد الزمن
$x_o = 0$	$v^2 = v_o^2 + 2a(x - x_o)$

$$a = \frac{v^2 - v_o^2}{2(x - x_o)}$$

$$\therefore a = \frac{(45\text{km/h})^2 - (85\text{km/h})^2}{2(0.105\text{km})} = -2.48 \times 10^2 \text{km/h}^2$$

$$= -1.91\text{m/s}^2$$

$$v_o = 85\text{km/h}$$

$$v = 45\text{km/h}$$

$$x - x_o = 105\text{m}$$

$$t = ???$$

$$a = ???$$

لايجاد الزمن، نستخدم المعادلة حيث لا توجد عجلة

$$\bar{v} = \frac{v + v_o}{2} = \frac{x - x_o}{t}$$

$$\therefore t = \frac{2(x - x_o)}{v + v_o} = \frac{2 \times 0.105\text{km}}{(45 + 85)\text{km/h}} = 1.62 \times 10^{-3}\text{h} = 5.8\text{s}$$

مثال (٦):

جسيم ألفا (جسيم ألفا عبارة عن نواة ذرة الهيليوم) سار بداخل أنبوبة مجوفة طولها 2m والتي تشكل جزء من معجل الجسيمات، بافتراض ان العجلة ثابتة:

أ- احسب مقدار عجلة الجسيم إذا علم انه دخل الأنبوبة بسرعة 10^4 m/s وخرج منها بسرعة $5 \times 10^6 \text{ m/s}$

ب- ما هو زمن بقاء الجسيم بداخل الانبوبة؟

الحل:

نختار المحور السيني هو محور الأنبوبة، والاتجاه الموجب هو اتجاه حركة الجسيم، ونختار موقع نقطة الاصل هي مدخل الأنبوبة، هذا يعنى ان معطيات الأنبوبة يمكن كتابتها على الصورة التالية:

معطيات المسألة | لإيجاد العجلة نستخدم المعادلة حيث لا يوجد الزمن

$$v^2 = v_o^2 + 2a(x - x_o)$$

$$a = \frac{v^2 - v_o^2}{2(x - x_o)}$$

$$\therefore a = \frac{(5 \times 10^6 m/s)^2 - (10^4 m/s)^2}{2(2m)} = 6.3 \times 10^{12} m/s^2$$

لايجاد الزمن، نستخدم المعادلة حيث لا توجد عجلة

$$\bar{v} = \frac{v + v_o}{2} = \frac{x - x_o}{t}$$

$$\therefore t = \frac{2(x - x_o)}{v + v_o} = \frac{2 \times 2m}{(10^4 + 5 \times 10^6)m/s} = 8 \times 10^{-7} s = 0.8 \mu s$$

$$x_o = 0$$

$$v_o = 10^4 m/s$$

$$v = 5 \times 10^6 m/s$$

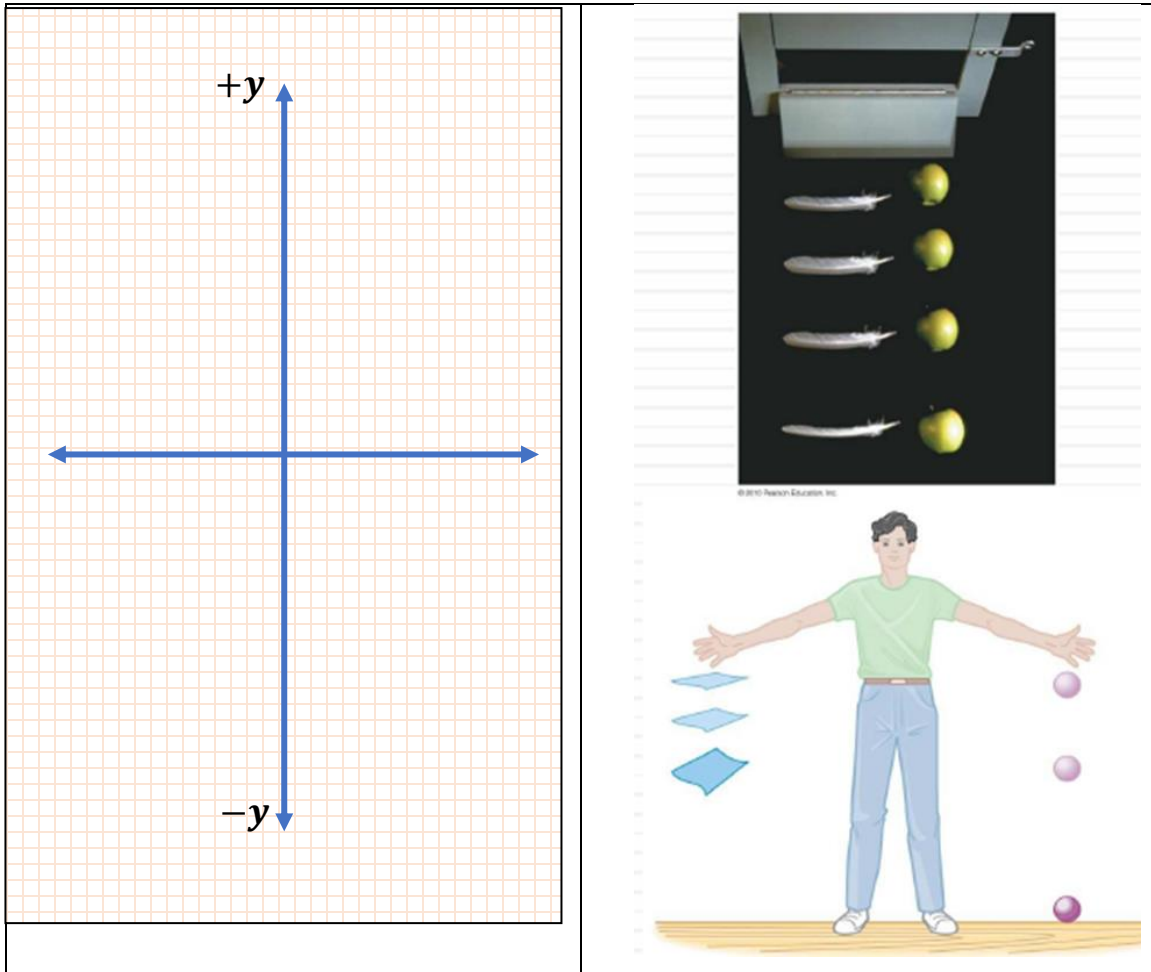
$$x - x_o = 2m$$

$$t = ???$$

$$a = ???$$

السقوط الحر للأجسام Free falling bodies

يعتبر سقوط جسم باتجاه الأرض من اوضح الأمثلة على الحركة بعجلة ثابتة. إذا أمكن إسقاط جسم ما في وسط مفرغ من الهواء حتى لا تكون لمقاومة الهواء تأثير على حركة الجسم فإن الملاحظ أن الجسم يتعجل إلى أسفل بمعدل معين وثابت يسمى بعجلة السقوط الحر، او عجلة الجاذبية الأرضية. ويرمز لعجلة الجاذبية الأرضية بالرمز g . هذه العجلة لا تعتمد على خصائص الجسم مثل الكتلة، الكثافة، أو الشكل، فهي متساوية لكل الأجسام، بمعنى لو اننا اسقطنا ريشة حمام وكتلة من الحديد من نفس الارتفاع في نفس الوقت، فإنهما يصلان سطح الأرض في نفس اللحظة.



قيمة عجلة الجاذبية الأرضية تتأثر بالارتفاع عن سطح الأرض فهي تقل كلما زاد الارتفاع. والقيمة المطلقة التي نستخدمها لعجلة الجاذبية الأرضية هي $g = 9.8 \text{ m/s}^2$.

إتجاه عجلة الجاذبية الأرضية هو دائما إلى أسفل سواء كان الجسم ساقطا لأسفل أو مقذوفا لأعلى، فهي لا ترتبط بإتجاه سرعة الجسم.

معادلات الحركة لأي جسم يتحرك تحت تأثير عجلة الجاذبية الأرضية هي نفسها معادلات الحركة لجسم يتحرك بعجلة منتظمة، مع إعتبار امرين اولا استبدال المسافة x بـ الارتفاع y ، مع الأخذ في الاعتبار ان نقطة الارض تأخذ كنقطة الصفر ما لم يشار الى غير ذلك في مسأله والارتفاع الى اعلى يعتبر فى الاتجاه الموجب، ثانيا استبدال العجلة a بعجلة السقوط الحر $-g$. وإذا اخذنا الإتجاه لأعلى هو الإتجاه الموجب، فإنه يمكن التعبير عن معادلات الحركة فى هذه الحالة بالجدول التالى:

جدول (٢) : معادلات الحركة لجسيم يسقط سقوطا حرا تحت تأثير الجاذبية الأرضية

١	لا يوجد مسافات	$v_f = v_o - gt$
٢	لا يوجد سرعة ابتدائية	$y_f = y_o + v_o t - \frac{1}{2}gt^2$
٣	لا يوجد سرعة نهائية	$y_f = y_o + v_i t + \frac{1}{2}gt^2$
٤	لا يوجد زمن	$\therefore v_f^2 = v_o^2 - 2g(y - y_o)$
٥	لا يوجد عجلة	$\bar{v} = \frac{v + v_o}{2} = \frac{y_f - y_o}{t}$
٦	لا يوجد عجلة	$y_f = y_o + \frac{1}{2}(v + v_o)t$

مثال (٧):

سقط جسم من السكون رأسيا إلى اسفل. عين موقعه وسرعته بعد مرور 1s, 2s, 3s, 4s.

الحل:

نعتبر ان الجسم سقط من نقطة الأصل، ولإيجاد المسافة نأخذ المعادلة التالية

$$y_f = y_o + v_o t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$\therefore y = -\frac{1}{2} g t^2$$

ولإيجاد السرعة عند أى لحظة نستخدم المعادلة

$$v = v_o - g t$$

$$v = -g t$$

t	y	v
0	0	0
1 s	-4.9 m	-9.8 m/s
2 s	-19.6 m	-19.6 m/s
3 s	-44.1 m	-29.4 m/s
4 s	-78.4 m	-39.2 m/s

المعطيات

$$y_o = 0$$

$$v_o = 0$$

مثال (٨) :

قذفت كرة رأسياً إلى أعلى من سطح الأرض بسرعة 25.2 m/s، أوجد:

أ- الزمن الذى تستغرقه الكرة للوصول إلى أعلى نقطة.

ب- أعلى إرتفاع تصل إليه الكرة.

ت- زمن وصول الكرة إلى إرتفاع 27 m.

الحل:

أ- لإيجاد الزمن نستخدم المعادلة حيث لا يوجد مسافات

$$v = v_o - g t$$

معطيات المسألة

$$y_o = 0$$

$$v_o = 25.2 \text{ m/s}$$

$$t = \frac{v - v_o}{g} = \frac{0 - 25.2}{-9.8} = 2.57s$$

ب- لإيجاد أعلى ارتفاع تصل اليه الكرة نستخدم العلاقة التالية

$$v^2 = v_o^2 - 2g(y - y_o)$$

$$y = \frac{v_o^2}{2g} = \frac{(25.2m/s)^2}{2 \times 9.8m/s^2} = 32.4m$$

ت- لإيجاد الزمن عند مسافة ٢٧ متر، نستخدم المعادلة التالية

$$y = y_o + v_o t - \frac{1}{2}gt^2$$

بالتعويض نحصل على

$$27 = 0 + 25.2t - \frac{1}{2}9.8t^2$$

وبحل هذه المعادلة نجد ان $t = 1.52 s$

$$v = 0m/s$$

$$g = 9.8m/s^2$$

$$y = ????$$

$$t = ???$$

تمارين محلولة Solved problems

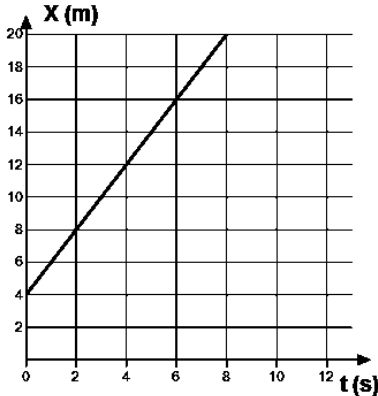
١	جسم يتحرك بسرعة ثابتة مقدارها 8 m/s، فهذا يعني ان الجسم	
A	سرعته تقل بمقدار 8m/s	B
C	يتحرك ٨ امتار كل ثانية	D
	له تسارع موجب	

٢	سيارة لعبه تتحرك ٨ متر كل ٤ ثواني، فإن سرعة اللعبة	
A	32 m/s	B
C	1 m/s	D
	4 m/s	

٣	جسم يتحرك بتسارع ثابت مقداره 5 m/s ² ، فأى من العبارات التالية صحيح	
A	سرعة الجسم تزداد بمعدل 5 m/s كل ثانية	B
C	سرعة الجسم ثابتة	D
	تسارع الجسم يقل بمعدل 5 m/s ² كل ثانية	
	تسارع الجسم يزداد بمعدل 5 m/s ² كل ثانية	

٤	قذفت كره راسيا لاعلى بسرعة 10 m/s، فإن سرعتها عند اعلى نقطه تصل اليها راسيا تساوى	
A	10 m/s	B
C	-10 m/s	D
	zero	

٥	بدأت سيارة الحركة من السكون بتسارع منتظم الى ان وصلت سرعتها 20 m/s خلال ١٥ ثانية، فإن المسافة التى قطعها السيارة تساوي	
A	300 m	B
C	600 m	D
	150 m	
	450 m	

	الشكل المقابل يمثل العلاقة بين الموضع والزمن لجسم يتحرك، استخدم هذا الشكل للإجابة عن السؤالين التاليين: ما هو الموضع الابتدائي للجسم؟			٦
10 m	B	4 m	A	
8 m	D	2 m	C	

٧ في الشكل السابق، السرعة المتوسطة للجسم تساوي			
2 m/s	B	4 m/s	A
10 m/s	D	8 m/s	C

٨ سيارة بدأت الحركة بسرعة ابتدائية 4 m/s وعجلة تساوي 2 m/s ² ، المسافة المقطوعة في ٤ ثواني تساوي			
32 km	B	32 m/s ²	A
32 m	D	32 m/s	C

٩ قذفت كرة لأعلى بسرعة ابتدائية 21 m/s، فإن الزمن اللازم لتصل الكرة لأعلى نقطة هو			
60 s	B	1.8 s	A
33 s	D	2.1 s	C

واجبات وأنشطة Homework and Activities

أولاً: التقارير

مطلوب من كل طالب عمل تقرير واحد عن احدى النقاط التالية:

- توضيح المفاهيم الاساسية لعلم الديناميكا، وهي الموضع ، المسافه ، الازاحه ، السرعة القياسية ، السرعة المتجه ، السرعة المتوسطة، السرعة اللحظية ، السرعة المنتظمة ، السرعة الغير منتظمة ، التسارع.
- استنتاج معادلات الحركة بالتفصيل لجسم يتحرك فى خط مستقيم.
- استنتاج معادلات الحركة لجسم يتحرك تحت تأثير الجاذبية الأرضية.

ثانياً: الخرائط الذهنية

مطلوب من كل طالب تصميم خريطة ذهنية واحدة في احدى النقاط التالية:

- المفاهيم الاساسية لعلم الديناميكا.
- معادلات الحركة الخطية.
- معادلات الحركة تحت تأثير الجاذبية الأرضية.

ثالثاً: بعض الأنشطة الأخرى

قد يتم تكليف الطالب ببعض الواجبات الأخرى على حسب الاستاذ.

رابعاً: ملف الإنجاز

كل طالب مكلف باعداد ملف الانجاز الخاص به، وهو عبارة عن ملف مكتوب عليه اسم الطالب، ورقمه الجامعي، ورقم الشعبة، واسم الاستاذ، والعام الجامعي، ويحتوى على نسخة من كل ما يكلف به الطالب من أنشطة وواجبات. ويسلم ملف الانجاز الى الاستاذ فى نهاية الفصل الدراسي، او على حسب ما يقرر الاستاذ، ويمكن للاستاذ الاطلاع على الملف فى اى وقت.

خامساً: اجب عن الاسئلة الآتية:

- ١ - جسم يسقط سقوطاً حراً من السكون، احسب الموضع والسرعة بعد مرور ١، ٢، ٣، ٤ ثانية من لحظة السقوط.

- ٢- جسم يتحرك من السكون الى ان وصلت سرعته 4 m/s في غضون 5 s بتسارع ثابت، احسب المسافة التي تحركها الجسم .
- ٣- تم قذف كرة لاعلى بسرعة ابتدائية 20 m/s ، احسب الزمن اللازم لكي تعود الكرة الى موضعها على الارض
- ٤- فى المثال السابق احسب موضع الكرة بعد ١ ثانية
- ٥- سيارة تحركت من السكون الى 60 mi/h فى $٦,٢$ ثانية ، احسب تسارع السيارة بوحدات النظام الدولي.

الباب الرابع

قوانين نيوتن للحركة Newton's laws of motion

مقدمه



فى هذا الفصل سنناقش مسببات الحركة حيث نربط بين القوى المؤثرة على جسيم وحركته بواسطة قوانين نيوتن الثلاثة فى الحركة. السير إسحاق نيوتن Isaac Newton من رجال الجمعية الملكية كان فيزيائى إنجليزى وعالم رياضيات وعالم فلك وفيلسوف بعلم الطبيعة وكيمائى، ولد فى ٤ يناير ١٦٤٣ وتوفى فى ٣١ مارس ١٧٢٧، عن عمر ٨٤ عاماً.

قانون نيوتن الأول

إن دفع سيارة معطلة، أو رفع جسم ما أو شد ثقل بحبل كلها أمثلة لبعض القوى التى تطبق على أجسام مختلفة فتتسبب فى حركتها. وهذا لا يعنى أنه لا توجد قوة إذا لم يكن هناك حركة للأجسام. ومثال على ذلك إذا دفع شخص جدار بناية بيديه فلا يتحرك الجدار رغم القوة المبذولة بواسطة الشخص. وينص قانون نيوتن الأول على:

كل جسم يبقى على حالته من حيث السكون أو الحركة بسرعة ثابتة إذا كان محصلة القوة التى تعمل على الجسم تساوى صفر، أى ان

$$\sum F = 0 \quad (1)$$

وقانون نيوتن الأول يشير إلى ان الجسم غير قادر على تغير حالته من حيث السكون او الحركة بنفسه، ولكن ما يغير حالة الجسم الحركيه هو وجود قوة. ولذلك يطلق على القانون الاول لنيوتن، بقانون القصور الذاتى.

كمية التحرك Momentum

تعرف كمية التحرك P بأنها عبارة عن حاصل ضرب الكتلة في السرعة المتجهة، وهي كمية متجهة. أى أن

$$P = mv$$

والتغير في كمية الحركة يحدث اذا حدث تغير في سرعة الجسم (سواء في المقدار او الاتجاه) او تغير في كتلة الجسم اثناء حركته، وبفرض ان كتلة الجسم ثابتة اثناء تحركه، فإن التغير في كمية التحرك عندما تتغير سرعة الجسم من v_1 الى v_2 تعطى بالعلاقة:

$$\Delta P = m(v_2 - v_1) = m\Delta v$$

وإذا حدث التغير في كمية التحرك بشكل منتظم في فترة زمنية قدرها t ، فإن معدل التغير في كمية التحرك تعطى بالعلاقة :

$$\frac{dP}{dt} = m \frac{dv}{dt} = ma$$

أى ان معدل التغير في كمية الحركة يساوى حاصل ضرب الكتلة في التسارع (العجلة).

قانون نيوتن الثانى

يتناسب تسارع جسم ما طرديا مع محصلة القوى الخارجية المؤثرة عليه وعكسيا مع كتلته.

ويعبر عن ذلك رياضيا على الصورة

$$\sum F = ma \quad (2)$$

حيث $\sum F$ = محصلة القوى المؤثر، m كتلة الجسم، a التسارع، وتكون وحدة القوة في النظام الدولي للوحدات هي kg.m/s^2 ويطلق عليها اسم نيوتن Newton ويرمز لها بالرمز (N) أى أن

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg.m/s}^2$$

ويمكن كتابة القانون الثاني لنيوتن في صيغ المركبات كما يلي:

$$\sum F_x = ma_x$$

$$\sum F_y = ma_y$$

$$\sum F_z = ma_z$$

الجدول التالي يلخص وحدات القوى، الكتلة والتسارع في الأنظمة الثلاثة للوحدات

نظام الوحدات	القوى	الكتلة	التسارع
SI	نيوتن N	كيلو جرام kg	m/s ²
cgs	داين Dyne	جرام	cm/s ²
British	باوند pound	slug	ft/s ²

القوة

القوة هي قوة الشد أو قوة الدفع أو قوة رد الفعل وكذلك قوة الاحتكاك، وهي المسئولة عن تغير حالة الجسم من حيث السكون أو الحركة، فوجود قوة يعنى وجود عجلة، يعنى وجود تغير فى السرعة. والقوة كمية متجهة لها مقدار واتجاه، واتجاهها نفس اتجاه التسارع، ومقدارها هو حاصل ضرب الكتلة فى مقدار التسارع.

الكتلة والوزن

غالبا ما يستخدم بطريق الخطأ لفظ الكتلة والوزن حيث يتم استبدالهما فى اللغة العربية أحيانا فى المحادثة اليومية. ولكن من الضرورى بالنسبة لطالب الفيزياء عدم الخلط بين مفهوم الوزن لجسم ما وكتلته.

الكتلة كمية قياسية وهى تحدد القصور الذاتى للجسم فى الحركة الإنتقالية. أما الوزن فهو قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة على جسم ما ويساوى:

$$W = F = m.g$$

ونستنتج من ذلك أن وزن أى جسم يتجه دوما نحو الأسفل وأن وحدته وحدة قوة أى نيوتن. ويلاحظ أن الوزن يعتمد على متجه عجلة الجاذبية الأرضية g والتي تختلف باختلاف الموقع الجغرافى لذلك يختلف وزن الجسم من مكان لآخر.

مثال (١):

يدفع طالب زلاجة كتلتها $m = 240 \text{ kg}$ مسافة $d = 2.3 \text{ m}$ من السكون على سطح عديم الاحتكاك لبحيرة متجمدة. وكانت قوة الزلاجة افقية وثابتة $F = 130 \text{ N}$ كما هو موضح بالشكل. ما هى السرعة النهائية للزلاجة؟



الحل:

$$\sum F = ma$$

$$\therefore a = \frac{F}{m} = \frac{130N}{240kg} = 0.54m/s^2$$

وبالتعويض فى المعادلة

$$v^2 = v_i^2 + 2a\Delta x$$

حيث

$$\Delta x = x - x_i = d$$

نجد أن

$$v = \sqrt{2ad} = \sqrt{(2)(0.54)(2.3)} = 1.6m/s$$

مثال (٢):

فى المثال السابق يريد الطالب عكس اتجاه حركة الزلاجة فى زمن قدره 4.5 s ، فما هى القوة الثابتة التى يجب أن يدفع بها الزلاجة لعمل ذلك؟

الحل:

نوجد أولاً التسارع من المعادلة:

$$v = v_i + at$$

$$\therefore a = \frac{v - v_i}{t} = \frac{(-1.6m/s) - (1.6m/s)}{4.5} = -0.71m/s$$

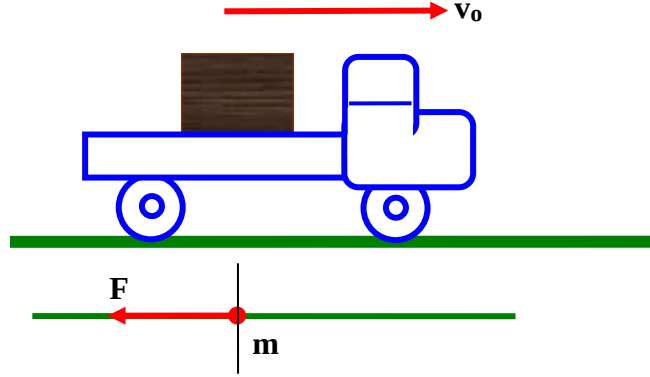
$$\therefore F = ma$$

$$\therefore F = (240)(-0.71) = -170N$$

الإشارة السالبة تدل على أن الطالب يدفع الزلاجة فى الإتجاه السالب لمحور x .

مثال (٣):

صندوق شحن كتلته 360 kg مثبت على سطح سيارة نقل تتحرك بسرعة ابتدائية $v_0 = 120 \text{ km/h}$ كما في الشكل، استخدم السائق الفرامل ليبطئ السرعة إلى السرعة النهائية $v = 260 \text{ km/h}$ في زمن قدره 17 s ، ما هي القوة المؤثرة على الصندوق خلال هذا الزمن؟



الحل:

نوجد التسارع الثابت لصندوق الشحن:

$$v = v_0 + at$$

$$\begin{aligned} \therefore a &= \frac{v - v_0}{t} = \frac{(62 \text{ km/h}) - (120 \text{ km/h})}{17 \text{ s}} \\ &= \left(-3.41 \frac{\text{km}}{\text{h.s}} \right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) \left(\frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \right) = -0.95 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

الإشارة السالبة تدل على أن اتجاه التسارع إلى اليسار

$$\therefore F = ma$$

$$\therefore F = (360 \text{ kg})(-0.95 \text{ m/s}^2) = -340 \text{ N}$$

والقوة تؤثر في نفس اتجاه التسارع.

قانون نيوتن الثالث

يمكن صياغة قانون نيوتن الثالث كما يلي "لكل فعل رد فعل مساو له في المقدار ومضاد له في الاتجاه". ومن المهم جدا فهم أن قوتى الفعل ورد الفعل تؤثران على جسمين مختلفين دائما. فعندما يركل لاعب الكرة فإن القدم تؤثر بقوة الفعل، كما تؤثر الكرة على القدم بقوة رد الفعل. فإذا كان الجسم A يؤثر على الجسم B بقوة فعل F_{BA} ، فإن الجسم B يكون له رد فعل على الجسم A بقوة F_{AB} ، بحيث

$$F_{AB} = -F_{BA}$$



والأمثلة التالية توضح تطبيقات قانون نيوتن الثالث.

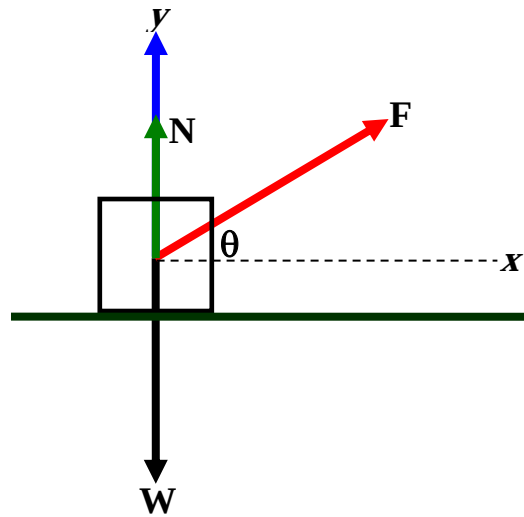
١. **قمر صناعي مداري:** عندما يدور قمر صناعي حول الأرض، يتأثر القمر بقوة الجاذبية الأرضية F_{SE} وتكون قوة رد الفعل المقابلة F_{ES} هي القوة المؤثرة على الأرض والناشئة عن قوة جذب القمر الصناعي للأرض ويكون مقدارهما متساويا أى أن:

$$F_{ES} = F_{SE}$$

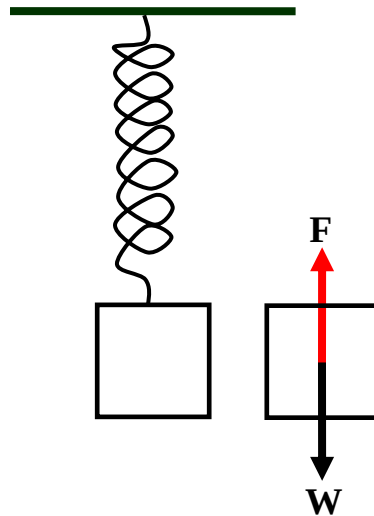
٢. **القوة العمودية Normal force:** عند وضع كتاب على طاولة، يؤثر الكتاب بقوة وزنه ($W = mg$) على سطح الطاولة ويكون الوزن دائما رأسيا إلى أسفل ويكون رد الفعل العمودى على السطح (N) هو قوة مساوية ومعاكسة للوزن ناتجة عن وجود الجسم على الطاولة ويجب ملاحظة أن رد الفعل العمودى (N) لا يساوى الوزن دائما كما موضح بالأشكال التالية. لإيجاد القوة العمودية كما فى حالة الشكل التالي فإننا نحلل مجموع القوة العمودية المؤثرة على السطح، فنجد ان وزن الجسم لاسفل، ونجد ان مركبة القوة F الى اعلى، بالاضافة الى القوة العمودية التى يؤثر بها السطح على الجسم لاعلى، وحيث ان الجسم لا يتحرك الى اعلى، فإن مجموع مركبات القوة العمودية يساوي صفر، وبالتالي نجد ان

$$N + F \sin \theta = mg$$

ومنها نوجد قيمة القوة العمودية.



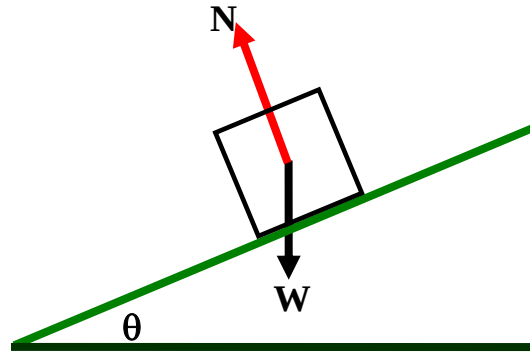
٣. **قالب يتدلى من سلك زنبركى:** إذا علق قالب فى زنبرك، مثبت من أعلى، فإن قوة وزن القالب W تؤثر إلى أسفل وقوة رد فعل الزنبرك F تكون إلى أعلى.



تطبيقات على قوانين نيوتن

تتبع الخطوات التالية عند تطبيق قوانين نيوتن:

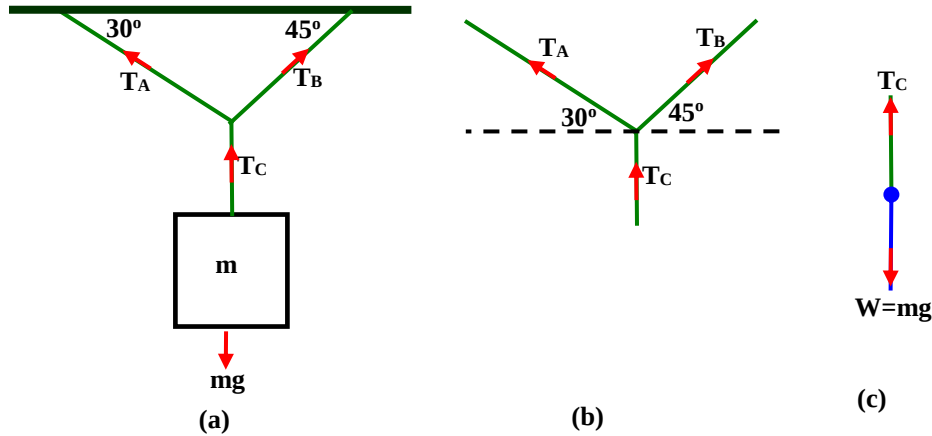
١. يحدد الجسم بنقطة وترسم القوى المؤثرة عليه وفي حالة وجود أكثر من جسم يعامل كل جسم على حده.
٢. تحلل محاور الإحداثيات x, y مع تحديد اتجاه أو اتجاهات الحركة.
٣. تحلل القوى ويطبق قانون نيوتن الثالث لكل مركبة للقوة والتسارع.



مثال (٤):

يبين الشكل أدناه قالب كتلته $m = 15 \text{ kg}$ علق بواسطة ثلاثة حبال A, B, C. احسب الشد في T_A , T_B , T_C في الأحمال الثلاثة.

الحل:



باختيار محاور الإحداثيات x, y كما هو مبين فى شكل (b) وتحليل القوى إلى مركبات x, y وتكون مركبات التسارع تساوى صفر حيث أن $\sum F = 0$ لاتزان الجسم.

$$\sum F_x = T_{Ax} + T_{Bx} = ma_x = 0 \quad \text{المركبات فى اتجاه } x$$

$$\sum F_y = T_{Ay} + T_{By} + T_{Cy} = ma_y = 0 \quad \text{المركبات فى اتجاه } y$$

ومن الشكل (b) نجد أن

$$T_{Ax} = -T_A \cos 30 = -0.866 T_A ,$$

$$T_{Ay} = T_A \sin 30 = 0.500 T_A ,$$

$$T_{Bx} = T_B \cos 45 = 0.707 T_B ,$$

$$T_{By} = T_B \sin 45 = 0.707 T_B ,$$

and

$$T_{Cx} = 0 , \quad T_{Cy} = -T_C$$

ومن الإتزان فى شكل (c)

$$\sum F_y = 0$$

$$T_{Cy} = mg$$

$$\therefore T_C = mg = (15.0 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2) = 147 \text{ N}$$

ويتطابق قانون نيوتن فى الإتجاه الأفقى x عند العقدة، ومن الإتزان وكتابة معادلات المركبة y والمركبة x للقوة عند العقدة

$$-0.866 T_A + 0.707 T_B = 0 \quad \text{مركبة } x$$

$$0.500 T_A + 0.707 T_B - T_C = 0 \quad \text{مركبة } y$$

وبالتعويض عن قيمة T_C وحل المعادلتين أنيا، نجد أن

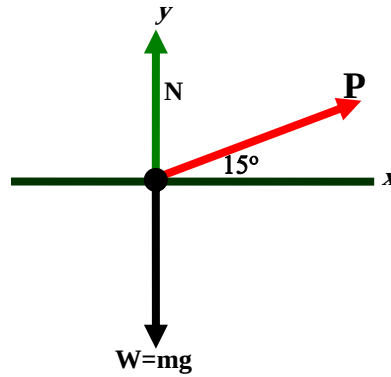
$$T_A = 108 \text{ N}, \quad T_B = 132 \text{ N}$$

مثال (٥):

زحافة كتلتها $M = 7.5 \text{ kg}$ شدت على سطح افقى عديم الاحتكاك بواسطة حبل بقوة ثابتة $P = 21 \text{ N}$ (كما هو موضح بالرسم ادناه) احسب التسارع إذا كان:

(أ) الحبل أفقى، (ب) الحبل يعمل زاوية مقدارها $\theta = 15^\circ$ مع الأفقى.

الحل:



(أ) من بيان الجسم الحر فى الشكل عندما يكون الحبل أفقيا وبتطبيق قانون نيوتن الثانى نجد أن:

$$\sum F_x = P \cos \theta = ma \quad \text{مركبات } x$$

$$\sum F_y = N + P \sin \theta - mg = ma_y \quad \text{مركبات } y$$

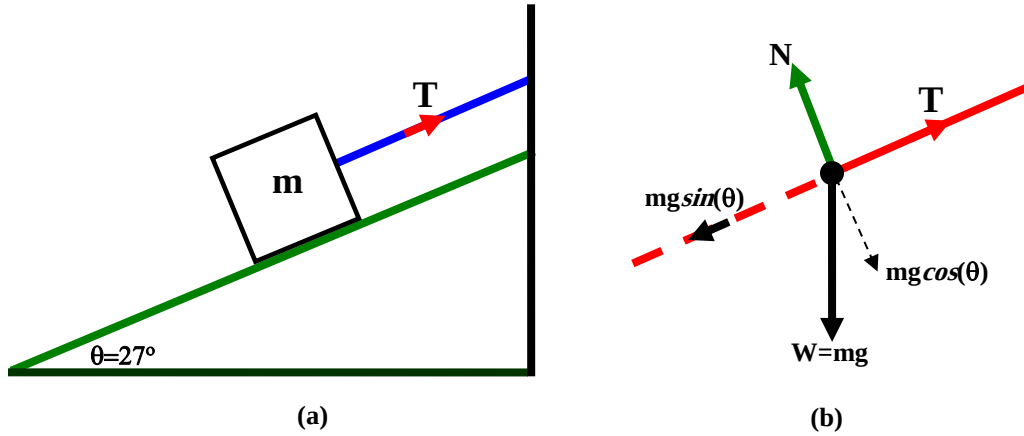
$$\therefore N = mg - P \sin \theta = 74\text{N} - (21\text{N}) \sin 15 = 69\text{N}$$

$$a_x = \frac{P \cos \theta}{m} = \frac{21 \times \cos 15}{7.5} = 2.70 \text{ m/s}^2$$

مثال (٦):

قالب كتلته $m = 160 \text{ kg}$ مثبت في مكانه بواسطة حبل على سطح عديم الاحتكاك يميل بزاوية 27° مع الأفقى كما هو موضح ادناه. (أ) اوجد الشدة فى الحبل والقوة العمودية. (ب) احسب تسارع القالب بعد قطع الحبل.

الحل:



(أ) عند الإتزان، لا يوجد تسارع ومجموع القوى يجب أن يساوى صفر.

$$\sum F = 0$$

$$\therefore \sum F_x = T - mg \sin \theta = 0 \quad \text{مركبات x}$$

$$\therefore \sum F_y = N - mg \cos \theta \quad \text{مركبات y}$$

$$\therefore T = mg \sin \theta = (18 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2) \sin 27^\circ = 80 \text{ N}$$

$$N = mg \cos \theta = (18 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2)(\cos 27^\circ) = 157 \text{ N}$$

(ب) عندما يقطع الحبل، لا يوجد الشد ويبدأ القالب فى الإنزلاق وبتطبيق قانون نيوتن الثانى نجد أن:

$$\sum F = ma$$

$$\sum F_x = -mg \sin \theta = ma_x \quad \text{مركبات } x$$

$$\sum F_y = N - mg \cos \theta = ma_y \quad \text{مركبات } y$$

قطع الحبل لا يغير من وضع الحركة في اتجاه y ، لذلك $a_y = 0$ كما كان سابقا والقوة العمودية تبقى مساوية لـ $mg \cos \theta$ أو 157 N في اتجاه x .

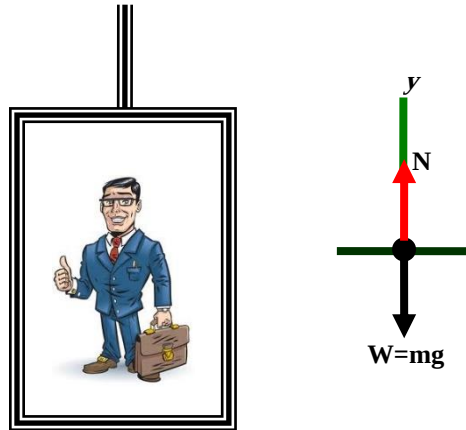
$$A_x = -g \sin \theta = -(9.8 \text{ m/s}^2) (\sin 27) = -4.45 \text{ m/s}^2$$

الإشارة السالبة تبين أن القالب يتسارع في الاتجاه السالب للإحداثى السينى.

مثال (٧):

شاب كتلته 72.2 kg يركب فى مصعد بينما يكون واقفا على سطح ميزان كما هو موضح بالشكل أدناه. ماذا يقرأ الميزان حينما يكون المصعد (أ) هابطا بسرعة ثابتة، (ب) صاعدا بتسارع 3.20 m/s^2 .

الحل:



(أ) فى حالة الهبوط بتسارع ثابت يكون $\sum F_y = 0$

$$\sum F_y = N - mg = 0$$

$$N = mg = (72.2 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2) = 708 \text{ N}$$

(ب) في حالة الصعود بتسارع ثابت $a = 3.2 \text{ m/s}^2$

$$\sum F_y = ma$$

$$\therefore \sum F_y = N - mg = ma$$

$$N = m(g + a) = (72.2 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2 + 3.20 \text{ m/s}^2) = 939 \text{ N}$$

ويسمى هذا بالوزن الظاهري.

تمارين محلولة Solved problems

١	واحد نيوتن يساوي		
A	m/s^2	B	kg/s^2
C	$kg.m/s^2$	D	$kg.m$

٢	صندوق كتلته ٣٢ كيلوجرام، يتحرك بسرعة منتظمة $24.7 m/s$ ، فإن محصلة القوى المؤثرة عليه تساوي		
A	4 N	B	zero
C	45 N	D	32 N

٣	إذا طبقت قوة مقدارها 10N على جسم فأكسبته تسارع مقداره $2 m/s^2$ ، فإن كتلة الجسم تساوي		
A	5 kg	B	10 kg
C	0.5 kg	D	20 kg

٤	ما هو مقدار القوة التي تكسب جسم ساكن كتلته 5 kg سرعة $12 m/s$ في زمن ٤ ثوان		
A	20 N	B	10 N
C	zero	D	15 N

٥	جسم كتلته 1.5 kg، يتحرك بعجلة $a = 3i + 4j$ ، فإن مقدار القوة يساوي		
A	5 N	B	7.5 N
C	2.5 N	D	10 N

٦	مصعد كتلته 2000 kg، يتحرك لأعلى بواسطة كابل، فإذا كان الشد في الكابل يساوي 24000 N، فإن مقدار تسارع المصعد يساوي		
A	2.2 m/s ²	B	12 m/s ²
C	9.8 m/s ²	D	0 m/s ²

٧	مصعد كتلته 2000 kg، يتحرك لأعلى بسرعة ثابتة بواسطة كابل، فإن مقدار التسارع في المصعد يساوي		
A	2.2 m/s ²	B	0 m/s ²
C	9.8 m/s ²	D	12 m/s ²

٨	مصعد كتلته 2000 kg، يتحرك لأعلى بسرعة ثابتة بواسطة كابل، وبداخله رجل كتلته 80 kg، يقف على ميزان كهربائي، فإن الميزان الكهربائي سيقراً الوزن الظاهري للرجل يساوي		
A	70 kg	B	90 kg
C	50 kg	D	80 kg

واجبات وأنشطة Homework and Activities

أولاً: التقارير

مطلوب من كل طالب عمل تقرير واحد عن احدى النقاط التالية:

- قانون نيوتن الأول للحركة.
- قانون نيوتن الثاني للحركة.
- قانون نيوتن الثالث للحركة.

ثانياً: الخرائط الذهنية

مطلوب من كل طالب تصميم خريطة ذهنية واحدة في احدى النقاط التالية:

- قانون نيوتن الأول للحركة.
- قانون نيوتن الثاني للحركة.
- قانون نيوتن الثالث للحركة.

ثالثاً: بعض الأنشطة الأخرى

قد يتم تكليف الطالب ببعض الواجبات الأخرى على حسب الاستاذ.

رابعاً: ملف الإنجاز

كل طالب مكلف باعداد ملف الانجاز الخاص به، وهو عبارة عن ملف مكتوب عليه اسم الطالب، ورقمه الجامعي، ورقم الشعبة، واسم الاستاذ، والعام الجامعي، ويحتوى على نسخة من كل ما يكلف به الطالب من أنشطة وواجبات. ويسلم ملف الانجاز الى الاستاذ فى نهاية الفصل الدراسي، او على حسب ما يقرر الاستاذ، ويمكن للاستاذ الاطلاع على الملف فى اى وقت.

خامساً: اجب عن الاسئلة الآتية:

١- قالب كتلته 5.5 kg فى حالة سكون على سطح عديم الإحتكاك. سحب بواسطة قوة أفقية ثابتته مقدارها 3.8 N.

أ - ماهو تسارع القالب.

ب- إلى أى مدى يجب ان يسحب القالب إلى ان تصل سرعته إلى 5.2 m/s

ج- ماهى المسافة التى سيتحركها القالب فى هذا الوقت.

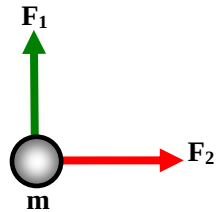
٢- تحرك جسم كتله 10kg من السكون على خط مستقيم من النقطة a إلى النقطة b. إذا كانت سرعة الجسم عند النقطة b التي تبعد 50m عن a هي 25m/s وكانت عجلة الجسم منتظمة أثناء الحركة، أوجد مقدار القوة المؤثرة على الجسم إذا انقطع تأثير القوة بعد النقطة b. أوجد مقدار القوة الثابتة التي تجعل الجسم يتوقف عن الحركة خلال 10s.

٣- نيوترون يتحرك بسرعة $1.4 \times 10^7 \text{ m/s}$ ، القوة النووية تكون قصيرة المدى، وتكون صفر خارج النواة وقويه بالداخل. إذا أمسك النيوترون ليصل إلى حالة السكون بواسطة النواة والتي قطرها يساوى 10^{-14} m ، ماهو مقدار اقل قوة، والتي يفترض انها ثابتة، والتي تؤثر على النيوترون. علما بأن كتلة النيوترون هي $1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

٤- فى لعبة معدلة عن لعبة شد الحبل، شخصان يجذبان فى اتجاهين متضادين زلاجة كتلتها 25 kg، تقع على سطح ثلجى. إذا كان الشخصان يؤثران بقوة 92N , 90N، ماهو تسارع الزلاجة.

٥- تصطدم سيارة تسير بسرعة مقدارها 53km/h بقاعدة جسر ويؤدى ذلك إلى تحرك الراكب إلى الامام مسافة مقدارها 65cm (بالنسبة للطريق) بينما يعاد إلى وضع السكون بواسطة وسادة هوائية منفوخة. ما هى القوة المؤثرة (بفرض انها ثابتة) على جذع المسافر العلوى، والذي كتلته تساوى 39kg.

٦- جسم كتلته m أثر عليه بقوتين F_1 , F_2 ، كما هو موضح بالشكل. إذا كانت $m=5.2\text{kg}$ ،



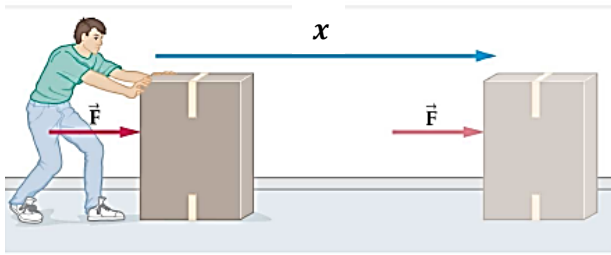
$F_2=4.3\text{N}$ ، $F_1=3.7\text{N}$. أوجد متجه تسارع الجسم.

الباب الخامس

الشغل والطاقة Work and Energy

الشغل Work

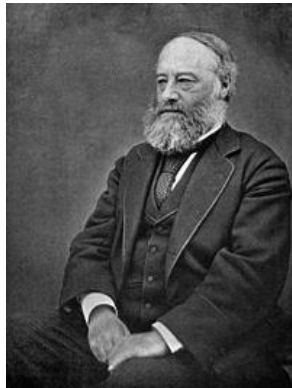
إذا أثرت قوة F على جسم فحركته في اتجاه تأثيرها مسافة معينة وليكن x فإننا نقول ان القوة بذلت شغل لتحريك هذا الجسم هذه المسافة، كما في الشكل التالي، ويعبر عن الشغل المبذول W بالعلاقة الآتية:



$$W = F \cdot x$$

أى ان الشغل هو حاصل الضرب القياسى لكميتين متجهتين، وهما القوة F والإزاحة x .

وإذا قيست القوة بالنيوتن والمسافة بالمتر، فإن وحدة الشغل في النظام الدولي للوحدات هي نيوتن.متر $N.m$ ، ويطلق على هذه الوحدة اسم جول Joule واختصارا تكتب J، وذلك تخليدا للعالم الانجليزى جيمس بريسكوت جول. وإذا كانت وحدة القوة بالداين، ووحدة المسافة بالسم، فإن وحدة الشغل هي الارج، Erg، وهى كلمة مشتقة من الكلمة اليونانية ارجيون Ergon، والتي تعنى شغل. أما وحدة الداين Dyne فهي وحدة القوة فى نظام وحدات السم، جم، ثانية، وهى كلمة مشتقة من الكلمة اليونانية Dynamis والتي تعنى القوة.



James Prescott Joule

جيمس برسكوت جول

(24 December 1818 – 11 October 1889)

an English physicist

عالم فيزيائى ومهندس انجليزى

تعريف الجول:

الجول هو الشغل المبذول بواسطة قوة قدرها نيوتن واحد عند تأثيرها خلال مسافة قدرها متر واحد على استقامة خط عمل القوة : $1 \text{ J} = 1 \text{ N.m}$

علاقة الجول بالأرج:

$$1 \text{ dyne} = g \cdot \text{cm/s}^2$$

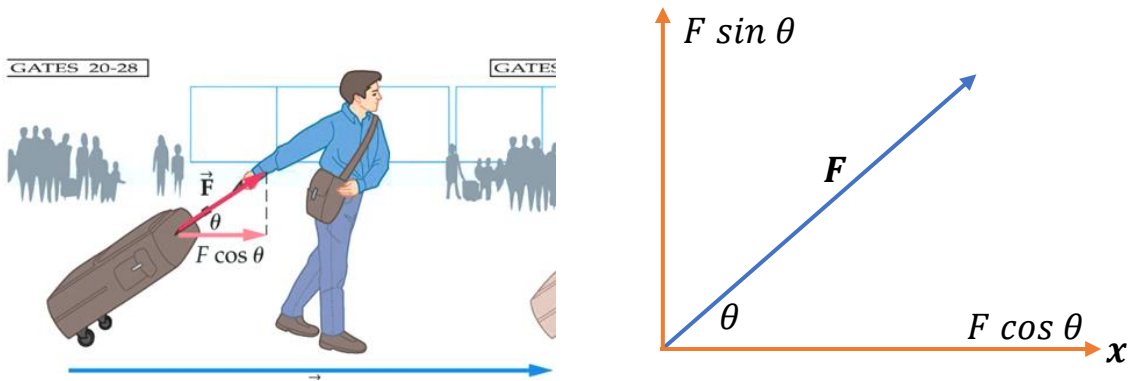
$$1 \text{ Newton (N)} = \text{kg m/s}^2 = 10^3 g \times 10^2 \text{cm/s}^2 = 10^5 \text{cm/s}^2 = 10^5 \text{dyne}$$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \times 1 \text{ m} = 10^5 \text{dyne} \times 10^2 \text{ cm} = 10^7 \text{ erg}$$

من خلال العلاقة التي يتم حساب الشغل منها، وحيث ان الشغل هو حاصل الضرب القياسي لكل من القوة والإزاحة، أى أن

$$W = \mathbf{F} \cdot \mathbf{x} = F x \cos \theta \quad (1)$$

حيث θ هي الزاوية المحصورة بين القوة والإزاحة، كما فى الشكل (١).



الشكل (١) تمثيل بياني لمركبات القوة التي تبذل شغل

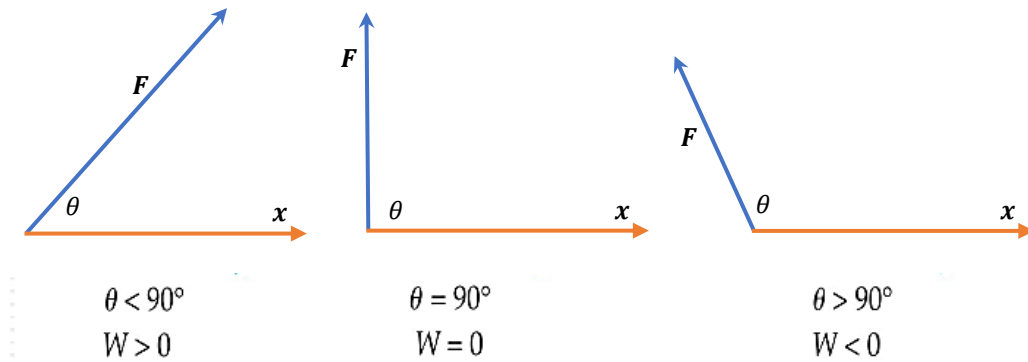
ففى هذه الحالة نلاحظ ان القوة لها مركبتين

مركبة رأسية وهى $F \sin \theta$ وهى عموديه على اتجاه الازاحة، اى ان الشغل المبذول فى هذا الإتجاه = صفر، لأنه لا توجد إزاحة فى هذا الإتجاه.

ومركبة أفقية $F \cos \theta$ ، وهى موازيه لاتجاه الحركة (الإزاحة) لذلك فهي المسئولة عن بذل شغل،

كما نلاحظ من العلاقة (١) ان هناك عدة حالات تتوقف على قيمة الزاوية θ كما فى الشكل (٢):

- (١) إذا كانت الزاوية حادة أي ان $\theta < 90^\circ$ ، فإن الشغل المبذول بواسطة القوة كمية موجباً.
- (٢) إذا كانت الزاوية قائمة أي ان $\theta = 90^\circ$ ، فإن الشغل المبذول بواسطة القوة يساوي صفر، وهذا يعنى ان القوة التى تعمل عموديا على اتجاه ازاحة الجسم لا تبذل شغلا.
- (٣) إذا كانت الزاوية منفرجة أي ان $\theta > 90^\circ$ ، فإن الشغل المبذول بواسطة القوة كمية سالبة.



شكل (٢) : حالات بذل الشغل

الشغل الناتج من مجموعة قوى

عندما يكون الشغل ناتج من تأثير عدة قوى فيكون الشغل الكلى هو مجموع الشغل المبذول من كل قوة، اي يساوي حاصل ضرب كل قوة فى الإزاحة او يساوى مجموع القوى المؤثرة فى الإزاحة الناتجة ويكتب رياضيا كما يلي:

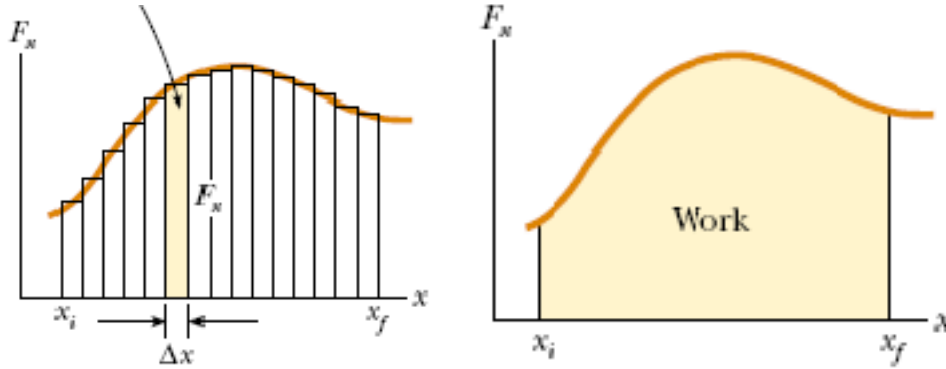
$$W = F_1 \cdot x + F_2 \cdot x + F_3 \cdot x + \dots F_N \cdot x$$

أى ان

$$W = \sum_1^N F \cdot x \quad (2)$$

الشغل الناتج عن قوة متغيرة

وعندما تكون القوة المؤثرة أثناء الإزاحة الناتجة هذا يولد بالتالى شغل متغير ويمكن تمثيل الشغل الناتج بيانيا بعلاقة بين القوة F والإزاحة x ويساوى الشغل الكلى المبذول بالمساحة الكلية تحت المنحنى الناتج، اي بتكامل العنصر من المساحة كما فى الشكل (٣):

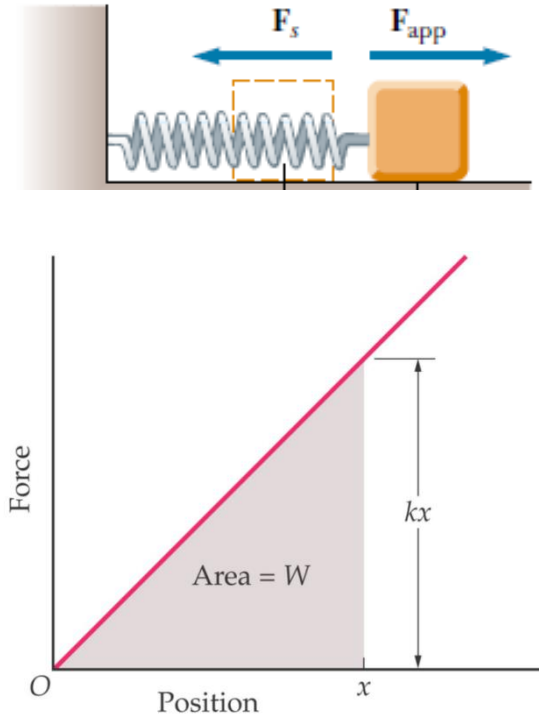


شكل (٣): الشغل المبذول بواسطة قوة متغيرة

ويمكن التعبير عن الشغل الكلى رياضيا بالعلاقة التكاملية الاتية:

$$W = \sum_{x_i}^{x_f} F_x \cdot \Delta x = \int_{x_i}^{x_f} F_x \cdot dx \quad (3)$$

الشغل المبذول بواسطة زنبرك (نابض)



احد الامثلة على حساب الشغل المبذول بواسطة قوة متغير، هو حساب الشغل المبذول على كتلة مرتبطة بسلك زنبركي كما فى الشكل (٤).

عند شد الزنبرك بقوة خارجيه F_{app} ، فإنها تتوقف نتيجة وجود قوة داخلية فى الزنبرك تسمى قوة الاسترداد F_s ، وعند الاتزان فإن مقدار قوة الاسترداد يساوي مقدار القوة الخارجية ولكن تضادها فى الاتجاه، وتعتمد قوة الاسترداد على طبيعه السلك من خلال ثابت يسمى ثابت القوة k Force constant، كما انها تعتمد على استطالة الزنبرك x ، أى ان

$$F = -k \cdot x \quad (4)$$

شكل (٤) : حساب الشغل المبذول بواسطة زنبرك على كتلة

ونلاحظ هنا ان القوة تزداد خطيا بزيادة الاستطالة x ، كما فى الشكل، ولحساب الشغل المبذول بواسطة السلك، فإننا نستخدم العلاقة (٣)

$$W = \int_{x_i}^{x_f} F \cdot dx = \int_0^x -kx \cdot dx = -\frac{1}{2} kx^2 \quad (5)$$

حيث حدود التكامل من $x_i = 0$ ، وحتى الازاحة النهائية $x_f = x$.

مثال (١):

يقوم شخص برفع كتلة مقدارها ٥٠ جم الى ارتفاع ٢٠ سم، احسب كمية الشغل المبذول.



الحل:

$$W = F \cdot x$$

$$\text{But : } F = mg = 50 \times 980 = 49000 \text{ dyne} = 0.49 \text{ N}$$

$$W = 49000 \times 20 = 98 \times 10^4 \text{ erg} = 0.098 \text{ J}$$

مثال (٢):

تم دفع جسم كتلته $m=11.7 \text{ kg}$ مسافة $S=4.65 \text{ m}$ على سطح مائل عديم الاحتكاك ليرتفع مسافة رأسية $h=2.86 \text{ m}$ ، احسب الشغل المبذول بواسطة قوة دفع مماسية للسطح لدفع الجسم بسرعة ثابتة هذه المسافة.

الحل:

افرض ان القوة المطلوبة لدفع الجسم تساوي P ، ولأن الجسم سيتحرك بسرعة ثابتة، اى لا يوجد عجلة فإن مجموع القوى المؤثرة على الجسم تساوي صفر، وتحليل القوة فى اتجاهين احدهما فى اتجاه السطح والاخر فى اتجاه عمودي على السطح، كما فى الشكل التالي، نحصل على

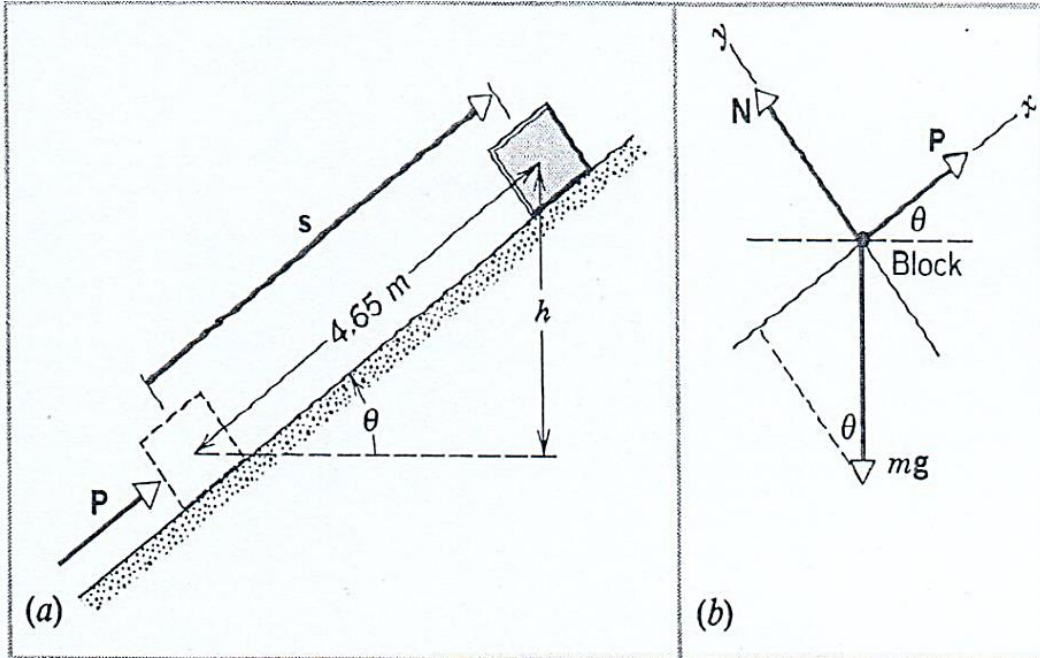
$$x_{x\text{-component}}: P - mg \sin \theta = 0$$

$$\text{and } \sin \theta = \frac{2.86 \text{ m}}{4.65 \text{ m}}, \text{ hence}$$

$$P = mg \sin \theta = (11.7 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2) \left(\frac{2.86 \text{ m}}{4.65 \text{ m}} \right) = 70.5 \text{ N}.$$

Then the work done by the force P , is

$$W = P \cdot S = P \cos 0^\circ = PS = 70.5N \times 4.65m = 328 J$$



مثال (٣):

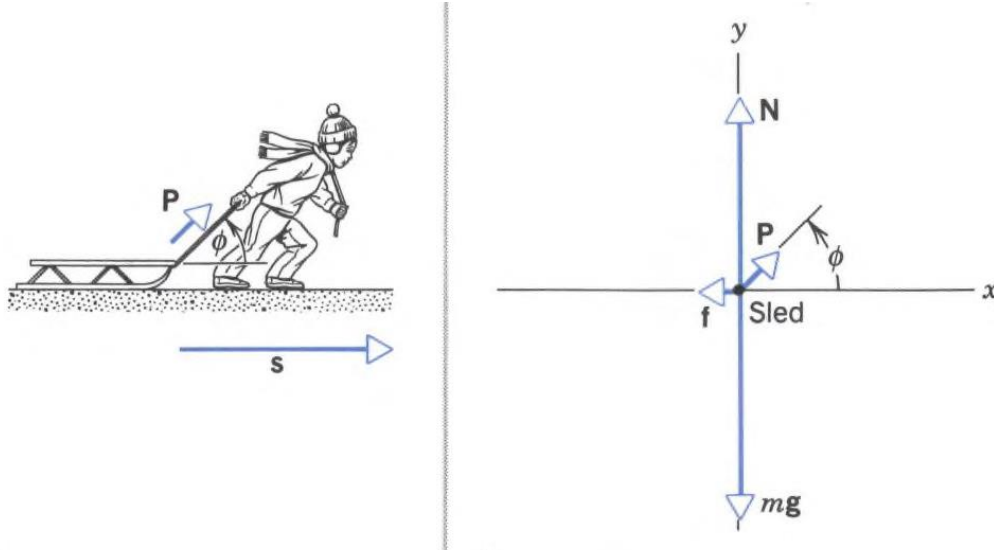
طفل يسحب زلاجه كتلتها 5.6 kg مسافة $S=12m$ على سطح افقي بسرعة ثابتة، ما هو الشغل الذي يبذله الطفل لسحب الزلاجة إذا علمت ان معامل الاحتكاك $\mu = 0.2$ ، وأن الحبل الذي يستخدمه الطفل في السحب يعمل زاوية مقدارها $\phi = 45^\circ$ مع الأفقي.

الحل:

بداية معامل الاحتكاك هو النسبة بين قوة الاحتكاك F الى القوة العمودية N ، أي أن،

$$\mu = \frac{F}{N}$$

وبالتالى فإن قوة الاحتكاك تساوي $F = \mu N$ ، ويمكن تحليل المسألة كما فى الشكل التالي:



الشغل المبذول بواسطة الطفل يساوي $W = PS \cos \phi$

ولأن حركة الزلاجة بسرعة ثابتة فإن محصلة القوة عليها تساوي صفر، وتحليل القوى الى مركباتها كما فى الشكل نجد ان

X component: $P \cos \phi - F = 0$, and

Y component: $P \sin \phi + N - mg = 0$,

$$F = \mu N$$

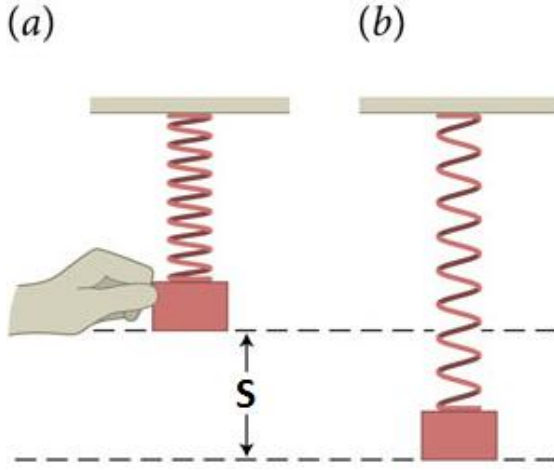
بحل هذه المعادلات يمكن ايجاد قيمة القوة P

$$P = \frac{\mu mg}{\cos \phi + \mu \sin \phi} = \frac{(0.2)(55 \text{ N})}{\cos 45 + (0.2) \sin 45} = 13 \text{ N}$$

ويكن الشغل المبذول

$$W = P S \cos \phi = (13 \text{ N})(12 \text{ m})(\cos 45) = 110 \text{ J}$$

مثال (٤):



تم تعليق كتلة مقداره $m=6.4 \text{ kg}$ رأسياً في سلك زنبركي ، فاستطال الزنبرك ليتزن عن استطالة بمقدار $S=0.124 \text{ m}$ ، اوجد:

- (أ) الشغل المبذول على الكتلة بواسطة قوة جذب الأرض،
 (ب) الشغل المبذول على الكتلة بواسطة قوة الاسترداد في الزنبرك.

الحل:

عند الاتزان فإن محصلة القوة التي تعمل على الكتلة تساوي صفر، أي أن

$$\sum F = mg - ks = 0$$

ومن تلك المعادلة يمكن حساب ثابت القوة للزنبرك حيث

$$k = \frac{mg}{s} = \frac{(6.4 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)}{0.124 \text{ m}} = 506 \text{ N/m}$$

(أ) الشغل المبذول بالجاذبية الأرضية

$$W_g = \mathbf{F} \cdot \mathbf{s} = mgs = (6.4 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)(0.124 \text{ m}) = +7.78 \text{ J}$$

وهو مقدار موجب لأن القوة والازاحة في نفس الاتجاه.

(ب) الشغل المبذول بالزنبرك

$$W_s = -\frac{1}{2}ks^2 = -\frac{1}{2}(506 \text{ N/m})(0.124 \text{ m})^2 = -3.89 \text{ J}$$

والشغل هنا مقدار سالب لأن القوة في عكس اتجاه الازاحة.

الطاقة Energy:

تعريف الطاقة: يقال أن للجسم طاقة اذا كان قادرا على بذل الشغل. لهذا السبب يقال عادة أن الطاقة هي القدرة على بذل الشغل.

طاقة الحركة Kinetic energy

اذا تحرك جسم كتلته m ، بسرعة قدرها v ، فإنه يصاحبه اثناء حركته طاقة حركة تعطى بالعلاقة

$$K.E. = \frac{1}{2}mv^2$$

نظرية الشغل - الطاقة Work -Energy Theorem

عند التأثير على جسم بقوة فنحركه او نغير من سرعته، يقال انه قد بذل شغل. ولدراسة ذلك نفترض ان جسما كتلته m يقع تحت تأثير قوة ثابتة F فى اتجاه الإزاحة x ، فمن تعريف الشغل السابق يكون

$$W = F.x$$

ومن قانون نيوتن الثانى للحركة نجد ان:

$$F = m a$$

وبالتالى يمكن التعبير عن الشغل المبذول بالعلاقة

$$W = m a x$$

ومن معادلات الحركة الخطية نجد ان

$$v_f^2 = v_i^2 + 2ax$$

وبالتالى فإن العجلة يمكن كتابتها على الصورة

$$a = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2x}$$

بالتعويض فى معادلة القوة نحصل على

$$F = ma = m \frac{v_f^2 - v_i^2}{2x}$$

وتلك المعادلة يمكن كتابتها على الصورة:

$$W = F \cdot x = ma \cdot x = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

هذه العلاقة الاخيرة تعطينا كمية الشغل المبذول بواسطة جسم متحرك بدأ بسرعة ابتدائية مقدارها v_i وانتهى بسرعة مقدارها v_f . أى ان الشغل المبذول يساوى التغير فى طاقة الحركة.

وإذا بدأ الجسم حركته من السكون، فإن الشغل يكون

$$W = \frac{1}{2}mv_f^2$$

نستنتج من ذلك اذن ان الجسم الذى كتلته m والمتحرك بسرعة مقدارها v يستطيع ان يبذل شغل قدره $\frac{1}{2}mv^2$ وهذه الكمية تعرف بطاقة الحركة.

مثال (٥):

سيارة كتلتها ٢٠٠٠ كيلوجرام، تتحرك بسرعة مقدارها ٢٠ متر لكل ثانية، على ارض مستويه. بدأت السيارة فى التباطؤ فى لحظة معينة، فتوقفت بعد مسافة قدرها ١٠٠ متر. مامقدار متوسط قوة الاحتكاك المؤثر على السيارة.



وإذا كانت قوة الإحتكاك المؤثرة على السيارة
تساوى ٤٠٠٠ نيوتن، ما مقدار سرعة السيارة
بعد ان تقطع مسافة مقدارها ٥٠ متر؟

الحل:

اولا: الشغل المبذول بواسطة قوة الإحتكاك = التغير فى طاقة الحركة، اى ان

$$W = F \cdot x = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

ولكن السرعة النهائية تساوى صفر، وبالتالي فإن القوة يمكن استنتاجها من العلاقة الاتية:

$$F = \frac{1}{2x}mv_i^2 = \frac{1}{2 \times 100} \times 2000 \times (20 \times 20) = 4000N$$

ثانيا: الشغل المبذول بواسطة قوة الإحتكاك = التغير فى طاقة الحركة.

$$W = F \cdot x = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

$$4000 \times 20 = \frac{1}{2} \times 2000 \times 20 \times 20 - \frac{1}{2} \times 2000v_f^2$$

$$\therefore v_f^2 = 14.1m/s$$

مثال (٦):

احد الطرق لتعين طاقة الحركة للنيوترونات فى المعجلات النووية، هو حساب الزمن الذي يأخذه
النيوترون عند مروره بين نقطتين ثابتتين، ثم نقسم المسافة بين النقطتين على الزمن، لنحصل على
السرعة ومنها نحسب كمية طاقة الحركة المصاحبة لحركة النيوترون، وبفرض ان المسافة التى يقطعها
النيوترون تساوي d=6.2 m في زمن قدرة $t = 160 \mu s$ ، فاحسب طاقة الحركة للنيوترون علما
بان كتلته تساوي $m = 1.67 \times 10^{-27} kg$.

الحل:

سرعة الجسيم يمكن الحصول عليها كالتالي

$$v = \frac{d}{t} = \frac{6.2m}{160 \times 10^{-6}s} = 3.88 \times 10^4 m/s$$

وبالتالي طاقة الحركة تساوي

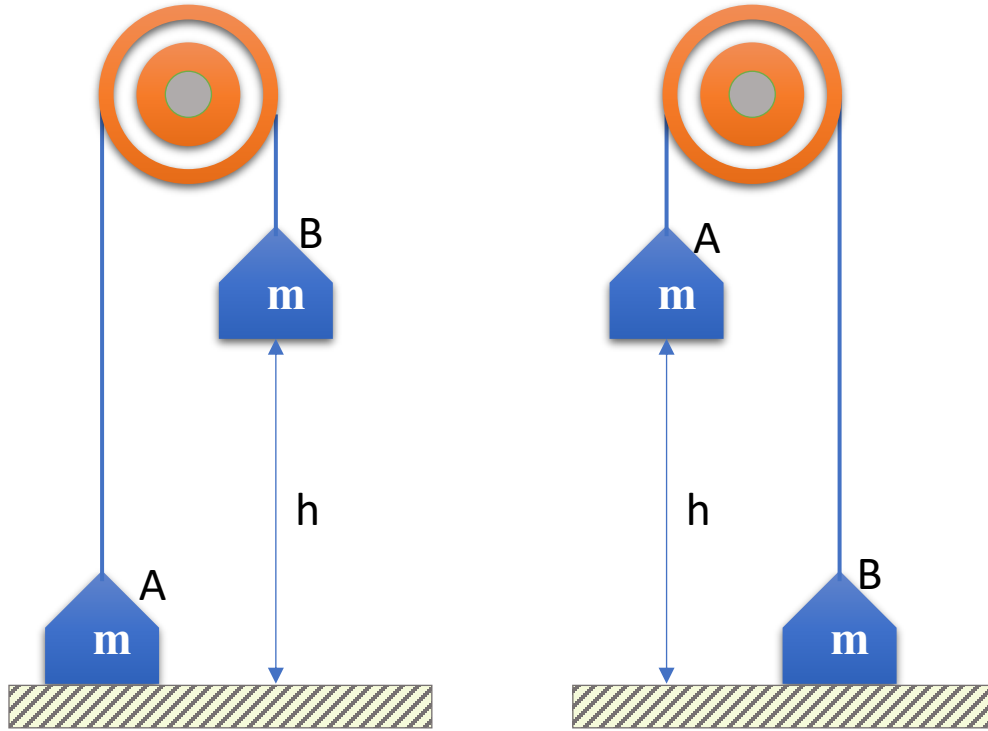
$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(1.67 \times 10^{-27}kg)(3.88 \times 10^4m/s)$$

$$K = 1.2 \times 10^{-18}J = 7.9 eV$$

طاقة الوضع Potential Energy

رأينا فيما سبق أن الأجسام يمكنها أن تبتذل شغلا بسبب حركتها فيكون لديها طاقة حركية. ولكن هناك أجسام يمكنها أن تبتذل شغلا إما بسبب موضعها أو بسبب شكلها، وعندئذ يقال أن مثل هذه الأجسام لها طاقة جهد أو طاقة وضع. لنبدأ دراستنا لطاقة الوضع بمناقشة الطاقة التي يكتسبها الجسم بسبب قوى الجاذبية.

تأمل النظام المبين في الشكل (٥) والذي يمثل بكرة ملساء (بدون أي احتكاك) تحمل جسمين متساويي الكتلة أي أن وزن الجسمين واحد ويساوي mg ، وعليه فإذا دفع الجسم B دفعة صغيرة إلى أسفل فإنه سوف يبدأ في السقوط ببطء تجاه الأرض بسرعة ثابتة المقدار. وسوف يبدأ الجسم A في الارتفاع إلى أعلى في نفس الوقت، فإذا سقط الجسم B مسافة h فإن الجسم A يرتفع نفس المسافة.



شكل (٥) : تمثيل طاقة الوضع: عند سقوط احد الجسمين فإنه يبذل شغلا على الجسم الآخر

مما سبق نجد ان هناك شغل مبذول بواسطة الحبل على الجسم A أثناء رفعه من سطح الأرض به بسرعة ثابتة المقدار، وحيث ان الشد في الحبل يساوى وزن الجسم A وهو mg فإن الشغل المبذول بواسطة الحبل طبقا لتعريف الشغل القوة $\times$ المسافة، اى ان

$$W = mgh$$

وفى الحقيقة أن الشغل المبذول بواسطة الشد في الحبل ناتج عن شد الجسم B للحبل اى ان هذا الشغل هو شغل الجسم B. نستنتج من ذلك ان كمية الشغل التى يبذلها الجسم B تساوى mgh حيث h المسافة التى يسقط منها الجسم B. بناء على ذلك يمكننا وضع التعريف التالى:

طاقة الجهد الثقافى (GPE) $mgh = \text{Gravitational Potential Energy (GPE)}$

أى ان الشغل المبذول بواسطة جسم موضوع على ارتفاع h من سطح الارض يساوى طاقة الوضع لهذا الجسم.

القدرة Power

فى الفيزياء تعرف القدره بأنها معدل انتقال او استخدام او تحويل الطاقة. وبالتالي فإن وحدة القدرة هى جول لكل ثانية J/s. وهذه الوحدة تعرف بالوات Watt، نسبة الى جيمس وات James Watt (عالم اسكتلندى اخترع الة البخار) . وحيث ان الطاقة هى المقدره على بذل شغل، فإن القدرة هى ايضا معدل بذل الشغل.

وحدات القدرة Units :

كما سبق وذكرنا ان ابعاد القدره هى طاقة مقسومه على الزمن. ووحدة القدره فى النظام الدولى للوحدات هى الوات W والذى يساوى جول لكل ثانية. ولكن توجد هناك وحدات اخرى للقدره، مثل الارج/ثانية erg/s، وكذلك الحصان horsepower (hp) والذى يعال ٧٤٦ وات.

**James Watt**

جيمس وات

(19 January 1736 – 25 August 1819)

a Scottish inventor and mechanical engineer

مهندس ميكانيكى اسكتلندى

القدرة المتوسطة Average power

إذا كانت كمية الشغل المبذول ΔW فى الفترة الزمنية Δt ، فإن القدرة المتوسطة خلال تلك الفترة تعرف على انها:

$$P_{avg} = \frac{\Delta W}{\Delta t}$$

أى ان القدرة المتوسطة هى متوسط الشغل المبذول فى وحدة الزمن. اما **القدرة اللحظية** **instantaneous power** عند اى لحظة، فانها تعرف على انها نهاية الطاقة المتوسطة عندما يؤول الزمن الى الصفر، أى ان القدرة اللحظية

$$P = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} P_{avg} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{dW}{dt}$$

وفى حالة اذا كانت القدرة تساوي مقدار ثابت، فإن كمية الشغل المبذول تساوى حاصل ضرب القدرة فى الفترة الزمنية، اى ان:

$$W = Pt$$

وكما سبق وذكرنا ان الشغل المبذول يساوى حاصل ضرب القوة $\times$ المسافة، واذا كانت القوة ثابتة، فإن القدرة يمكن التعبير عنها بالعلاقة التالية

$$P = \frac{dW}{dt} = F \frac{dx}{dt} = Fv$$

حيث v هى سرعة الجسم.

مثال (٧):

مصعد وزنه فارغا يساوى 5160 N، ويحمل ٢٠ شخص من الدور الارضي الى الدور رقم ٢٥ فى زمن قدرة ١٨ ثانية، واذا اعتبرنا ان متوسط وزن الشخص داخل المصعد يساوي 710 N، وان متوسط ارتفاع الطابق 3.5 m، احسب قدرة الموتور اللازمه لهذا المصعد.

الحل:

القوة المطلوبه يجب ان لا تقل عن وزن المصعد ووزن الاشخاص داخل المصعد، اي ان

$$F = 5160 N + 20 \times 710 N = 19400 N$$

الشغل المبذول لصعود المصعد يساوي

$$W = F s = 19400 \text{ N} \times 25 \times 3.5 \text{ m} = 1.7 \times 10^6 \text{ J}$$

وبالتالى فإن القدرة المطلوبه للموتور تساوي

$$P = \frac{W}{t} = \frac{1.7 \times 10^6 \text{ J}}{18 \text{ s}} = 94 \text{ kW}$$

مثال (٩)

الحصان الميكانيكي hp، هو احد وحدات القدرة ويساوي $hp=745.7 \text{ W}$ والكيلو وات ساعة kilowatt hour kWh، هي وحدة طاقة، وعادة تستخدم هذه الوحدة فى تقدير الطاقة الكهربائية المستهلكة فى المنازل، حيث

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \times 60 \times 60 \text{ (s)} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

احسب تكلفة الطاقة الكهربائية المستهلكه (أ) فى اضاءة لمبة ٨ وات لمدة شهر متصل، (ب) فى تشغيل تكييف ٣ حصان لمدة شهر متصل، إذا علمت ان الكيلو وات ساعة يعادل ١٨ هـلله

الحل:

(a):

$$\begin{aligned} \text{The cost of the lamp} &= 0.008 \text{ (kW)} \times 24 \text{ (hours)} \times 30 \text{ (day)} \times \\ 0.18 \text{ (SR)} &= 1.04 \text{ SR.} \end{aligned}$$

(b):

$$\begin{aligned} \text{The cost of the air conditioner} &= 3 \text{ (hp)} \times 0.7457 \text{ (kW)} \times \\ 24 \text{ (hours)} \times 30 \text{ (day)} \times 0.18 \text{ (SR)} &= 289.93 \text{ SR.} \end{aligned}$$

تمارين محلولة Solved problems

١	جسم كتلته 5kg يتحرك بسرعة 72 km/h، فإن طاقة حركته تساوي		
A	1200 J	B	50 J
C	1000 J	D	72 J

٢	جسم كتلته 5kg يتحرك بسرعة $v = 6i + 8j \text{ (m/s)}$ ، فإن طاقة حركته تساوي		
A	400 J	B	250 J
C	180 J	D	540 J

٣	في الشكل المقابل، إذا علقت كتلة مقداره 5kg، وكان ثابت القوة للزنبرك يساوي $k=500 \text{ N/m}$ ، فإن السلك سيستطيل بمقدار		
A	9.8 cm	B	17.3 cm
C	0.147 cm	D	130 cm

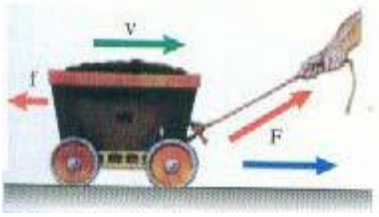
٤	أثرت قوة $F = 7i + 3j - k \text{ (N)}$ ، على جسيم فأثرت عليه بإزاحة $s = 2i + 2j + 3k \text{ (m)}$ احسب الشغل المبذول بواسطة القوة.		
A	5 J	B	9.2 J
C	21 J	D	17 J

٥	أثرت قوة F ، على جسم كتلته $m=4 \text{ kg}$ ، يتحرك بسرعة ابتدائية 12 m/s ، فأكسبته سرعة مقدارها 20 m/s ، احسب الشغل المبذول بواسطة القوة.		
A	144 J	B	512 J
C	16 J	D	400 J

تمرين محلول ١:

احسب الشغل الذي تبذله قوة مقدارها ٥٠ نيوتن تميل بزاوية ٣٠ درجة على الافقى لتحريك جسم مسافة قدرها ٣ متر.

الحل:



$$W = F \times \cos \theta = 50 \times \cos 30 \times 3 = 130 \text{ J.}$$

تمرين محلول ٢:

أوجد الشغل الذي يبذله رجل للحالتين التاليتين:

(أ) تحريك كتلة m على الأرض مسافة قدرها d .

(ب) رفع كتلة m مسافة عن الارض قدرها h .

الحل:

أولاً: $W = F \cdot d = mg d$

ثانياً: $W = mg h$

تمرين محلول ٣:

تتحرك رصاصة كتلتها ١٠ جرام بسرعة قدرها ٥٧٠ متر/ثانية، اوجد طاقة الحركة للرصاصة؟

الحل:

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times 10^{-3} \times 570^2 = 1624.5J$$

تمرين محلول ٤:

إذا كانت المسافة التي يقطعها جسم بواسطة الشد في خيط هي ١٨ متر، اوجد الشغل المبذول اذا كان الشد ٢٠ نيوتن مع العلم ان الخيط يعمل زاوية قدرها ٢٧ درجة مع اتجاه الازاحة.

الحل:

$$W = F x \cos \theta = 20 \times \cos 27^\circ \times 18 = 320.76 J.$$

تمرين محلول ٥:

اوجد الشغل المبذول لرفع جسم كتلته ٨ كيلوجرام لأعلى مسافة ١٥ متر، ثم اوجد ايضا طاقة الوضع للجسم.

الحل:

القوة اللازمة لرفع الجسم هي تساوى وزن الجسم

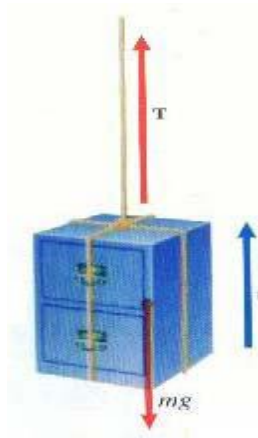
$$F = mg$$

من معادلة الشغل نجد ان:

$$W = F \cdot x = 8 \times 9.8 \times 15 = 1176 J$$

طاقة الوضع

$$PE = mgh = 8 \times 9.8 \times 15 = 1176 J$$



تمرين محلول ٦:

سيارة سباق تبدأ بتسارع من السكون لتصل الى السرعة ١٣ متر/ثانية بعد ٨ ثواني، فإذا اعتبرنا ان التسارع ثابت، فاحسب:

أ) التسارع،

ب) المسافة التي تقطعها السيارة

ت) السرعة النهائية.

الحل:

اولاً: التسارع

$$a = \frac{v_f - v_i}{t} = \frac{12 - 0}{8} = 1.5m/s^2$$

ثانياً: المسافة

$$x = \frac{1}{2}(v_i + v_f)t = \frac{(12 + 0) \times 8}{2} = 48m$$

ثالثاً: السرعة النهائية

$$v_f^2 = v_i^2 + 2ax = 0 + 2(1.5). (48) = 144$$

$$\therefore v_f = 12m/s$$

واجبات وأنشطة Homework and Activities

أولاً: التقارير

مطلوب من كل طالب عمل تقرير واحد عن احدى النقاط التالية:

- الشغل.
- الطاقة.
- القدرة.

ثانياً: الخرائط الذهنية

مطلوب من كل طالب تصميم خريطة ذهنية واحدة في احدى النقاط التالية:

- الشغل.
- الطاقة.
- القدرة.

ثالثاً: بعض الأنشطة الأخرى

قد يتم تكليف الطالب ببعض الواجبات الأخرى على حسب الاستاذ.

رابعاً: ملف الإنجاز

كل طالب مكلف باعداد ملف الانجاز الخاص به، وهو عبارة عن ملف مكتوب عليه اسم الطالب، ورقمه الجامعي، ورقم الشعبة، واسم الاستاذ، والعام الجامعي، ويحتوى على نسخة من كل ما يكلف به الطالب من أنشطة وواجبات. ويسلم ملف الانجاز الى الاستاذ فى نهاية الفصل الدراسي، او على حسب ما يقرر الاستاذ، ويمكن للاستاذ الاطلاع على الملف فى اى وقت.

خامساً: اجب عن الاسئلة الآتية:

١- وضع جسم كتلته 2kg على سطح مائل بزاوية 60 درجة لينزلق مسافة 1.5 m، احسب الشغل المبذول بواسطة الجاذبية الارضية.

٢- احسب القدرة المستنفذه بواسطة قوة تعطى بالعلاقة $F = 4i + 3j \text{ (N)}$ ، والتي تؤثر على جسم كتلته 3kg، اذا اكسبته سرعة تعطى بالعلاقة $v = -i + 5j \text{ (m/s)}$.

٣- قوة افقيه مقدارها 180 N تعمل على دفع صندوق كتلته 50 kg على سطح خشن خلال مسافة 8m، فإذا تحرك الصندوق بسرعة ثابتة، احسب مايلي

أ- الشغل المبذول بواسطة القوة.

ب- الشغل المبذول بواسطة قوة الاحتكاك

ت- الشغل المبذول بالجاذبية الارضيه.

٤- ما هو الشغل المبذول واللازم لايقاف لاعب كرة قدم وزنه 90 kg، ويجري بسرعة 8.5 m/s، على ارض الملعب.

٥- احسب طاقة الحركة لكرة كتلتها 1 kg، تتحرك مسافة 50m فى زمن قدره 5s.

الباب السادس

خواص الموائع الساكنة Fluid Statics

مقدمة

تتخذ الموائع شكل الإناء الذى يحتويه. وتتميز حاله السائل عن الغازيه بأن للماده فى حاله السائله سطح كما أن لها حجم. وعند تواجد سائل فى إناء فإنه يوجد ضغط يؤثر على قاع وجوانب الإناء. والضغط عند نقطه ما فى باطن السائل يتوقف على كثافة السائل وكذلك على عمق هذه النقطه عن السطح. ومن الجدير ان نسرد بعض المفاهيم المرتبطة بالسوائل الساكنة

الكثافة Density

كثافة أى عنصر صغير من اى مادة، هى كتلة ذلك العنصر Δm ، مقسوما على حجمة ΔV ، ويرمز لها بالرمز ρ ، اى ان كثافة العنصر تكتب على الصور

$$\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V}$$

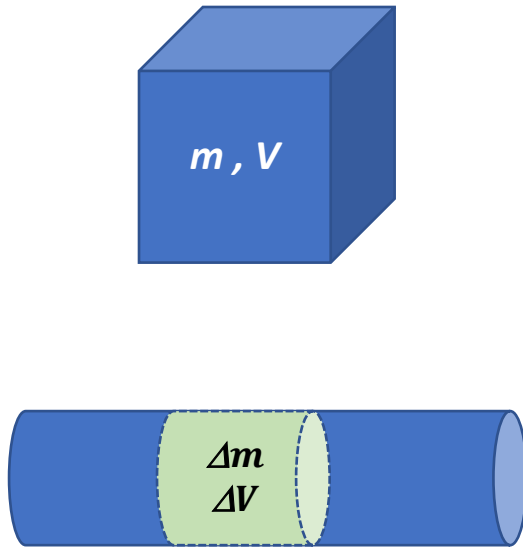
وكثافة الماده لا تحمل خصائص إتجاهية، اى انها كمية قياسية. ولو ان كثافة الجسم متجانسة عند كل نقاطه، فإن كثافة الجسم تساوى كتلة الجسم الكلية مقسوما على حجمة الكلى، اى أن

$$\rho = \frac{m}{V}$$

وحدات الكثافة فى النظام الدولى للوحدات هى kg/m^3 ، اما فى المعامل البحثية فتستخدم وحدة الجرم/سم³، g/cm^3 .

وتعرف الكثافه النسبيه لماده بأنها النسبه بين كثافة هذه الماده وكثافة ماده معينه تستخدم كمعيار. ويعتبر الماء ماده قياسيه (عياريه) بالنسبه للمواد وعلى هذا فتقاس الكثافه النسبيه لجسم ما على أنها النسبه بين كثافة الجسم إلى كثافة الماء. والكثافه النسبيه ليست لها وحدات.

الجدول التالي يوضح كثافة بعض المواد.



شكل (١)

Substance	Density (kg/m ³)
Gold	19,300
Mercury	13,600
Lead	11,300
Silver	10,500
Iron	7860
Aluminum	2700
Ebony (wood)	1220
Ethylene glycol (antifreeze)	1114
Whole blood (37 °C)	1060
Seawater	1025
Freshwater	1000
Olive oil	920
Ice	917
Ethyl alcohol	806
Cherry (wood)	800
Balsa (wood)	120
Styrofoam	100
Oxygen	1.43
Air	1.29
Helium	0.179

الضغط P

يعرف الضغط على أنه القوة المؤثرة عموديا على وحدة المساحات. ويمكن التعبير عن الضغط بالعلاقة الرياضية التالية:

$$P = \frac{F}{A}$$

وحدات قياس الضغط

١- الباسكال Pascal وهو وحدة الضغط بالنظام الدولي للوحدات، وتكتب اختصارا Pa، وهي

تعادل قوة مقدارها 1 N مقسوما على وحدة المساحة m²، أي ان 1 Pa = N/m².

٢- الضغط الجوي atmosphere، وتكتب اختصارا atm، وهي تعادل وزن عمود هواء الغلاف

الجوي من سطح البحر وحتى نهايته المؤثر على مساحة قدرها 1 m²، والضغط الجوي يعادل

$$1 \text{ atm} = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa} = 760 \text{ torr} = 760 \text{ mmHg} = 14.7 \text{ psi}$$

٣- تورر torr، وهو اسم مشتق من العالم Evangelista Torricelli مخترع البارومتر عام ١٦٧٤ لقياس الضغط الجوي، وهو يعادل وزن عمود من الزئبق طوله ١ مللي متر، وعادة تستخدم هذه الوحدة في معامل الابحاث العلمية، وتساوي

$$1 \text{ torr} = 1 \text{ mm Hg}$$

٤- بار bar، وهو وحدة عادة تستخدم للتعبير عن الضغط في الانابيب مثل انبوبة البوتجاز وانبوبة الاكسجين وانبوبة النيتروجين، ويساوي

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

٥- رطل-ثقل لكل بوصة مربعة (psi) pound-force per square inch، وهو وحدة قياس الضغط الانجليزية، وتستخدم عادة مع ضغط اطارات السيارات، (كم ضغط اطار سيارتك؟)، ويساوي

$$1 \text{ psi} = 6895 \text{ Pa}$$

مثال (١):

حول وحدات الضغط من النظام الانجليزي الى النظام الدولي للوحدات، وكذلك لوحدات الضغط الجوي.

الحل:

الرطل - ثقل pound-force lbf هو قوة جذب الأرض المؤثرة على كتلتها مقدارها ١ رطل-كتلة pound-mass lb ، اي ان

$$\begin{aligned} 1 \text{ lbf} &= 1 \text{ lb (pound - mass)} \times g \left(9.80665 \frac{m}{s^2} \times \frac{1}{0.3048 m} \right) \\ &= 32.174 \frac{ft \cdot lb}{s^2} \end{aligned}$$

1 slug = the mass equal 32.174 pound.

$$1 \text{ lbf} = 1 \text{ lb (pound - mass} = 0.45359237 \text{ kg)} \times g(9.80665 \text{ m/s}^2)$$

$$1 \text{ lbf} = 4.448 \text{ N}$$

$$1 \text{ psi} = \frac{1 \text{ lbf}}{\text{in}^2} = \frac{4.448 \text{ N}}{(0.0254)^2 \text{ m}^2} = 6894.4 \text{ Pa}$$

But $1 \text{ atm} = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$, then $1 \text{ Pa} = 9.869 \times 10^{-6} \text{ atm}$.

Then $1 \text{ psi} = 6894.4 \times 9.869 \times 10^{-6} \text{ atm} = 0.068 \text{ atm}$.

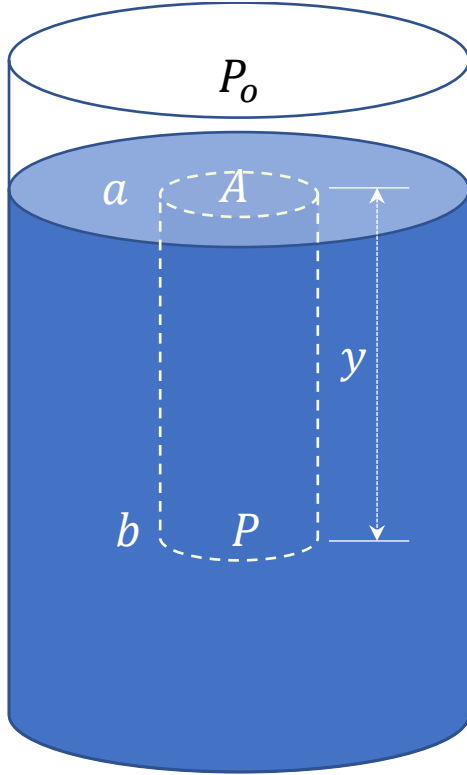
$$\text{Or } 1 \text{ atm} = \frac{1}{0.068} = 14.6959 \text{ psi}$$

الجدول التالي يوضح بعض الضغوط في الطبيعة.

	Pressure (Pa)
Center of the sun مركز الشمس	2×10^{16}
Center of Earth مركز الأرض	4×10^{11}
Deepest Ocean trench (bottom) اعظم نقطة في المحيط	1.1×10^8
Automobile tire ضغط اطارات السيارات	$2 \times 10^5 + P_{\text{atm}}$
Best Lab. vacuum ضغط التفريغ في المعامل البحثية	10^{-12}

الضغط عند نقطة في باطن السائل

الشكل (٢) يوضح وعاء فيه سائل كثافته ρ بارتفاع معين. ويمكن حساب الضغط عند نقطة تقع اسفل سطح السائل بمقدار y كالآتي:



الضغط عند نقطة a أى عند سطح السائل تساوي الضغط الجوي P_o .

الضغط عند نقطة b ، والتي تقع اسفل سطح السائل تساوي P ، حيث

$$P = P_o + P_1$$

حيث P_1 هو الضغط الناتج من وزن عمود السائل عند عمق y ، ويمكن حسابه كالتالي:

$$P_1 = \frac{W}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{\rho Agy}{A} = \rho gy$$

حيث كتلة عمود السائل $m = \rho Ay$

وبالتالي يكون الضغط عند نقطة y اسفل سطح السائل تساوي:

$$P = P_o + \rho gy$$

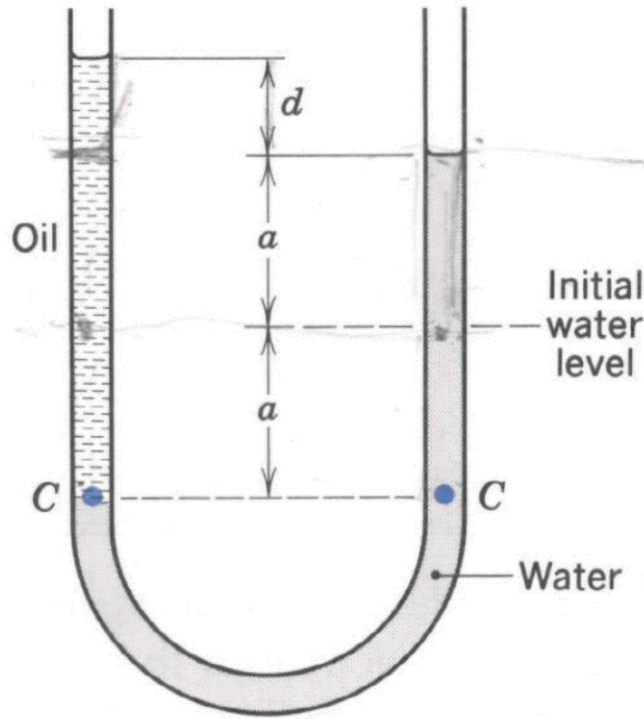
الشكل (٢): حساب الضغط عند نقطة تحت سطح سائل

مثال (٢):

أنبوبة على شكل حرف U طرفيها معرضتين للضغط الجوي وممتلئة جزئياً بالماء. صببنا في احد طرفيها زيت حتى وصل مستوى ارتفاع الزيت على مسافة $d = 12.3 \text{ mm}$ ، أعلى من مستوى عمود الماء على الطرف الآخر الذى بدوره ارتفع مسافة $a = 67.5$ من مستواه الاصلى. كما فى الشكل. أحسب كثافة الزيت، علماً بأن كثافة الماء تساوي $\rho_w = 10^3 \text{ kg/m}^3$.

الحل:

بما ان مستوى الماء عند النقطة C فى حالة اتزان، اى ان الضغط عندها متساوى، وبمراعاة ان المستوى الاصلى ارتفع فى احد العمودين مسافة قدرها a وبالتالي انخفض فى الأنبوب الآخر نفس المسافة ايضا وبالتالي يكون فرق الارتفاع للماء يساوى $2a$. ولهذا نستطيع ان نحسب الضغط فى كل من العمودين من المعادلة الآتية



At point C, the pressure is the same at both terminal of the tube. So,

$$\rho_w g 2a + P_o = \rho g (2a + d) + P_o$$

$$\rho = \frac{\rho_w 2a}{2a + d}$$

$$\rho_w = 10^3 \text{ kg/m}^3$$

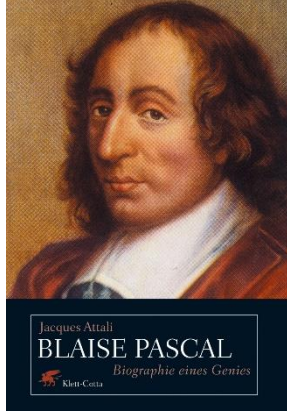
$$2a = 2 \times 67.5 \text{ mm} = 135 \text{ mm}$$

$$2a + d = 135 \text{ mm} + 12.3 \text{ mm} = 147.3 \text{ mm}$$

$$\rho = (10^3 \text{ kg/m}^3)(135 \text{ mm})/(147.3 \text{ mm})$$

$$\rho = 916 \text{ kg/m}^3$$

قاعدة باسكال: Pascal's Principle



لقد أكتشف باسكال خاصية أخرى من خواص السوائل وصاغها في قانون يعرف بأسمه ولقد ظهرت لها تطبيقات عملية كثيرة وتنص القاعدة على أن "الضغط المسلط على أى جزء من سائل فى وعاء مقفل ينتقل بانتظام لجميع أجزاء السائل ويعمل فى جميع الإتجاهات".

بليز باسكال ١٦٢٣-١٦٦٢

تكبير القوة والمكبس الهيدروليكي

شكل (٣) يوضح التصميم المستخدم للمكبس الهيدروليكي والذي يمكن استخدامه فى رفع السيارات والأجسام الثقيلة. حيث يتكون المكبس الهيدروليكي من اسطوانتين ذات قطريين مختلفين وبالتالي مساحة مقطعية مختلفه وليكن المكبس الأصغر ذو مساحة A_1 والمكبس الأكبر ذو مساحة A_2 ، حيث $A_2 > A_1$. وكلا الاسطوانتين متصلتين ببعضهما عبر انبويه كما فى الشكل ويملى الحيز بأكمله بزيت غير قابل للانضغاط، كما يوجد مكبس لكل اسطوانة. وعند التأثير بقوة صغيرة نسبية وليكن F_1 على المكبس الأصغر، فإنه ينشأ ضغط مقداره F_1/A_1 عند موضع المكبس الأصغر، وهذا الضغط بدوره ينتقل الى المكبس الأكبر عبر الزيت الواصل بين الاسطوانتين. وبالتالي يتولد نفس الضغط عند موضع المكبس الآخر ويساوى F_2/A_2 .

وبالتالى فإنه من قاعدة باسكال نجد ان

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

$$\therefore F_2 = F_1 \frac{A_2}{A_1}$$

وحيث ان A_2 أكبر من A_1 ، فإن القوة F_2 أكبر من القوة F_1 .

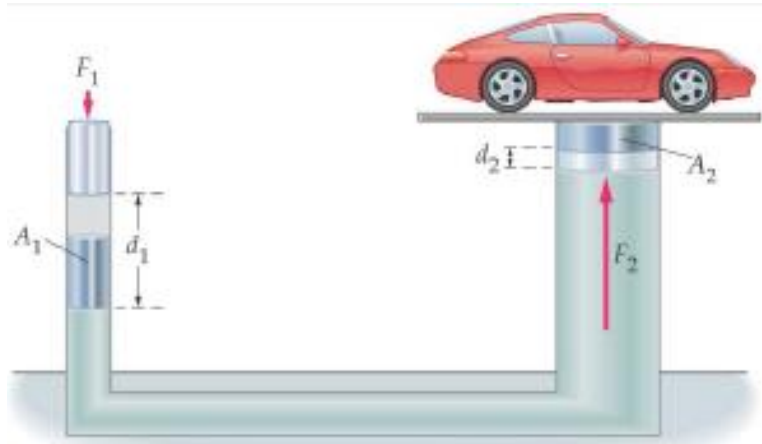
ومن ناحية اخرى، فإنه عند تحريك المكبس الصغير مسافة وليكن d_1 والتي تقابل حجم مقداره V فإن المكبس الكبير سيزاح بنفس هذا الحجم عبر الزيت الغير قابل للانضغاط، وإذا كانت إزاحة المكبس الكبير تساوى d_2 ، فإن :

$$V = d_1 A_1 = d_2 A_2$$

$$\therefore \frac{A_2}{A_1} = \frac{d_1}{d_2}$$

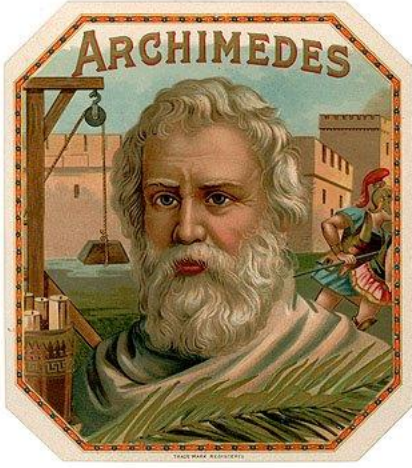
$$F_2 = F_1 \frac{d_1}{d_2}$$

وبعبارة اخرى فإن $F_1 d_1 = F_2 d_2$ ، أى ان الشغل المبذول بواسطة المكبس الصغير يساوى الشغل المبذول بواسطة المكبس الكبير، وهكذا لا يوجد مكسب ولا خسارة فى الشغل عند استخدام المكبس الهيدروليكي، ولكن حدث فقط تكبير للقوة.



شكل (٣): المكبس الهيدروليكي

الطفو وقاعدة أرشميدس



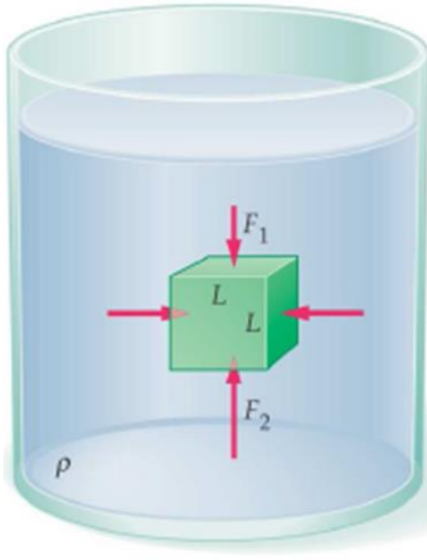
أرشميدس ٢٨٧ - ٢١٢ ق.م.

بعض الأجسام تطفو فوق سطح الماء وبعضها يغوص فيه. كما أن بعض الأجسام التي تطفو على سطح الماء قد تغوص في الكحول وبعض الأجسام التي تغوص في الماء قد تطفو على سطح الجلسرين. وعليه فجميع الموائع خاصية الطفو. وهذه الخاصية تعنى أن الموائع تؤثر على الأجسام الموجودة بها بقوة دفع إلى أعلى. وهذه القوة تختلف من مائع إلى آخر. وعلى هذا فإن الأجسام التي وزنها أقل من قوة دفع السائل تطفو فوق سطح السائل مثل الخشب فوق سطح الماء. والأجسام التي لها وزن أكبر من قوة الدفع تغوص مثل الحديد في الماء.

وكان أرشميدس أول من لاحظ أن الأجسام المغمورة جزئياً أو كلياً في السوائل تزيح حجماً من السائل مساوياً لحجم الجزء المغمور من الجسم ومنها أستنتج قوة دفع السائل وصاغها في قانون يعرف بأسمه. وينص على أن "الجسم المغمور كلياً أو جزئياً في مائع يؤثر عليه المائع بقوة دفع إلى أعلى تساوى وزن السائل المزاح".

قوة الطفو Buoyant force

دعنا الآن نحسب قوة الدفع التي يلقيها مكعب طول ضلعه L وكثافته ρ_s موضوع في سائل كثافته ρ ، كما في الشكل (٤).



إفرض ان الضغط الواقع على السطح العلوى هو P_1 ، وبالتالي يكون القوة الواقعة على هذا السطح تساوى

$$F_1 = P_1 A = P_1 L^2$$

ايضا الضغط الواقع على السطح السفلى هو P_2 ، حيث يعطى الضغط بالعلاقة

$$P_2 = P_1 + \rho g L$$

وبالتالى يكون القوة المؤثرة على هذا السطح تساوى

$$F_2 = P_2 A = P_1 A + \rho g L A$$

شكل (٤): حساب قوة الطفو لجسم فى مائع

$$F_2 = F_1 + \rho g L A$$

وبالتالى تكون قوة الدفع F_b التى يلقاها المكعب من اسفل الى اعلى هى فرق القوتين أى ان

$$F_b = F_2 - F_1 = \rho g V$$

والمقدار $\rho g V$ ، هو عبارة عن وزن السائل المزاح او وزن السائل الذى له نفس حجم الجسم الصلب المنغمر فى الماء.

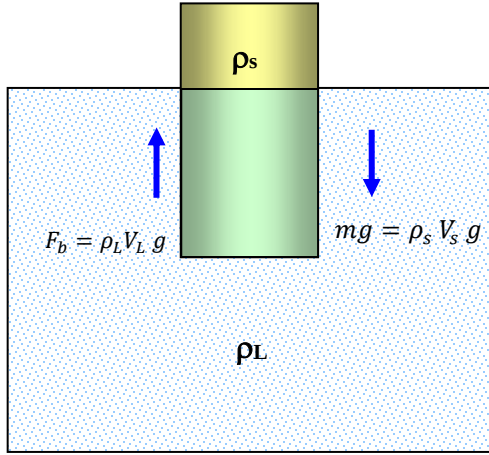
وبناء على قاعدة أرشميدس، فيمكن حساب قوة الدفع لجسم مغمور جزئيا فى سائل كما فى الشكل (٥). فى هذه الحالة فإن الجسم يتزن تحت تأثير قوتين : الأولى الى اسفل وتساوى وزن الجسم الصلب نفسه

$$mg = \rho_s V_s g$$

والثانية هى قوة الطفو لأعلى وتساوى وزن السائل المزاح أى تساوي

$$F_b = \rho_L V_L g$$

حيث V_s ، هي حجم الجسم كله ، V_L هي حجم الجزء المغمور من الجسم الصلب في السائل، ρ_s هي كثافة الجسم الصلب، ρ_L هي كثافة السائل.



شكل (٥): طفو بعد الاجسام

$$F_b = mg$$

$$\rho_s V_s g = \rho_L V_L g$$

$$V_L = (\rho_s / \rho_L) V_s$$

من هذه المعادلة نجد ان حجم الجزء المغمور من الجسم الصلب يعتمد على النسبة بين كثافة الجسم الصلب إلى كثافة السائل. وإذا كان السائل ماء، فإن هذه النسبة تساوي الكثافة النسبية.

مثال (٣):

احسب نسبة الجزء الظاهر من جبل ثلجي موجود في المحيط.

الحل:

وزن جبل الثلج يساوي

$$W_{ice} = \rho_{ice} V_{ice} g$$

قوة الدفع تساوي

$$F_b = \rho_w V_w g$$

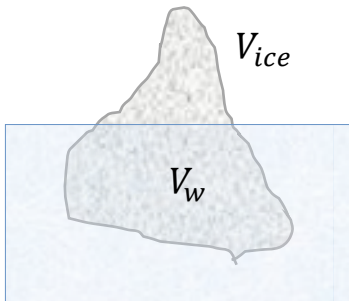
وننتج ان جبل الثلج في حالة اتزان فإن $F_b = W_{ice}$

$$\rho_{ice} V_{ice} g = \rho_w V_w g$$

Then

$$\frac{V_w}{V_{ice}} = \frac{\rho_{ice}}{\rho_w} = \frac{917 (kg/m^3)}{1024 (kg/m^3)} = 0.896 = 89.6 \%$$

أى ان حوالى ٩٠ فى المائة من حجم الجبل الثلجي منغمور في الماء، ويكون نسبة الجزء الظاهر من الجبل الثلجي في الهواء تساوي 10.4%.



قياس الضغط Measurement of Pressure

إن معظم مقاييس الضغط تستخدم الضغط الجوى كمستوى مرجعى وتقيس الفرق بين الضغط الفعلى (الحقيقى) والضغط الجوى. ويسمى هذا الفرق بمدلول مقياس الضغط Pressure Gauge. ويصبح الضغط الحقيقى (او الضغط المطلق absolute pressure) عند نقطة داخل مائع تساوى مجموع الضغط الجوى مضاف إليه مدلول مقياس الضغط. إن مدلول مقياس الضغط يعطى إما فوق أو تحت الضغط الجوى ولهذا قد يكون موجب (إذا كان اعلى من الضغط الجوى) او سالب (إذا كان اقل من الضغط الجوى)، أما الضغط المطلق فهو دائما موجب.

البارومتر Barometer

لو نظرنا إلى مقياس الضغط الزئبقي Mercury barometer فإنه يتكون من أنبوبة زجاجية طويلة ملأت بالزئبق (الأنبوبة مقفولة من طرف ومفتوحة من الطرف الأخر) وقلبت الأنبوبة من طرفها المفتوح داخل وعاء من الزئبق كما فى الشكل (٦). الفراغ فوق عمود الزئبق لا يتأثر بالضغط الجوى. ويحتوى فقط على بخار الزئبق والذى ضغطه P_2 وهذا قيمته عند درجات الحرارة العادية يمكن إهماله لصغره (أى أن $P_2=0$). ولأن جميع جزئيات سطح الزئبق بما فى ذلك جزئيات الزئبق داخل الأنبوبة والتي تقع على نفس مستوى سطح الزئبق الخارجى، فإن الضغط P_a الذى يؤثر على سطح وعاء الزئبق هو نفسه الضغط P_1 الذى يؤثر على جزئى الزئبق داخل الأنبوبة والتي تقع على نفس مستوى سطح الزئبق. وبالتالي فإن الضغط الخارجى على سطح الزئبق والناتج من ارتفاع عمود الهواء للغلاف الجوى، أى الضغط الجوى P_a يساوى ضغط عمود الزئبق $P_1 = \rho h g$ ، حيث ρ هى كثافة الزئبق. أى ان الضغط الجوى يمكن التعبير عنه بالعلاقة

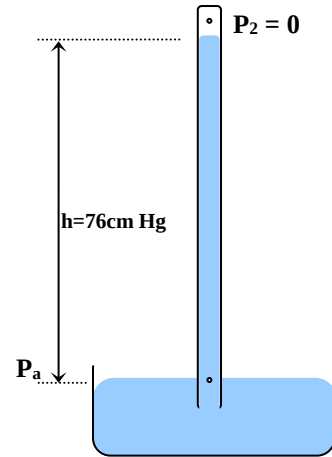
$$P_a = 1 \text{ atm} = \rho g h$$



إيفانجيلستا تورشيللي

Evangelista Torricelli

(١٥ أكتوبر ١٦٠٨ - ٢٥ أكتوبر، ١٦٤٧)



شكل (٦): بارومتر زئبقى لقياس الضغط الجوى

بالتعويض عن إرتفاع و كثافة عمود الزئبق وعن عجلة الجاذبية الأرضية نجد ان الضغط الجوى يساوى

$$1 \text{ atm} = (1.35955 \times 10^4 \text{ kg/m}^3) (9.80665 \text{ m/s}^2) (0.76 \text{ m})$$

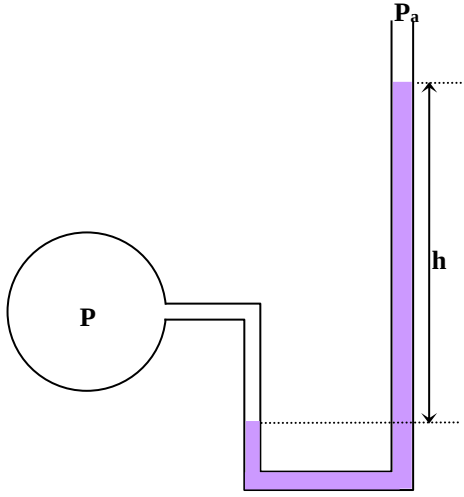
$$= 1.013 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

الضغط الجوى عند أى نقطة فى الهواء تساوى عدديا وزن عمود من الهواء له وحدة المساحات، ويمتد من تلك النقطة إلى قمة الغلاف الجوى. أحيانا نعبر عن قياسات البارومتر بوحدة تور torr حيث 1 torr هو ضغط عمود من الزئبق طوله 1 mm Hg تحت عجلة الجاذبية الأرضية $g = 9.80665 \text{ m/s}^2$ ، وعند درجة الصفر المئوى. والذى عندها كثافة الزئبق تساوى $\rho = 1.35955 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$ ، وعليه فإن

$$1 \text{ torr} = (1.35955 \times 10^4 \text{ kg/m}^3) (9.80665 \text{ m/s}^2) (0.001 \text{ m})$$

$$= 133.326 \text{ Pa}$$

المانومتر



يتكون المانومتر من أنبويه على شكل حرف U كما في شكل (٧)، إحدى طرفي الأنبوية متصلة بمستودع به غاز، والطرف الآخر حر، والأنبويه مملوءه جزئياً بسائل كثافته ρ . وبالتالي عند زيادة الضغط داخل المستودع فإنه يضغط على السائل ويزيحه بحيث يكون فرق ارتفاع السائل في طرفي الأنبوية يساوى h . ومن ثم يكون الضغط داخل المستودع P يساوى مجموع الضغط الناتج من السائل ويساوى $\rho g h$ بالإضافة إلى الضغط الجوى اعلى الأنبوية المفتوحة P_a ، أى أن

$$P = P_a + \rho g h$$

$$P - P_a = \rho g h$$

ولهذا فإن الفرق $P - P_a$ يتناسب مع الفرق في ارتفاع السائل في الأنبوية التى على شكل حرف U.

مثال (٥):

ارتفاع عمود الزئبق فى جهاز بارومتر $h = 740.35 \text{ mm}$ عند درجة حرارة $T = -5^\circ \text{C}$ ، وكانت كثافة الزئبق $\rho = 1.3608 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$ ، وكانت عجلة الجاذبية الأرضية عند موضع البارومتر تساوى $g = 9.7835 \text{ m/s}^2$ ، احسب قيمة الضغط الجوى.

الحل:

$$P_a = \rho g h$$

$$= (1.3608 \times 10^4 \text{ kg/m}^3) (9.7835 \text{ m/s}^2) (0.74035 \text{ m}) = 9.8566 \times 10^4 \text{ Pa}$$

التوتر السطحي Surface Tension

من الثابت أن لسطح السائل خواص خاصة به ناتجة عن القوى غير المتوازنة لتجاذب الجزيئات عند السطح ذلك أنه بينما جزيئات السائل الداخليه تنجذب إلى غيرها من الجزيئات فى جميع الإتجاهات إلا أن جزيئات السائل الموجوده عند سطحه تنجذب نحو الداخل بالجزيئات الأخرى ويؤدى مثل هذا الوضع كما هو متوقع إلى أن يقوم السائل بتعديل وضعه بما يوفر له أقل قدر من مساحة السطح النوعى وهو مقدار المساحة السطحيه المعرضه التى تخص وحدة الكتل من السائل.

ونظرا لأن الشكل الكروى هو الشكل الهندسى الوحيد الذى يوفر للماده النهايه الصغرى من السطح النوعى فمن البديهي أن يميل السطح إلى أن يأخذ شكلا كرويا.

ولأن أى جسم لا يوجد فى فراغ مفرغ وإنما يوجد فى وسط ما، على سبيل المثال فى الهواء. فلذلك عند التحدث عن سطوح الأجسام فيجب الأخذ فى الاعتبار السطوح الفاصله بينها وبين سطوح الأوساط المحيطه بها. وعلى هذا فسنجد أن شكل سطح السائل يعتمد على نوع الماده الملاصقه له مثل الهواء وجدارن الأوعيه التى تحتويه.

فبعض السوائل مثل الماء والكحول تبلل جدر الأنابيب الشعريه الزجاجيه بينما بعض السوائل الأخرى كالزئبق لا تبلل الجدر الزجاجيه ويؤثر هذا فى ميل السائل بأن يكون له سطح نوعى صغير. هذا الميل أى ميل السائل لمقاومته لأى قوه تعمل على زيادة مساحة سطحه تعرف بظاهرة التوتر أو الشد السطحي.

تعريف معامل الشد (التوتر) السطحي Coefficient of surface tension

يعرف معامل التوتر السطحي لسائل بأنه القوه التى تؤثر فى إتجاه عمودى على وحدة الأطوال من خط مستقيم يحتويه سطح السائل. ويرمز له بالرمز T و وحداته بالنظام الدولى للوحدات نيوتن/متر، وبالنظام العلمى داين/سم. ومعادلة أبعاده هى

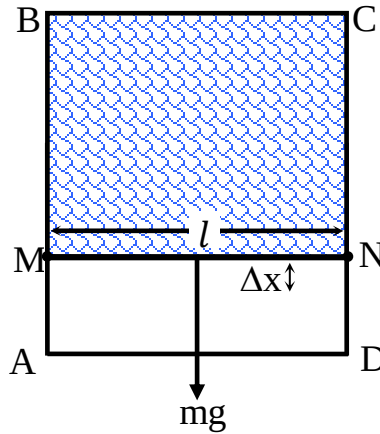
$$[T] = \frac{\text{Force}}{\text{Length}} = \frac{MLT^{-2}}{L} = MT^{-2}$$

نفرض أن لدينا سلكا مكونا للإطار ABCD كما فى شكل (٨). و أن السلك MN ينزلق على الضلعين AB, CD. فإذا إنغمس هذا الإطار فى محلول صابون مثلا بحيث يتكون غشاء داخل

الحيز MNCB ، فتتكون قوة جذب نتيجة التوتر السطحي تعمل على تقلص وسحب السلك MN إلى الـ الضلع BC. ولكي يظل السلك في مكانه، فلا بد، وأن نؤثر على السلك بقوة F (ممکن الحصول عليها من تعليق كتله خفيفه أى أن $F=mg$) بحيث يحدث إتران ، وفي هذه الحالة نجد أن

$$F = mg = 2Tl$$

وذلك لأن الغشاء له وجهان، l هي طول السلك MN.



شكل (٨)

مثال (٦):

تكون غشاء من الصابون على إطار على شكل مربع طوله ٧ سم حينما غمر في محلول من الصابون. فإذا كان الإطار معلقا في كفة ميزان. وكانت الكتلة التي يجب وضعها في الكفة الأخرى كي تعادل الشد الناتج عن التوتر السطحي هي ٠,٣٨ جرام. أوجد الشد السطحي لمحلول الصابون.

الحل:

القوة المؤثره على الإطار الناتجه عن الشد السطحي F هي

$$F = 2Tl$$

وعند اتران السلك تحت تأثير تعليق كتله مقدارها 0.38 g، فإن

$$F = mg = 2Tl$$

$$0.38 \text{ g} \times 980 \text{ (cm/s}^2\text{)} = 2 \times T \times 7$$

$$T = 26.6 \text{ dyne/cm.}$$

طاقة السطح Surface energy

إذا أزيح السلك MN في شكل (٨) مسافه قدرها Δx مع ثبوت درجة الحرارة، فإن الشغل المبذول W لإزاحة السلك يعطى بالمعادله

$$W = F \cdot \Delta x$$

وبالتعويض عن F بدلالة التوتر السطحي فإن

$$W = 2Tl \cdot \Delta x = T \Delta S$$

حيث ΔS هي الزيادة في مساحة سطح الغشاء من الوجهين وتساوى $2l \Delta x$ ، والشغل المبذول لزيادة مساحة السطح بمقدار وحدة المساحات يساوي $W/\Delta S$ ، أي يساوي عدديا معامل التوتر السطحي T . أى أن الشغل المبذول لزيادة مساحة السطح بمقدار وحدة المساحات (وهو ما يعرف بطاقة السطح ويرمز له بالرمز E ووحداته بالنظام الدولي جول/متر^٢، وبالنظام العلمي إرج/سم^٢) يساوى عدديا التوتر السطحي ووحداته دايين/سم وذلك عند ثبوت درجة الحرارة. أي ان

$$\text{Surface energy} = E = \frac{W}{\Delta S} \quad J/m^2$$

مثال (٧):

كره من الماء نصف قطرها ٢ سم، إنقسمت بسرعه إلى ٢٧ كره متساويه عند ثبوت درجة الحرارة. أحسب الشغل المبذول نتيجة لذلك علما بأن الشد السطحي للماء = ٧٥ دايين/سم.

الحل:

نفرض أن نصف قطر كل كره من الكرات الصغيره هو r

$$\therefore \frac{4}{3} \pi (2)^3 = 27 \times \frac{4}{3} \pi r^3$$

ومن ذلك نجد أن r تساوى

$$r = 2/3 \text{ cm}$$

مساحة سطح الكره الأصلية يساوى

$$= 4\pi(2)^2 = 16\pi \text{ cm}^2$$

ومجموع مساحة سطح الكرات الصغيره يساوى

$$= 27 \times 4\pi \times (2/3)2 = 48\pi \text{ cm}^2$$

وحيث أن طاقة السطح هى الشغل المبذول لزيادة مساحة السطح بمقدار الوحدة ووحداتها إرج/سم²
= التوتر السطحى ووحداته دايين/سم وذلك عند ثبوت درجة الحرارة.

إذن الشغل المبذول نتيجة لانقسام الكره = الزيادة فى المساحة × التوتر السطحى

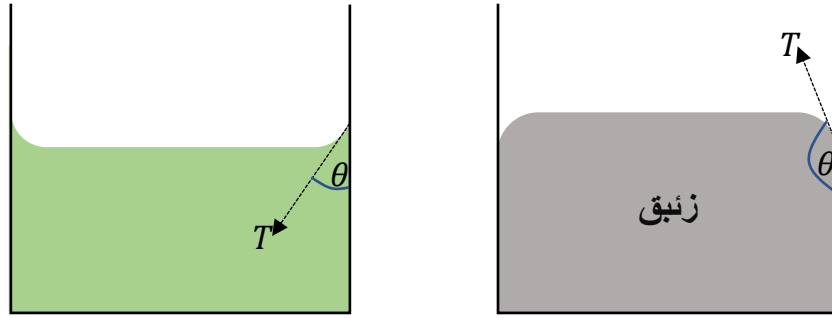
$$= 75 (48-16)\pi$$

$$= 2400 \text{ erg}$$

زاوية التلامس Contact Angle

تدل المشاهدات عند وضع السوائل فى أوانى صلبه على وجود قوى تجاذب بين جزيئات مادة الأوانى وجزيئات مادة السوائل علاوه على قوى التجاذب بين جزيئات السائل التى سبق الحديث عنها. فمثلا عند وضع سائل نقى فى وعاء زجاجى نظيف كما فى شكل (٩) يشاهد إرتفاع سطح السائل الملامس لجدران الوعاء عن مستوى سطحه فى الوعاء مما يدل على أن قوى التجاذب بين جزيئات الزجاج وجزيئات السائل تفوق تلك التى بين جزيئات السائل نفسه. أما فى حالة الزئبق الملامس للزجاج كما هو موضح بشكل (٩) فإنه يشاهد إنخفاض سطح الزئبق الملامس للزجاج عن مستواه فى الوعاء دلالة على أن قوى التجاذب بين جزيئات الزئبق نفسه تفوق تلك بين جزيئات الزئبق وجزيئات الزجاج.

وزاوية التلامس هى الزاويه التى تقع فى بطن السائل والمحصوره بين المماس لسطح السائل عند نقطة التلامس وجدار الوعاء ، وزاوية التلامس تساوى صفر فى حالة الزجاج والماء النقى بينما تساوى 140° فى حالة الزئبق والزجاج.

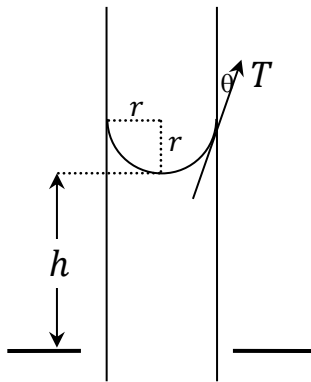


شكل (٩)

الخاصية الشعرية Capillarity

إذا غمرت أنبوبة شعريه نظيفه نصف قطرها الداخلى r فى سائل كثافته ρ ، فإن السائل يرتفع فى الأنبوبة (ما عدا الزئبق فإنه ينخفض) إلى ان يتزن، فإذا كانت h هى إرتفاع السائل فى الأنبوبة من أسفل نقطه تقعر فى سطحه إلى السطح الأفقى الخارجى، θ هى زاوية التلامس بين السائل والزجاج كما فى شكل (١٠) ، فعند الاتزان فإن القوة المؤثره على سطح السائل إلى أسفل = كتلة اسطوانه من السائل ارتفاعها h و نصف قطرها r ، أى ان القوة الى اسفل تساوي $\pi r^2 h \rho g$

والقوة المؤثره على السائل إلى أعلى هى قوة التوتر السطحي المؤثره على محيط السائل فى الأنبوبة وتساوي $2\pi r T \cos \theta$ ، ويكون السطح فى حالة إتزان إذا كانت القوتان متساويتان، أى ان



شكل (١٠)

$$\pi r^2 h \rho g = 2\pi r T \cos \theta$$

$$T = \frac{r h \rho g}{2 \cos \theta}$$

ولقد أهملنا وزن السائل فى الأنبوبة فى الجزء الذى يعلو أسفل نقطة التقعر، و يمكن حسابه باعتبار أن سطح السائل فى الأنبوبة عبارة عن نصف كره نصف قطرها

r

مثال (٨):

أنبوبة شعريه من الزجاج قطرها ١ مم، غمرت رأسيا فى كأس به سائل كثافته ١,٠١ جم/سم^٣، ارتفع السائل فى الأنبوبه ٣٠ سم. أحسب التوتر السطحي للسائل إذا علم أنه يبلل الزجاج.

الحل:

$$\therefore T = \frac{r h \rho g}{2 \cos \theta}$$

وحيث أن السائل يبلل الزجاج، فإن $\theta = 0$ = صفر وبالتالي

$$T = \frac{0.05 \cdot 3.0 \cdot 1.01 \cdot 980}{2 \cdot 1}$$

$$= 74.35 \text{ dyne/cm.}$$

مثال (٩):

أنبوبة رأسيه على شكل حرف U، فإذا كان قطري فرعى الأنبوبه هما ٥سم، ١ سم.

أ- إذا كانت الأنبوبه تحتوى على ماء، أوجد الفرق بين ارتفاعى الماء فى فرعى الأنبوبه علما بأن التوتر السطحي للماء = ٧٣ دايين/سم.

ب- إذا كانت الأنبوبه تحتوى على زئبق. أوجد الفرق بين إرتفاعين فى فرعى الأنبوبه علما بأن التوتر السطحي للزئبق هو ٥٥٠ دايين/سم و أن كثافة الزئبق ١٣,٦ جم/سم^٣ و زاوية التلامس ١٤٠ درجه.

الحل:

نفرض أن ارتفاع السائل فى أحد الفرعين هو h_1 وأن نصف قطر هذا الفرع $r_1 = 0.05$.

وأن ارتفاع السائل فى الفرع الآخر هو h_2 و أن نصف قطر هذا الفرع $r_2 = 0.25$.

وحيث أن

$$\therefore T = \frac{r h \rho g}{2 \cos \theta}$$

$$\therefore h = \frac{2T \cos \theta}{r \rho g}$$

وعلى ذلك فإن

$$h_1 = \frac{2T \cos \theta}{r_1 \rho g}$$

$$h_2 = \frac{2T \cos \theta}{r_2 \rho g}$$

$$h_1 - h_2 = \frac{2T \cos \theta}{\rho g} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

فى حالة الماء فإن θ تساوى صفر

$$\begin{aligned} h_1 - h_2 &= \frac{2 \times 73}{1 \times 980} \left(\frac{1}{0.05} - \frac{1}{0.25} \right) \\ &= 2.38 \text{ cm} \end{aligned}$$

وفى حالة الزئبق ، $\theta = 140^\circ$

$$h_1 - h_2 = \frac{2 \times 550 \times (-0.7660)}{13.6 \times 980} \left(\frac{1}{0.05} - \frac{1}{0.25} \right) = -1.012 \text{ cm}$$

والإشارة السالبة تدل على أن h_1 منخفض عن h_2 .

تمارين محلولة Solved problems

١	الوحدة الدولية للضغط هي:		
A	وات	B	أوم
C	باسكال	D	جول

٢	طفل كتلته 40 kg، يلبس حذاء مساحته 10 cm^2 ، ما هو الضغط على الارض؟		
A	$4 \times 10^4 \text{ Pa}$	B	$4 \times 10^5 \text{ Pa}$
C	$40 \times 10^5 \text{ Pa}$	D	$4 \times 10^{-5} \text{ Pa}$

٣	أي من العلاقات الأتية والمتعلقة بالضغط غير صحيحة		
A	الضغط = القوة في الطول	B	الضغط يتناسب مع القوة
C	الباسكال هو وحدة الضغط في النظام الدولي	D	الضغط يتناسب عكسيا مع المساحة

٤	الكتلة لوحدة الحجم تسمى		
A	الضغط	B	الحجم
C	الوزن	D	الكثافة

٥	كلما ازداد العمق، فإن الضغط داخل المائع		
A	يقل	B	يزداد
C	يظل ثابتا	D	ينقص احيانا ويزيد احيانا

واجبات وأنشطة Homework and Activities

أولاً: التقارير

مطلوب من كل طالب عمل تقرير واحد عن احدى النقاط التالية:

- وحدات الضغط.
- قاعدة ارشميدس وتطبيقاتها.
- قاعدة باسكال وتطبيقاتها
- طرق قياس الضغط.
- التوتر السطحي

ثانياً: الخرائط الذهنية

مطلوب من كل طالب تصميم خريطة ذهنية واحدة في احدى النقاط التالية:

- وحدات الضغط.
- قاعدة ارشميدس وتطبيقاتها.
- قاعدة باسكال وتطبيقاتها.
- طرق قياس الضغط.
- التوتر السطحي

ثالثاً: بعض الأنشطة الأخرى

قد يتم تكليف الطالب ببعض الواجبات الأخرى على حسب الاستاذ.

رابعاً: ملف الإنجاز

كل طالب مكلف باعداد ملف الانجاز الخاص به، وهو عبارة عن ملف مكتوب عليه اسم الطالب، ورقمه الجامعي، ورقم الشعبة، واسم الاستاذ، والعام الجامعي، ويحتوى على نسخة من كل ما يكلف به الطالب من أنشطة وواجبات. ويسلم ملف الانجاز الى الاستاذ فى نهاية الفصل الدراسي، او على حسب ما يقرر الاستاذ، ويمكن للاستاذ الاطلاع على الملف فى اى وقت.

خامسا: اجب عن الاسئلة الآتية:

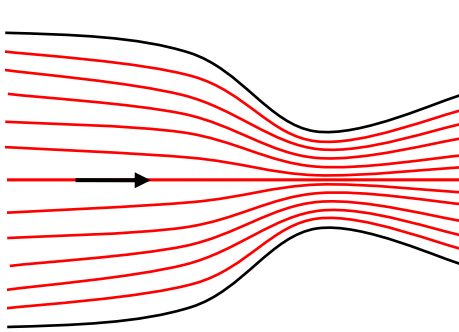
- ١- اوجد الضغط المؤثر على جلد البالون اذا تم الضغط بقوة 2.1 N ، (أ) باستخدام اصبعك حيث مساحته $A=10^{-4} \text{ m}^2$ ، (ب) باستخدام ابرة حيث مساحتها $A = 2.5 \times 10^{-7} \text{ m}^2$.
- ٢- احسب القوة التى تؤثر على يديك بواسطة الضغط الجوي، اذا كانت مساحة يديك تساوي $A = 0.08 \text{ m} \times 0.1 \text{ m}$.
- ٣- احسب قطر كرة سلة، اذا تم نفخها بقوة 22 N ، واصبح مدلول الضغط فيها $7 \times 10^4 \text{ Pa}$.
- ٤- تم العثور على سفينة تاتينك فى عام ١٩٨٥ فى قاع المحيط الاطلنطي على عمق 2.5 mi ، احسب الضغط عند هذا العمق في المحيط.
- ٥- صندوق على شكل مكعب طول ضلعه 2 سم ، تم غمره كلياً فى الماء، بحيث كان الضغط على وجه العلوي يساوي 105 kPa ، والضغط عند وجهه السفلي يساوي 106 kPa ، احسب كثافة السائل.
- ٦- أنبوبة زجاجية ذات شعبتين، قطر أحد فرعيها يساوى 5 سم وقطر الفرع الآخر الآخر 1 مم . فإذا صب بها زئبق، فأوجد الفرق فى الارتفاع بين سطحيه فى الفرعين، علماً بأن الشد السطحي للزئبق يساوى 480 دايين/سم ، وكثافته تساوى 13.6 جم/سم^3 وزاوية التلامس بين الزئبق والزجاج تساوى 135° درجة.

الباب السابع

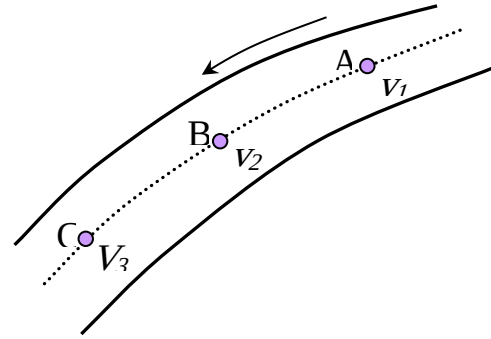
خواص الموائع المتحركة Fluid Dynamics

انسياب الموائع Fluid flow

يتوقف انسياب السوائل خلال الأنابيب على سرعتها، فإذا ظلت سرعة السائل ثابتة عند أى نقطه من مساره طوال مدة سريانه، فإن إنسياب السائل فى هذه الحالة يسمى إنسياباً ثابتاً أو منتظماً. فى هذه الحالة يتخذ كل جزء من السائل مساراً خاصاً يعرف بمسار الأنسياب Stream line، بالنسبه للمسار ABC شكل (١) قد تختلف السرعات v_1, v_2, v_3 عند A, B, C بعضاً عن بعض ولكنها تظل ثابتة. ويمثل شكل (٢) عدد من مسارات الأنسياب بالنسبه لأنبوه تضيق عند وسطها، ويشاهد تراحمها عند الإختناق، ولا يمكن لجزء من السائل أن ينتقل من مسار إلى مسار آخر.



شكل (٢)



شكل (١)

ويمكن التفريق بين انواع الانسياب في السوائل عن طريق تغير كل من سرعة الانسياب وضغط السائل وكثافة السائل مع الزمن وكذلك عبر مسار الانسياب كالاتى:

١ - إنسياب منتظم وغير منتظم

- الإنسياب المنتظم Steady flow

عندما يكون كل من الضغط والكثافة وسرعة الإنسياب ثابتة مع الزمن، حتى لو كانت تتغير من نقطة إلى أخرى ، فيسمى الإنسياب بالإنسياب المنتظم.

- الإنسياب الغير منتظم Non steady flow

هو الإنسياب الذى لا يتحقق فيه ان يكون كل من الضغط والكثافة وسرعة الإنسياب ثابتة مع الزمن.

٢- إنسياب قابل للإنضغاط او غير قابل للإنضغاط

- الإنسياب الغير قابل للإنضغاط Incompressible flow

فى هذا النوع من الإنسياب فإن كثافة السائل ثابتة ولا تتغير لا مع الزمن ولا مع المكان، ومعظم السوائل غير قابلة للإنضغاط.

- الإنسياب القابل للإنضغاط Compressible flow

فى هذا النوع من الإنسياب فإن كثافة المائع تتغير مع الزمن والموضع.

٣- إنسياب لزج او غير لزج

- الإنسياب اللزج Viscous flow

فى هذا النوع من الإنسياب، يتم فقد جزء من طاقة الحركة على هيئة حرارة نتيجة اللزوجة (أى وجود قوة احتكاك بين طبقات السائل وبعضها).

- الإنسياب الغير لزج Non viscous flow

فى هذا النوع من الإنسياب لا يضيع جزء من الطاقة نتيجة قوة اللزوجة (أى قوى الاحتكاك بين طبقات السائل وبعضها).

٤- إنسياب دورانى أو غير دورانى

- الإنسياب الدورانى Rotational

فى هذا النوع من الإنسياب فإن كل عنصر من السائل يدور حول المحور المار خلال مركز كتلته.

- الإنسياب الغير دورانى Irrotational

فى هذا النوع من الإنسياب فإن لا يحدث دوران لأى كتله من السائل حول محور مار بمركزها.

معدل انسياب السائل Volume flow rate

إذا إنساب سائل غير قابل للانضغاط من فتحة مساحة مقطعها A بسرعة v فإنه يمكن حساب الكمية المنسابة في أى فترة زمنية t .

لو أن سرعة الانسياب ثابتة في جميع نقط المقطع العرضي للفتحة فإن كمية السائل التى تنساب من الفتحة في الثانية الواحدة تملأ إسطوانة طولها v و مساحة مقطعها A .

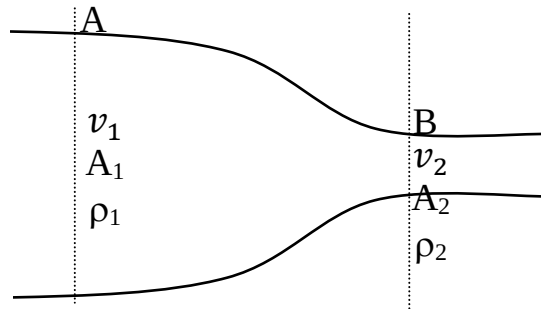
حجم السائل المنساب في الثانية Av

وبالتالى فإن حجم السائل المنساب في زمن قدره t $Av t$

ويعرف المقدار $R = Av$ على انه معدل انسياب المائع او فيض الحجم Volume flow rate.

معادلة الإستمرارية Equation of Continuity

لنفرض أن سائلا ينساب إنسيابا منتظما فى أنبوبة AB كما فى شكل (٣) طالما أنه لا يوجد بالأنبوبة ثغوب تسمح بتسرب السائل منها أو إليها، فإن شرط إنتظام السريان يحتم أن تكون كتلة السائل التى تمر فى كل مقطع من مقاطع الأنبوبة فى زمن معين متساوية.



شكل (٣)

فإذا كانت كل من سرعة السائل ومساحة المقطع وكثافة السائل عند A هي v_1 و A_1 و ρ_1 على الترتيب. وإذا كانت هذه القيم عند B هي v_2 و A_2 و ρ_2 على الترتيب. فإن حجم السائل المار فى زمن معين t خلال أى مقطع $Av t$

وحجم السائل المار فى الثانية الواحده خلال أى مقطع Av

وكتلة السائل المار فى الثانية الواحده خلال أى مقطع $Av\rho$

وحيث أن كتلة السائل المار فى الثانية الواحده خلال المقطع A تساوى كتلة السائل المار فى الثانية الواحده خلال المقطع B، أى أن

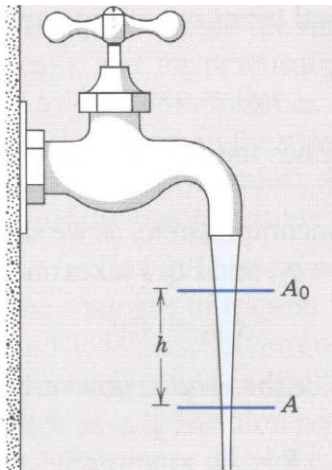
$$A_1 v_1 \rho_1 = A_2 v_2 \rho_2$$

هذه المعادلة تعبر عن قانون حفظ الكتلة فى ميكانيكا الموائع. وإذا كان السائل لا يقبل الإنضغاط فإن كثافته لا تتغير بالضغط، وعلى ذلك فإن $\rho_1 = \rho_2$ ، أى أن

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

أى ان معدل انسياب السائل او فيض الحجم ثابت عند جميع النقاط، وتعرف هذه المعادله بمعادلة الإستمراريه .

وطبقا لمعادلة الاستمرارية فان سرعة سريان السائل تتناسب عكسيا مع مساحة مقطع الأنبوبه فهي تزداد كلما قلت مساحة المقطع وتقل كلما زادت مساحة المقطع.



مثال (١):

الشكل يوضح إنسياب الماء من صنبور مساحة المقطع $A_0 = 1.2 \text{ cm}^2$ ، وبعد انسياب الماء اصبح مساحة مقطع الماء $A = 0.35 \text{ cm}^2$ ، والمسافة الرأسية بين المقطعين يساوى $h = 45 \text{ mm}$ ، احسب المعدل الذى ينساب به الماء من الصنبور.

الحل:

من معادلة الاستمرارية نجد ان

$$A_o v_o = A v$$

وباعتبار ان كل عنصر من الماء يسقط سقوطاً حراً تحت تأثير الجاذبية الأرضية فإنه من معادلات الحركة نجد ان

$$v^2 = v_o^2 + 2 g h$$

وبالتعويض عن v من معادلة الاستمرارية حيث

$$v^2 = \left(\frac{A_o v_o}{A} \right)^2$$

$$v_o^2 \left(\frac{A_o}{A} \right)^2 = v_o^2 + 2 g h$$

$$v_o^2 \left(\frac{A_o^2}{A^2} - 1 \right) = 2 g h$$

بالتعويض عن قيم المساحات والارتفاع h وعجلة الجاذبية الأرضية نحصل على قيمة سرعة الانسياب عند فوهة الصنبور

$$v_o = 28.6 \text{ cm/s}.$$

ويتم حساب معدل انسياب الحجم من العلاقة

$$R = A_o v_o = 34 \text{ cm}^3/\text{s}$$

الشغل المبذول في دفع سائل

عندما ندفع سائل بقوة معينة فإننا نبذل شغلا ويتحول هذا الشغل إلى طاقة يكتسبها السائل. يمكن حساب قيمة هذه الطاقة كما يلي:

لنفرض أن لدينا مستودع ماء معرض للضغط الجوى ومزود فى أسفله بمكبس ينزلق بإحكام فى أنبويه جانبيه متصله بالمستودع كما فى شكل (٤) .

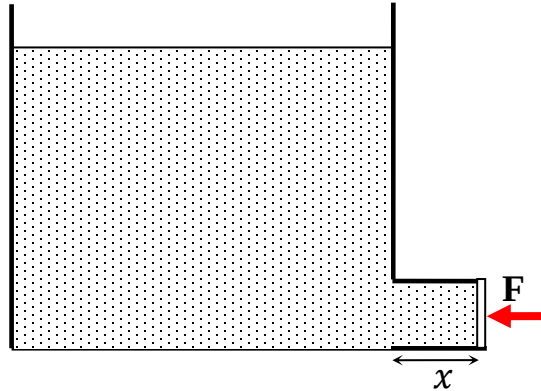
فإذا أثرنا بقوة F لدفع المكبس مسافه x فإن الشغل المبذول = القوة مضروبه فى المسافه و لكن القوة = ضغط السائل $P \times$ مساحة المكبس A ، وبالتالي فإن الشغل يعطى بالعلاقة

$$W = F \cdot x$$

$$\text{but } F = P \cdot A$$

$$W = PAx = PV$$

حيث $V = Ax$ هو حجم السائل المدفوع

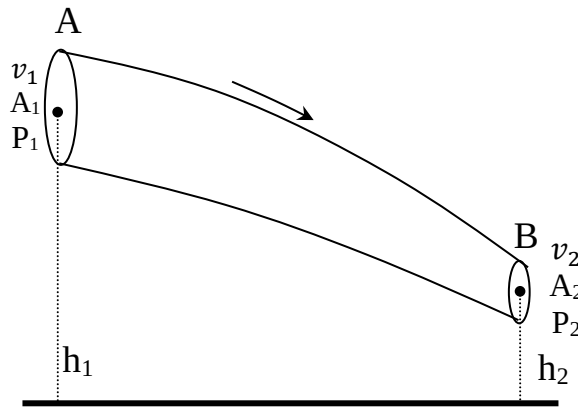


شكل (٤)

٦. معادلة برنولي Bernoulli's equation

نفرض أن سائلا يسرى سريانا منتظما كما هو مبين بالشكل (٥)، وأن هذا السائل غير قابل للانضغاط أى أن كثافته لن تتغير أثناء السريان.

نفرض أن الضغط عند المقطع A هو P_1 ومساحة المقطع A_1 وسرعة سريان السائل v_1 ، وأن هذه القيم عند B هي P_2, A_2, v_2 على الترتيب. ولنفرض أيضا أن إرتفاع المقطع A عن أى مستوى أفقى هو h_1 ، و إرتفاع المقطع B عن نفس المستوى هو h_2 .



شكل (٥)

بفرض أن هذا السائل فى حالة إتزان حرارى أى أن درجة الحرارة فى جميع نقاطه متساوية، وحيث أن السائل غير قابل للانضغاط فإن الكمية التى تمر منه خلال أى مقطع من الأنبوب فى فتره زمنية معينه تكون ثابتة وإذا فرضنا أن كتلة السائل التى تمر فى أى مقطع فى زمن قدره t هى m فإن حجمها $V = \frac{m}{\rho}$ ، حيث ρ هى كثافة السائل.

و لنحسب الآن طاقة هذه الكمية من السائل عند كل من المقطعين، فالطاقة عند أى مقطع ناشئة عن ثلاث عوامل:

- ١- طاقة الوضع نتيجة لوجودها على إرتفاع h من المستوى الأفقى وتساوى كتلة السائل المار m × الأرتفاع h × عجلة الجاذبيه الأرضيه g . أى تساوى $m g h$

$$٢- طاقة الحركة وتساوى $\frac{1}{2}mv^2$$$

٣- الشغل المبذول فى دفع كمية السائل فى منطقه ذات ضغط P يساوى $P V = W$ ، والذي يمكن كتابته على الصورة:

$$W = PV = P \frac{m}{\rho}$$

وبالتالى تكون الطاقه الكليه للسائل عند المقطع A تساوى

$$mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 + P_1 \frac{m}{\rho}$$

وبالمثل نجد أن الطاقه الكليه للسائل عند المقطع (B) تساوى

$$mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2 + P_2 \frac{m}{\rho}$$

وحيث أننا افترضنا ان السائل خال من الاحتكاك، اى لا يوجد فقد فى الطاقة اثناء انتقال السائل من مقطع لآخر، فإنه طبقا لقانون بقاء الطاقه يجب أن تتساوى المعادلتين، أي ان:

$$mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 + P_1 \frac{m}{\rho} = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2 + P_2 \frac{m}{\rho}$$

وبالقسمه على m نحصل على

$$gh_1 + \frac{1}{2}v_1^2 + \frac{P_1}{\rho} = gh_2 + \frac{1}{2}v_2^2 + \frac{P_2}{\rho}$$

وهذه المعادله تسمى معادله برنولى ويمكن كتابتها على الصوره

$$gh + \frac{1}{2}v^2 + \frac{P}{\rho} = constant$$

أى ان معادلة برنولى تنص على أنه بالنسبة لكتله m من سائل تتحرك بسرّيان منتظم فإنه عند أن أى مقطع تكون مجموع طاقة الدفع + طاقة الحركة + طاقة الوضع = مقدار ثابت.

وفى حالة ما إذا كانت الأنبوبه التى يسرى فيها السائل فى وضع أفقى فإن $h_1 = h_2$ وبالتالى تصبح معادله برنولى على الصورة

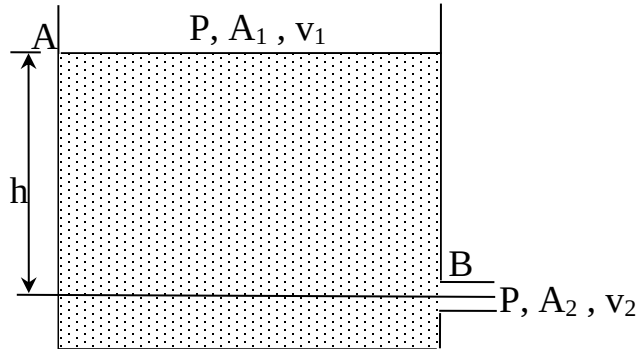
$$\frac{1}{2}v^2 + \frac{P}{\rho} = \text{constant}$$

تطبيقات على معادلة برنولى:

١. إيجاد سرعة إنسياب سائل من فتحة جانبيه أسفل مستودع

نفرض أن لدينا مستودعا مملوءا بسائل خال من الإحتكاك وفى أسفل الإناء توجد فتحة جانبيه على عمق h من سطح السائل كما هو مبين فى شكل (٦). والمطلوب إيجاد سرعة إنسياب السائل من الفتحة الجانبية.

ولإيجاد ذلك نطبق معادلة برنولى ونأخذ المقطعين المستعرضين عند A مماس للسطح الحر للسائل فى اعلى الإناء وعلى إرتفاع h من المستوى الأفقى المار بالفتحة، وكذلك عند B عموديا على الفتحة، ونفرض أن A_1, A_2 هما مساحة كل من المقطعين عند A, B على الترتيب وأن سرعة السائل عند A, B هي v_1, v_2 على الترتيب.



شكل (٦): رسم توضيحي لإنسياب سائل من فتحة فى مستودع

الطاقة الكلية عند A تساوى

$$mgh + \frac{1}{2}mv_1^2 + P_{atm} \frac{m}{\rho}$$

والطاقة الكلية عند B تساوى

$$\frac{1}{2}mv_2^2 + P_{atm} \frac{m}{\rho}$$

وبمساواة الطاقة الكليه نجد ان

$$mgh + \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}mv_2^2$$

و من معادلة الاستمرارية نجد ان

$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

بالتعويض عن v_1 نجد أن

$$mgh + \frac{1}{2}mv_2^2 \frac{A_2^2}{A_1^2} = \frac{1}{2}mv_2^2$$

وبالتالى

$$v_2^2 = \frac{2ghA_1^2}{A_1^2 - A_2^2}$$

وحيث أن A_2 صغيره جدا بالنسبه لـ A_1 وبالتالي يمكن إهمالها وبالتالي تصبح المعادلة على الصورة

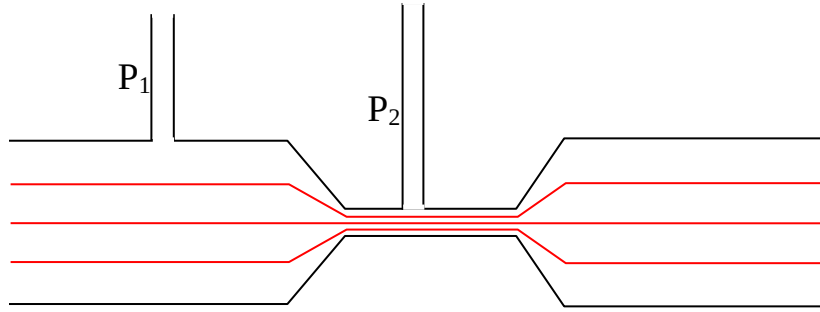
$$v_2 = \sqrt{2gh}$$

أى أن سرعة خروج السائل تتناسب مع جذر إرتفاع عمود السائل فوقه. ولكن لا يتأتى لأى سائل أن يكتسب هذه السرعة لأننا أهملنا لزوجة السائل كما أن خطوط مجرى الأنسياب تضيق عند الفتحة ولا تكون متوازيه مما يؤثر على قيمة السرعة.

٢. الأنبوب ذات الإختناق (مقياس فينتورى):

تحتاج شركات المياه والغاز إلى قياس إستهلاك المشتركين وكذلك تتطلب بعض التجارب العملية قياس معدل سريان سائل أو غاز وتزودنا نظرية برنولى بوسيلة لقياس السريان وذلك بتحويل قياس الكميات من السوائل والغازات إلى قياس الضغوط.

ولإجراء ذلك ندخل فى دوائر الأنابيب التى تحمل السائل أنبوبة أفقية ذات اختناق ويقاس الضغط عند الإختناق وفى الأنبوب الرئيسيه بالقرب من الإختناق. وتستخدم لذلك مقياسان للضغط يركبان بصفه مستمره على أنه يلاحظ أن ينتهى الإختناق بوصله مخروطيه تتصل بباقى الدائره وذلك لتجنب حدوث اضطراب فى حركة السائل أو الغاز الأمر الذى يتعذر معه تطبيق نظرية برنولى إذ تتطلب هذه النظرية انسياب منتظم عند أى مقطع ونجد فى شكل (٧) رسماً توضيحياً لهذه الطريقه.



شكل (٧): مقياس فينتورى

نفترض أن ضغط السائل وسرعه قبل الإختناق هى P_1, v_1 وعند الإختناق هى P_2, v_2 ، وأن مساحة المقطع قبل الإختناق A_1 وعنده A_2 ، ثم نطبق نظرية برنولى علماً بأن المقطعين فى مستوى أفقى واحد.

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{mP_1}{\rho} = \frac{1}{2}mv_2^2 + \frac{mP_2}{\rho}$$

$$\frac{1}{2}(v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{\rho}(P_1 - P_2)$$

ولكن من معادلة الاستمرارية

$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

$$v_2 = v_1 \frac{A_1}{A_2} \text{ بالتعويض عن}$$

$$\frac{1}{2} v_1^2 \left(\frac{A_1^2}{A_2^2} - 1 \right) = \frac{1}{\rho} (P_1 - P_2)$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho \left(\frac{A_1^2}{A_2^2} - 1 \right)}}$$

وبما أن حجم السائل في الثانيه $R = v_1 A_1$

$$R = v_1 A_1 = A_1 \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho \left(\frac{A_1^2}{A_2^2} - 1 \right)}}$$

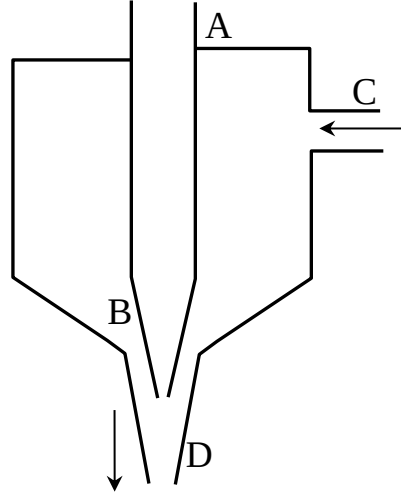
ومن ذلك نجد أننا يمكننا قياس معدل سريان السائل أو الغاز بقياس الضغوط ومعرفة مساحة مقطع الاختناق ومساحة مقطع الأنبوبه الرئيسيه وتعرف هذه الطريقه بمقياس فنطوري.

٣. مضخة التفريغ المائيه

تتوقف الفكره الرئيسيه فى مضخة التفريغ المائيه التى تستخدم فى المعامل الكيميائيه للإسراع من الترشيح على تغير الضغط عند أى مقطع بتغير سرعة السائل.

وتتركب المضخه كما فى شكل (٨) من أنبوبه AB حيث مساحة المقطع عند B صغيره جداً، والأنبوبه AB مغلفه بأنبوبه مقفله ذات فتحتين عند كل من C, D. يندفع الماء الأتى من الصنبور خلال الفتحة A ثم ينحدر إلى الفتحة الضيقه B، وبذلك تكون سرعته عند B كبيره ويكون الضغط منخفضاً. فلتفريغ

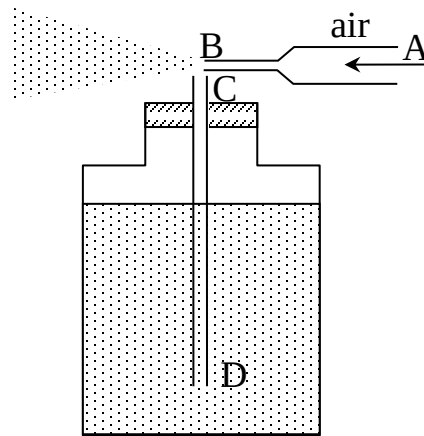
أى وعاء أو ترشيح أى محلول نصل الوعاء بالأنبوبة C فيندفع الهواء من الوعاء المراد تفريغه إلى منطقة الضغط المنخفض حول B ثم ينتشر مع الماء إلى المخرج D.



شكل (٨): صورة مضخة التفريغ المائية

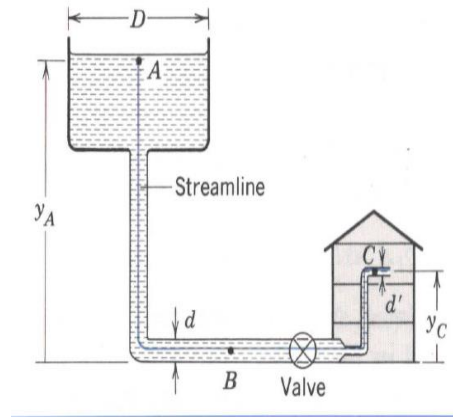
٤. البخاخ (الرزاز) sprayer or atomizer

إذا نفخ هواء فى الأنبوبه AB كما هو مبين فى شكل (٩) عند A والتي مقطعتها عند B صغير، فإن سرعة الهواء عند B تكون كبيره ويكون الضغط منخفضا، وعلى ذلك يرتفع السائل فى الأنبوبه CD ويتناثر عند المنطقه BC على شكل رذاذ.



شكل (٩) : صورة توضيحية لعمل الرزاز

مثال (٢):



خزان مياه على شكل اسطواني قطره 3m،
 وأعلى نقطه على ارتفاع 32m، يغذي احد
 المنازل بالمياه بمعدل تدفق $R=0.0025 \text{ m}^3/\text{s}$
 عبر انبويه افقيه قطرها 2.54 cm، كما في
 الشكل، احسب الضغط الواقع على الانبويه
 الافقيه عند نقطة B.

الحل:

من معادلة برنولي

$$gh_1 + \frac{1}{2}v_1^2 + \frac{P_1}{\rho} = gh_2 + \frac{1}{2}v_2^2 + \frac{P_2}{\rho}$$

من المسأله نجد ان:

$$y_1 = h = 32\text{m}, y_2 = 0,$$

$$P_1 = P_o = \text{atmospheric pressure and } P_2 = P_B, \text{ and}$$

$$v_1 = v_A, v_2 = v_B$$

ومن معادلة الاستمرارية

$$A_A v_A = A_B v_B = R = 0.0025 \text{ m}^3/\text{s}$$

بالتعويض في معادلة الاستمراريه يمكن حساب السرعات كالآتي:

$$v_A = \frac{R}{A_A} = \frac{0.0025 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi(1.5\text{m})^2} = 3.5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$v_B = \frac{R}{A_B} = \frac{0.0025 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi(0.0127\text{m})^2} = 4.9 \text{ m/s}$$

ويمكن كتابة الضغط عند B من معادلة برنولي على الصورة

$$P_B = P_o + \frac{1}{2}\rho(v_A^2 - v_B^2) + \rho gh \approx P_o + \rho gh - \frac{1}{2}\rho v_B^2$$

$$P_B = 1.01 \times 10^5 Pa + (10^3 kg/m^3)(9.8 m/s^2)(32 m) - \frac{1}{2}(10^3 kg/m^3)(4.9 m/s)^2$$

$$P_B = 4.03 \times 10^5 Pa$$

اللزوجة Viscosity

من السهل أن نفرق بالبداية بين المادة الصلبة، والمادة المائعة. ونستطيع أن نقول أن المادة الصلبة يمكنها أن تحتفظ بكيانها وشكلها بنفسها دون أى سند خارجي. أما المائع فلا يستطيع أن يحافظ على كيانه أو شكله من تلقاء نفسه، بل لابد من إناء يحتويه ليمنعه من أن يفيض. أى لا بد من سند عرضي يحفظ كيانها.

وخاصية السائل التي تقاوم ميله للفيضان تسمى "لزوجة السائل" ونستطيع أن نقول بوجه عام، أن المائع الذي لا يستطيع أن يفيض بسرعة يكون لزجا. غير أننا نستطيع أن نعتبر المواد المائعة على نوعين:

النوع الأول، مواد مائعة ذات لزوجة صغيرة، مثل الغازات والأثير والماء والزئبق. ومعامل اللزوجة فيها يختلف باختلاف المادة نفسها.

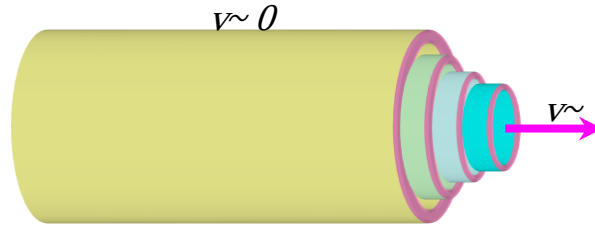
و النوع الثاني، مواد ذات لزوجة كبيرة، كزيت الخروع والقار والعسل.

المعنى الفيزيائي لخاصية اللزوجة في السوائل

لكي نقرب إلى الأذهان المعنى الفيزيائي لخاصية اللزوجة في السوائل، نفرض أن سائلا يفيض ببطء "بدون اضطراب"، في أنبوبة ضيقة منتظمة المقطع ثم نتصور أنه مكون من "قشور إسطوانية" منتظمة السمك، وذات محور مشترك، هو المحور الأصلي للأنبوبة الضيقة.

ولو أخذنا في الاعتبار السرعة التي تتحرك بها هذه الطبقات في فيضانها لوجدنا أن سرعة الطبقة عند محور الأنبوبة تكون أقصى ما يمكن ، بينما تكاد تكون سرعة الطبقات الملاصقة لجدران الأنبوبة تساوى صفرا. وهكذا تتغير سرعة هذه الطبقات على الترتيب، من أقصى سرعة عند محور الأنبوبة، إلى أن تنعدم تماما عند سطح جدران الأنبوبة.

ومعنى ذلك أن طبقات السائل المتحرك سوف يكون بينها "سرعة نسبية"، بشرط أن يكون فيضان السائل "بطيئا" وبدون أن يحدث له "اضطراب" كما هو موضح بشكل (١٠).



شكل (١٠) إنسياب سائل لزج داخل إنبونه

من السهل أن نرى أنه لابد من أن تكون هناك قوة معاوقة أو مقاومة معينة، تعمل على إيجاد فرق بين سرعة الطبقات المختلفة، وذلك لكي تكون هناك "سرعة نسبية" ثابتة بين هاتين الطبقتين.

وبهذا يمكن القول بأن اللزوجة هي الخاصية التي تتسبب في إيجاد مقاومة بين طبقات السائل، بحيث ينتج عنها "سرعة نسبية" بين تلك الطبقات. ولزوجة السائل أشبه بقوة "احتكاك" بين طبقاته المختلفة، تؤثر في اتجاه يصاد حركة السائل، وتعمل على إيجاد سرعة نسبية بين طبقاته المتحركة. هذا هو المعنى الفيزيائي لخاصية اللزوجة في السائل في أبسط تصوير له.

نفرض أن سائلا يتحرك على مستوى أفقي ونفرض أن السائل يتكون من طبقات بعضها فوق بعض تتحرك بسرعات مختلفة تحت تأثير قوة مماسية تعمل على تحريك السائل (شكل ١١). نفرض أن المكعب ABCD هو مكعب داخل السائل قبل البدء في الحركة وأن شكله قد تغير إلى الوضع A'B'C'D' أثناء حركة السائل. من البديهي أن يتوقف مقدار إنبعاج شكل المكعب على قوة الاحتكاك F بين طبقات السائل المختلفة. ومن البديهي أيضا أن تتناسب هذه القوة مع مساحة سطح الطبقات التي تتواجد بينها قوة الاحتكاك.

ومن السهل أن نثبت أن قوة الاحتكاك F التي ينشأ عنها خاصية اللزوجة في السوائل، بين طبقتين معينتين، تتوقف على العاملين الآتيين:-

(١) **المساحة المشتركة A** بين سطحي الطبقتين المتجاورتين، اللتين تنشأ بينهما هذه المقاومة.

(٢) **مدرج السرعة $\Delta v / \Delta y$** بين هاتين الطبقتين، أي معدل تغير السرعة بالنسبة للمسافة الرأسية بين الطبقتين،

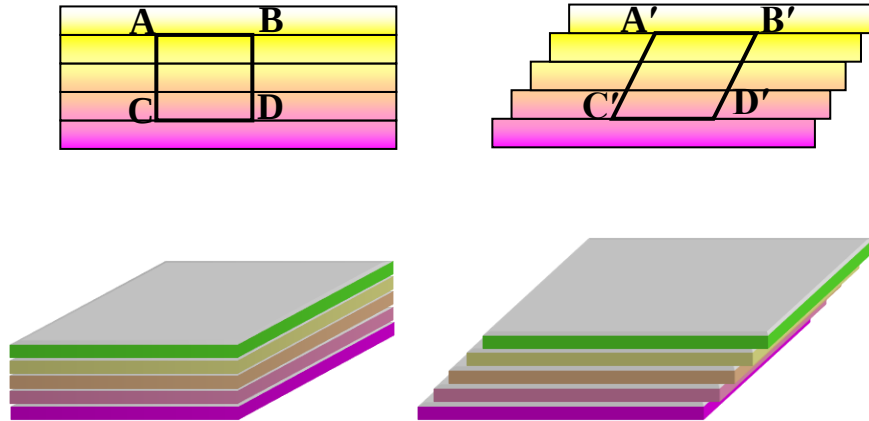
ويمكن التعبير عن علاقة هذين العاملين، بهذه القوة التى تعمل على إيجاد سرعة نسبية بين الطبقتين من السائل، بالصورة الرياضية التالية:

$$F \propto A \frac{\Delta v}{\Delta y}$$

أو

$$F = \eta A \frac{\Delta v}{\Delta y}$$

حيث (η) ثابت يتوقف على طبيعة السائل اللزج ويسمى معامل اللزوجة للسائل، ويقاس معامل اللزوجة بقوة الاحتكاك بين طبقتين من طبقات السائل، مساحة كل منها المشتركة تساوى الوحدة، وفرق السرعة بينهما تساوى الوحدة، والمسافة بينهم الوحدة.



شكل (١١) تمثيل حركة السائل كطبقات تنزلق فوق بعضها.

أبعاد معامل اللزوجة

من العلاقة السابقة لمعامل اللزوجة يمكن أن نستنتج ابعاد معامل اللزوجة كالاتى:-

$$\eta = \frac{F}{A} \frac{\Delta y}{\Delta v}$$

$$[\eta] = \frac{[F]}{[A]} \frac{[\Delta y]}{[\Delta v]} = \frac{MLT^{-2}}{L^2} \frac{L}{LT^{-1}} = ML^{-1}T^{-1}$$

وإذا عوضنا عن الكتلة بالجرام، والطول باسم، والزمن بالثانية فستكون وحدة معامل اللزوجة تساوي $g \cdot cm^{-1} \cdot s^{-1}$ ، وهذه الوحدة يطلق عليها بواز تخليدا للعالم والطبي الفرنسي جان لويس ماري بوازوي والذي عمل على تدفق السوائل (الدم) خلال شرايين القلب في ١٨٢٨. والبواز يكافئ

$$1 \text{ poise} = dyne \cdot s/cm^2 = 0.1 \text{ N} \cdot s/m^2$$

حيث وحدة معامل اللزوجة بالنظام الدولي هي $N \cdot s/m^2$ ، الجدول التالي يعطي معامل اللزوجة لبعض السوائل.

Fluid	η (N · s/m ²)
Glycerine (20°C)	1.5
Motor oil ^a (0°C)	0.11
Motor oil ^a (20°C)	0.03
Blood (37°C)	4.0×10^{-3}
Water (20°C)	1.0×10^{-3}
Water (90°C)	0.32×10^{-3}
Gasoline (20°C)	2.9×10^{-4}
Air (20°C)	1.8×10^{-5}
CO ₂ (20°C)	1.5×10^{-5}

Solved problems تمارين محلولة

١	ماء يتدفق خلال انبويه قطرها 1 cm بسرعة 1m/s، ويخرج منها بسرعة 21m/s، احسب قطر الانبويه عند الخروج.	
A	0.1 cm	B
C	0.2 cm	D

٢	أى من العلاقات الآتية تمثل معادلة الاستمرارية	
A	$A_1 v_2 = A_2 v_2$	B
C	$A_1 v_1 = A_1 v_2$	D

٣	إذا كان انسياب السائل بحيث ان كل من سرعة الجزيئات والضغط والكثافة، فإن الانسياب	
A	منتظم	B
C	عشوائي	D

٤	تأثير قوة الاحتكاك بين طبقات السائل المتدفق تعرف بخاصية	
A	الاحتكاك	B
C	الشد السطحي	D

٥	الوحدة الدولية لمعامل اللزوجة هي	
A	البواز	B
C	$\text{gm.cm}^{-1}\text{s}^{-1}$	D

واجبات وأنشطة Homework and Activities

أولاً: التقارير

مطلوب من كل طالب عمل تقرير واحد عن احدى النقاط التالية:

- سريان السوائل.
- معادلة الاستمرارية.
- معادلة برنولي وتطبيقاتها.
- لزوجة السوائل.

ثانياً: الخرائط الذهنية

مطلوب من كل طالب تصميم خريطة ذهنية واحدة في احدى النقاط التالية:

- سريان السوائل.
- معادلة الاستمرارية.
- معادلة برنولي وتطبيقاتها.
- لزوجة السوائل.

ثالثاً: بعض الأنشطة الأخرى

قد يتم تكليف الطالب ببعض الواجبات الأخرى على حسب الاستاذ.

رابعاً: ملف الإنجاز

كل طالب مكلف باعداد ملف الانجاز الخاص به، وهو عبارة عن ملف مكتوب عليه اسم الطالب، ورقمه الجامعي، ورقم الشعبة، واسم الاستاذ، والعام الجامعي، ويحتوى على نسخة من كل ما يكلف به الطالب من أنشطة وواجبات. ويسلم ملف الانجاز الى الاستاذ فى نهاية الفصل الدراسي، او على حسب ما يقرر الاستاذ، ويمكن للاستاذ الاطلاع على الملف فى اى وقت.

خامساً: اجب عن الاسئلة الآتية:

- ١- يتدفق ماء عبر خرطوم مطافي قطره 9.6 cm بسرعة 1.3 m/s، وفي نهائية الخرطوم فإن الماء يخرج من فتحة قطرها 2.5 cm، احسب سرعة الماء الخارج من الخرطوم
- ٢- فى المثال السابق احسب معدل التدفق الحجمي للماء.

٣- في المثال السابق، اذا كان الضغط داخل الخرطوم يساوى 350 kPa، احسب الضغط عند فتحة الخروج.

٤- انبويه قطرها 34.5 cm، تحمل ماء يتحرك بسرعة 2.62 m/s، احسب الزمن اللازم لملئ خزان سعته 1600 m^3 .

الباب الثامن

الحرارة والديناميكا الحرارية Heat and thermodynamic

مقدمة

يتناول هذا الباب القوانين العامة للحرارة والديناميكا الحرارية، فيشمل مفهوم درجة الحرارة وطرق قياسها، وكذلك مفاهيم كمية الحرارة والطاقة الحرارية وطرق تقديرها، ويشمل انتقال الحرارة من وسط لآخر، وأخيرا سنتناول بعض المفاهيم الخاصة بتأثير الحرارة على تمدد الأجسام.

درجة الحرارة و الترمومترات Temperature and Thermometer

درجة الحرارة هي من الكميات الأساسية والتي تعتبر مقياس لسخونة أو برودة الجسم. وتحدد درجة حرارة جسم ما المستوى الحراري له، وتختلف إختلافا بينا عن كمية الحرارة المخزونه به، والتي يحددها كمية الطاقة الميكانيكية المصاحبة لحركة الجزيئات التي يتكون منها الجسم. فإذا أعطينا كمية معينة من الحرارة إلي كتلتين مختلفتين من نفس المادة فإننا نجد أن إحساسنا بسخونة الجسم الصغير أكبر منه للجسم الكبير. و تسمى الأجهزة المستخدمة لقياس درجة الحرارة بالترمومترات. و هذه الأجهزة كثيرة و متنوعة.

مقاييس درجة الحرارة Temperature scale

و مقاييس درجة الحرارة نوعان:

ب - مقياس مطلق

ا - مقياس نسبي

ا - المقياس النسبي

المقياس النسبي كالمقياس المئوي (سيلزيوس) أو المقياس الفهرنهايتي، ويعتمدان على الماء كمادة أساسية حيث تأخذ نقطتا تجمد و غليان الماء كدرجتين قياسيتين، ثم يقسم التغير في أى من الخواص الطبيعية المصاحبة للتغير بين الدرجتين إلى عدد من الأقسام يسمى كل قسم منها درجة، كما في شكل (١).

المقياس المئوي	Celsius scale Fahrenheit scale الشكل (١)	المقياس الفهرنهايتي
عدد الأقسام		عدد الأقسام
100 درجة سليزيوس		180 درجة فهرنهايت
نقطة تجمد الماء عند		نقطة تجمد الماء عند
0°C		32°F
نقطة غليان الماء عند		نقطة غليان الماء عند
100°C		212°F

المقياس المئوي (السليزيوس) يقسم الى ١٠٠ درجة في حين ان مقياس فهرنهايت يقسم الى ١٨٠ درجة بين نقطتي تجمد وغليان الماء، وعلى ذلك فإن

$$100^{\circ}\text{C} = 180^{\circ}\text{F}$$

أى ان الدرجة الواحدة على المقياس المئوي تساوي

$$1^{\circ}\text{C} = \left(\frac{180}{100}\right)^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5}^{\circ}\text{F}$$

ولتحويل الدرجة المئوية الى درجة فهرنهايت او العكس فإننا نستخدم العلاقة التالية:

$$\frac{T (^{\circ}\text{C}) - 0}{100} = \frac{T (^{\circ}\text{F}) - 32}{180}$$

$$\therefore T (^{\circ}\text{C}) = \frac{5}{9}(T (^{\circ}\text{F}) - 32)$$



Anders Celsius (27 November 1701 – 25 April 1744) was a Swedish astronomer. He was professor of astronomy at Uppsala University from 1730 to 1744,



Daniel Gabriel Fahrenheit (24 May 1686 – 16 September 1736) was a Dutch-German-Polish, physicist, engineer, and glass blower who is best known for inventing the alcohol thermometer (1709) and the mercury thermometer (1714).

ب -المقياس المطلق

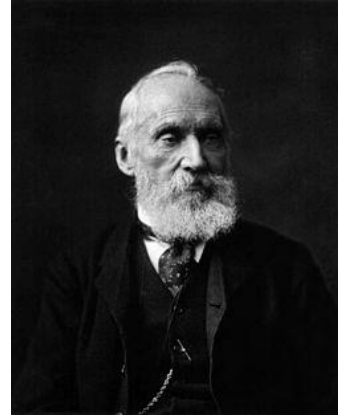
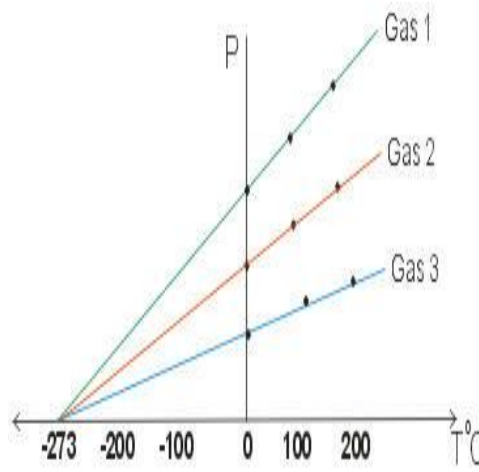
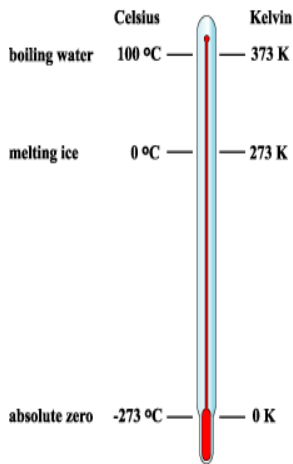
ويرجع هذا المقياس إلي العالم كلفن حيث قام بدراسة العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة، وذلك لأكثر من غاز ووجد أن جميع الغازات يقل ضغطها بنقصان درجة الحرارة وأن الضغط يصبح صفر نظريا (أى عند مد المنحنيات كما في الشكل على استقامتها – كما هو واضح من الشكل (٢)) عند درجة حرارة قدرها -273.15°C . وقد تم اعتبار هذه الدرجة هي الصفر المطلق وانها لا تتغير بتغير نوع الغاز وعليه اعتبر العالم كلفن نقطة تلاشى الضغط للغازات (عند -273.15°C) بأنها نقطة مرجعية لتدريج جديد لا يعتمد على نوع المادة المستخدمه مثل الماء فى تصميم التدريج وسمى هذا التدريج بالتدريج المطلق.

ويطلق على وحدة درجة الحرارة على هذا المقياس كلفن (K). وان قيمة درجة الحرارة الواحدة بالكلفن تساوي قيمة درجة الحرارة المئوية. ومن الجدير بالذكر أن نقطة تجمد الماء على هذا التدريج هي 273.15 K ، ونقطة غليان الماء هي 373.15 K .

وعليه فإن العلاقة بين التدريج المئوى والتدريج المطلق هي:

$$\frac{T(^{\circ}\text{C}) - 0}{100} = \frac{T(\text{K}) - 273.15}{100}$$

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273.15$$



William Thomson, 1st Baron Kelvin (26 June 1824 – 17 December 1907) was a mathematical physicist and engineer. At the University of Glasgow.

الشكل (٢): علاقة ضغط الغاز مع الحرارة

أنواع الترمومترات

الترمومترات هي أجهزة تستخدم لقياس درجة الحرارة، وتعتمد فكرتها على وجود خاصية للمادة يمكن قياسها، هذه الخاصية تتغير خطياً مع درجة الحرارة، ومن أمثلة الخواص التي تتغير مع درجة الحرارة، التمدد الحجمي للأجسام، تغير ضغط الغاز مع درجة الحرارة، تغير المقاومة الكهربائية مع درجة الحرارة، تغير شدة الإشعاع الصادر من الجسم الساخن مع درجة الحرارة، وهكذا، وسنركز في دراستنا هنا على نوعين من الترمومترات، وهي :

١. الترمومتر الزئبقي

٢. ترمومتر الإزدواج الحراري

الترمومتر الزئبقي Mercury thermometer

وهو يتكون من مستودع زجاجي رقيق مملوء بالزئبق ويتصل بأنبوبة شعريه دقيقة المقطع و مقفلة من طرفها العلوى .عندما ترتفع درجة حرارة الترمومتر يتمدد الزئبق فى المستودع فيرتفع شريط منه فى الأنبوبة الشعرية .و لمعايرة الترمومتر يوضع المستودع فى جليد مجروش فى درجة الصفر المئوى ثم فى ماء يغلى، ويتحدد ارتفاع شريط الزئبق فى الأنبوبة فى كل من الحالتين ثم تقسم المسافة بينهما إلى مائة قسم يعادل كل منها درجة مئوية.

ويستخدم الزئبق كمادة ترمومترية لما يتميز به من صفات إذ يغلى فى درجة 257.7°C ، ويتجمد عن درجة 38.9°C -، ومعامل تمدده الحجمى $18 \times 10^{-5} / ^{\circ}\text{C}$ ، مما يسهل قياس التغير فى حجمه برفع درجة حرارته.

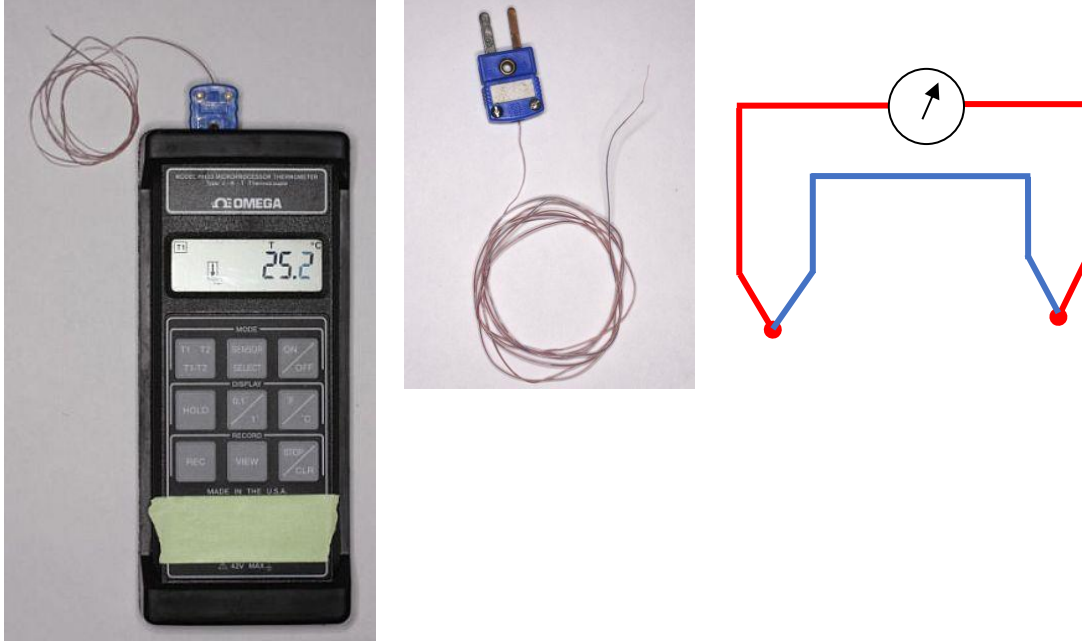


الشكل (٣) اشكال للترمومتر الزئبقي

ترموتر الإزدواج الحرارى Thermocouple

و فكرة هذا الترمومتر أنه حينما يتصل فلزان مختلفان كالحديد والنحاس مثلا ليكونا إزدواج حرارى كما بالشكل (٤)، فتتولد قوة دافعة كهربية عندما ترتفع درجة حرارة إحدى الوصلتين بالنسبة للأخرى وتتوقف قيمة فرق الجهد الناشئ على فرق درجات الحرارة بين الوصلتين. عند وضع الوصلة الباردة فى جليد مجروش لحفظ درجة الحرارة عند الصفر المئوى، وبوضع الوصلة الأخرى فى أى وسط ساخن ينحرف الجلفانومتر انحرافا يتناسب طرديا مع درجة الحرارة المئوية للوصلة الساخنة. ويمكن هنا معايرة مقياس الجلفانومتر ليعطى درجة الحرارة مباشرة وذلك بوضع الوصلة الساخنة فى ماء

يغلى حرارته ١٠٠ درجة مئوية وينقسم مقدار الانحراف إلى مائة قسم، كل قسم منها يعبر عن درجة مئوية.



الشكل (٤) : ترمومتر الإزدواج الحرارى

مثال (١):

درجة حرارة جسم ما هي 50°F احسب درجة حرارته على كل من المقياس المئوي وعلى المقياس المطلق.

الحل :

اولا :على المقياس المئوي من المعادلة

$$T (^{\circ}\text{C}) = \frac{5}{9}(T (^{\circ}\text{F}) - 32)$$

$$T = \frac{5}{9}(50 - 32) = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

ثانيا :على المقياس المطلق:

$$T \text{ (K)} = T(^{\circ}\text{C}) + 273 = 10 + 273 = 274 \text{ K}$$

مثال (٢):

تم تسخين وعاء به ماء من ٢٥ درجة مئوية الى ٨٠ درجة مئوية احسب التغير فى درجة الحرارة على المقياسين المطلق والفهرنهايتى.

الحل:

التغير على التدريج المئوى يساوى

$$\Delta T = 80 - 25 = 55 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

التغير على التدريج المطلق

$$\Delta T = T_2 - T_1 = (80 + 273) - (25 + 273) = 55 \text{ K}$$

التغير على التدريج الفهرنهايتى

$$\Delta T = T_2 - T_1 = \left(\frac{9}{5}80 + 32\right) - \left(\frac{9}{5}25 + 32\right) = 99^{\circ}\text{F}$$

الحرارة والطاقة

عندما تتناسب الحرارة إلى داخل جسم أو تخرج منه يمكن أن تحدث تغييرات في ذلك الجسم بثلاث طرق. فالحرارة يمكن أن تسبب تغييرات في

١ - درجة حرارة الجسم،

٢ - أبعاد الجسم (طول، مساحة، حجم)

٣ - حالة المادة.

التغيرات في درجة الحرارة تُعتبر من أكثر الآثار المترتبة على انسياب الحرارة شيوعًا. وهذا يجعلنا نتعرض لدراسة بعض المفاهيم الخاصة بتغير درجة الحرارة مثل السعة الحرارية و السعة الحرارية النوعية (وهي ما يطلق عليها الحرارة النوعية)، أما التغير في ابعاد الجسم يقودنا الى دراسة التمدد الحرارى الطولى و التمدد الحرارى الحجمى. أما التغير في حالة المادة هذا يقود إلى دراسة الحرارة الكامنة للإصهار والتبخر.

ولا بد هنا أن نسأل هذا السؤال، ما الفرق بين درجة الحرارة و كمية الحرارة ؟

درجة الحرارة : هي مقياس سخونة أو البرودة للجسم، و هي مقياس لمتوسط الطاقة الحرارية للجزيئات في المادة.

كمية الحرارة : هي مقدار الطاقة الحرارية الكلية للمادة أو هي المحتوى الحرارى للمادة.

وحدات كمية الحرارة:

لأن الحرارة نوع من انواع الطاقة فإن كمية الحرارة تقدر بوحدة الطاقة وهي الجول وهي الوحدة الدولية للطاقة. ولكن كان قديما تستخدم وحدة اخرى قبل ان يتم التعرف على ان الحرارة هي نوع من انواع الطاقة، هذه الوحدة تسمى السعر (calorie (cal، وعلاقة السعر بالجول

$$1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$$

كما ان هناك وحدة حرارة بريطانية (النظام الانجليزي للوحدات) (British thermal unit (BTU، وتساوي

$$1 \text{ Btu} = 1055 \text{ J}$$

اما السعر الذي يستخدم للتعبير عن المحتوى الحراري للمأكولات والمستخدم فى التغذية، فهو في حقيقة الامر ١٠٠٠ سعر حراري، ويكتب هكذا

$$1 \text{ Cal} = 1000 \text{ cal} = 4186 \text{ J}$$

السعة الحرارية والحرارة النوعية Heat capacity and specific heat

السعة الحرارية لجسم C : هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الجسم درجة واحدة مئوية. وهي خاصية تعتمد على الجسم نفسه ولا تعتمد على نوع المادة المصنوع منها الجسم.

اذن ، كمية الحرارة Q التي تضاف للجسم تساوي التغير في درجات الحرارة مضروبة في السعة الحرارية. أي ان

$$Q = C \Delta T$$

ووحدة السعة الحرارية بالنظام الدولي هي $J^{\circ}C^{-1}$

الحرارة النوعية للمادة c : هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة اكيلو جرام من المادة درجة واحدة مئوية. وهي خاصية تخص نوع المادة المصنوع منها الجسم.

اذن ، كمية الحرارة Q التي تضاف للمادة تساوي التغير في درجات الحرارة مضروبة في الحرارة النوعية مضروبة في كتلة الجسم. أي ان

$$Q = mc \Delta T$$

ووحدة الحرارة النوعية للمادة بالنظام الدولي هي $Jkg^{-1}^{\circ}C^{-1}$

والعلاقة بين الحرارة النوعية والسعة الحرارية هي

$$C = mc$$

الجدول التالي يعطى الحرارة النوعية لبعض المواد الشائعة.

<i>Substance</i>	<i>Specific Heat Capacity (J/kg · K)</i>
Elemental solids	
Lead	129
Tungsten	135
Silver	236
Copper	387
Carbon	502
Aluminum	900
Other solids	
Brass	380
Granite	790
Glass	840
Ice (− 10 °C)	2220
Liquids	
Mercury	139
Ethyl alcohol	2430
Seawater	3900
Water	4190

Thermal equilibrium الاتزان الحرارى

هي الحالة التى لا يكون فيها تبادل حرارى بين جسمين متصلين حرارياً. نحن نستعمل الترمومترات بشكل روتينى فى حياتنا اليومية. ومع ذلك فإن هناك قانوناً فيزيائياً أساسياً متعلقاً بها ربما لم نلاحظه حتى الآن. فعندما نضع الترمومتر فى حالة تلامس حميم مع جسم ساخن فسرعان ما يصل إلى قراءة مستقرة تسمى درجة حرارة الجسم، ويقال عندئذ أن الجسم والترمومتر فى حالة إتزان حرارى. وتنتقل الحرارة من الجسم الأكثر سخونة إلى الجسم الأكثر برودة. هذه الحقائق معلومة لنا جيداً. ولكن لنتأمل التجربة الهامة الآتية.

في حالة الاتزان الحرارى لجسمين قد حدثاً بينهم تبادل حرارى، فإن كمية الحرارة المكتسبة بواسطة الجسم البارد = كمية الحرارة المفقودة من الجسم الساخن، فإذا كانت كتلة الجسم البارد هي m_1 ، ودرجة حرارته هي T_1 ، والحرارة النوعية لمادته هي c_1 ، وكانت كتلة الجسم الساخن هي m_2 ،

ودرجة حرارته هي T_2 ، والحرارة النوعية لمادته هي c_2 ، وبعد انتقال الحرارة اتزن الجسمان على درجة حرارة واحدة ولتكن T_3 ، فيمكن حساب كمية الحرارة المفقودة من الجسم الساخن ومساوتها بكمية الحرارة المكتسبة بواسطة الجسم البارد لنحصل على

$$m_1 c_1 (T_3 - T_1) = m_2 c_2 (T_2 - T_3)$$

مثال (٣):

ما هي الحرارة اللازمة لتسخين ٢٠ جرام من الماء من ٣٠ درجة مئوية الى ٩٠ درجة مئوية؟، علما بان الحرارة النوعية للماء ١ كالورى/جم.درجة

الحل:

$$Q = mc \Delta T$$

$$= 20 \times 1 \times 60 = 1200 \text{ cal}$$

$$= 1200 \times 4.186 = 5032 \text{ J}$$

مثال (٤):

طفل كتلته ٣٠ كيلوجرام، ودرجة حرارته ٣٩ درجة مئوية. كم هي الحرارة اللازم إزالتها من جسم الطفل لتصبح درجة حرارته ٣٧ درجة مئوية، علما بأن الحرارة النوعية لجسم الانسان هي ٣٤٧٠ جول/كجم.درجة.

الحل:

$$Q = mc \Delta T$$

$$m = 30 \text{ kg} , c = 3470 \text{ j.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1} , \Delta T = (37-39) = -2 \text{ °C}^{-1}$$

$$Q = 30 \times 3470 \times -2 = -2.1 \times 10^5 \text{ J}$$

مثال (٥) :

قطعة من النحاس كتلتها $m_c = 75 \text{ g}$ ، تم تسخينها الى درجة حرارة $T = 312^\circ\text{C}$ ، ثم تم وضعها في كأس به ٢٢٠ جرام ماء، فإذا كانت السعة الحرارية للكأس فارغا تساوي $C_b = 190 \text{ J/K}$ ، وأن درجة الحرارة للكأس المملوء بالماء تساوي $T_i = 12^\circ\text{C}$ ، احسب درجة الحرارة النهائية للخليط بعد وضع قطعه النحاس الساخن في الكأس.

الحل:

$$Q_W = m_W c_W (T_f - T_i) = \text{كمية الحرارة المكتسبة بالماء}$$

$$Q_b = C_b (T_f - T_i) = \text{كمية الحرارة المكتسبة بالكأس}$$

$$Q_c = m_c c_c (T_f - T) = \text{كمية الحرارة المفقودة من النحاس}$$

ومن قانون الاتزان الحراري فيجب ان تتساوى كمية الحرارة المفقودة من النحاس بكمية الحرارة المكتسبة بواسطة كل من الماء والكأس، فنجد ان :

$$Q_c = m_c c_c (T_f - T) = m_W c_W (T_f - T_i) + C_b (T_f - T_i)$$

ويمكن ايجاد درجة الحرارة النهائية بحل المعادلة السابقة لنحصل على

$$T_f = \frac{m_W c_W T_i + C_b T_i + m_c c_c T}{m_W c_W + C_b + m_c c_c} = 19.6^\circ\text{C}$$

ويمكن حساب كمية الحرارة المكتسبة بالماء لنجدها $Q_W = 7010 \text{ J}$

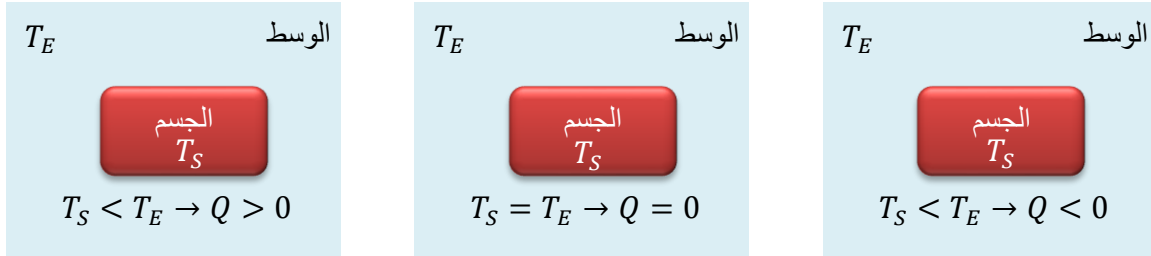
$$Q_b = 1440 \text{ J} = \text{كمية الحرارة المكتسبة بالكأس}$$

$$Q_c = -8450 \text{ J} = \text{كمية الحرارة المفقودة من النحاس}$$

انتقال الحرارة Heat transfer

تنتقل الحرارة تلقائياً من الأجسام ذات درجات الحرارة المرتفعة إلى الأجسام ذات درجات الحرارة الأقل. ويستمر الانتقال حتى تحدث عملية اتزان حرارى بين الجسمين، أى تكون درجة حرارة الجسم الأول هى نفسها درجة حرارة الجسم الثانى . وإذا تم تبادل الحرارة بين جسم والوسط المحيط به، فيجب ان نفرق بين ثلاث حالات، كما فى الشكل (٥)

- ١- اذا كانت درجة حرارة الوسط اكبر من درجة حرارة الجسم ($T_E > T_S$)، ستنقلت الحرارة من الوسط الى الجسم وتصبح كمية الحرارة المكتسبة كمية موجبة ($Q > 0$).
- ٢- اذا كانت درجة حرارة الجسم اكبر من درجة حرارة الوسط ($T_E < T_S$)، ستنقلت الحرارة من الجسم الى الوسط وتصبح كمية الحرارة المفقودة كمية سالبة ($Q < 0$).
- ٣- اذا تساوت درجتى حرارة الجسم والوسط ($T_E = T_S$) ، بالتالى لا يحدث انتقال للحرارة ويبقى التغير فى كمية حرارة الجسم يساوي صفر ($Q = 0$) ، وهذه الحالة هي حالة الاتزان الحراري.



شكل (٥) : انتقال الحرارة بين الجسم والوسط المحيط به، حيث

تتم عملية انتقال الحرارة بين الاجسام بثلاث طرق:

- ١- انتقال الحرارة بالتوصيل conduction
- ٢- انتقال الحرارة بالحمل convection
- ٣- انتقال الحرارة بالاشعاع Radiation

انتقال الحرارة بالتوصيل Conduction

يمكن للحرارة أن تنتقل من وسط إلى آخر بالتوصيل أى عند تلامس الوسطين ويتم انتقال الحرارة بفعل جزيئات الوسط فمن المعروف أن طاقة حركة الجزيئ تتناسب طرديا مع درجة الحرارة ولما كانت جزيئات المادة مترابطة بواسطة قوى كبيره بينها فعند تسخين جزيئ تزداد سعة حركته وينتقل جزء من طاقته للجزيئ المجاور وهكذا، وبالتالي تنتقل طاقة حركة الجزيئات من الجانب الساخن إلى الجانب البارد وتنتشر بذلك الحرارة حتى الوصول إلى حالة الإتزان الحرارى.

وتنتقل الحرارة فى عملية التوصيل بإحدى طريقتين أو بهما معا.

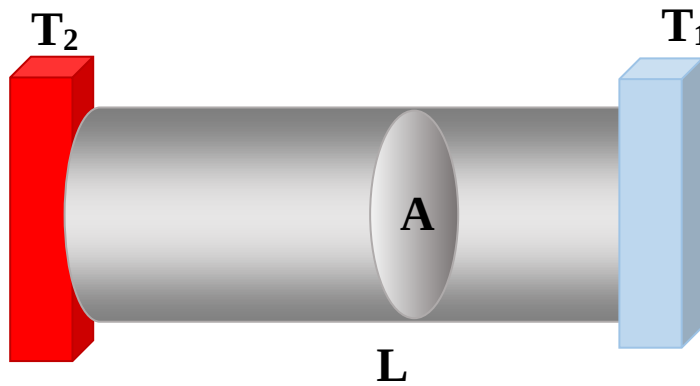
١- بواسطة الإلكترونات الحرة داخل المادة، كما فى الفلزات. وعندما تكتسب هذه الإلكترونات طاقة حرارية تزداد طاقتها الحركية، وتتحرك إلى المناطق ذات درجات الحرارة الأقل وتتصادم بالإلكترونات الموجوده فيها ناقلة إليها جزء من طاقتها الحركية مما يؤدي إلى إرتفاع درجة حرارتها.

٢- بواسطة الجزيئات المكونة للجسم اذ تكتسب الجزيئات الموجوده فى الطرف الساخن طاقة حركية مما يزيد من سعات ذبذبات حول مواقعها، وتتصادم مع جارتها من الجزيئات التى تكتسب بدورها طاقة تنقلها هى الاخرى الى جارتها وهكذا. وعادة المواد ذات توصيل حرارى جيد تكون كذلك ذات توصيل كهربائى جيد.

وعادة الجزء الاكبر فى عملية التوصيل الحرارى فى الفلزات يتم بواسطة الالكترونات الحرة، اما فى المواد العازلة التى لا تحتوى على الكترونات حرة فان التوصيل يتم بواسطة ذبذبات الجزيئات. وعملية التوصيل الحرارى تختلف درجتها حسب نوع المادة : الجوامد - السوائل- الغازات

التوصيل الحرارى خلال قضيب معدنى

لحساب كمية الحرارة المناسبة عبر قضيب معدنى، نفرض أن قضيب معدنى مساحة مقطعة A وان طوله هو L وتم تثبيت من طرفية عند درجتى حرارة T_1 ، T_2 كما بالشكل (٦).



شكل (٦) : التوصيل الحراري عبر قضيب معدني

وعند الاتزان الحراري تنتقل الحرارة بمعدل ثابت (اي كمية الحرارة المنتقلة في الثانية H ووحداتها جول/ثانية) من الطرف الساخن الى الطرف البارد، هذا المعدل يتناسب مع

$$1- \text{طرديا مع مساحة المقطع : } H \propto A$$

$$2- \text{طرديا مع فرق درجات الحرارة : } H \propto (T_2 - T_1)$$

$$3- \text{عكسيا مع طول القضيب : } H \propto \frac{1}{L}$$

أى ان

$$H \propto A \frac{T_2 - T_1}{L}$$

بالتالي

$$H = kA \frac{T_2 - T_1}{L} = kA \frac{\Delta T}{L}$$

حيث k ثابت التناسب يعتمد على نوع المادة ويطلق عليه اسم معامل التوصيل الحراري Thermal conductivity، ويعرف معامل التوصيل الحراري على أنه "كمية الحرارة المنسابة في الثانية الواحدة بين مقطعين المسافة بينهم ١ متر، عبر وحدة المساحة عند وجود فرق في درجة الحرارة بين المقطعين قدرة درجة واحدة".

ووحدة معامل التوصيل الحراري : هي $\text{JS}^{-1}\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$ او $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$

مثال (٦):

باب ثلاجة طوله ١ متر وعرضه ٦٠ سم وسمكه ٤ مم، ودرجة الحرارة خارج الثلاجة ٢٥ درجة مئوية، وداخل الثلاجة صفر درجة مئوية، وكان الباب مصنوع من مادة الأبونيت والتي لها معامل توصيل حراري يساوى 0.0167 W/mK ، احسب كمية الحرارة المفقودة خلال الباب فى الثانية الواحدة، ثم احسب كمية الحرارة المفقودة فى الدقيقة.

الحل:

$$A = 1 \times 0.6 = 0.6 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = T_H - T_C = 25 - 0 = 25$$

$$H = \frac{dQ}{dt} = kA \frac{T_H - T_C}{L}$$

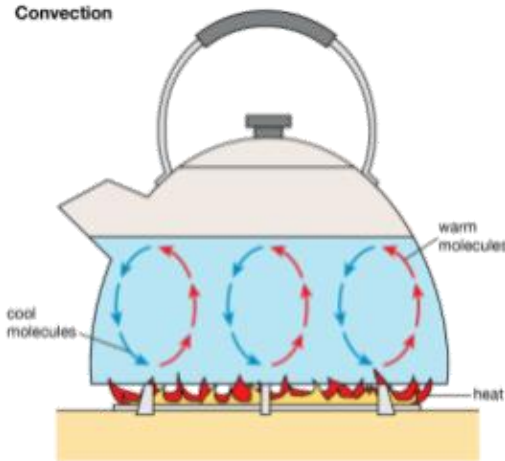
$$= \frac{0.0167 \times 0.6 \times 25}{0.04}$$

$$= 6.28 \text{ J/s.}$$

تلك هي كمية الحرارة المفقودة فى الثانية الواحدة، ولحساب كمية الحرارة المفقودة فى الدقيقة نصرف فى ٦٠، أى ان كمية الحرارة المفقودة فى الدقيقة تساوي

$$= 6.28 \times 60 = 3767.4 \text{ J/min}$$

انتقال الحرارة بالحمل Convection

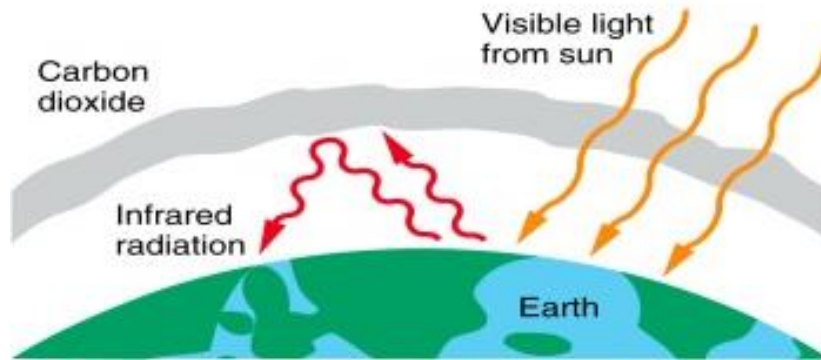


شكل (٧) : التوصيل الحراري بالحمل

في هذه الحالة فإنه يتم توصيل الحرارة بحملها ونقلها مع عنصر ساخن الى عنصر اخر بارد، وهذا النوع من التوصيل يتم فقط في حالة الغازات والسوائل، حيث تقوم الجزيئات بامتصاص الحرارة من جسم ساخن، ثم تتحرك لتنتقلها الى جسم اخر بارد، ولذلك فهي تحمل الحرارة، فمثلا عند تسخين المياه، فإن الجزيئات الملاصقة لمصدر الحرارة تزداد درجة حرارتها وتقل كثافتها لتصعد الى الجزء العلوي، وتستمر هذه العملية ان يسخن كل الماء بالاناء.

انتقال الحرارة بالاشعاع Radiation

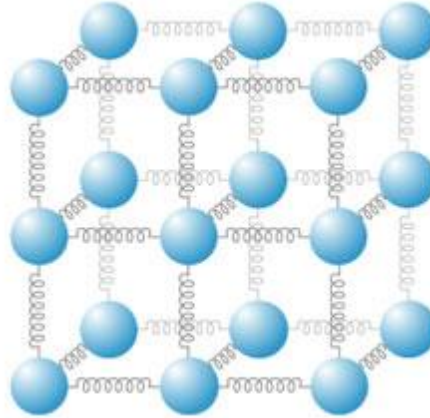
في هذا النوع من التوصيل، فإن الجسم الساخن يشع طاقة حرارية على هيئة موجات كهرومغناطيسية في المنطقة تحت الحمراء، هذه الأشعة تسير بسرعة الضوء في الفراغ لتتصادم بجسم بارد فتنقل اليه الطاقة الحرارية فيسخن الجسم، احد الامثلة على ذلك الاشعاع الحراري الذي يأتي من الشمس.



شكل (٨) : التوصيل الحراري بالاشعاع

التمدد الحرارى للمواد Thermal expansion

عند رفع درجة حرارة جسم تزداد طاقة الحركة جزيئاته و بالتالى تزداد سعة إهتزازاتها ونتيجة لهذه الزيادة فى سعة إهتزاز الجزيئات سوف يزداد متوسط المسافة بين كل جزء والجزيئات المجاورة، اى ان الجسم سيتمدد عند رفع درجة حرارته.

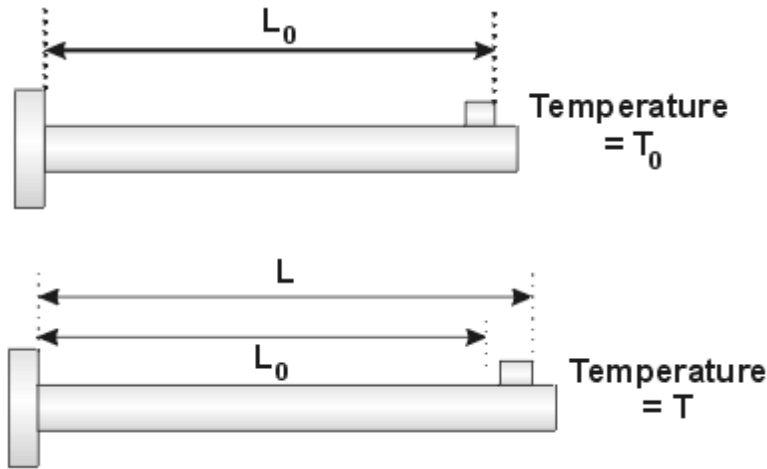


الشكل (٩) : شكل اهتزازة الجسيمات داخل المادة على هيئة زنبركات

هذا التمدد سيحدث فى جميع الاتجاهات بالنسبة للجسم، ولكن اذا كان الجسم على هيئة قضيب طويل، فإن التمدد فى الطول سيكون ملحوظا اكثر، ويمكن اهمال التمدد فى الابعاد الأصغر، وبالتالى نتعامل فى هذه الحالة مع التمدد الطولي، واذا كان الجسم على هيئة شريحة رقيقة فإن التمدد سيظهر فى مساحة الشريحة ويمكن اهمال التمدد الذي يحدث فى سمك الشريحة وبالتالى يكون لدينا تمدد سطحي، ولكن اذا كان لدينا جسم على هيئة قالب فإن التمدد سيحدث فى جميع الاتجاهات وبالتالى نتعامل مع التمدد الحجمي للجسم.

التمدد الطولى

نفترض أن درجة حرارة قضيب طوله L_0 قد تغيرت بمقدار ΔT ، فإذا كانت ΔL تمثل التغير فى طول القضيب فإن التغير النسبى فى الطول سيكون $\Delta L/L_0$ ، كما واضح فى الشكل (١٠).



الشكل (١٠): معامل التمدد الطولى

و قد وجد عمليا - لمعظم الجوامد - أن التغير النسبى فى الطول يتناسب خطيا مع التغير فى درجة الحرارة فى مدى معين من درجات الحرارة و لوصف التمدد الحرارى فى هذه الحالة يمكننا تعريف معامل التمدد الحرارى الطولى (α) للمادة بالمعادلة:

$$\alpha = \frac{\Delta L / L_0}{\Delta T}$$

$$\frac{L - L_0}{L_0} = \alpha \Delta T \quad \text{or}$$

$$L = L_0(1 + \alpha \Delta T)$$

ويعرف معامل التمدد الطولى بأنه الزيادة النسبية فى الطول لكل درجة حرارة، ومن الواضح أن وحدات α هى مقلوب درجة الحرارة $^{\circ}\text{C}^{-1}$. ويمكننا أن نجد القيم النموذجية لمعامل التمدد الطولى لبعض المواد فى الجدول التالى:

التمدد الحجمي:

يعتبر التمدد الحجمي للمادة ظاهرة هامة أيضا، وخاصة في حالة السوائل. وقياسا على الطريقة السابق استخدامها في تعريف معامل التمدد الطولي، يمكن تعريف معامل التمدد الحراري الحجمي γ بأنه التغير النسبي في الحجم نتيجة لتغير درجة الحرارة بمقدار يساوي الوحدة، أي ان

$$\gamma = \frac{\Delta V/V_0}{\Delta T}$$

ومنه نجد مباشرة أن :

$$V = V_0(1 + \gamma\Delta T)$$

وبالمثل، فإن وحدات γ هي وحدات مقلوب درجة الحرارة.

جدول يوضح بعض قيم معامل التمدد الحراري الطولي والحجمي لبعض المواد

المادة	معامل التمدد الطولي $\alpha \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	معامل التمدد الحجمي $\gamma \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
ماس	1.2	3.5
زجاج	-3	-9
حديد صلب	12	36
خرسانه	-10	-30
نحاس اصفر	19	57
المنيوم	25	75
زئبق		182
مطاط	-80	-240
جلسرين		500
كحول		1200
بنزين		1240
أسيتون		1490

مثال (٧):

افترض ان ١٠٠ سم^٣ من البنزين قد سخنت من درجة ٢٠ درجة مئوية الى ٢٥ درجة مئوية، علما بأن معامل التمدد الحجمي للبنزين يساوى $1.24 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ ، احسب التغير في الحجم.

الحل:

طبقا لمعادلة التمدد الحجمي سنجد أن التغير في حجم هذه الكمية من البنزين يساوى

$$\Delta V = (1.24 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}) (100 \text{ cm}^3) (5 ^{\circ}\text{C}) = 0.62 \text{ cm}^3 .$$

وواضح من هذا المثال ان التغير في الحجم يمثل 0.6% من الحجم الاصلى، وهو تغير كبير في كثير من التطبيقات.

تمارين محلولة Solved problems

١	وحدة درجة الحرارة بالنظام الدولي هي:		
A	المئوية	B	الفهرنهايت
C	الكلفن	D	الريومر

٢	ما هو نوع المواد الذي يوصل الحرارة		
A	الثرموميتر	B	المواد الموصلة
C	الاحتكاك	D	المواد العازلة

٣	عند انتقال الحرارة من جسم صلب الى اخر ملاصق له فإن ذلك النوع من الانتقال يسمى		
A	التوصيل الحراري	B	الاشعاع
C	الحمل	D	العزل

٤	اهم الطرق لانتقال الحرارة داخل الغازات		
A	الاشعاع	B	التوصيل الحراري
C	العزل	D	الحمل

٥	الحرارة التي تأتي من الشمس هي مثال لانتقال الحرارة بـ		
A	التوصيل الحراري	B	الاشعاع
C	الحمل	D	العزل

٦	لتحويل درجة الحرارة من المقياس المطلق الى السليزيوس نستخدم العلاقة التالية		
A	K-273	B	K/273
C	K+273	D	K×273

٧	وحدة كمية الحرارة الدولية هي		
A	الوات	B	الجول
C	النيوتن	D	الإرج

٨	وحدة معامل التمدد الحراري الطولي هي		
A	$^{\circ}\text{C}^{-1}$	B	K^{-1}
C	$/^{\circ}\text{C}$	D	كل ما سبق

٩	الاتزان الحراري بين جسمين معزولين يحدث عندما		
A	تتساوى الحرارة النوعية للجسمين	B	تتساوى السعة الحرارية للجسمين
C	تتساوى درجتى حرارة الجسمين	D	تتساوى كتلة كل من الجسمين

واجبات وأنشطة Homework and Activities

أولاً: التقارير

مطلوب من كل طالب عمل تقرير واحد عن احدى النقاط التالية:

- درجات الحرارة (المقاييس و الثرمومترات)
- كمية الحرارة.
- تمدد الاجسام بالحرارة.
- انتقال الحرارة.

ثانياً: الخرائط الذهنية

مطلوب من كل طالب تصميم خريطة ذهنية واحدة في احدى النقاط التالية:

- درجات الحرارة (المقاييس و الثرمومترات)
- كمية الحرارة.
- تمدد الاجسام بالحرارة.
- انتقال الحرارة.

ثالثاً: بعض الأنشطة الأخرى

قد يتم تكليف الطالب ببعض الواجبات الأخرى على حسب الاستاذ.

رابعاً: ملف الإنجاز

كل طالب مكلف باعداد ملف الانجاز الخاص به، وهو عبارة عن ملف مكتوب عليه اسم الطالب، ورقمه الجامعي، ورقم الشعبة، واسم الاستاذ، والعام الجامعي، ويحتوى على نسخة من كل ما يكلف به الطالب من أنشطة وواجبات. ويسلم ملف الانجاز الى الاستاذ فى نهاية الفصل الدراسي، او على حسب ما يقرر الاستاذ، ويمكن للاستاذ الاطلاع على الملف فى اى وقت.

خامساً: اجب عن الاسئلة الآتية:

- ١- حول 520 K ، الى نظيرتها على مقياس سليزيوس
- ٢- حول $520\text{ }^{\circ}\text{F}$ الى نظيرتها على مقياس فهرنهايت.

- ٣- احسب درجة الحرارة التى تتساوى عدديا على مقياسي سليزيوس وفهرنهايت.
- ٤- شريط سكة حديد (شريط قطار) طوله 25 m ودرجة حرارته 20°C ، احسب طول الشريط اذا سخن الى درجة 45°C ، علما بان معامل التمدد الطولي للحديد يساوي $11 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$ ،
- ٥- فى المثال السابق اذا وصلت درجة الحرارة الى -30°C ، احسب مقدار النقصان فى طول الشريط.

الباب التاسع

Geometric Optics الضوء الهندسي

طبيعة الضوء:

أعتقد أفلاطون أن إبصار الأشياء يتم عن طريق خروج النور من العين على الأشياء فيحدث الإبصار. لكن أرسطو (تلميذ أفلاطون) خالفه الرأي، وزعم أن الضوء ليس له وجود في ذاته، وأن الإبصار يتم بانطباع صور الأشياء في العين. استطاع الحسن بن الهيثم أن يضع حدا للخلافات القديمة حول تعريف الضوء وتفسير حاسة الإبصار، حيث أعزى إحساس الرؤية إلى عامل أو مؤثر خارجي أسماه " الضوء ". واستطاع الحسن بن الهيثم من وضع تعريفه للضوء بأنه عبارة عن " حرارة نارية تتألف من أشعة لها أطوال وعروض، تنبعث من الأجسام المضيئة كالشمس والأجسام المتوهجة، وإذا سقطت على جسم كثيف أسخنه، وإذا انعكست من مرآة مقعرة وتجمعت عند نقطة واحدة وكان عندها جسم يقبل الإحترق أحرقتة".



وبحث الحسن ابن الهيثم ظاهرة انعكاس الضوء وقد استطاع أن يضع أساسا نظريا لقانون الانعكاس والذي توصل إليه فلاسفة اليونان والذي ينص على أن

"زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس"

وزاد عليه القانون الآخر الذي ينص على أن

"زاويتي السقوط والانعكاس تقعان في مستوى واحد عمودي على السطح العمودي".

أبو علي الحسن بن الحسن بن الهيثم (٣٥٤ هـ/٩٦٥م-٤٣٠ هـ/١٠٤٠م) عالم موسوعي مسلم قدم إسهامات كبيرة في الرياضيات والبصريات والفيزياء وعلم التشريح وعلم الفلك والهندسة والطب وطب العيون والفلسفة وعلم النفس والإدراك البصري والعلوم بصفة عامة بتجاربه التي أجراها مستخدماً المنهج العلمي.

النظرية الجسيمية لنيوتن: اعتقد نيوتن أن الضوء عبارة عن جسيمات دقيقة متناهية في الصغر تنتشر في الفراغ بسرعات عالية وقد نجحت هذه النظرية في تفسير ظاهرة الإنعكاس والانتشار ولكنها فشلت

فى تفسير ظاهرة الإنكسار حيث افترضت أن سرعة الضوء فى الوسط الأكبر كثافة ضوئية كالماء اكبر منها فى حالة الوسط الأقل كثافة ضوئية كالهواء.

النظرية الموجية لهايجنز:



كريستيان هيجنز Christian Huygens

عالم فلك و جبر و رياضيات هولندي عاش في الفترة من ١٦٢٩ إلى ١٦٩٥ و قد ساهمت أعماله في التحليل إلى اكتشاف الحسيان

افترضت هذه النظرية أن الضوء عبارة عن موجات وأن كل نقطة على صدر الموجة (جبهة الموجة) تعتبر مصدر اضطراب ثانوى. وأنه لا بد من وجود وسط مادي لكي تنتشر من خلاله هذه الموجات وقد أعطى هيجنز مواصفات خاصة لهذا الوسط وسماه الأثير. هذا وقد استطاعت هذه النظرية تفسير ظاهرة الإنكسار حيث اعتبرت أن سرعة الضوء فى الوسط الأكبر كثافة ضوئية كالماء اقل منها فى حالة الوسط الأقل كثافة ضوئية كالهواء. ولكنها فشلت فى إيجاد هذا الأثير كما أنها فشلت فى تفسير ظاهرة الإستقطاب.

النظرية الكهرومغناطيسية لماكسويل:



جيمس كلارك ماكسويل (١٣ يونيو ١٨٣١ - ٥ نوفمبر ١٨٧٩) (بالإنجليزية: James Clerk Maxwell) كان عالم فيزياء بريطاني شهير لما أسهم به من معادلات هامة التي تفسر ظهور الموجات الكهرومغناطيسية.

اعتبرت هذه النظرية أن الضوء عبارة عن موجات كهرومغناطيسية مستعرضة تنتشر فى الفراغ. ومن المعروف أن الموجة الكهرومغناطيسية تتكون من مجالين متعامدين أحدهما المجال الكهربى والآخر هو المجال المغناطيسى وكلاهما متعامد على اتجاه انتشار الموجة، و استطاعت هذه النظرية تفسير ظاهرة الإستقطاب وأهملت وجود الوسط (حيث أن هذه الموجات تنتشر فى الفراغ). ولكن ظهرت حينئذ ظاهرة فيزيائية مهمة لم تستطع هذه النظرية من تفسيرها وهى الظاهرة الكهروضوئية.

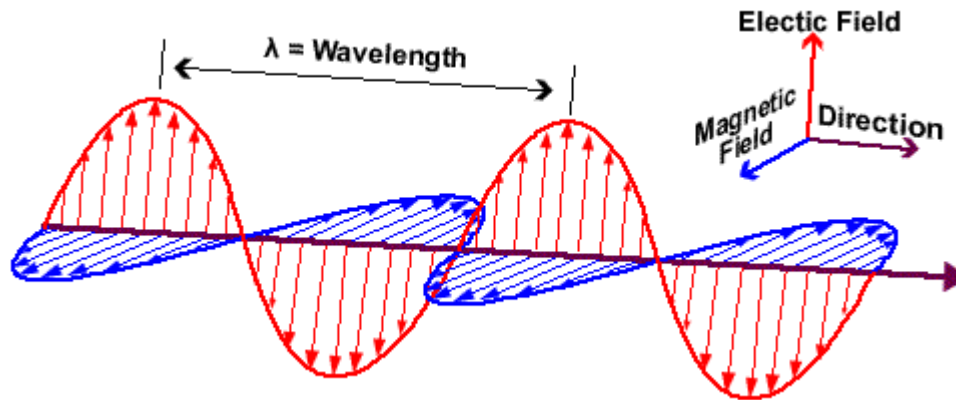
إنشتاين والنظرية الكمية للضوء (١٩٠٥): قد تنجح أى نظرية من النظريات السابقة فى تفسير الظواهر الضوئية المعتمدة على تفاعل الضوء مع الضوء (الحيود والتداخل والإستقطاب) ولكن عند دراسة تفاعل الضوء مع المادة (انبعاث وامتصاص والظاهرة الكهروضوئية) فإنه لا يمكن تفسير مثل هذه الظواهر إلا من خلال الطبيعة الكمية للضوء.



ألبرت أينشتاين
(Albert Einstein)
١٤ مارس ١٨٧٩ -
١٨ أبريل ١٩٥٥،
عالم في الفيزياء النظرية.

حيث افترضت هذه النظرية أن الضوء عبارة عن سيل من الفوتونات (الكلمات) والتي لا كتلة لها وأن طاقة كل فوتون تعطى من العلاقة $E = h\nu$ حيث أن h ثابت بلانك، ν هو التردد لموجة الضوء (له علاقة بالطول الموجى وسرعة الضوء). وقد استطاعت هذه النظرية تفسير ظاهرة انبعاث الإلكترونات من أسطح بعض الفلزات عند سقوط الضوء عليها والتي تسمى الظاهرة الكهروضوئية.

ومن ثم تكون الموجات الضوئية موجات كهرومغناطيسية أى أن هى اضطراب تنتشر بها الطاقة فى الفراغ على شكل مجالين مترددين احدهما مجال كهربى والأخر مجال مغناطيسى فى مستويين يتعامدان على بعضهما كما يتعامدان على اتجاه انتشار الموجة وهى لا تحتاج إلى وسط مادي لى تنتشر بل يمكنها الإنتشار فى الفراغ كما فى شكل (١).



شكل (١) : انتشار الضوء كموجات كهرومغناطيسية

وتتشغل موجات الضوء حيزا صغيرا من الطيف الكهرومغناطيسي والذي ينقسم إلى: الموجات الراديوية، المايكرووف، الأشعة تحت الحمراء، الضوء المرئي، الأشعة فوق البنفسجية، الأشعة السينية، أشعة جاما، كما هو مبين في الشكل (٢).

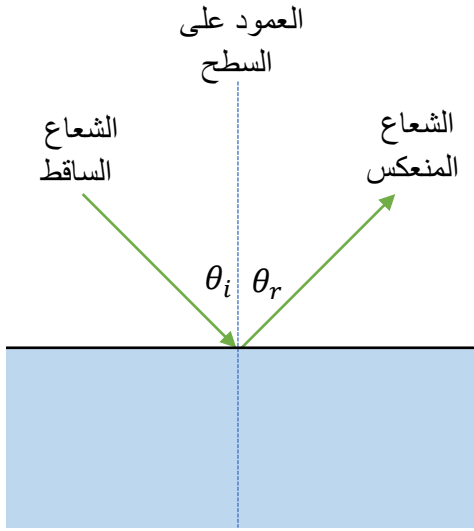


شكل (٢) : الطيف الكهرومغناطيسي

انعكاس الضوء Reflection of light

الانعكاس هو " ارتداد الأشعة الضوئية عندما تقابل سطح عاكس". ويوجد نوعان:

- الانعكاس عند الاسطح المستوية
- الانعكاس عند الاسطح الكرية.

الانعكاس عند سطح مستوي:

عند سقوط شعاع ضوئي على سطح عاكس فإننا نعرف زاوية السقوط (θ_i) على أنها الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المقام على السطح العاكس عند نقطة السقوط. ونعرف زاوية الانعكاس (θ_r) على أنها الزاوية المحصورة بين الشعاع المنعكس والعمود المقام عند نقطة الانعكاس كما في الشكل (٣). وينعكس الضوء من السطح العاكس وفقا للقوانين الآتية:

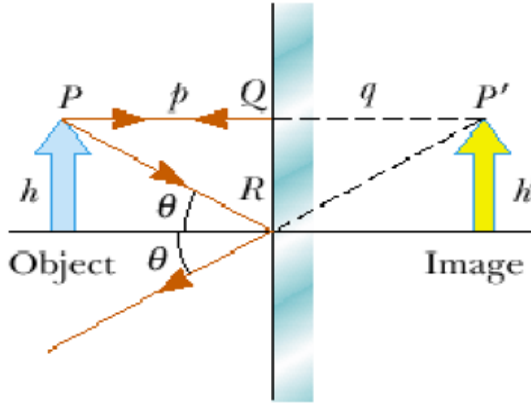
شكل (٣) : انعكاس الضوء عند سطح مستوي

القانون الأول: الزاوية التي يصنعها الشعاع الساقط مع العمود المقام من نقطة السقوط تساوي الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع ذلك العمود، أي أن

$$\text{زاوية السقوط } (\theta_i) = \text{زاوية الانعكاس } (\theta_r)$$

القانون الثاني: الشعاع الساقط والعمود والشعاع المنعكس يقعوا جميعا في مستوى واحد عمودي على السطح الفاص بين الوسطين.

تكون الصورة بواسطة المرآة المستوية



الصورة المتكونة بواسطة المرآة المستوية لها الخصائص التالية: معتدلة، مساوية للجسم (أي لا يوجد تكبير) ، تقديرية. اذا وضع جسم طوله h امام مرآة وعلى بعد p منها فإنه تتكون لوه صورة داخل المرآة على بعد q منها وارتفاع الصورة h' ، كما فى الشكل (٤).

شكل (٤) : تكون الصورة بواسطة المرآة المستوية

من هندسة الشكل نجد ان معامل التكبير M ، يعطى بالعلاقة

$$M = \frac{h'}{h} = 1, \quad h = h' \quad \& \quad S = S'$$

أى أن بعد الجسم عن المرآة p يساوى بعد الصورة عن المرآة q و h (ارتفاع الجسم) يساوى h' (ارتفاع الصورة). وبالتالي معامل التكبير M يكون يساوى الواحد.

- **الصورة الحقيقية:** هى الصورة التى تكون عند تقاطع شعاعين منعكسين أو أكثر وتكون امام المرآة.
- **الصورة الخيالية:** هى الصورة التى تكون عند تقاطع امتداد شعاعين منعكسين أو أكثر وتكون خلف المرآة.

مصطلح الإشارات:

١. ترتيب المكونات (التي تضم المصدر الضوئي والمكونات الضوئية سواء مرايات اوخلافه) من اليسار الى اليمين

٢. جميع المسافات (مقاسة من قطب المرآة) تكون سالبة إذا كانت في اتجاه اليسار وموجبة إذا كانت في اتجاه اليمين.
٣. يكون البعد البؤري موجبا للمرآة المقعرة وسالبا للمرآة المحدبة.
٤. يكون البعد البؤري موجبا للعدسة المحدبة (المجمعة) وسالبا للعدسة المقعرة (المفرقة).
٥. بالنسبة للاطوال الرأسية تقاس بدءا من المحور البصري، وتكون موجبة إذا كانت في اتجاه لاعلى المحور البصري ، و سالبة في اتجاه اسفل المحور البصري .

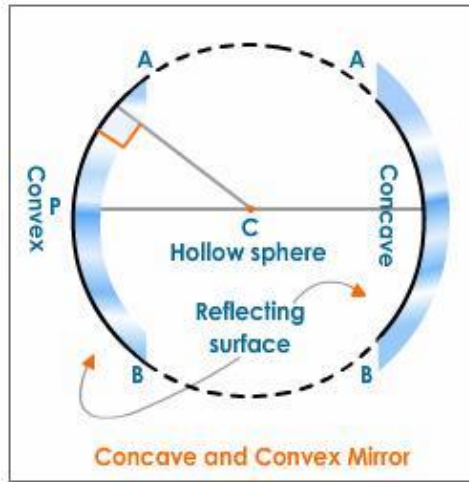
الانعكاس عند سطح كروي

يمكن تعريف المرآة الكرية بأنها السطح الناتج من تقاطع كرة مجوفة بمستوى، كما في الشكل (٥).

١. إذا كان السطح العاكس هو السطح الخارجى للكرة تسمى هذه **بالمرآة المحدبة** convex mirror.

٢. إذا كان السطح العاكس هو السطح الداخلى من الكرة فإنها تسمى **بالمرآة المقعرة** concave mirror.

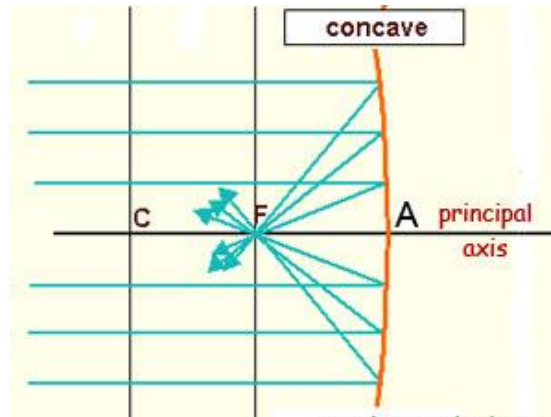
المرآة المحدبة convex mirror تفرق الأشعة بينما المرآة المقعرة concave mirror تجمع الأشعة.



شكل (٥) : شكل توضيحي للمرآة المحدبة والمرآة المقعرة.

بعض التعريفات الهامة الخاصة بالمرآيا الكرية بالاستعانة بشكل (٦):

١. **مركز التكور** وهو يمثل مركز الكرة التي تكون المرآة جزء منها C.
٢. **قطب المرآة**: وهي نقطة تتوسط المرآة الكرية A.
٣. **نصف قطر تكور المرآة (r)**: ويساوى المسافة بين قطب المرآة A ومركز التكور C.
٤. **البؤرة**: وهي نقطة تجمع انعكاسات الأشعة الساقطة على المرآة F.
٥. **البعد البؤري (f)**: هو المسافة بين البؤرة وقطب المرآة.
٦. **المحور البصري أو الرئيسي**: هو الخط الواصل بكل من مركز تكور المرآة C وقطبها A.



شكل (٦) : يوضح بعض التعريفات الخاصة بالمرآة الكرية

شكلي (٧) و (٨) يوضحا عملية الانعكاس عند سطح مقعر واخر محدب على الترتيب، فإذا وضع جسم object امام مرآة مقعرة وعلى مسافة O، منها، وتكونت له صورة image، على بعد i من المرآة، وكان البعد البؤري للمرآة f، فإن العلاقة التي تربط تلك المتغيرات الثلاثة تسمى معادلة المرآة Mirrors Equation، تأخذ الصورة التالية.

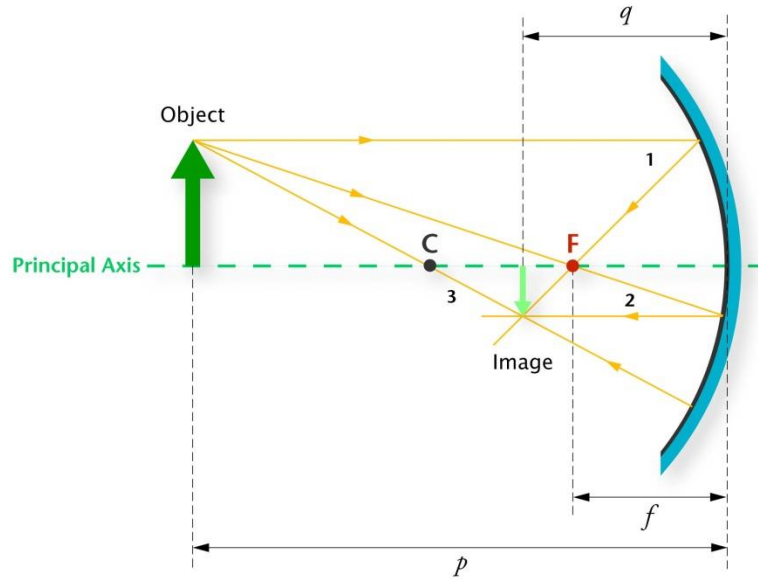
$$\frac{1}{O} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}$$

كما ان هناك علاقة تربط بين نصف قطر المرآة r والبعد البؤري f كالآتي

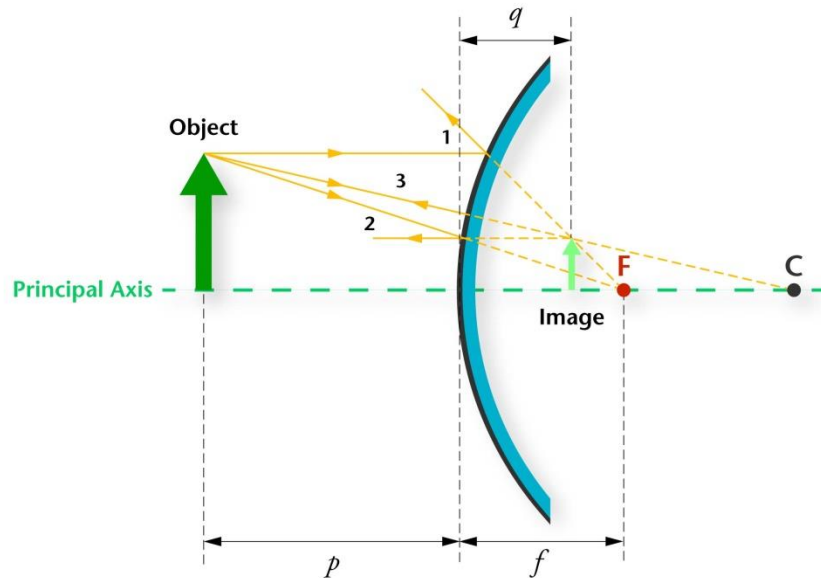
$$r = 2f$$

ومعامل التكبير M في الصورة يعرف على انه ارتفاع الصورة على ارتفاع الجسم ويعطى بالعلاقة

$$M = \frac{\text{image height}}{\text{object height}} = -\frac{i}{o}$$



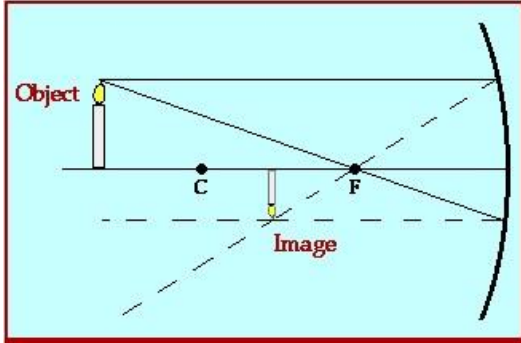
شكل (٧) : الانعكاس عند سطح مقعر Concave mirror



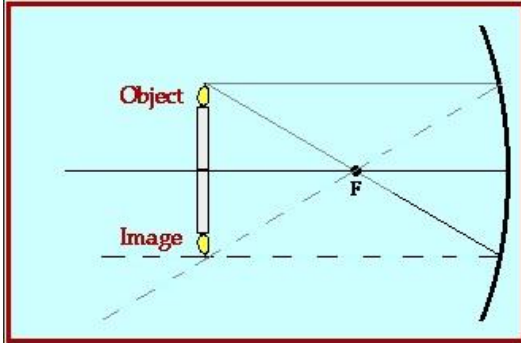
شكل (٨) : الانعكاس عند سطح محدب Convex mirror

مواصفات الصورة المتكونة بالمرايا الكرية:

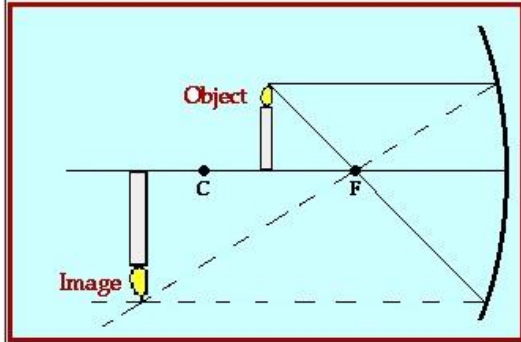
يمكن تحديد مواصفات الصورة الناتجة عن المرايا الكروية عن طريق رسم شعاعين، من قمة الجسم: أحدهما في اتجاه موازي للمحور البصري فينعكس على البؤرة، والثاني يمر بالبؤرة فينعكس موازي للمحور البصري، ونقطة تلاقي الشعاعين هي نقطة تكون الصورة، كما في الشكل التالي.



- ١- إذا وضع الجسم أبعد من نقطة C،
الصورة المتكونة تقع بين C و F
الصورة حقيقية
الصورة مقلوبة
الصورة مصغرة

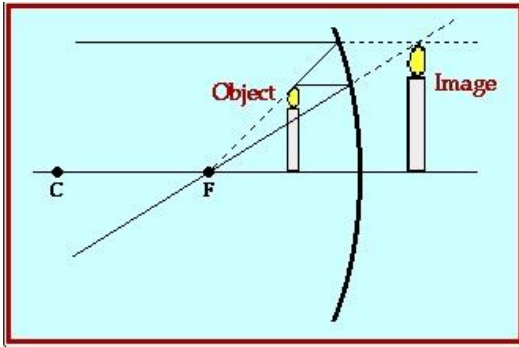


- ٢- إذا وضع الجسم عند نقطة C،
الصورة المتكونة تقع عند C
الصورة حقيقية
الصورة مقلوبة
حجم الصورة = حجم الجسم

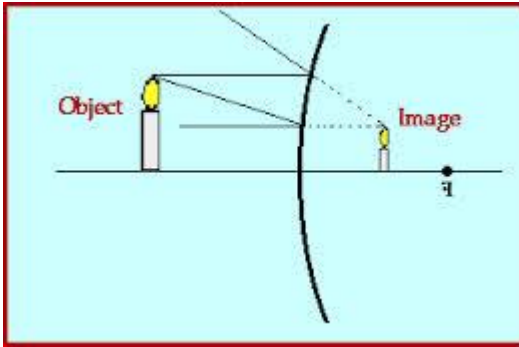


- ٣- إذا وضع الجسم بين نقطة C و F
الصورة المتكونة بعد نقطة C
الصورة حقيقية
الصورة مقلوبة
الصورة مكبرة

بالنسبة للمراة المقعرة Concave mirror



٤- إذا وضع الجسم أقل من نقطة F،
الصورة المتكونة تقع خلف المرآة
الصورة تقديرية
الصورة معتدلة
الصورة مكبرة



١- في حالة العدسات المحدبة، فإن
الصورة المتكونة تقع خلف المرآة
الصورة تقديرية
الصورة معتدلة
الصورة مصغرة

المرآة المحدبة convex mirror

مثال (١):

إذا وضع جسم على بعد 20 cm من قطب مرآة مقعرة قطرها 10 cm، أوجد بعد الصورة المتكونة عن قطب المرآة وكذلك البعد البؤري لهذه المرآة.

الحل:

نصف قطر المرآة = 5 cm ، بالتالي البعد البؤري للمرآة = 2.5 cm

$$\frac{1}{O} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{20} + \frac{1}{i} = \frac{1}{2.5} = \frac{8}{20}$$

$$\frac{1}{i} = \frac{8}{20} - \frac{1}{20} = \frac{7}{20}$$

$$i = 2.86 \text{ cm}$$

مثال (٢):

مرآة مقعرة بعدها البؤرى 20 cm وضع جسم على بعد 30 cm منها ، أوجد موضع الصورة المتكونة للجسم ونوعها وتكبيرها.

الحل:

من المعادلة العامة للمرايا

$$\frac{1}{O} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{30} + \frac{1}{i} = \frac{1}{20}$$

$$\frac{1}{i} = \frac{1}{20} - \frac{1}{30} = \frac{1}{60}$$

$$i = 60 \text{ cm}$$

$$M = -\frac{i}{O} = -\frac{60}{30} = -2$$

الصورة حقيقية مقلوبة مكبرة.

مثال (٣):

جسم يقع أمام مرآة كرية وعلى بعد منها يساوى 20 cm فتكونت له صورة معتدلة مصغرة على بعد 15 cm من المرآة. إحسب البعد البؤرى والتكبير للمرآة مبيناً نوعها.

الحل:

من المعادلة العامة للمرايا

$$\frac{1}{O} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{20} + \frac{1}{15} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{20} + \frac{1}{15} = \frac{3+4}{60} = \frac{7}{60}$$

$$f = \frac{60}{7} = 8.57 \text{ cm}$$

$$M = -\frac{i}{O} = -\frac{15}{20} = -0.75$$

الصورة المتكونة بواسطة المرآة حقيقية مقلوبة مصغرة

البعد البؤري للمرآة موجب، أي أن المرآة مقعرة.

انكسار الضوء Refraction of light

انكسار الضوء هي ظاهرة انحراف الضوء عن مساره عند انتقاله بين وسطين يسمحان بمرور الضوء ويختلفان في الكثافة الضوئية (مثل الزجاج والهواء أو الزجاج والماء). ويحدث الانكسار نتيجة اختلاف سرعة الضوء في الوسطين.

الإنكسار عند سطح مستوي

من المعروف أن جميع الموجات الكهرومغناطيسية باختلاف أطواله الموجية تنتقل في الفراغ بنفس السرعة ولكنها تختلف في الأوساط (المواد) الأخرى وكذلك يختلف طولها الموجي بينما يظل التردد ثابت لا يتغير.

وتسمى النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ (الهواء) إلى سرعته في وسط ما بمعامل انكسار الوسط.

$$n = \frac{c}{v}$$

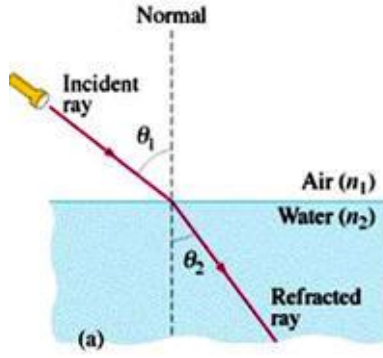
حيث أن c هي سرعة الضوء في الفراغ ، v هي سرعة الضوء في الوسط.

ملحوظة: سرعة الضوء في الفراغ $\approx$ سرعة الضوء في الهواء ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$).

إذا مر شعاع ضوئي من وسط شفاف متجانس إلى آخر فإنه ينكسر عند السطح المستوي الفاصل وفقاً للقوانين الآتية:

القانون الأول قانون سنل Snell's law

النسبة بين جيب زاوية السقوط وجيب زاوية الإنكسار تساوى مقدار ثابت وذلك لجميع زوايا السقوط.



شكل (٩) : انكسار الضوء عند سطح فاصل مستوي

فإذا كان XY يمثل سطحاً مستوياً يفصل بين وسطين معامل انكسار هما n_1 ، n_2 وأن AB يمثل الشعاع الضوئي الساقط وأن BC يمثل الشعاع المنكسر، فإن

$$\frac{\sin(\theta_1)}{\sin(\theta_2)} = \text{const}$$

هذا القانون يعرف بقانون سنل. وقد بين سنل أن قيمة المقدار الثابت هي النسبة بين معاملي انكسار الوسطين. ومن ذلك هذه العلاقة تأخذ الصورة:

$$\frac{\sin(\theta_1)}{\sin(\theta_2)} = \frac{n_2}{n_1}$$

التي يمكن كتابتها على الصورة:

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$$

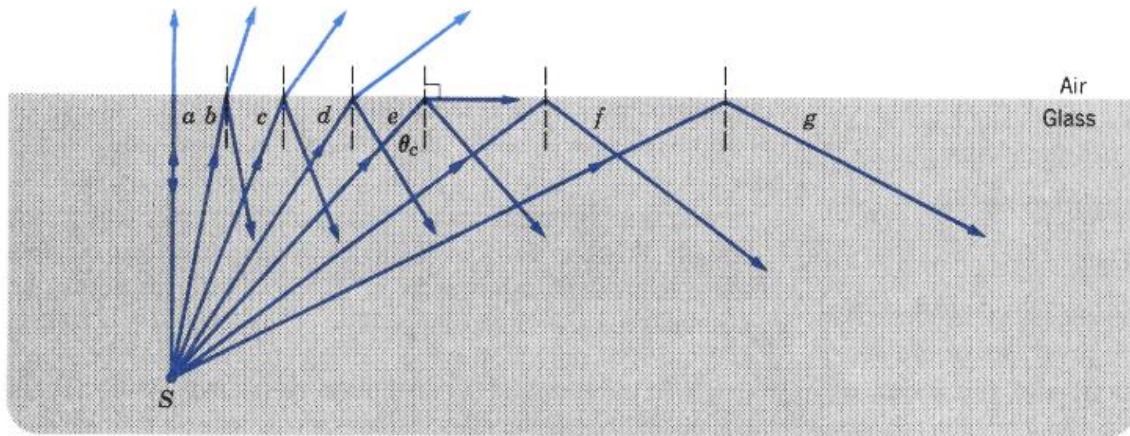
هذه العلاقة تسمى قانون سنل Snell's law، ويسمى الوسط ذو معامل الانكسار الأقل، وسط اقل كثافة ضوئية،

القانون الثاني:

الشعاع الساقط والعمود والشعاع المنكسر يقعوا جميعاً في مستوى واحد عمودي على السطح الفاصل بين الوسطين.

الزاوية الحرجة والانعكاس الكلي الداخلي Total internal reflection

عندما يمر شعاع من وسط كثيف إلى وسط أقل كثافة ضوئية فإنه ينكسر مبتعدا عن العمود على السطح الفاصل، أى أن زاوية الانكسار تكون أكبر من زاوية السقوط كما بالشكل (١٠):



شكل (١٠) : الانعكاس الكلي الداخلي

من الشكل نجد ان

$$\frac{\sin(\theta)}{\sin(\phi)} = \frac{n_2}{n_1}$$

ومن الملاحظ أنه كلما زادت زاوية السقوط زادت زاوية الانكسار حتى إذا بلغت زاوية السقوط قيمة معينة θ_c فإن الشعاع المنكسر يخرج فى الوسط الثانى موازيا للسطح الفاصل أى يخرج بزاوية انكسار تساوي $\phi = 90^\circ$ ، أى عند الزاوية θ_c ، فإن .

$$\frac{\sin(\theta_c)}{\sin 90} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\therefore \sin(\theta_c) = \frac{n_2}{n_1}$$

وتسمى زاوية السقوط θ_c فى الوسط الكثيف التى تقابلها زاوية انكسار 90° بالزاوية الحرجة **critical angle** للوسطين.

وإذا زادت زاوية السقوط في الوسط الكثيف عن الزاوية الحرجة فإن الشعاع لا ينفذ إلى الوسط الأقل كثافة وإنما **ينعكس** عند سطح الانفصال **انعكاسيا كلياً** في الوسط الكثيف وفقاً لقانوني الانعكاس. ويسمى انعكاس الضوء عندئذ **بالانعكاس الكلي الداخلي** حيث أنه لا ينفذ تماماً إلى الوسط الخفيف. كما يمكن إيجاد الزاوية الحرجة θ_c ، من العلاقة:

$$\theta_c = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1}$$

مثال (٤):

تسقط حزمة ضوئية في الهواء على منشور ثلاثي مصنوع من الزجاج بزاوية سقوط θ والتي تم اختيارها بحيث أنها تساوى أيضاً زاوية الخروج من المنشور، كما في الشكل. استنتج تعبير رياضي لمعامل انكسار مادة المنشور n علماً بأن معامل انكسار الهواء = ١.

الحل:

$$\angle bad + \alpha = \frac{\pi}{2}, \text{ and}$$

$$\angle bad + \frac{\phi}{2} = \frac{\pi}{2}$$

Therefore

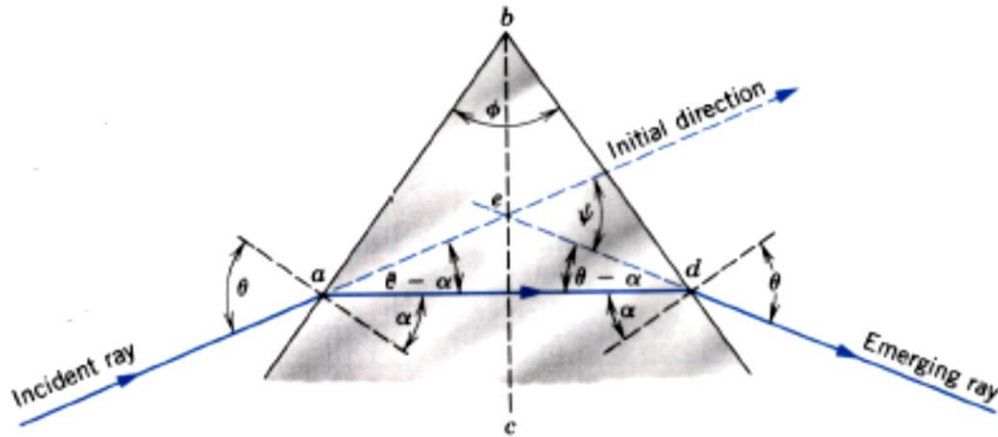
$$\alpha = \frac{1}{2} \phi$$

$$\Psi = 2(\theta - \alpha)$$

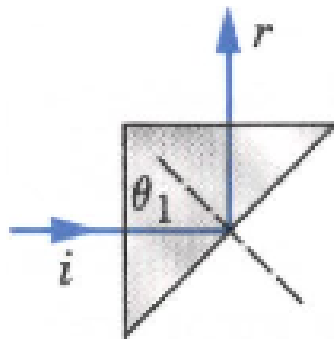
Then

$$\theta = \frac{\Psi}{2} + \alpha = \frac{\Psi}{2} + \frac{\phi}{2} = \frac{1}{2}(\Psi + \phi)$$

$$n = \frac{\sin \theta}{\sin \alpha} = \frac{\sin(\Psi + \phi) / 2}{\sin(\phi / 2)}$$



مثال (٥):



الشكل يوضح منشور زجاجي يراد تصميمه بحيث إذا سقط عليه الضوء عموديا على احد اوجهه فإنه سيعانى انعكاس كلي داخلي، بحيث تكون الزاوية $\theta_1 = 45^\circ$ ، فما هو معامل الانكسار المناسب لمادة المنشور.

الحل:

الزاوية θ_1 ، يجب ان تكون مساوية او اكبر من الزاوية الحرجة θ_c ، لتحقيق الانعكاس الكلي داخل المنشور، ومن تعريف الزاوية الحرجة نجد ان

$$\theta_c = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1} = \sin^{-1} \frac{1}{n}$$

Then
$$n = \frac{1}{\sin \theta_c}$$

Then
$$n \geq \frac{1}{\sin 45} = 1.41$$

العدسات Lenses

تعتبر العدسات من اهم الأجهزة البصرية فتجد العدسات فى النظارات الطبية والكاميرات والتيليسكوب والمجهر والبريكيكتور، هناك نوعان من العدسات .:

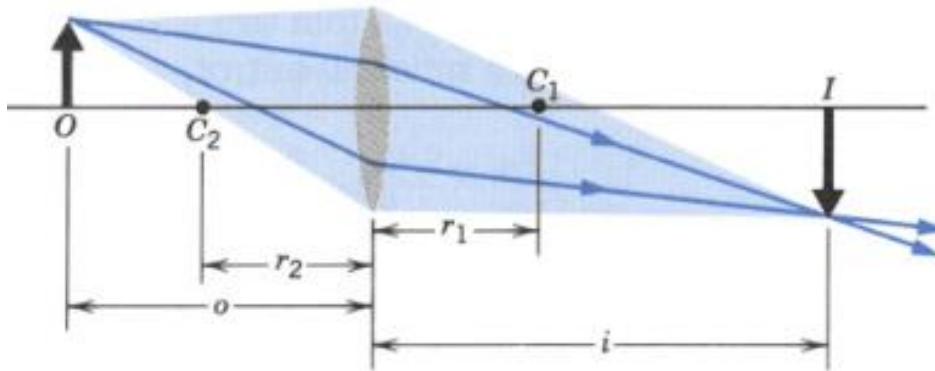
- النوع الأول هو العدسة المحدبة convex lens وتسمى أيضا بالعدسة المجمعة converging lens.
- النوع الثانى هو العدسة المقعرة concave lens وتسمى أيضا العدسة المفرقة diverging lens.

العدسة المحدبة (المجمعة) convex lens

إذا سقطت حزمة ضوئية متوازية وموازية للمحور البصرى لعدسة محدبة فإن الاشعة تتجمع فى نقطة تسمى البؤرة (F) عند مرورها خلال العدسة، والبعد بين العدسة والبؤرة يسمى بالبعد البؤرى focal length (f). وتكون البؤرة فى هذه الحالة بؤرة حقيقية أى يمكن تجميع الصورة عندها واستقبالها على حائل. والعدسة المحدبة لها وجهان، وكل منهما له نصف قطر تكور r_1, r_2 ، كما فى الشكل (١١). والعلاقة التى تجمع بين انصاف الاقطار ومعامل انكسار مادة العدسة والبعد البؤرى هى

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

واشارات كل من البعد البؤرى وانصاف الاقطار تخضع الى مصطلح الاشارة السابق ذكره، فنجد ان r_1 تأخذ اشارة موجبه في حين ان r_2 تأخذ اشارة سالبة، كذلك البعد البؤرى يأخذ اشارة موجبة.



شكل (١١) : العدسة المحدبة (المجمعة)

هذه المعادلة تطبق على العدسات المجمعّة والعدسات المفرقة. والعلاقة التي تربط بين بعد الصورة وبعد الجسم والبعد البؤري هي :

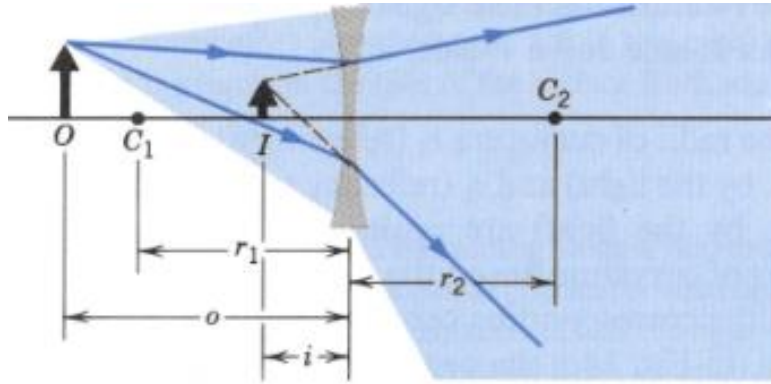
$$\frac{1}{o} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}$$

حيث i هي بعد الصورة عن العدسة ، o هي بعد الجسم عن العدسة.

العلاقة السابقة تسمى المعادلة العامة للعدسات، وهي تستخدم مع العدسات المجمعّة والعدسات المفرقة على حد سواء.

العدسة المقعرة (المفرقة) concave lens

أما اذا سقطت حزمة ضوئية متوازية وموازية للمحور البصري لعدسة مقعرة، فإن الأشعة لا تتجمع بل تتفرق عند مرورها خلال العدسة ، ولكن اذا عملنا امتداد للأشعة المتفرقة الخارجة من العدسة المقعرة فإنها ستتلاقى في نقطة في الجهة الاخرى، هذه النقطة تسمى البؤرة ايضاً ولكنها بؤرة تقديرية، والمسافة بين البؤرة التقديرية والعدسة المفرقة تسمى بالبعد البؤري ولكنه يأخذ اشارة (-) كما في شكل (١٢).



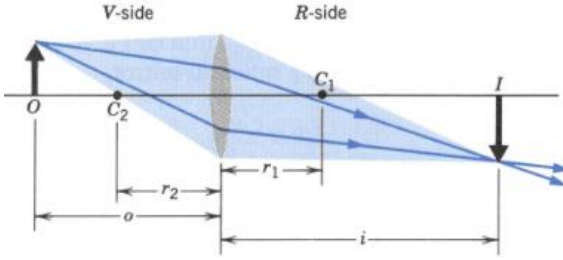
شكل (١٢) : العدسة المقعرة (المفرقة)

وتطبق المعادلة العامة للعدسات سابقة الذكر ايضاً على العدسات المفرقة، وكذلك يطبق قواعد الاشارات على العدسات المفرقة. فمثلاً نجد ان r_1 في هذه الحالة سالبة، و r_2 موجب.

مثال (٦):

العدسات الموجودة في الرسم لها انصاف اقطار وجهي العدسة 42 cm، ومصنوعه من الزجاج حيث معامل الانكسار $n = 1.65$ ، احسب البعد البؤري.

الحل:

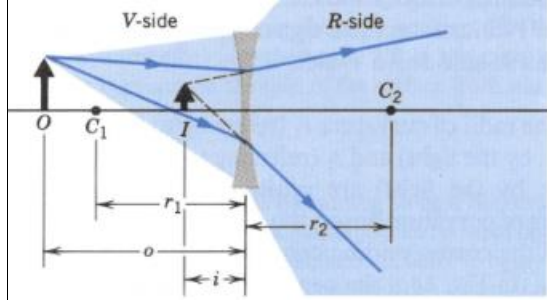


$$r_1 = 42 \text{ cm} , \quad r_2 = -42 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

$$= (1.65 - 1) \left(\frac{1}{+42 \text{ cm}} - \frac{1}{-42 \text{ cm}} \right)$$

$$f = +32 \text{ cm}$$



$$r_1 = -42 \text{ cm} , \quad r_2 = +42 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

$$= (1.65 - 1) \left(\frac{1}{-42 \text{ cm}} - \frac{1}{+42 \text{ cm}} \right)$$

$$f = -32 \text{ cm}$$

مثال (٧):

وضع جسم على بعد ٣٨ سم امام عدسة مفرقة، بعدها البؤري $f = -24 \text{ cm}$ ، اوجد موضع الصورة ومعامل التكبير.

الحل:

$$\frac{1}{o} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{+38} + \frac{1}{i} = \frac{1}{-24cm}$$

موضع الصورة يساوي

$$i = -15 \text{ cm}$$

معامل التكبير يساوي

$$M = -\frac{i}{o} = -\frac{-15cm}{+38cm} = +0.39$$

تمارين محلولة Solved problems

المسافة بين قطب المرآة ونقطة تجمع الأشعة تسمى		١
نصف قطر الانحناء	B	A
المحور البصري	D	C

النسبة بين زاوية السقوط وزاوية الانكسار تسمى		٢
معامل الانكسار	B	A
معامل التوصيل	D	C

عدسة مصنوعة من مادة معامل انكسارها $n=1.5$ ، وانصاف اقطارها $r_1 = +20\text{ cm}, r_2 = -20\text{ cm}$ ، فإن البعد البؤري للعدسة يساوي		٣
40 cm	B	A
50 cm	D	C

الصورة المتكونة بواسطة المرآة المحدبة دائما تكون		٤
معتدلة	B	A
كل ما سبق	D	C

عند وضع جسم عند مركز تكور مرآة مقعره فإن الصورة المتكونة تقع		٥
عند مركز التكور	B	A
خلف المرآة	D	C

٦	صورة تكونت بواسطة مرآة بحيث ان معامل التكبير يساوي $M=-0.5$ ، فإن ذلك يعنى أن		
A	الصورة مصغرة	B	الصورة تقع على الجسم
C	الصورة معتدلة	D	لا تتكون صورة بالمرآة

٧	معامل الانكسار يساوى		
A	سرعة الضوء فى المادة/على سرعته فى الفراغ	B	سرعة الضوء فى الفراغ/سرعته فى المادة
C	سرعة الضوء فى الفراغ	D	سرعة الضوء فى المادة

٨	إذا كانت زاوية سقوط الضوء على سطح عاكس مستوى تساوى 32 درجة، فإن زاوية الانعكاس تساوى		
A	16	B	64
C	18	D	32

٩	العلاقة $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ تسمى		
A	قانون نيوتن للضوء	B	قانون الانعكاس
C	قانون سنل	D	المعادلة العامة للعدسات

واجبات وأنشطة Homework and Activities

أولاً: التقارير

مطلوب من كل طالب عمل تقرير واحد عن احدى النقاط التالية:

- انعكاس الضوء.
- انكسار الضوء.
- العدسات.

ثانياً: الخرائط الذهنية

مطلوب من كل طالب تصميم خريطة ذهنية واحدة في احدى النقاط التالية:

- انعكاس الضوء.
- انكسار الضوء.
- العدسات.

ثالثاً: بعض الأنشطة الأخرى

قد يتم تكليف الطالب ببعض الواجبات الأخرى على حسب الاستاذ.

رابعاً: ملف الإنجاز

كل طالب مكلف باعداد ملف الانجاز الخاص به، وهو عبارة عن ملف مكتوب عليه اسم الطالب، ورقمه الجامعي، ورقم الشعبة، واسم الاستاذ، والعام الجامعي، ويحتوى على نسخة من كل ما يكلف به الطالب من أنشطة وواجبات. ويسلم ملف الانجاز الى الاستاذ فى نهاية الفصل الدراسي، او على حسب ما يقرر الاستاذ، ويمكن للاستاذ الاطلاع على الملف فى اى وقت.

خامساً: اجب عن الاسئلة الآتية:

- ١- احسب معامل انكسار مادة عدسة إذا علمت ان انصاف اقطارها $r_1 = +20 \text{ cm}$ ، $r_2 = -20 \text{ cm}$ ، وان بعدها البؤرى يساوي 20 cm .
- ٢- سقط شعاع ضوئي على مرآة مقعرة بعدها البؤري $f = +12 \text{ cm}$ ، من جسم يبعد عن العدسة بمقدار $+30 \text{ cm}$ ، احسب موضع تكون الصورة وكذلك معامل التكبير.

- ٣- مرآة محدبة نصف قطر تكورها 22 cm، وضع جسم على بعد 14 cm منها. احسب موقع الصورة المتكونة واحسب معامل التكبير.
- ٤- احسب الزاوية الحرجة لمادة معامل انكسارها ١,٥ موضوعه في الهواء.
- ٥- جسم يقع أمام مرآة كرية وعلى بعد منها يساوى 60 cm فتكونت له صورة معتدلة مصغرة على بعد 30 cm من المرآة. احسب البعد البؤري والتكبير للمرآة مبيناً نوع المرآة.