

موسوعة
الفيزياء
"الكلاسيكية والحديثة"

تأليف
د. وليد القادري



دار أسامة
للنشر والتوزيع

موسوعة الفيزياء

"الكلاسيكية والحديثة"

تأليف

د. وليد القادري

دار أسامة للنشر والتوزيع

عمان - الأردن

الناشر

دار أسامة للنشر و التوزيع

الأردن - عمان

هاتف: 5658253 - فاكس: 5658254

تلفاكس: 4647447

ص. ب: 141781

حقوق الطبع محفوظة للناسر

الطبعة الثالثة

2009م

رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية
(2004/5/1048)

539

موسوعة الفيزياء/ جمع وإعداد وليد القادري - عمان:
دار أسامة للنشر، 2004.
() ص.

ر.إ.: 2004/5/1048.
الواصفات: / الفيزياء// الموسوعات/

* تم إعداد بيانات الفهرسة والتصنيف الأولية من قبل دائرة المكتبة الوطنية

المقدمة

هذه الموسوعة تمثل الجزء الأول من موسوعة الفيزياء العامة، وسيتبعها الجزء الثاني. والذي لا شك فيه أن علم الفيزياء هو علم قديم حديث، قديم بخطوطه واتجاهاته الكلاسيكية التقليدية التي عرفها العرب المسلمون منذ فترة طويلة، ودرج عليها الغرب فيما بعد، وحديث ليضاف إليها فروع وجزئيات جديدة وابتكارات علمية حديثة وقوانين فيزيائية لم تكن معروفة من قبل.

ونظراً لانتقال علم الفيزياء هذه النقلة المتطورة في المنهج والمضمون رأينا أن نقدم للطلاب أولاً، وللباحثين والمدرسين. ثانياً، هذه الموسوعة في جزأها لتكون لهم مناراً يهديهم في طريق فهم هذا العلم قديمه وحديثه، جديده ومعاصره.

وقد جاء الجزء الأول في تسعة عشر فصلاً.

جاء الفصل الأول: في المادة شاملاً الذرة وحالات المادة والانصهار.

والفصل الثاني : تحدثنا فيه عن الكثافة.

أما الفصل الثالث : فأفردناه للضغط بأشكاله وأنواعه.

وفي الفصل الرابع: فقد بحثنا فيه علاقة الضغط بقاعدة أرخميدس وأشرنا إلى

المقاييس العلمية في ذلك.

أما الفصل الخامس: فقد كان للكهربائية الساكنة فوقفنا عند التكهرب والبرق والكشاف

الكهربائي.

والفصل السادس : كان للمغناطيسية وخصائص المغناطيس وطرق التمغنط.

أما الفصل السابع : فقد بحثنا فيه الحرارة والاتزان الحراري والتأثيرات الحرارية.

وفي الفصل الثامن : ناقشنا تمدد السوائل.

والفصل التاسع : كان لتمدد الغازات، والقوانين الخاصة بذلك.

أما الفصل العاشر : فكان لتغير حالة المادة، والانصهار والتجمد والتبخر.

أما الفصل الحادي عشر: فتحدثنا فيه عن الخصائص الحرارية للمادة، وطرق انتقال



الحرارة وأنواع الحمل الحراري والقوانين الخاصة بذلك.

أما الفصل الثاني عشر: فهو عن الضوء ومصادره ونظريته الحديثة والخسوف

والكسوف والمرايا وقانون الأبعاد فيها.

والفصل الثالث عشر : تحدثنا فيه عن انكسار الضوء والكثافة الضوئية.

أما الفصل الرابع عشر : فهو للحديث عن الألوان بأنواعها والعلاقة فيها.

والفصل الخامس عشر: أفردناه للحديث عن العدسات أنواعها وأشكالها وصفاتها

وعيوبها وفوائدها وكذلك المجاهر.

أما الفصل السادس عشر: فهو للحديث عن الليزر وأنواع أشعة الليزر.

أما الفصل السابع عشر : فتحدثنا فيه عن التذبذبات والموجات بأنواعها.

والفصل الثامن عشر : أفردناه للحديث عن الصوت وخصائص الموجات الصوتية

انعكاساً وانكساراً.

أما الفصل التاسع عشر: فهو عن الفيزياء الحديثة.

وقد أتبعنا كل فصل من هذه الفصول بأسئلة ومسائل وتدريبات قمنا بحلها والإجابة عنها، لتكون مثلاً جيداً للتدريب.

نسأل الله أن نكون قد وفقنا في عملنا

هذا والله من وراء القصد.

المؤلف

الفصل الأول المادة

الفصل الأول

المادة

المادة :

هي كل ما يشغل حيزاً (فراغاً) من الكون وله كتلة ومنها تتألف جميع الأشياء وتكون إما صلبة كالخشب والحديد، أو سائلة كالماء والزيت، أو غازاً كالهواء والبخار، وهذه الأشكال الثلاثة هي الحالات الطبيعية الثلاث للمادة .

فإذا أخذنا مكعباً من الجليد ووضعناه في إناء ورفعنا درجة حرارته فإنه ينصهر ويتحول إلى سائل، وإذا زدنا درجة حرارته فإنه يغلي ويتحول إلى بخار أي إلى غاز .

والمادة التي لها شكل صلب يكون لها شكل ثابت (معين) وحجم ثابت (معين)، ويحتاج إلى بذل الكثير من الطاقة لتحويل الشكل الصلب إلى شكل آخر من أشكال المادة، أما حجمه فلا يتغير إلا إذا رفعنا أو خفضنا درجة حرارته .

والمادة السائلة (السوائل) يكون لها حجم ثابت (معين) أيضاً، ولكن شكلها يكون متغيراً وغير ثابت لأنها تتخذ شكل الإناء الذي يحتويها .

أما الغازات فليس لها حجم ولا شكل ثابت (معين) لأنها تنتشر لتملأ جميع الفراغ في الوعاء الذي يحتويها .

طبيعة المادة

لقد ظهرت عدة آراء حول طبيعة المادة من قديم الزمان، فقال فلاسفة اليونان أن المادة تتألف من أعداد كبيرة من جسيمات صغيرة غير قابلة للتجزئة سميت ذرات، وفي العصور الوسطى اختلفت الآراء اليونانية في طبيعة المادة ثم طواها النسيان، ولكنها بعثت من جديد من خلال الأفكار والنظريات التي طرحها المفكرون العلماء من أمثال بويل ونيوتن في القرنين السابع عشر والثامن عشر، ثم تقدّم العالم الإنكليزي جون دالتون بنظريته الذرية في عام ١٨٠٣ القائلة: (إن كل مادة تتألف من جسيمات

صغيرة تدعى ذرات لا يمكن تجزئتها) .

وتبعاً لهذه النظرية فإنه لا يمكن تقسيم المادة إلى ما لا نهاية دون تغيير طبيعتها، واعتبر دالتون أن كل شيء يتركب من جسيمات غير قابلة للانقسام هي الذرات، ولقد تمثلت هذه الذرات على شكل كريات متناهية الصغر، ترتابط معاً في مجموعات أطلق عليها اسم الجزيئات .

فالمادة تتكون من جزيئات متصلة مع بعضها اتصالاً متيناً، والجزيء هو أصغر جزء من المادة يحتفظ بخواصها، فلو كُسِرَ جزيء مثلاً من السكر فإن عناصره لن يكون لها نفس صفات السكر (أي طعمه ولونه)، و تتكون الجزيئات من وحدات أصغر منها تدعى الذرات وهي أصغر جزء من المادة يشترك في التفاعلات الكيميائية.

والمادة التي تتكون جزيئاتها من نوع واحد من الذرات تدعى العنصر مثل : الأوكسجين والذهب، أما المادة التي تتكون جزيئاتها من أكثر من نوع واحد من الذرات فتدعى المركب مثل : الماء والسكر . وأصغر جزء من المركب هو **الجزيء**، وكلما كانت الذرات والجزيئات متصلة اتصالاً متيناً فيما بينها في المادة فإن ذلك يسمى (التكثيف)، والمادة التي لها كثافة عظيمة تكون أيضاً ثقيلة مثل الذهب، أما الخشب فله كثافة أقل ولهذا فهو أخف وزناً .

وتكون الجزيئات أحياناً بسيطة جداً، وأحياناً تكون معقدة محتوية على آلاف الذرات المرتبة بنموذج معقد، ففي بعض الغازات مثل غاز الفيون يتألف الجزيء من ذرة واحدة فقط، وتحتوي بعض الجزيئات على ذرتين أو أكثر من نفس النوع، فجزيء الماء يتألف من ذرتين من الهيدروجين وذرة أوكسجين واحدة .

وتتصرف المواد بطرق مختلفة لأن ذراتها مختلفة، فالألومنيوم مثلاً يختلف عن الحديد لأنه مركب من نوع آخر من الذرات .

وتفسر النظرية الذرية عدداً كبيراً من خواص المواد، إذ أن شكل المادة صلباً أو سائلاً أو غازياً يتعين تبعاً لكيفية ترتيب (تراص) الذرات فيها، وتتجاذب الذرات فيما بينها، ويعتمد شكل المادة تبعاً لقوة هذا التجاذب فإذا كان التجاذب قوياً كان تراص

الذرات متقارباً فتؤلف مادة صلبة، وتكون الذرات ثابتة في أمكنتها في الشكل الصلب للمادة فلا تستطيع تبادل المواقع مع جاراتها، ويمكنها فقط أن تهتز وهي في موضعها، وتنظم ذرات وجزيئات المواد الصلبة في هيكلية محددة يطلق عليها اسم البلورة، وهذا ما يجعل من الصعب تغيير شكل المادة الصلبة أو حجمها .

أما إذا كان التجاذب بين الذرات ضعيفاً فستتمكن من التحرك مكونة الشكل السائل أو الغازي للمادة، إذ أن جزيئات المواد السائلة تكون أقل تماسكاً بمواقع ثابتة فهي أيضاً تهتز باستمرار، كما أنه يمكنها التحرك وتبادل المواقع مع جاراتها وهكذا يمكن للسوائل أن تغير من شكلها أو أن تنساب من مكان إلى آخر، وتتمكن ذرات السائل من التحرك والتنقل بحرية ولكنها لا تتمكن من الإفلات كلياً، وهي أكثر تباعداً بعضها عن بعض من ذرات الشكل الصلب لذا تشغل حيزاً أوسع .

وتتزايد سرعة الذرات تدريجياً بازدياد درجة حرارة السائل حتى تتمكن من الإفلات من سطح السائل متحولة بذلك إلى غاز، وفي الغازات تكون الذرات والجزيئات متباعدة كثيراً وتتحرك بسرعة كبيرة، لذا فبإمكانها التحرك بحرية بحيث تملأ كامل الوعاء الذي يحتويها .



خشب صلب

وعاء من السائل

منطاد مملوء بالغاز

جزيئات المادة في الحالات الثلاث

تركيب الذرة

تتألف المادة من مجموعة من الذرات، وقد افترض جون دالتون في نظريته الذريّة (في أوائل القرن التاسع عشر) أن الذرات غير قابلة للتجزئة إلى أجسام أصغر، ولكن العلم اليوم أثبت أن الذرة تتكون من نواة مركزية تحوي معظم كتلة الذرة، وتشتمل النواة على جسيمات موجبة الشحنة تسمى البروتونات وجسيمات متعادلة الشحنة تدعى النيوترونات، وتكون النواة محاطة بسحابة من جسيمات سالبة الشحنة تسمى الإلكترونات تدور حول النواة بأفلاك معينة، وتكون الذرة متعادلة كهربائياً إذا كان عدد البروتونات في نواتها مساوياً لعدد الإلكترونات حولها .

إن كتلة البروتون مساوية لكتلة النيوترون وهما أثقل من كتلة الإلكترون بـ (١٨٣٦) مرة .
وتمثل الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات **الجسيمات الأولية للمادة** وهذا يعني أنها الوحدات الأساسية للمادة وأنه لا يمكن تجزئتها إلى جسيمات أصغر .

ومع أن هذه الجسيمات غير قابلة للتجزئة فإن بعضها غير مستقر وقد يتحول أو ينحل إلى جسيمات أولية أخرى، والنيوترون غير مستقر خارج النواة إذ أنه ينحل بعد حوالي ١٢ دقيقة إلى بروتون وإلكترون، وجسيم آخر يسمى النيوتريون، وهذه الجسيمات الثلاثة مستقرة فلا تنحل إلى سواها، وليس للنيوتريون كتلة ولا شحنة فهو مجرد حزمة من الطاقة، وقد أكتشف علمياً في عام ١٩٥٦ .
ويحدد نوع العنصر عدد البروتونات أو عدد الإلكترونات في الذرة المتعادلة كهربائياً .

الخواص العامة للمادة

- ١- للمادة حجم : وهو الحيز الذي تشغله المادة في الفراغ (الكون).
- ٢- للمادة كتلة : كمية المادة الموجودة في الجسم وهي تساوي مجموع كتل جزيئاته.
- ٣- للمادة استمرارية : وهي الممانعة التي تبديها المادة ضد القوى الخارجية التي تحاول أن تغير من حالتها الحركية، وأن كتلة الجسم هي مقياس الاستمرارية،

- ٤- فإذا زادت كتلته ازدادت صفة الاستمرارية .
- ٥- للمادة كثافة : وهي كتلة وحدة الحجم .
- ٦- للمادة صفة الجاذبية : كل كتلة تجذب الكتل المحيطة بها بقوة تسمى (قوة الجذب) .
- ٧- للمادة قانون حفظ المادة والطاقة : ويسمى **قانون حفظ الطاقة** وينص على "الطاقة لا تفنى ولا تُستحدث ولكن تتحول من شكل إلى آخر"، أو : "مجموع ما في الكون من مادة وطاقة مقدار ثابت، ويمكن تحويل المادة إلى طاقة وبالعكس" .

الخواص الجزيئية للمادة

لجزيئات المادة ثلاث خصائص هي :

- ١- القوى الجزيئية للمادة : تكون هذه القوى بشكل تجاذب وتنافر فإذا أصبح البعد بين الجزيئات أكبر من قطر الجزيئة تظهر قوة التجاذب وإذا أصبح البعد بين الجزيئات أقل من قطر الجزيئة تظهر قوة التنافر .
- وتظهر قوى التجاذب والتنافر بين الجزيئات بوضوح في حالتي الشد والكبس، ففي حالة الشد سوف تظهر قوى تجاذب بين الجزيئات تحاول أن تعيد الجسم إلى حالته الأصلية كما في قوة الشد المسلطة على شريط مطاطي لغرض زيادة طوله فسوف تظهر قوة مقاومة للسحب هي قوة التجاذب بين جزيئاته .
- أما في حالة الكبس فستظهر قوى تنافر بين الجزيئات تحاول أيضاً أن تعيد الجسم إلى حالته الأصلية كما في قوة الكبس المؤثرة على قطعة من المطاط فستظهر قوة مقاومة للكبس هي قوة التنافر بين جزيئاته .
- ٢- الحركة الجزيئية : إن جزيئات المادة في حالة حركة عشوائية مستمرة، وتعتبر هذه الحركة صفة من الصفات التي تتمتع بها الجزيئات .
- ٣- المسافات البينية : توجد بين جزيئات المادة مسافات وهذه الخاصية تكون مشتركة بين جميع المواد .

ولتوضيح وجود المسافات البينية بين الجزيئات نقوم بالتجربتين التاليتين في كل من السائل والغاز :

أ- إذا قمنا بمزج حجم معين من الماء مع حجم معين من الكحول فإننا نلاحظ أن حجم المزيج أقل من مجموع حجميهما وهذا يدل على وجود المسافات البينية في كليهما .

ب- عند رش رائحة ما في الجو عند أحد زوايا الغرفة فيمكننا بعد فترة قصيرة من إدراك تلك الرائحة في جميع أرجاء الغرفة مما يدل على تداخل جزيئاتها مع جزيئات الهواء .

الخواص الجزيئية	الحالة الصلبة	الحالة السائلة	الحالة الغازية
القوى الجزيئية	كبيرة جداً	أقل مما في الصلبة	صغيرة جداً
الحركة الجزيئية	حركة موضعية مقيدة	أكثر نشاطاً وحرية فتكون حركة انتقالية ضمن حدود السائل	كبيرة جداً
المسافات البينية	صغيرة جداً	أكبر مما في الصلب	كبيرة جداً
	ذات شكل معين وحجم ثابت.	ذات شكل متغير وحجم ثابت.	ليس لها شكل ثابت ولا حجم ثابت.

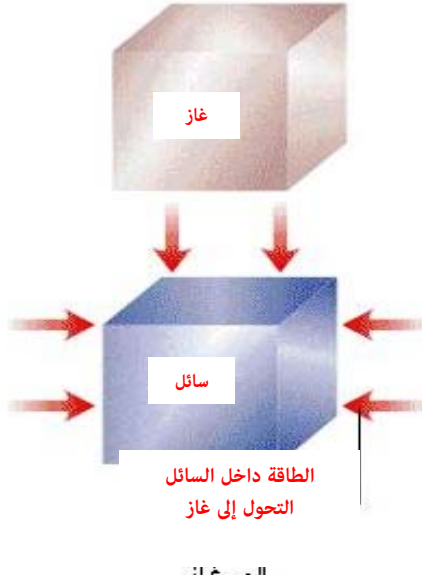
جدول يبين الفرق بين حالات المادة الثلاث
وفق الفروق بين خواصها الجزيئية

تغير حالات المادة

تمتلك الجزيئات في المادة الصلبة والسائلة والغازية طاقة حركية نتيجة لحركتها واهتزازها، وتزداد هذه الطاقة تدريجياً بازدياد درجة الحرارة، وعند تسخين المادة الصلبة فإن درجة حرارتها الكلية تزداد كما أن اهتزاز الجزيئات والذرات تتزايد بسرعة أكبر، ونتيجة لازدياد سرعة الاهتزاز فإن الجزيئات تتحرر من مواقعها الثابتة حتى تفلت بعضها من بعض فتؤلف سائلاً وذلك ما يدعى بـ **الانصهار**.

فالجليد مثلاً ينصهر متحولاً إلى ماء، وبازدياد درجة الحرارة (أي التسخين) تتحرر جزيئات أخرى وأخرى حتى يتم انصهار الجسم الصلب كله، ثم تأخذ درجة

الحرارة التي تظل ثابتة طوال فترة الانصهار في الارتفاع مجدداً وبازديادها تزداد حركة الجزيئات شدة إلى حد أن بعضها يتحرر من سطح السائل ليتبخر في الهواء، وتتصاعد من السائل أثناء هذه العملية فقاعات التي تصعد إلى السطح فتنفجر ويخرج ما بها من بخار، وهذا ما يدعى بـ **الغليان**.



وتبقى درجة حرارة السائل خلالها ثابتة حتى انتهاء تبخر السائل كله، وكلما زادت درجة حرارة السائل زادت سرعة إفلات الذرات، وتدعى هذه العملية بـ **التبخر**.

ويمكن أن تتم هذه العمليات بشكل معاكس أيضاً، وذلك عندما يُبرّد غاز ما فيتحول الغاز إلى سائل ويدعى هذا التحول بـ **التكاثف**.

وتبقى درجة الحرارة ثابتة طوال فترة التكاثف (عملية تحول الغاز إلى سائل)، كما تبقى هذه الحرارة ثابتة أيضاً طوال فترة التجمد (عملية تحول السائل إلى صلب).

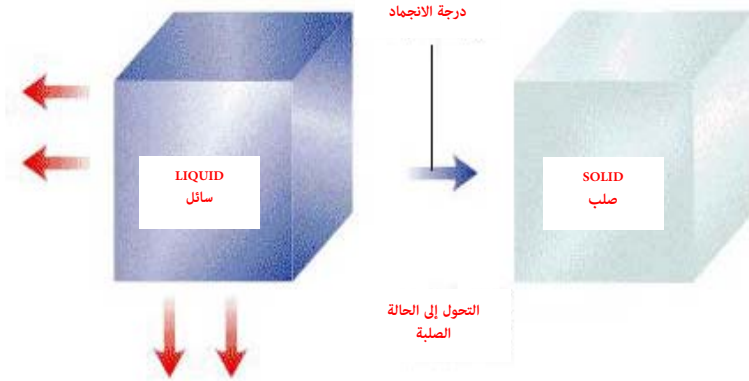
إن انصهار المادة الصلبة يحتاج إلى حرارة فعندما يبدأ النفتالين مثلاً بالانصهار فإن درجة الحرارة تبقى ثابتة حتى ينصهر جميع النفتالين، ودرجة الحرارة

التي تنصهر عندها المادة الصلبة هي من خصائص المادة الفيزيائية المميزة لها، فكل مادة نقية لها درجة انصهار ثابتة تميز تلك المادة .

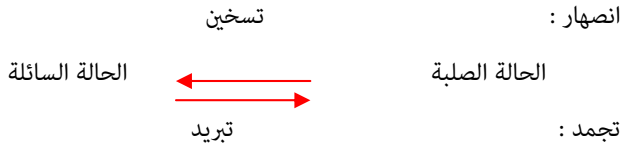
اسم المادة	الجليد	كلوريد الصوديوم	الأسبرين	النفثالين	الحديد	الألمنيوم	صوديوم	أكسجين
درجة الانصهار (س)	صفر	٨٠٨	١٤٣	٨١	١٥٤٠	٦٦٠	٩٨	٢١٨-

درجات انصهار بعض المواد النقية (س)

وعند تبريد النفثالين في الحالة السائلة تنخفض درجة حرارته تدريجياً حتى تصل إلى ٨١°س، فيبدأ عندها النفثالين السائل في الإنجماد والتحول إلى الحالة الصلبة ثانية، وتبقى درجة الإنجماد للمادة ثابتة حتى يتجمد السائل كله ويتحول إلى الحالة الصلبة، ويلاحظ من هذه التجربة ومن تجارب أخرى على مواد أخرى أن درجة الإنجماد لمادة سائلة تساوي درجة انصهارها عندما تكون في حالة الصلابة.



العلاقة على النحو التالي :



الانصهار : هو تحول المادة من حالتها الصلبة إلى حالتها السائلة بتأثير الحرارة أو الضغط أو كليهما .

الإنجماد : هو تحول المادة من حالتها السائلة إلى حالتها الصلبة بالتبريد أو بتغير الضغط أو كليهما .

أنواع الانصهار

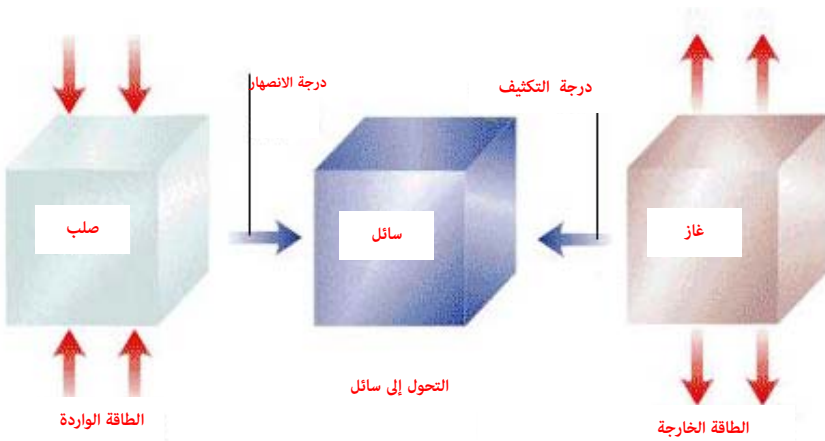
يكون الانصهار على نوعين :

١- الانصهار في درجة حرارة ثابتة تدعى بدرجة الانصهار مثل انصهار الجليد والكبريت والقصدير .

٢- الانصهار في مدى من الدرجات حيث تمر المادة بحالة تسمى الحالة العجينية أثناء انصهارها كما في انصهار الشمع والزجاج واللدائن .

درجة الانصهار : هي تلك الدرجة الحرارية التي يبدأ عندها الجسم الصلب بالانصهار .

والمواد التي تنصهر في درجة حرارة ثابتة تكون نقطة انصهارها هي نفسها نقطة انجمادها .



وهناك عوامل تؤثر في نقطة انصهار المادة هي :

١- نقاوة المادة : تزداد نقطة انصهار المادة بزيادة نقاوة المادة .

٢- الضغط المسلط عليها :

أ-المواد التي يكبر حجمها أثناء الانصهار كالشمع تؤدي زيادة الضغط إلى رفع درجة انصهارها .

ب-المواد التي يصغر حجمها أثناء الانصهار كالجليد تؤدي زيادة الضغط إلى خفض نقطة انصهارها .

إن لكل مادة نقية كمية من الحرارة تحتاج إليها لكي تتم عملية الانصهار فقط دون أن ترتفع درجة

حرارتها، وتلك الكمية اللازمة تدعى **بالحرارة الكامنة للانصهار**.

الحرارة الكامنة للانصهار : هي كمية الحرارة اللازمة لتحويل (١ غم) من المادة من الحالة الصلبة إلى السائلة

عند نقطة انصهارها الطبيعية دون تغير في درجة حرارتها .

ولحساب كمية الحرارة اللازمة لصهر المادة دون أن ترتفع درجة حرارتها وهي في نقطة انصهارها الطبيعية يتم

بالعلاقة الرياضية التالية :

$$\text{حر} = \text{ك} \times \text{ص}$$

أي أن :

كمية الحرارة = الكتلة × الحرارة الكامنة للانصهار

حيث ص للجليد بدرجة الصفر السيلسيوس = ٨٠ سعرة/غم أو (٣٣٦٠٠٠ جول/كغم) .

وتقاس الحرارة الكامنة للانصهار بوحدات (سعرة/غم) أو (جول/كغم) .

مثال :

ما كمية الحرارة اللازمة لصهر (١/٢ كغم) من الجليد وهو بدرجة الصفر السيلسيوس ؟

الحل :

$$١ \text{ كغم} = ١٠٠٠ \text{ غم}$$

$$\frac{١}{٢} \times ١٠٠٠ = ٥٠٠ \text{ غم}$$

حر = ك × ص

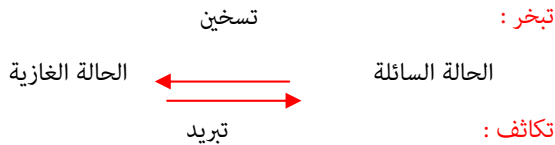
$$٤٠٠٠٠ = ٨٠ \times ٥٠٠ = \text{سعة كمية الحرارة اللازمة} .$$

وتنخفض درجة انصهار المادة عن قيمتها المعروفة عندما تكون المادة غير نقية، ولهذا ينثر ملح الطعام على الجليد على الطرقات في البلدان الباردة ويؤدي ذلك إلى انصهار الجليد في درجة حرارة أقل من درجة (صفر)س مما يؤمن السير على الطرقات من خطر الانزلاق .

إن انصهار الجليد وانجماد الماء من الأمثلة المألوفة في حياتنا اليومية فإذا وضعنا مكعبات من الجليد في إناء مملوء بالماء نلاحظ أن الجليد يطفو على الماء وهناك جبال من الجليد تطفو على ماء البحر، فما تفسير ذلك ؟

من القواعد المعروفة أن السائل يتقلص ويقل حجمه عادة عندما يتجمد، أما الماء فهو يشذ عن هذه القاعدة، إذ أنه يبدأ بالتمدد عندما تنخفض درجة حرارته من ٤°س إلى درجة الصفر، وعندما يتجمد الماء يزداد حجمه فتصبح كتلة ١ سم^٣ منه أقل من كتلة ١ سم^٣ من الماء فيطفو على سطح الماء وهذا يعلل سبب انفجار أنابيب المياه عند تجمد الماء فيها وقت حدوث الصقيع .

وترتفع درجة الحرارة بالتسخين تدريجياً وعندما يصل السائل إلى درجة الغليان فإن درجة الحرارة تبقى ثابتة، وعند تكاثف الغاز تنخفض درجة الحرارة إلى درجة معينة يتحول فيها الغاز إلى سائل .
فعمليات التبخر والتكاثف هما عمليتان متعاكستان تماماً، وتوضح هذه العلاقة على النحو التالي :



وقد وجد أن لكل سائل نقي درجة حرارة معينة وثابتة يبدأ السائل عندها بالغليان، فدرجة الغليان لسائل ما هو خاصية فيزيائية تميزه عن السوائل الأخرى، والجدول الآتي يبين درجات غليان بعض السوائل .

اسم السائل	الماء	الزئبق	الكحول	الإيثر	الكلوروفورم (ثلاثي كلورو ميثان)	الصوديوم	الأوكسجين
درجة الغليان (س)	١٠٠	٣٥٧	٧٨	٣٥	٦١	٨٨٣	١٨٣-

درجات غليان بعض السوائل

ولهذه الخاصية استخدامات كثيرة فمثلاً يستخدم الزئبق في موازين الحرارة لقياس درجات الحرارة التي تزيد على ٤٠٠°C لأن درجة غليانه عالية بينما لا يستخدم ميزان الحرارة الكحولي في قياس درجة غليان الماء .

لقد عرفنا سابقاً أن المادة في الحالة الغازية ليس لها شكل ثابت أو حجم ثابت، فلو تسرب الغاز من أسطوانة الغاز في البيت فإن رائحة الغاز تشم عن بعد وتدعى هذه الخاصية بـ الانتشار، وقد وجد بالتجربة أن جميع الغازات تمتلك هذه الخاصية .

كما أن حجم الغاز يكون متغيراً، فلو أخذنا مكبساً أو محقنة طبية وسددنا طرفها بالإصبع وضغطنا الهواء في المحقنة بالمكبس حتى يصل حجم الهواء إلى نصف حجمه الأصلي، نلاحظ أن حجم الهواء يقل إذا زاد الضغط المسلط عليه وعندما نخفف الضغط على المكبس فإن حجم الهواء يزداد .

ويعتمد هذا التغير في حجم الغاز على الضغط الواقع (المسلط) عليه، حيث أن الحجم يقل بازدياد الحجم الواقع عليه، بينما يزداد حجم الغاز إذا قل الضغط الواقع عليه .

وقد توصل العالم **روبرت** بويل إلى هذه النتيجة فوضعها في قانون يدعى

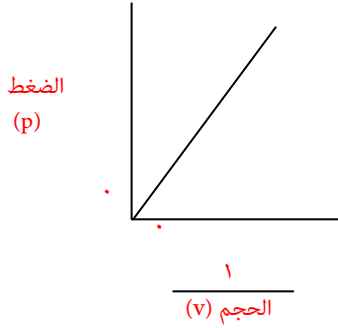
قانون بويل وينص على :

" يتناسب حجم الغاز المحصور تناسباً عكسياً مع الضغط الواقع عليه عند بقاء درجة الحرارة

ثابتة " .

ويمثل هذا القانون بيانياً حيث يدل الخط المستقيم الذي يمر من خلال نقطة

الأصل (٠,٠) بأن ازدياد الضغط يتناسب عكسياً مع نقصان الحجم .



قوة التماسك وقوة التلاصق

لماذا يصعب قطع جزء من سلك باليد، في حين تسهل قسمة كمية من الماء إلى قسمين ؟

ولماذا يحافظ الجسم الصلب على شكله في حين يأخذ السائل شكل الوعاء الذي يوضع فيه ؟

أوضحنا سابقاً أن المادة تتكون من مكونات صغيرة قد تكون ذرات أو جزيئات وأن بين

هذه المكونات قوى تربطها مع بعضها، وفي حالة السلك تكون القوى بين

مكوناته كبيرة لذا يصعب علينا قطع جزء منه باليد ويبقى الجسم الصلب محافظاً على شكله بسبب هذه القوى أما في حالة الماء فتكون القوى بين مكوناته ضعيفة لذا يمكن قسمته إلى قسمين بسهولة وكذلك يمكن أن يغير شكله حسب الإناء الذي يحتويه، ويطلق على القوى بين مكونات المادة الواحدة اسم **(قوى التماسك)** فقوة التماسك : هي القوة التي تربط مكونات المادة الواحدة معاً، وتكون قوة التماسك بين مكونات المادة الصلبة كبيرة وتقل بين مكونات المادة السائلة، وتكاد تكون معدومة بين مكونات المادة الغازية، ولكن هل هناك قوى بين مكونات مادة ومكونات مادة أخرى مختلفة عنها ؟

وللإجابة عن ذلك سنقوم بالتجربة التالية :

نحضر قطعة من الفحم وورقة كتابة ولوح خشب وقطعة من الطباشير وكمية من الزيت ولوح زجاج، نجعل قطعة الفحم تلامس سطح الورقة فنلاحظ أن مكونات الفحم قد التصقت بالورقة، والآن نضغط بالطباشير على لوح الخشب فنلاحظ أن مكونات الطباشير قد التصقت بلوح الخشب، وإذا صببنا كمية من الزيت على لوح الزجاج فسنلاحظ أن مكونات الزيت قد التصقت كذلك بلوح الزجاج، إن الورق والفحم مادتان مختلفتان عن بعضهما وكذلك الطباشير والخشب والزيت والزجاج ولكننا لاحظنا أن المادتين المختلفتين قد التصقتا ببعضهما، إن التصاق مادتين مختلفتين مع بعضهما يعود إلى وجود قوة تسمى **(قوة التلاصق)** وهذه القوة تنشأ بين مكونات مادتين مختلفتين .

ويختلف مقدار هذه القوة باختلاف المواد فلو سكبنا كمية من الماء على لوح الزجاج للاحظنا أن الماء يلتصق بالزجاج ويبلله ولو أملنا لوح الزجاج للتخلص من الماء فسيبقى قسماً من الماء ملتصقاً بالزجاج وهذا يدل على أن قوة التلاصق بين مكونات الماء والزجاج كبيرة .

ولو أخذنا ميزان حرارة زئبقياً ووضعه في ماء ساخن فسيصعد الزئبق إلى حد معين ثم نخرجه من الماء الساخن وندهه يبرد حتى يعود بعد انخفاض درجة الحرارة فنلاحظ أن الزئبق لا يلتصق بزجاج الميزان ولا يبلله وهذا يدل على أن قوة التلاصق بين مكونات الزئبق والزجاج ضعيفة .

وتؤثر قوى التماسك بين مكونات المواد وقوى التلاصق بين المواد المختلفة

في شكل سطح السائل في الوعاء الذي يوضع فيه، فلو وضعنا في أنبوب الاختبار كمية من الماء ووضعنا في آخر كمية من الزئبق وأمعنا النظر في سطحيهما فسنجد أن سطح الماء في أنبوب الاختبار مقعر بينما يكون سطح الزئبق في الأنبوب الثاني محدباً وسبب ذلك أن قوى التلاصق بين مكونات الماء والزجاج أكبر من قوى التماسك بين مكونات الماء الأمر الذي يجعل مكونات الماء الملامسة لجدران الأنبوب ترتفع إلى أعلى وبالتالي يكون سطح الماء في الأنبوب مقعراً بينما في حالة الزئبق يحدث العكس تماماً إذ أن قوة التماسك بين مكونات الزئبق تكون أكبر من قوى التلاصق بين الزئبق والزجاج وهذا ما يجعل سطحه محدباً .

التوتر السطحي

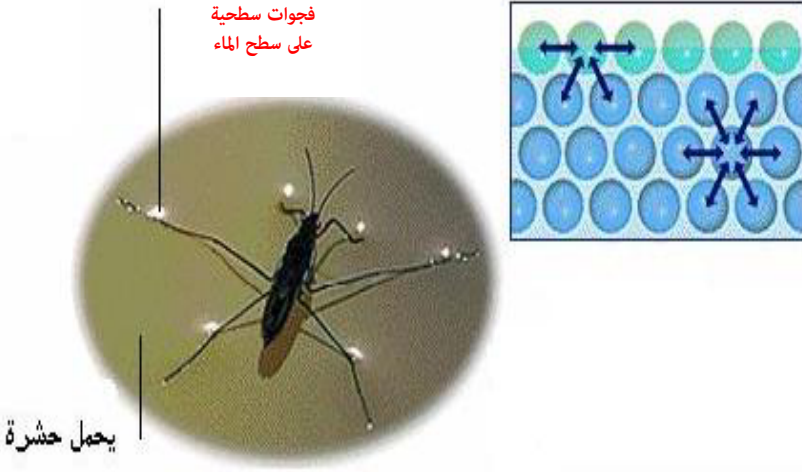
إذا وضعنا إبرة نظيفة جافة فوق قطعة من ورق النشاف عائمة على سطح الماء في كأس، نلاحظ أن ورقة النشاف تغوص تدريجياً في الماء، أما الإبرة فتبقى عائمة على سطح الماء، كذلك نلاحظ عند ملء الكأس بالماء إلى الحد الأقصى أن سطح الماء يكون منتفخاً ناتئاً فوق حافة الكأس .

وتبين هاتان التجربتان أن سطح الماء غشائي الخصائص، ويتألف هذا السطح شبه الغشائي من طبقة من الجزيئات المكونة لسطح الماء، فهذه الجزيئات السطحية دائمة الانجذاب نحو مركز السائل من قبل الجزيئات الأخرى ونتيجة لذلك ينكمش سطح الماء ويتوتر وتعرف هذه الظاهرة بـ **التوتر السطحي**.

إن قطرات السائل الساقطة في الهواء وفقاعات الهواء الموجودة داخل السائل لها قوة شد سطحي تؤثر من جهة واحدة (**وهي سطح السائل إلى الداخل**) بينما فقاعات الصابون في الهواء لها سطحان ملامسان للهواء (**من الداخل والخارج**) فتكون قوة الشد السطحي مؤثرة من جهتين وفي كلا الحالتين تعمل قوة التوتر السطحي على جعل سطح الفقاعة أو القطرة أصغر مساحة ممكنة (وهي المساحة السطحية للكرة لحجم

معين) فتتخذ شكلاً كروياً، ويكون الضغط داخل القطرات أو الفقاعات أكثر قليلاً من الضغط الخارجي المسلط عليها .

ولابد من أنك شاهدت أنواعاً من الحشرات الخفيفة كالبعوضة مثلاً تقف على سطح الماء دون أن تغطس وذلك تطبيقاً لهذه الظاهرة .



التوتر السطحي

وبالإمكان التدليل على ظاهرة التوتر السطحي في السوائل بإجراء التجارب التالية :

- نغمس حلقة من سلك معدني يمر عبرها خيط رخو، في ماء صابوني، ثم نرفع الحلقة ونثقب الغشاء الصابوني في أحد جانبي الخيط، فنلاحظ أن الخيط ينجذب ويتوتر نتيجة لانكماش الغشاء الصابوني المتبقي إلى الحد الأقصى بتأثير التوتر السطحي، وإذا أعدنا التجربة نفسها بعد أن نجعل الخيط الرخو يلتف بشكل عروة صغيرة داخل الحلقة السلكية، فنعد ثقب الغشاء الصابوني داخل العروة نلاحظ أن العروة توترت لتتخذ شكلاً دائرياً بتأثير التوتر السطحي، ذلك أن الغشاء الصابوني المتبقي يحاول هنا أن ينكمش .

- لو وضعنا شفرة حلقة برفق فوق سطح ماء في حوض فسنلاحظ أن الشفرة تطفو على سطح الماء، على الرغم من أن كثافة الشفرة أكبر من كثافة الماء ويعود ذلك إلى أن سطح الماء يعمل كما لو كان غشاءً مشدوداً يحمل فوقه الشفرة .

العوامل المؤثرة في مقدار التوتر السطحي لسائل ما

تجربة :

لو أخذنا كأساً زجاجياً ووضعنا فيها ماءً وأخذنا إبرة فلزية ووضعناها على ورق نشاف ووضعناها على سطح الماء برفق كما في المثال السابق فإن الإبرة ستطفو على سطح الماء، والآن لو قمنا بتسخين الماء في الكأس مستعينين بمصدر حراري فسنلاحظ أن الإبرة تغوص في الماء عندما ترتفع درجة حرارة الماء إلى درجة حرارة عالية .

نستنتج من خلال هذه التجربة أن ارتفاع درجة حرارة السائل يقلل من مقدار توتره السطحي، وقد عُيِّن مقدار التوتر السطحي لسوائل مختلفة عملياً فوجد أنه يختلف من سائل إلى آخر، والجدول التالي يبين مقدار التوتر السطحي لبعض السوائل عند درجة ٢٠°س .

السائل	الماء	البنزين	الكحول	الزئبق	محلول الصابون	زيت الزيتون	الجليسرين
مقدار التوتر السطحي (نيوتن / متر)	٠,٠٧٣	٠,٠٢٩	٠,٠٢٣	٠,٤٧٥	٠,٠٢٥	٠,٠٣٢	٠,٠٦٣

الخاصية الشعرية

تجربة :

نحتاج في هذه التجربة إلى حوض زجاجي، وماء، وبيرمنغنات البوتاسيوم (أو أي مادة ملونة)، وأنبوب زجاجي شعري (رفيع) وأنبوب زجاجي واسع (أو قشة مص لدائنية إحداهما رفيعة والأخرى واسعة القطر) .

نملأ ثلثي الحوض بالماء ونلونه بـيرمنغنات البوتاسيوم، ثم نغمر طرفي الأنبوبين الزجاجيين في الماء المملون، فنلاحظ أن الماء قد ارتفع في الأنبوب الشعري (الرفيع)، ولم يرتفع في الأنبوب الواسع .

إن ارتفاع السائل في الأنابيب الشعرية يطلق عليه اسم **الخاصية الشعرية** وهذه الخاصية هي التي تجعل الماء يرتفع إلى أعالي الأشجار والنباتات خلال الأنابيب الشعرية الموجودة بداخلها .
الخاصية الشعرية : هي خاصية ارتفاع أو انخفاض السائل في الأنابيب الضيقة القطر جداً وذلك بسبب اختلاف قوتي التلاصق والتماسك بين الجزيئات والأنبوب وبين جزيئات السائل نفسه .

ويختلف مستوى سطح السائل داخل الأنابيب الشعرية عن مستواه خارج الأنبوب وذلك بسبب اختلاف قوتي التماسك والتلاصق بين جزيئات السائل والأنابيب الضيقة القطر فعندما تكون قوة التلاصق أكبر من قوة التماسك بين جزيئات السائل يرتفع سطح السائل إلى الحد الأعلى بالنسبة لمستواه في الإناء متخذاً شكلاً مقعراً حيث تكون محصلة تلك القوتين متجهة نحو جدران الأنبوب وهي التي تسبب تسلق جدران الأنبوب فيؤدي ذلك إلى زيادة المساحة لسطح السائل وهذا يناقض خاصية الشد السطحي لذا يتقلص سطح السائل متوتراً والجزيئات العليا من السائل معلقة بجدران الأنبوب فيرتفع السائل عن مستواه الخارجي متخذاً شكلاً مقعراً (مثل الماء الذي يبيلل جدران الأنبوب) .

وعندما تكون قوة التماسك بين جزيئات السائل أكبر من قوة التلاصق بين جزيئات السائل والإناء فإن السائل سوف ينخفض مستواه إلى دون ما هو عليه في الإناء متخذاً شكلاً محدداً حيث تكون محصلة تلك القوتين متجهة بعيداً عن جدران الأنبوب وهي التي تسبب انخفاض مستوى سطح السائل داخل الأنبوب (مثل الزئبق الذي لا يبيلل جدران الأنبوب) .

إن ظاهرة التوتر السطحي تتجلى أيضاً في تشرب قطعة السكر أو ورقة نشاف الماء من طبق، وتحدث هذه الخاصية لأن التوتر السطحي يرفع السائل خلال الأنابيب

الدقيقة، فقطعة السكر مسامية لا مصمتة وكذلك ورقة النشاف مما يجعل الماء يتصاعد عبر شقوقها الشعرية، وهناك علاقة بين ارتفاع السائل في الأنبوب الشعري وقطره ولإيضاح ذلك نحتاج إلى إجراء التجربة التالية :

نأخذ عدد من الأنابيب الشعرية بأقطار مختلفة، وحوض زجاجي مملوء بالماء، نغمر أطراف الأنابيب الشعرية في ماء الحوض بشكل عمودي، فنلاحظ أن ارتفاع الماء في الأنابيب الشعرية المختلفة الأقطار مختلفاً، فالأنبوب الشعري الرفيع يكون فيه الارتفاع أكبر ما يمكن، بينما يكون الارتفاع أقل ما يمكن في الأنبوب الواسع القطر .

الخاصية الشعرية ونوع السائل

هل أن السوائل المختلفة ترتفع بنفس المقدار في الأنابيب الشعرية المتساوية الأقطار ؟
للإجابة عن هذا السؤال سنقوم بالتجربة التالية :

نحتاج إلى حوضين زجاجيين، وماء وكحول (أو أي سائل آخر) وأنبوبين شعريين متماثلين، فعلاً أحد الحوضين بالماء إلى ثلثيه وثلثه الآخر بالكحول، ثم نغمر طرف الأنبوب الشعري في ماء الحوض وطرف الأنبوب الآخر في الكحول، ننتظر فترة مناسبة، نلاحظ أن مقدار ارتفاع الماء يختلف عن مقدار ارتفاع الكحول .

من ذلك نستنتج أن الخاصية الشعرية تعتمد على عاملين هما :

- أ- نصف قطر الأنبوب الشعري: وتتناسب عكسياً بثبوت الشد السطحي والكثافة الوزنية للسائل .
- ب- الكثافة الوزنية للسائل: وتتناسب عكسياً بثبوت الشد السطحي ونصف قطر الأنبوب .
- ج- المركبة العمودية لمحصلة القوى التي ترفع أو تخفض السائل داخل الأنبوب لما فيها قوة الشد وتتناسب طردياً .

فوائد الخاصية الشعرية :

- امتصاص ورق النشاف للحبر .

- امتصاص المنشقة للماء.
- امتصاص النبات للسائل المغذي له من التربة .

مضار الخاصية الشعرية :

- ملوحة الأرض .
- رطوبة الجدران .
- عدم دقة قراءة المحرار الزئبقي .
- نضوح النفط من خزانات النفط مسببة التلوث .

أُسْئَلَة

- س١ : صف تجربة توضح فيها وجود المسافات البينية في كل من (أ) السائل . (ب) الغاز .
- س٢ : هل لحالتي الشد والكبس على جسم ما تأثير في مقدار القوى الجزيئية فيه؟ وضح جوابك بمثال .
- س٣ : اختر الجواب الصحيح في كل مما يأتي :
- ٠١ تمتاز الحالة السائلة بأنها ذات :
- (أ) شكل ثابت وحجم متغير .
- (ب) حجم ثابت وشكل متغير .
- (ج) شكل متغير وحجم متغير .
- ٠٢ تتكون نواة الذرة من جسيمات :
- (أ) سالبة تسمى الإلكترونات وجسيمات متعادلة تسمى البروتونات .
- (ب) سالبة تسمى الإلكترونات وجسيمات موجبة تسمى البروتونات .
- (ج) متعادلة تسمى النيوترونات وجسيمات موجبة تسمى البروتونات .
- ٠٣ تتولد بين جزيئات المادة قوة تنافر إذا أصبحت المسافة البينية..... قطر الجزيئة .
- (أ) مساوية لـ .
- (ب) أكبر من .
- (ج) أصغر من .
- ٠٤ تمتاز الحركة الجزيئية للمواد الصلبة بأنها :

(أ) عشوائية بطيئة .

(ب) اهتزازية مقيدة .

(ج) عشوائية سريعة جداً .

٥٠ تزداد صفة الاستمرارية للجسم بزيادة :

(أ) حجمه .

(ب) حركته .

(ج) كتلته .

٦٠ عند مزج حجمين من سائلين مختلفين لا يتفاعلان كيميائياً فإن حجم المزيج يكون أقل من مجموع

حجميهما بسبب وجود :

(أ) المسافات البينية .

(ب) القوى الجزيئية .

(ج) الحركة الجزيئية .

س٤ : لماذا يستعمل البنزين لإزالة البقع الدهنية ؟

س٥ : ماذا يحصل لارتفاع السائل في الأنابيب الشعرية عندما يقل نصف القطر ولماذا ؟

س٦ : لماذا تتخذ قطرات الماء شكلاً كروياً عند سقوطها باتجاه الأرض ؟

س٧ : ما سبب استخدام الماء الحار والصابون في إزالة البقع الدهنية ؟

س٨ : علل ما يأتي :

أ- يمكن للحشرات الخفيفة السير على سطح الماء .

ب- يمكن لإبرة جافة أن تطفو فوق سطح الماء الساكن لو وضعت عليه بتمهل.

ج- تحذب سطح الماء في دورق مملوء بأكثر من سعته بقليل.

س٩ : على ماذا تعتمد قوة التماسك ؟

س١٠ : متى يبذل السائل الجسم الملامس له ؟

س١١ : متى لا يبذل السائل الجسم الملامس له ؟

الأجوبة

ج ١: (أ) عند مزج حجم معين من الماء مع حجم معين من الكحول نلاحظ أن حجم المزيج أقل من مجموع حجميهما، وهذا يدل على وجود المسافات البينية في كلا المادتين .

(ب) عند رش رائحة ما في الجو عند أحد زوايا الغرفة سوف يمكن لنا بعد فترة قصيرة إدراك تلك الرائحة في جميع أرجاء الغرفة مما يدل على تداخل جزيئاتها مع جزيئات الهواء .

ج ٢: نعم . ففي حالة الشد سوف تظهر قوى تجاذب بين الجزيئات تحاول أن تعيد الجسم إلى حالته الأصلية كما في قوة الشد المسلطة على شريط مطاطي لغرض زيادة طوله فسوف تظهر قوة مقاومة للسحب هي قوة التجاذب بين جزيئاته .

أما في حالة الكبس فستظهر قوى تنافر بين الجزيئات تحاول أيضاً أن تعيد الجسم إلى حالته الأصلية كما في قوة الكبس المؤثرة على قطعة من المطاط فستظهر قوة مقاومة للكبس هي قوة التنافر بين جزيئاته .

ج ٣: ١- (ب) .

٢- (ج) .

٣- (ج) .

٤- (ب) .

٥- (ج) .

٦- (أ) .

ج ٤: وذلك لصغر قيمة قوة الشد السطحي للبنزين فيستطيع أن يتخلل من خلال تلك البقع ويعمل على تفكيكها وإزالتها .

ج ٥ : يزداد ارتفاع السائل لأن مقدار الارتفاع يتناسب عكسياً مع نصف قطر الأنبوب بثبوت قوة الشد السطحي والكثافة الوزنية .

ج ٦ : بسبب قوة الشد السطحي التي تجعل سطح القطرة المائية يتخذ أصغر مساحة ممكنة والتي هي المساحة السطحية للكرة لذا تأخذ شكلاً كروياً .

ج ٧ : لأن قوة الشد السطحي للماء الحار تكون قليلة فيستطيع الماء مع الصابون أن يتخلل من خلال البقع الدهنية ويعمل على تفككها وإزالتها .

ج ٨ : أ: بسبب خاصية التوتر السطحي والتي تجعل من سطح الماء غشاءً مرناً تستطيع الحشرة الخفيفة السير عليه .

ب: بسبب خاصية التوتر السطحي والتي تجعل من سطح الماء غشاءً مرناً يستطيع إسناد الإبرة فلا تغوص .

ج: بسبب خاصية التوتر السطحي والتي تحاول أن تجعل من سطح السائل أن يتخذ أصغر مساحة ممكنة والتي هي مساحة الكرة فيتحذب .

ج ٩ : ١- نوع المادة .

٢- درجة الحرارة : تؤدي زيادة درجة الحرارة إلى زيادة الطاقة الحركية لجزيئات المادة فتضعف القوة الجزيئية ويزداد البعد بين الجزيئات لذلك تقل قوة التماسك.

ج ١٠ : عندما تكون قوة التلاصق بين جزيئات السائل والجسم الملامس له أكبر من قوة تماسك جزيئات السائل كما في الماء الموضوع في قذح زجاجي.

ج ١١ : عندما تكون قوة تماسك جزيئات السائل أكبر من قوة تلاصق جزيئاته مع جزيئات الجسم الملامس له كما في الزئبق الموضوع في قذح زجاجي.

الفصل الثاني الكثافة

الفصل الثاني

الكثافة

من خلال اختباراتنا اليومية نعرف أن لنفس الحجم من المواد المختلفة أوزاناً وكتلاً مختلفة وأحياناً يكون هذا الاختلاف شاسعاً فكتلة مكعب من الذهب تفوق كتلة مساوية من الجليد بحوالي عشرين مرة .
ويطلق على ثقل الحجم المحدد من مادة ما أسم الكثافة وتعتمد الكثافة على شدة تراص جزيئات المادة فيه .

ونتيجة لاختلاف الكثافة فإن الأوزان المتساوية من مواد مختلفة لها حجوم مختلفة .

الكثافة : هي نسبة كتلة حجم محدد إلى حجم الحيز الذي يشغله .

كثافة الجسم :

١-الكثافة الكتلية : كتلة وحدة الحجم، وحداتها (كغم/م^٣) أو (غم/سم^٣)

$$\text{الكثافة} = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$$

ملاحظة : ١ (كغم/م^٣) = ١٠^{-٣} (غم/سم^٣)

٢- الكثافة الوزنية (كث_و) : وزن وحدة الحجم، وحداتها (نت/م^٣ أو دايين/سم^٣)

$$\text{كث} = \frac{\text{و}}{\text{ح}}$$

ملاحظة : ١ نت/م^٣ = ١٠^{-١} دايين/سم^٣

كث للماء = ١٠٠٠ كغم/م^٣ أو غم/سم^٣ .

كث و للماء = ٩٨٠٠ نت/م^٣ أو ٩٨٠ دايين/سم^٣

- العلاقة بين الكثافة الوزنية والكثافة الكتلية للمادة هي :

الكثافة الوزنية = الكثافة الكتلية × ٩,٨ مقدرة بـ (نت/م^٣)

الكثافة الوزنية = الكثافة الكتلية × ٩٨٠ مقدرة بـ (داين/سم^٣)

مثال :

اشتق العلاقة بين الكثافة الوزنية والكثافة الكتلية للمادة .

الحل :

$$\text{كث}_و = \frac{و}{ح} \quad (١)$$

$$و = ك \times ٩,٨ \quad (٢)$$

بتعويض (٢) في (١) ينتج :

$$\text{كث}_و = \frac{ك \times ٩,٨}{ح}$$

وحيث أن :

$$\text{كث} = \frac{ك}{ح}$$

إذاً :

$$\text{كث}_و = \text{كث} \times ٩,٨ \times \dots \dots \dots \text{نت/م}^٣$$

$$\uparrow$$

$$\text{كغم/م}^٣$$

أو:

$$\text{كث}_و = \text{كث} \times ٩٨٠ \times \dots \dots \dots \text{داين/سم}^٣$$

$$\uparrow$$

$$\text{غم/سم}^٣$$

٣-الكثافة النسبية (كث_ن): هي النسبة بين كثافة المادة إلى كثافة الماء وهي مقدار خالي من الوحدات .

$$\text{كث}_ن = \frac{\text{كث المادة}}{\text{كث الماء}}$$

إن الكثافة النسبية للمادة تساوي القيمة العددية للكثافة الكتلية لتلك المادة، فمثلاً

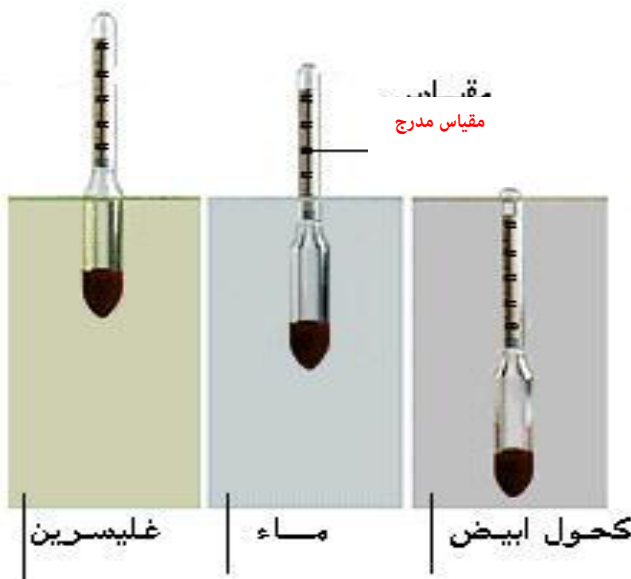
الكثافة الكتلية للزئبق (١٣,٦ غم/سم^٣) فالكثافة النسبية للزئبق هي (١,٣٦).

وأيضاً يمكن تمثيل الكثافة النسبية بالنسبة بين الكثافة الوزنية للمادة والكثافة الوزنية للماء .

$$\text{كث}_\text{ن} = \frac{\text{كث}_\text{و للماء}}{\text{كث}_\text{و للماء}}$$

ومن المعروف أن المواد الأقل كثافة من الماء تطفو على سطحه فجل الجليد يطفو لأن كثافة الجليد أقل من كثافة الماء وكذلك فإن الكثافة الإجمالية للسفن الفولاذية أقل من غم للسم^٣ لأن جوفها مملوء بالهواء، والهواء أقل كثافة من الماء، وهذه السفن تطفو على سطح الماء، بينما القطعة الصغيرة من الفولاذ تغوص في الماء .

إن معرفة كثافة الأجسام أمر مهم جداً ففي صناعة الطائرات مثلاً لا يفضل استخدام المواد ذات الكثافة العالية كي لا يصبح وزن الطائرة كبيراً لذلك يستبدل بسبائك قليلة الكثافة .
وتقاس الكثافة بجهاز الهيدرومتر حيث يستخدم في الحافظات البحرية للأسماك لقياس مستوى الأمواج في أحواض السمك، إذ أن الملح يزيد من كثافة الماء .



الهيدرومتر

مسائل

س١: جسم صلب وزنه بالهواء (٢٠نت) وفي الماء (١٥نت) وفي سائل آخر (١٦ نت) احسب:

أ- حجم الجسم .

ب- الكثافة النسبية للجسم.

ج- الكثافة النسبية للسائل.

الحل:

أ- وزن الماء المزاح = وزن الجسم في الهواء - وزنه في الماء

كث و للماء × حجم الماء المزاح = ١٥ - ٢٠ ← ٩٨٠ × حجم الجسم = ٥

$$\text{حجم الجسم} = \frac{5}{980} = 0,0005 \text{ م}^3 \text{ حجم الجسم.}$$

$$\text{ب-} \quad \text{كث ن للجسم} = \frac{\text{وزن الجسم في الهواء}}{\text{وزن الجسم في الهواء - وزنه في الماء}} = \frac{20}{15-20}$$

= ٤ الكثافة النسبية للجسم.

ج- وزن السائل المزاح = وزن الجسم في الهواء - وزنه في السائل

كث و للسائل × حجم السائل المزاح = ١٦ - ٢٠

كث ن للسائل × كث و للماء × حجم الجسم = ٤

$$\text{كث ن للسائل} \times 980 \times \frac{5}{980} = 4$$

$$\text{كث ن للسائل} = \frac{4}{0,8} = \text{الكثافة النسبية للسائل}$$

س٢: قطعة من الخشب كثافتها النسبية ٠,٨ بين أي جزء من حجمها يظهر فوق سطح الماء؟

الحل:

نفرض أن حجم الجسم = ح

وزن الماء المزاح = وزن الجسم في الهواء

$$\text{كث و للماء} \times \text{حجم الماء المزاح} = \text{كث و للجسم} \times \text{حجم الجسم}$$

$$\text{كث و للماء} \times \text{حجم الجزء الغاطس} = \text{كث ن للجسم} \times \text{كث و للماء} \times \text{ح}$$

$$\text{حجم الجزء الغاطس} = 0,8 \text{ ح}$$

$$\text{حجم الجزء الظاهر} = \text{حجم الجسم} - \text{حجم الجزء الغاطس}$$

$$= \text{ح} - 0,8 \text{ ح} = 0,2 \text{ ح}$$

الفصل الثالث الضغط

الفصل الثالث

الضغط

إذا وقفت على أرض رملية رخوة فإن قدمك تغوصان فيها كثيراً بينما لو اضطجعت فوقها فإنك لن تغوص كثيراً فبالرغم من أن القوة المؤثرة على الرمل هي نفسها في كلتا الحالتين وهي وزن جسمك إلا أنها في الحالة الأولى تؤثر على مساحة قليلة بينما في الحالة الثانية تؤثر على مساحة أكبر .

لو وضعنا كرسيًا على أرض رملية ووضعنا كرسيًا آخر فوق قطعة كبيرة من الخشب على الأرض الرملية نفسها فسنلاحظ ما يلي :

إن أرجل الكرسي تغوص في الرمل بينما لا تغوص القطعة الخشبية التي يرتكز عليها الكرسي في الرمل كثيراً .

وسبب ذلك أن الكرسي قد أحدث ضغطاً على الأرض أكبر من الضغط الذي أحدثه الكرسي الموضوع على القطعة الخشبية، وللسبب نفسه فإن السكين الحادة تقطع بشكل أفضل من السكين الكليلة الحد، فمساحة الحد القاطع أقل في السكين الحادة لذا يكون الضغط عليه بالتالي أكثر بالقوة نفسها .

فما هو الضغط ؟ وما هي العوامل التي يعتمد عليها ؟

مفهوم الضغط

تجربة :

نحتاج إلى قطعة إسفنج على شكل متوازي المستطيلات وقطعتين خشبيتين مختلفتين في مساحة القاعدة على شكل متوازي المستطيلات وعتارات (أوزان) مناسبة.

نضع قطعة الإسفنج على سطح أفقي كالطاولة مثلاً ثم نضع قاعدة قطعة الخشب الكبيرة على

قطعة الإسفنج ونلاحظ المسافة التي تدخلها قطعة الخشب في الإسفنج، نضع قاعدة قطعة الخشب الصغيرة على قطعة الإسفنج فنلاحظ أن دخول

قطعة الخشب في الإسفنج قد زاد (عندما صغرت المساحة أي مساحة القاعدة التي تركز عليها

قطعة الخشب).

والآن لو كررنا الخطوة السابقة ووضعنا عياراً مناسباً (٥٠٠) غرام مثلاً على

قطعة الخشب سنلاحظ أن دخول قطعة الخشب في الإسفنج قد زاد عندما زاد الوزن الواقع عليها .

إن إنغراز قطعة الخشب في الإسفنج يعني أن قطعة الخشب تضغط سطح قطعة الإسفنج بقوة

تساوي وزنها ووزن العيارات الموضوعة فوقها، وحيث أن وزن قطعة الخشب منفردة أقل من وزنها مع وجود

العيارات فوقها فالضغط الناشئ عن وزنها ووزن العيارات على سطح قطعة الإسفنج يكون أكبر من الضغط

الناشئ عنها منفردة .

نستنتج من ذلك أن الضغط الناشئ عن جسم على سطح ما يتوقف على مقدار وزن الجسم بشرط

ثبوت مساحة السطح .

وكذلك زاد انغراز قطعة الخشب في الإسفنج عندما ارتكزت على قاعدتها الصغيرة وهذا يعني أن

قطعة الخشب ضغطت الإسفنج بقوة تساوي وزنها ولكن في هذه الحالة فإن تلك القوة أثرت في مساحة أقل

من سطح قطعة الإسفنج، فالضغط الناشئ في هذه الحالة يكون أكبر منه في حالة ارتكاز قطعة الخشب على

قاعدتها الكبيرة .

وذلك يعني أن الضغط الناشئ عن جسم على سطح ما يتوقف على مقدار المساحة التي يؤثر فيها

الجسم على السطح بشرط ثبوت وزن الجسم .

مما سبق **نستنتج** أن الضغط الذي يؤثر به جسم في سطح ما يتوقف على وزن الجسم وعلى مساحة هذا

السطح .

ويقاس الضغط عند نقطة من سطح ما بمقدار القوة المؤثرة عمودياً على وحدة المساحة .

أي أن :

القوة العمودية

= الضغط على نقطة =

مساحة السطح

$$\text{ض} = \frac{\text{ق}}{\text{مس}} \dots\dots\dots \text{للاّجسام الصلبة}$$

فإذا قيست القوة بوحدة النيوتن، والمساحة بوحدة المتر المربع، فإن الضغط يقاس بوحدة ن/م^٢ (باسكال) أو داين/سم^٢.

الباسكال هو: مقدار الضغط الناتج عن قوة مقدارها (١) نيوتن تؤثر عمودياً في سطح مساحته (١) متر مربع .

مثال :

$$\text{أثبت أن الباسكال} = ١٠ \text{ داين/سم}^2$$

الحل :

$$\text{الباسكال} = ١ \text{ ن/م}^2$$

$$\text{الباسكال} = \frac{١٠٠٠٠ \text{ داين}}{١٠٠٠٠ \text{ سم}^2} = ١٠ \text{ داين/سم}^2$$

ويتغير الضغط بتغيير :

أ-القوة العمودية المسلطة حيث يزداد الضغط بزيادة القوة ويقل بنقصانها عند ثبوت المساحة (تناسب طردي) .

ب-مساحة القاعدة حيث يزداد الضغط بصغر مساحة السطح (تناسب عكسي) .

مثال :

جسم كتلته (٤٠كغم) بشكل متوازي المستطيلات أبعاده (٢م،١م،٥م) موضوع على سطح الأرض، جد :

(١) أقل ضغط يمكن أن يسلطه الجسم على سطح الأرض .

(٢) أكبر ضغط يسلطه الجسم على سطح الأرض .

الحل :

$$\text{ق} = \text{ك} \times ٩,٨ = ٩,٨ \times ٤٠ = ٣٩٢ \text{ ن} \text{ القوة المسلطة.}$$

$$(١) \text{ أقل ضغط لأكبر مساحة} \leftarrow \text{ض} = \text{ق/مس}$$

$$\text{ض} = \frac{392}{1 \times 2} = 196 \text{ ن/م}^2 \text{ أقل ضغط}$$

(٢) أكبر ضغط لأصغر مساحة ← ض = ق/مس

$$\text{ض} = \frac{392}{0,5 \times 2} = 196 \text{ ن/م}^2 \text{ أكبر ضغط}$$

مثال :

سيارة تزن (٨٨٢٠ ن) ضغط إطارها (١٧٦٤٠٠٠ دايين/سم^٢) جد مساحة الإطار الملامس للأرض .

الحل :

$$1 \text{ ن/م}^2 = 10 \text{ دايين/سم}^2$$

$$1764000 = \frac{1764000}{10} = 176400 \text{ ن/م}^2$$

$$\text{ض} = \frac{\text{ق}}{\text{مس}} = \frac{8820}{176400} = \frac{1}{20} = 0,05 \text{ م}^2$$

ضغط السوائل :

يسلط السائل ضغطاً على قاعدة الإناء الذي يحويه وكذلك يسلط ضغطاً على جوانب الإناء لأن جزيئات السائل تتمتع بخاصية الانزلاق بعضها فوق بعض مما ينتج عنها قوى جانبية تجعل السائل يسلط ضغطاً على جوانب الإناء .

الضغط في السوائل الساكنة

يعرف الضغط عموماً بأنه القوة العمودية المسلطة على وحدة المساحة وعرفنا أن للجسم ضغطاً على السطح الذي يستقر عليه، وأن هذا الضغط يعتمد على عاملين هما : وزن الجسم، والمساحة التي يؤثر فيها الوزن، وبما أن للسائل وزناً فإن له ضغطاً على السطح الذي يقع عليه .

وحداته (ن/م^٢ أو دايين/سم^٢)

$$\text{ض} = \frac{\text{ق}}{\text{مس}}$$

خصائص ضغط السائل الساكن

تجربة (١) :

لو أخذنا أنبوب زجاجي واسع مفتوح الطرفين، وغشاء مطاطي (بالون) وماء وخیط وحامل، نغلق أحد طرفي الأنبوب بواسطة الغشاء المطاطي ونثبتته بالخیط، ونثبت الأنبوب في وضع رأسي مستعیناً بالحامل، نسكب ماءً في الأنبوب بالتدریج فنلاحظ أن تحذب الغشاء یزداد بازدياد ارتفاع الماء في الأنبوب، وهذا یعنی أن ضغط الماء على الغشاء یزداد بازدياد ارتفاعه، إن ازدياد ارتفاع السائل يؤدي إلى زيادة حجمه، وبالتالي زيادة وزنه ولأن الضغط يتوقف على الوزن، فإن ضغط السائل يعتمد على ارتفاعه .

تجربة (٢) :

نحتاج في هذا النشاط إلى أنبوبين مفتوحين الطرفين متماثلين في مساحة المقطع وغشائین مطاطیین، وماء وكحول (أو أي سائل مناسب) وخیط وحامل نغلق طرف كل من الأنبوبین بالغشاء المطاطي ونثبت الغشاء بالخیط نثبت كلاً من الأنبوبین في وضع رأسي (عمودي) بواسطة الحامل نسكب الماء في أحد الأنبوبین إلى ارتفاع معين ونسكب الحجم نفسه من الكحول في الأنبوب الآخر ونلاحظ التغير في كل الغشاء المطاطي في كل من الأنبوبین نلاحظ أن تحذب الغشاء في الأنبوب الذي ملئ بالماء يكون أكبر من تحدبه في الأنبوب الآخر على الرغم من أن ارتفاع الماء والكحول واحد في الأنبوبین **نستنتج** من ذلك أن ضغط السائل على السطح الذي یقع عليه يتوقف على نوع السائل (كثافة السائل)، إذا یزداد بازدياد كثافة السائل بشرط ثبوت الارتفاع. من نتائج التجربتين السابقتین **نستنتج** أن ضغط السائل على السطح الذي یقع عليه يتوقف على ارتفاع السائل وكثافته، وبصورة عامة فإن خصائص ضغط السائل الساكن هي :

- ١- يتوقف ضغط السائل الساكن على عمقه العمودي (كلما ازداد عمق السائل ازداد الضغط) .
 - ٢- يتوقف ضغط السائل الساكن على كثافته (كلما ازدادت كثافة السائل ازداد ضغطه) .
 - ٣- يتساوى ضغط السائل من جميع الاتجاهات على أي نقطة داخل السائل الساكن .
 - ٤- يتساوى ضغط السائل الساكن في النقاط الواقعة بمستوى أفقي واحد داخل السائل .
 - ٥- لا يتوقف ضغط السائل الساكن على شكل أو حجم الإناء الذي يحتويه .
 - ٦- يكون سطح ضغط السائل الساكن مستوياً أفقياً في الأوعية المتصلة ببعض .
 - ٧- ينتقل الضغط الإضافي المسلط على سائل محصور من غير نقص في جميع الاتجاهات (قاعدة باسكال) .
- وبشكل عام :

ضغط السائل : وزن السائل الواقع على وحدة المساحة من السطح بشكل عمودي.
أي أن :

وزن السائل

ضغط السائل =

مساحة القاعدة التي يقع عليها الوزن بشكل عمودي

$$\begin{aligned} \text{ض} &= \frac{\text{ك السائل} \times ٩,٨}{\text{مس}} \\ &= \frac{\text{كث السائل} \times \text{حجم السائل} \times ٩,٨}{\text{مس}} \\ &= \frac{\text{كث السائل} \times \text{ع} \times ٩,٨}{\text{مس}} \end{aligned}$$

ض = ٩,٨ ع كث الضغط مقدراً بـ (نت/م^٢)

حيث أن:

(ع) : ارتفاع عمود السائل مقدراً بالأمتار .

(كث): كثافة السائل مقدرة بـ (كغم /سم^٣) .

ض = ٩٨٠ ع كث الضغط مقدراً بـ (الداين/سم^٢)

حيث أن :

(ع) - ارتفاع عمود السائل مقدراً بـ (سم) .

(كث) - كثافة السائل مقدرة بـ (غم /سم^٣) .

نستنتج من ذلك أن للسائل ضغطاً يعتمد على ارتفاعه وكثافته، وأن هذا الضغط يكون في جميع الاتجاهات، فالجسم الذي يغمر في سائل يتلقى ضغطاً سببه وزن السائل الذي يضغط على جوانب الجسم، ويزايد هذا الضغط بازدياد العمق، ونتيجة لذلك فإن الضغط في قاع المحيط يكون أشد بكثير من الضغط على مقربة من السطح وهذا ما يجعل غطاسي الأعماق يرتدون ألبسة غوص خاصة تحمي أجسادهم من التهشم، وكذلك الغواصة لا تستطيع الغوص إلى أعماق كبيرة جداً لأن ضغط الماء الهائل يحطمها .

مثال (١) :

خزان ماء مساحة قاعدته ٤ م^٢ يحتوي على ماء وزنه ٤٠٠٠٠ نيوتن، جد ضغط الماء على قاعدة الخزان

الحل :

وزن الماء = ٤٠٠٠٠ نيوتن، مساحة القاعدة = ٤ م^٢

$$\text{الضغط} = \frac{\text{الوزن (القوة)}}{\text{المساحة}} = \frac{٤٠٠٠٠ \text{ نيوتن}}{٤ \text{ م}^2} = ١٠٠٠٠ \text{ باسكال}$$

مثال (٢) :

إذا علمت أن ضغط ماء البحر عند نقطة على عمق ٦ م هو ٦٠٠٠٠ باسكال جد ضغطه عند نقطة عمقها ١٠ م .

الحل:

الضغط على عمق ٦ م = ٦٠٠٠٠ باسكال

الضغط على عمق ١٠ م = ؟

بما أن ضغط السائل يتناسب طردياً مع ارتفاع عمود السائل فإن :

$$\frac{\text{الارتفاع}_1 (\text{العمق}_1)}{\text{الارتفاع}_2 (\text{العمق}_2)} = \frac{\text{الضغط}_1}{\text{الضغط}_2}$$

$$\frac{6 \text{ م}}{10 \text{ م}} = \frac{6000}{\text{ض}_2}$$

ض₂ = ١٠٠٠٠٠ باسكال (الضغط عند نقطة عمقها ١٠ م)

انتقال الضغط في السائل الساكن

تجربة :

نحتاج في هذه التجربة إلى جهاز قاعدة باسكال (دورق زجاجي كروي الشكل فيه ثقبوز موزعة بانتظام في جميع أجزائه ويتصل من أعلاه بأسطوانة يتحرك داخلها مكبس)، وماء، نخرج المكبس من الجهاز ثم نملأ الجهاز بالماء، ندخل المكبس في الأسطوانة ونضغط عليه إلى أسفل فنلاحظ أن الماء يندفع من الثقبوز في جميع الاتجاهات وبالشدة نفسها وهذا يدل على أن الضغط الواقع على الماء بواسطة المكبس انتقل إلى جميع أجزائه بالتساوي بدليل اندفاع الماء من الثقبوز بالشدة نفسها .

لقد توصل العالم الفرنسي باسكال إلى ما توصلنا إليه في هذه التجربة، ووضع القاعدة المعروفة

باسمه (قاعدة باسكال) والتي تنص على ما يلي :

"إذا وقع ضغط عمودي على سائل محصور فإن هذا الضغط ينتقل إلى جميع أجزائه بالتساوي" .

ولهذه القاعدة تطبيقات كثيرة في الحياة العملية : فالمكبس السوائل المستعمل

في محطات غسيل السيارات ومعاصر الزيتون وكوابح السيارات تطبيق على هذه

هذه القاعدة .

المكبس السوائل :

يتكون المكبس السوائل من اسطوانتين إحداها كبيرة والأخرى صغيرة

تتصلان معاً، ويوجد في كل أسطوانة مكبس مساحته تساوي مساحة الأسطوانة ولتكن مساحة الأسطوانة الصغرى (أ_١) والكبرى (أ_٢) فعند وضع جسم وزنه (و_١) على المكبس الصغير فإن الضغط الذي يحدثه على السائل في الأسطوانة الصغرى يساوي

و حسب قاعدة باسكال ينتقل هذا الضغط إلى جميع أجزاء السائل بالتساوي يكون الضغط الواقع على كل جزء في المكبس الكبير و_١ / أ_١ ولكي يتوازن المكبس الكبير ينبغي أن نضع عليه جسماً وزنه (و_٢) بحيث يحدث ضغطاً مساوياً للضغط الواقع عليه من جهة المكبس الصغير .
أي أن :

$$\frac{أ_1}{أ_2} = \frac{و_1}{و_2} \quad \text{أو} \quad \frac{و_1}{أ_1} = \frac{و_2}{أ_2}$$

وهذه هي معادلة المكبس السوائي :

$$\frac{\text{الوزن (القوة) على المكبس الكبير}}{\text{الوزن (القوة) على المكبس الصغير}} = \frac{\text{مساحة المكبس الكبير}}{\text{مساحة المكبس الصغير}}$$

أي أننا إذا أثرنا بقوة صغيرة على المكبس الصغير فإنه يمكن رفع جسم ثقيل بواسطة المكبس الكبير .

مثال :

إذا كانت مساحة مكبس الأسطوانة الصغرى في مكبس سوائي (٠,٠٠٠١) م^٢ ومساحة مكبس الأسطوانة الكبرى فيه (٠,١) م^٢، ووضع جسم وزنه (٨٠٠) نيوتن على مكبس الأسطوانة الصغرى، فما مقدار وزن الجسم الذي يمكن رفعه بواسطة مكبس الأسطوانة الكبرى ؟

الحل :

مساحة مكبس الأسطوانة الصغرى (أ_١) = ٠,٠٠٠١ م^٢ .

مساحة مكبس الأسطوانة الكبرى (أ_٢) = ٠,١ م^٢ .

الوزن على المكبس الصغير (و_١) = ٨٠٠ نيوتن .

المطلوب إيجاد الوزن على المكبس الكبير (و_٢) .

$$و_٢/و_١ = أ_٢/أ_١$$

$$و_٢/و_١ = ٨٠٠/١٠٠ = ٨ \text{ ومنه } و_٢ = ٨٠٠ \times ١٠٠/١٠٠ = ٨٠٠٠٠ \text{ نيوتن}$$

$$= ٨٠٠٠٠ \text{ نيوتن}$$

ويمكن حساب الضغط الذي يسلطه السائل الساكن على قاعدة وجوانب الإناء الموضوع فيه وفق ما

يلي :

(١) ضغط السائل الساكن على قاعدة الإناء أو أي نقطة داخل السائل تبعد عن سطحه العلوي بالارتفاع (ع) .

$$ض = ع \cdot ك \cdot و$$

(٢) ضغط السائل الساكن على جوانب الإناء الذي يحتويه :

$$ض_{\text{الجانب}} = ٢/١ \cdot ع \cdot ك \cdot و$$

وهذا يعني أن الضغط الجانبي للسائل والذي يسلطه على جدران الإناء الذي يحويه هو معدل الضغط الكلي

المسلط على قاعدة ذلك الإناء .

حيث ع : الارتفاع العمودي لمستوى السائل عند قاعدة الإناء.

ك : الكثافة الوزنية للسائل

أما إذا احتوى الإناء على أنبوب مثبت على قاعدته العلوية وفيه سائل إلى الارتفاع (ع_١) كما في

الشكل فإن معدل الضغط الجانبي المسلط على جوانب الإناء يحسب من العلاقة التالية :

$$ض_{\text{الجانب}} = (ع + ع_١) \cdot ك \cdot و$$

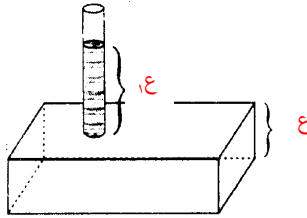
حيث ع_١ : ارتفاع السائل في الإناء

العلوي.

ع : ارتفاع السائل في الإناء السفلي

وهذا يعني أن الضغط الجانبي للإناء

المزدوج هو معدل الضغط الكلي على القاعدة العليا والضغط على القاعدة السفلى والمسلط من قبل السائل .



سؤال :

أثبت أن ض الجانبي = $(\rho_c + \rho_l) \cdot g \cdot h$ كث و للإناء المزدوج ؟

الحل :

نفرض أن: ارتفاع السائل في الإناء العلوي h_1

ارتفاع السائل في الإناء السفلي h_2

بما أن الضغط الجانبي =

$\rho_l \cdot g \cdot h_1$ (ضغط السائل على القاعدة العليا + ضغط السائل على القاعدة السفلى)

$$\rho_l \cdot g \cdot h_1 = \rho_l \cdot g \cdot h_2 + \rho_c \cdot g \cdot h_2$$

$$\rho_l \cdot g \cdot h_1 = \rho_l \cdot g \cdot h_2 + \rho_c \cdot g \cdot h_2$$

$$\rho_l \cdot g \cdot h_1 = (\rho_l + \rho_c) \cdot g \cdot h_2$$

مثال :

حوض بشكل متوازي مستطيلات أبعاده (٥، ٢، ١) م مثبت على قاعدته العليا الأنبوب طوله (٥، ٠) م

ملئ الحوض والأنبوب تماماً بالماء، أحسب :

١- الضغط والقوة المسلطة على القاعدة السفلى للحوض .

٢- الضغط والقوة المسلطة على القاعدة العليا للحوض .

٣- الضغط والقوة المسلطة على الجانب الكبير للحوض .

٤- الضغط والقوة المسلطة على الجانب الصغير للحوض .

الحل :

$$(1) \text{ ض } = (\rho_c + \rho_l) \cdot g \cdot h_2$$

$$= 9800 \times (1 + 0,5) =$$

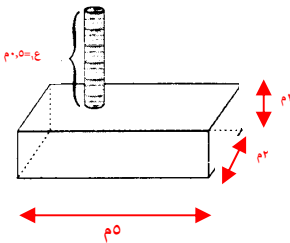
$$= 14700 \text{ ن/م}^2 \text{ الضغط على القاعدة}$$

$$\text{السفلى ق} = \text{ض} \times \text{مس}$$

$$= (2 \times 5) \times 14700 =$$

$$= 147000 \text{ ن} \text{ القوة المسلطة على القاعدة السفلى}$$

$$(2) \text{ ض} = \rho_c \cdot g \cdot h_1 = 9800 \times 0,5 = 4900 \text{ ن/م}^2 \text{ الضغط على القاعدة العليا}$$



ق = ض × مس = $٤٩٠٠ \times (٢ \times ٥) = ٤٩٠٠٠$ نت القوة المسلطة على القاعدة العليا.

(٣) ض الجانبي = $(١٤ + ٢/١ ع) ك٣ = ٩٨٠٠ \times (١ \times ٢/١ + ٠,٥)$

= ٩٨٠٠ نت/م^٢ الضغط على أي جانب من جوانب لأن السائل يسلط ضغطاً متساوياً من جميع

الاتجاهات .

ق = ض × مس = $٩٨٠٠ \times (١ \times ٥) = ٤٩٠٠٠$ نت القوة المسلطة على الجانب الكبير .

(٤) بما أن السائل الساكن يسلط ضغطاً متساوياً من جميع الاتجاهات

إذاً الضغط على الجانب الصغير = الضغط على الجانب الكبير = ٩٨٠٠ نت/م^٢

ق = ض × مس = $٩٨٠٠ \times (١ \times ٢) = ١٩٦٠٠$ نت القوة المسلطة على الجانب الصغير.

ضغط الغاز

صفات الغاز

الغاز : حالة المادة الغازية والتي يتصف بها بـ :

- ١- درجة حرارتها أعلى من درجة الحرارة الحرجة لتلك المادة .
- ٢- جزيئاتها متباعدة بعضها عن بعض .
- ٣- انطلاق جزيئاتها كبير .
- ٤- طاقتها الحركية كبيرة تكون كافية للتغلب على القوى التي تربط الجزيئات .
- ٥- تولد الجزيئات ضغطاً بسبب تصادمها المستمر بجدران الوعاء الذي يحويها لانطلاقها الكبير .
- ٦- يكاد ينعدم الاحتكاك الداخلي (التجاذب أو اللزوجة) بين جزيئات الغاز بسبب حركة تلك الجزيئات وتباعدها .
- ٧- للغاز قابلية للإنكسار كبيرة وتتمتع جزيئاته بخاصية الانزلاق بعضها فوق بعض فلا يملك الغاز حجماً ثابتاً أو شكلاً معيناً .

الغاز المثالي : هو الغاز الذي تكون جزيئاته متناهية في الصغر تامة المرونة لا تؤثر بعضها في بعض بأي قوة فينعدم الاحتكاك بين جزيئاته (ينعدم التجاذب)، وأن هذا الغاز لا يتغير تركيبه الكيميائي عندما يتغير الضغط الواقع عليه أو درجة حرارته .

صفات الغاز المثالي :

- ١-جزيئاته متناهية في الصغر .
- ٢-تامة المرونة .
- ٣-لا تؤثر بعضها في بعض بأي قوة .
- ٤-ينعدم الاحتكاك الداخلي بين جزيئاته .

النظرية الحركية للغازات

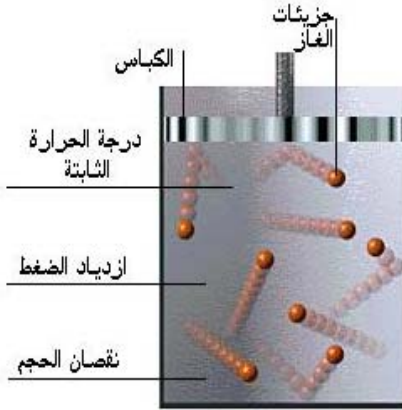
وضعت النظرية الحركية للغازات لتفسير خواص الغازات فاستندت على عدة فرضيات منها :

- ١- جزيئات الغاز متناهية في الصغر .
 - ٢- القوى بين الجزيئات صغيرة جداً يمكن إهمالها .
 - ٣- حركة الجزيئات عشوائية وبخطوط مستقيمة .
 - ٤- تصادم الجزيئات تصادم مرن لا يسبب فقدان في الطاقة الحركية أثناء التصادم .
 - ٥- قد يحصل تبادل في الطاقة والدفع فتتغير سرعتها باستمرار .
 - ٦- تكون جزيئات الغاز في حالة اتزان رغم أن جزيئاته في حالة حركة متغيرة باستمرار .
- وتكون الظواهر العامة لمجموعة من حركات الجزيئات المتغيرة ثابتة** لأن كل متغير في اتجاه أو قيمة سرعة جزيئة يقابله تغير في اتجاه أو قيمة سرعة جزيئة أخرى بحيث يبقى معدل التغير صفراً، وهذا يعني أن تغير طاقة الجزيئة الثانية يلغي تغير الجزيئة الأولى، لذا فإن الظواهر العامة للمجموعة لا تتغير رغم التغير الحاصل في طاقة كل جزيئة على انفراد .
- ومما تقدم فإن **النظرية الحركية للغازات** تفسر خصائص الغازات حيث أن : خواص كتلة متزنة من غاز بدرجة حرارة ثابتة هي :

- ١- اتجاهات حركة الجزيئات للغاز المتزن موزعة بالتساوي على جميع الاتجاهات بسبب ضعف القوى الجزيئية .
- ٢- يملأ الغاز الحيز الذي يشغله بصورة متجانسة بسبب ضعف القوى الجزيئية.
- ٣- معدل الطاقة الحركية لجميع جزيئات الغازات المختلفة متساوية عند ثبوت درجة الحرارة .
- ٤- معدل الطاقة الحركية لجزيئات الغاز تتوقف على درجة حرارته .

ضغط الغاز المحصور

يتولد ضغط الغاز المحصور بسبب حركة جزيئات الغاز حيث تصطدم تلك الجزيئات بجدران الإناء الذي يحويها اصطداماً مرناً وبجميع الاتجاهات مولدة قوة عمودية على وحدة المساحة من الجدار يمثل الضغط الذي يسلطه الغاز المحصور على تلك الجدران يعرف بضغط الغاز .



النظرية الحركية

وتتوقف قيمة ضغط الغاز المحصور على :

- ١- الكثافة العددية للجزيئات (عدد الجزيئات لوحدة الحجم من الغاز) : أي عدد الجزيئات التي تصطدم بالجدار في وحدة الزمن (يزداد ضغط الغاز المحصور بازدياد عدد الجزيئات) .

٢- معدل الطاقة الحركية للجزيئة الواحدة : أي سرعة حركة الجزيئات وتعتمد على درجة حرارة الغاز (يزداد الضغط بازدياد سرعة الجزيئات والتي تزداد عند التسخين) .

ويكون ضغط الغاز المحصور متساوياً في جميع نقاط الجدار للوعاء الحاوي له، لأن ضغط الغاز لا ينشأ عن ثقل عمود منه بل ينتج عن تغير سرعة جزيئات الغاز عند اصطدامها بتلك الجدران .
ويستخدم لقياس ضغوط الغازات المحصورة جهاز المضغط، وهو على نوعين:

أ. المضغط المفتوح الطرفين : وهو جهاز يستخدم لقياس ضغوط الغازات التي لا يزيد أو يقل ضغطها كثيراً عن الضغط الجوي.

ضغط الغاز المحصور = الضغط الجوي + ضغط عمود السائل

ب. المضغط مفتوح الطرف : وهو جهاز يستخدم لقياس الضغوط العالية للغازات والتي تمثل عدة أمثال قيمة الضغط الجوي.

ضغط الغاز المحصور = ضغط الغاز المحصور + ضغط العمود السائل

المضغط المعدني :

وهو جهاز يستخدم لقياس ضغوط الغازات المحصورة ذات الضغط العالي كما في قياس ضغط الهواء الموجود داخل إطار السيارة حيث أن :

ضغط الغاز المحصور = الضغط الجوي + قراءة المضغط

ويتركب المضغط المعدني من شريط مجوف من معدن مرن مشدود من أحد رفيه ويتصل بعتلات وعجلات مسننة تنتهي بمؤشر حول تدريجات أعدت لقياس الضغط فعند توصيل الغاز المراد قياس ضغطه إلى قاعدة المضغط والتي تمثل النهاية المفتوحة للشريط المعدني تلتوي النهاية المسدودة من الشريط بإزاحة تتناسب مع ضغط الغاز وهذا ما يؤشره المؤشر على تدريج الجهاز.

البالون (المنطاد) :

يتكون البالون من كيس مصنوع من مادة خفيفة وقوية ويملأ عادة بغاز خفيف

كغاز الهليوم أو يملأ بالهواء الساخن، وفي الحالتين يصعد البالون إلى أعلى عندما يكون معدل كثافته أقل من كثافة الهواء، ويهبط إلى أسفل إذا أصبحت كثافته أكبر من كثافة الهواء ويتم التحكم بكثافة البالون عن طريق التحكم بكمية الغاز الخفيف فيه بواسطة مضخة تدفعه إلى البالون أو تسحبه من إلى أسطوانات خاصة موجودة في السلة المعلقة به، ويمكن لعدة أشخاص أن يستقلوا السلة ويرتفعوا مع البالون .

الضغط الجوي

يحيط بالكرة الأرضية غلاف غازي يسمى الغلاف الجوي ويتكون هذا الغلاف من خليط من الغازات منها النتروجين والأكسجين وبخار الماء وثاني أكسيد الكربون، ويمتد هذا الغلاف إلى ارتفاعات كبيرة فوق سطح الأرض، ولكن معظم الهواء يقع ضمن الكيلو مترات الأولى من سطح الأرض، إذ يحتل ٩٠% من الهواء الجوي الحيز الممتد من سطح الأرض إلى ارتفاع (١٠) كم .

للهواء كتلة:

لو أخذنا كرة قدم ومنفاخ وميزان ذو كفتين، وقمنا بقياس كتلة كرة القدم وهي فارغة (غير منفوخة) بواسطة الميزان ثم نفخنا الكرة بواسطة المنفاخ لإدخال كميات كبيرة من الهواء فيها وبعد ذلك قسنا كتلة الكرة فنلاحظ أن كتلة الكرة زادت عند امتلائها بالهواء وهذا يدل على أن للهواء كتلة، لذلك سيكون له ضغط على الأجسام التي يقع عليها وللتأكد من ذلك سنقوم بالتجربة التالية :

تجربة :

نملأ كأساً بالماء تماماً ونضع على فوهتها لوحاً من الكرتون غمسك الكأس بيد ونضع اليد الأخرى على لوح الكرتون ثم نقلب الكأس بسرعة ورفق نرفع يدنا عن لوح الكرتون فنلاحظ أن الماء لا ينسكب من الكأس ولم يسقط لوح الكرتون لأن الهواء الذي يحيط بالكأس ولوح الكرتون يسلط ضغطاً على اللوح من أسفل إلى الأعلى وهذا الضغط هو الذي يحمل اللوح والماء فوقه، ويسمى الضغط الناشئ عن الهواء الجوي اسم **(الضغط الجوي)** .

فالضغط الجوي هو : الضغط الذي تسلطه الكتلة الهوائية المحيطة بالكرة الأرضية على النقاط الواقعة والموجودة على سطحها .

أو هو مقدار وزن عمود الهواء الواقع على وحدة المساحة .

للغواء ضغط من جميع الاتجاهات

لقد تبين لنا أن للغواء ضغط وعرفنا من خلال التجربة السابقة أن للغواء ضغط من الأسفل إلى الأعلى فهل يضغط الغواء على الأجسام التي يقع عليها من جميع الاتجاهات ؟ سنوضح ذلك من خلال التجربة التالية :

نأخذ علبة معدنية فارغة ذات سدادة، وماء، ومصدر حرارة، ومنصب ثلاثي، نضع في العلبة المعدنية كمية قليلة من الماء ونضعها على المنصب الثلاثي، ثم نقوم بتسخين العلبة بواسطة المصدر الحراري حتى يبدأ الماء بالغليان، وعندها نبعد العلبة عن المصدر الحراري ونغلقها بإحكام، ثم نقوم بتبريد العلبة برش الماء عليها، نلاحظ أن العلبة قد انكمشت وتشوهت .

وتفسير ذلك هو أن الماء عندما بدأ بالغليان تصاعد بخار الماء الذي طرد الغواء من العلبة المعدنية فأصبحت مفرغة تقريباً من الغواء، وعند تبريد العلبة تكاثف البخار إلى قطرات ماء فأصبحت العلبة مفرغة من الغواء تقريباً، أي أن الضغط داخلها أقل من الضغط الجوي المحيط بها، فيؤثر الفرق في الضغط خارج وداخل العلبة على جدرانها بقوة تعمل على انكماشها للداخل، وهذا يؤكد أن الضغط الجوي يؤثر في جميع الاتجاهات .

قياس الضغط الجوي

الضغط الجوي : هو الضغط الذي تسلطه الكتلة الهوائية المحيطة بالكرة الأرضية على النقاط الواقعة والموجودة على سطحها .

يتم إيجاد قيمة الضغط الجوي باستخدام جهاز البارومتر (المروان) الزئبقي وذلك من خلال معادلته بضغط عمود الزئبق الموجود داخل البارومتر حيث أن :

الضغط الجوي = ضغط عمود من الزئبق = ع الزئبق × كث و للزئبق

وحداته هي $\text{م}^2 / \text{م}^3$ ، أو $\text{داين} / \text{سم}^2$ ، أو $\text{البار} = 10^5 \text{ ن}^2 / \text{م}^2$.

فعند مستوى سطح البحر وخط عرض 45° يعادل الضغط الجوي ضغط عمود من الزئبق، أو يقاس بالبارومتر المعدني .

ويتعذر تطبيق معادلة الضغط في السوائل لإيجاد الضغط الجوي لأن:

- الهواء قابل للانكسار فتكون كثافة الهواء غير متجانسة .
- ارتفاع عمود الهواء غير محدد .

كيف يعمل جهاز (البارومتر) في قراءة الضغط الجوي ؟

يرجع الضغط الجوي إلى وزن الهواء الجوي، عندما يضغط على كل شيء على سطح الأرض. وطبقات الهواء الجوي تكون أقل عند الارتفاعات العالية مثل قمم الجبال. ويقل الضغط الجوي كلما ارتفعنا لأعلى ويتغير عندما تتحرك الكتل الهوائية مكونة جبهات باردة أو ساخنة ؛ ولهذا تدل (البارومترات) على الطقس .

والبارومتر المعدني اخترعه العالم الفرنسي (لوسان فيدي)، وفيها تستخدم وسائل معدنية مجهزة مفرغة من الهواء تقريباً، لتمثل أغشية سفلى وتصميم ميكانيكي حساس، تنتقل حركة الوسائد صعوداً وهبوطاً إلى حركة دائرية لمؤشر يسجل الحركة على الوجه المدرج للجهاز. ولمعرفة مبدأ عمل البارومتر الزئبقي سنقوم بالتجربة التالية :

تجربة :

نحضر ثلاثة أنابيب زجاجية مغلقة الطرف وذات أطوال مختلفة (تقريباً ٣٠ سم، ٤٠ سم، ٥٠ سم)، وحوض زجاجي وماء .

نملأ ثلثي الحوض بالماء ونملأ الأنبوب القصير بالماء تماماً ونضع إصبع الإبهام على فوهته ثم ننكسه في ماء الحوض، نرفع بعد ذلك الإبهام ونلاحظ ارتفاع الماء في الأنبوب حتى يملؤه تماماً، نكرر هذه التجربة مستخدمين الأنابيب الثلاثة، فنلاحظ أن الماء يملأ الأنابيب الثلاثة تماماً بعد تنكيسها في ماء الحوض على الرغم من اختلاف أطوالها، وهذا يعني أن الضغط الجوي المؤثر في سطح الماء في الحوض ينتقل إلى جميع أجزاء الماء فيحمل كميات الماء في الأنابيب.

ولكن هل أن مقدار الضغط الجوي يعادل وزن عمود الماء في أي من الأنابيب الثلاثة أم أنه أكبر من

ذلك ؟

لو استخدمنا أنبوباً أطول من ١٠ م في التجربة السابقة للاحظنا أن الضغط الجوي يستطيع أن يحمل عموداً من الماء طوله ١٠م تقريباً إلا أن استعمال مثل هذا الأنبوب الطويل غير عملي، ويمكننا حل المشكلة إذا استخدمنا سائلاً كثافته أكبر من كثافة الماء، لقد استخدم العالم تورشيلي الزئبق الذي كثافته ١٣,٦ غ/سم^٣ وملأ به أنبوباً طوله ١م ثم نكسه في حوض فيه زئبق فبلغ ارتفاع عمود الزئبق في الأنبوب ٧٦ سم وهذا يعني (فاستنتج بذلك) أن مقدار الضغط الجوي عند مستوى سطح البحر يعادل مقدار الضغط الناتج عن عمود من الزئبق طوله ٧٦ سم ويسمى الجهاز الذي استخدمه تورشيلي (البارومتر الزئبقي)، أي أن :

الضغط الجوي = ضغط عمود الزئبق الموجود في انبوبة البارومتر الزئبقي

وحداته هي نت/م^٢ أو دايين/سم^٢ أو البار (البار = ١٠^٥ نت/م^٢)

الضغط الجوي = ٩,٨ ع_ز كث_ز مقدراً بـ (نت/م^٢)

أو الضغط الجوي = ٩٨٠ ع_ز كث_ز مقدراً بـ (داين/سم^٢)

وتعتمد وحدة أخرى ليقاس الضغط الجوي وهي جو (البار) حيث أن :

جو (١ بار) = ١٠٠٠٠٠٠ دايين/سم^٢

= ١٠٠٠٠٠ نت/م^٢ (باسكال)

وكذلك من الوحدات التي يقاس بها الضغط الجوي المللي بار الذي يعادل ١٠٠ باسكال .

والضغط الجوي الاعتيادي عند مستوى سطح البحر وخط عرض ٤٥° وفي درجة الصفر السيلسيوس

يعادل ضغط عمود من الزئبق ارتفاعه (٧٦ سم) (ويساوي تقريباً بار واحد) وهي تمثل قراءة البارومتر الزئبقي

وتتأثر قيمة الضغط الجوي بالعوامل التالية :

١- الارتفاع أو الانخفاض عن مستوى سطح البحر .

٢- وجود الرطوبة في الجو .

٣- اتجاهات الرياح الصعودية .

والجدير بالذكر أن مقدار الضغط الجوي عند سطح البحر يعادل (١٠١٣) ملي بار، أما المناطق التي تقع فوق مستوى سطح البحر فإن الضغط فيها يقل عن (١٠١٣) ملي بار، حيث تقل قراءة البارومتر الزئبقي بمقدار (١ ملم) كلما ارتفعنا عن سطح البحر مسافة قدرها (١١ م) تقريباً أي أنه على ارتفاع (١١٠ م) تقريباً عن مستوى سطح البحر سوف تصبح قراءة البارومتر (٧٥ سم) .

أما المناطق التي تقع تحت مستوى سطح البحر (كالأغوار) فإن الضغط فيها يزيد عن (١٠١٣) ملي

بار .

ملاحظة : إذا تجاوز الارتفاع بضعة مئات من الأمتار فإن الانخفاض في قراءة البارومتر يصبح غير منتظم وذلك لتغير كثافة الهواء السريعة .

وبسبب صعوبة حمل جهاز البارومتر الزئبقي أو نقله صمم جهاز آخر لقياس الضغط الجوي سمي البارومتر الفلزي (أو المعدني) المسجل .

البارومتر الفلزي أو المعدني : جهاز يستخدم لمعرفة مقدار الارتفاع عن مستوى سطح البحر وبالتالي معرفة مقدار الغط الجوي، ويفضل استخدامه عن البارومتر الزئبقي لعدم احتوائه على سائل .



ويتكون هذا البارومتر من علبة شبه مفرغة وجهها العلوي غشاء فلزي مرن

ويتصل برافعة تتصل بدورها بنابض حلزوني وهناك مؤشر يتصل بالنابض ويتحرك حول تدريج (لوحة قياس دائرية مدرجة) دائري، وهذا الجهاز خالي من الزئبق لذلك فهو يمتاز بسهولة حمله واستعماله .

تطبيقات على الضغط الجوي

١- أنبوب المص :

تمتص الشراب بواسطة أنبوب المص عن طريق خفض الضغط داخل الأنبوب فعند سحب الهواء من الأنبوب يقل الضغط بداخله ولإعادة الضغط إلى ما كان عليه يدفع الضغط الجوي السائل من الكأس إلى داخل الأنبوب ويستمر ذلك طالما بقي الضغط داخل الأنبوب أخفض من الضغط الجوي .

٢- المكنسة الكهربائية :

تعمل المكنسة الكهربائية على المبدأ نفسه فعند دوران مروحتها الموجودة داخل المكنسة المثبتة أمام كيس جمع النفايات تعمل على تقليل ضغط الهواء داخل الكيس فيدفع الضغط الجوي الهواء إلى داخل المكنسة ساحباً معه الأوساخ الموجودة في طريقه .

٣- المضخة الماصة :

هي وسيلة لرفع الماء يستند عملها على الضغط الجوي وهي تستطيع رفع الماء إلى مستوى لا يزيد عن (١٠ م) تقريباً وذلك لأن الضغط الجوي يعادل ضغط عمود من الماء ارتفاعه (١٠ م) تقريباً فلا يستطيع إسناد عمود من الماء ارتفاعه أكبر من ذلك .

وتتكون المضخة الماصة من أنبوب عريض ذو سدادتين وأنبوبين ضيقين ولسينين مطاطيين، يغطس الأنبوب السفلي في وعاء مملوء بالماء وتشغل المضخة بتحريك سدادة المكبس هبوطاً وصعوداً عدة مرات، فتمتلئ المضخة بالماء ويتدفق الماء خارجاً من الأنبوب العلوي بفعل ضغط الهواء .

فعند هبوط المكبس ينضغط الهواء داخل الأنبوب فينغلق لسين الصمام السفلي طارداً الهواء عبر

لسين الصمام العلوي، وعند صعود المكبس ينغلق لسين الصمام

العلوي فيتولد فراغ تحت المكبس ويدفع الضغط الجوي المؤثر على سطح وعاء الماء عبر الأنبوب السفلي لماء الفراغ في المضخة، وحين تمتلئ المضخة يدفع الماء عبر الأنبوب العلوي في أثناء هبوط المكبس .

٤- المضخة الماصة الكابسة :

وهي شبيهة بعملها للمضخة الماصة ولكنها تزود عادة بغرفة هوائية الغرض منها (١) استمرار جريان الماء حتى عند رفع المكبس .

(٢) رفع الماء إلى مستوى أعلى من (١٠ م) .

ومبدأ عمل هذه المضخة هو عند تحريك المكبس إلى أعلى وإلى الأسفل عدة مرات يرتفع السائل في أنبوبة إلى أعلى، ثم يرتفع عبر أنبوب آخر ليصل إلى مكان أعلى من مستوى المضخة نفسها، ويمكن أن يصل السائل إلى ارتفاعات أكبر من ١٠ م .

وتستخدم المضخة الماصة في المنازل لنقل الكيروسين من الوعاء إلى المدفأة، واستخدمت قديماً لسحب المياه من الآبار، أما المضخة الكابسة فتستعمل لرفع الماء من الآبار وإيصاله إلى الخزانات، وغيرها من الاستعمالات الأخرى .

قانون بويل :

" حجم كمية محدودة من غاز تتناسب عكسياً مع الضغط المسلط عليه عند ثبوت درجة حرارته " أي أن :

$$P \propto \frac{1}{V}$$

إذن $P \propto \frac{1}{V}$ = كمية ثابتة.

$P_1 V_1 = P_2 V_2$ بثبوت درجة الحرارة .

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad \text{وبما أن } P = \frac{F}{A} \quad \text{بالتعويض في المعادلة أعلاه}$$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad \text{أو} \quad \frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = 1 \quad \text{أو} \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

وهذا يعني أن كثافة الغاز المحصور تتناسب طردياً مع الضغط المسلط عليه عند ثبوت درجة الحرارة .

ويصح قانون بويل على الغازات تحت ضغط معتدل، فعند الضغوط العالية التي تجعل الغاز مقترباً من حالة السيولة ويكون فيها الغاز غير قابلاً للانكسار ويظهر تأثير القوى بين جزيئاته فإنه سوف لا ينقاد إلى قانون بويل .

الخلاصة

- **الضغط :** هو مقدار القوة المؤثرة عمودياً في وحدة المساحة، ويقاس بوحدة الباسكال (١ نيوتن/متر مربع)
- يعتمد الضغط الواقع على سطح ما على عاملين هما : مقدار القوة العمودية المؤثرة في السطح، ومساحة ذلك السطح الذي تؤثر فيه القوة .
- **يعتمد الضغط في السائل على عاملين :** ارتفاع السائل، وكثافة السائل .
- **قاعدة باسكال :** إذا وقع ضغط عمودي على سطح سائل محصور، فإن الضغط ينتقل عبر السائل إلى جميع أجزائه بالتساوي .
- **الضغط الجوي :** هو ضغط الهواء الموجود في الجو، وهو ناشئ عن وزن عمود الهواء على السطح الذي يقع عليه .
- يقاس الضغط الجوي بالبارومتر الزئبقي أو البارومتر الفلزي
- **من وحدات قياس الضغط الجوي :** الباسكال والملي بار والملي بار يساوي (١٠٠) باسكال
- **من التطبيقات على الضغط الجوي :** أنبوب المص، المكينة الكهربائية والمضخة الماصة والمضخة الكابسة .

أسئلة

- س١ : ما المقصود بالضغط ؟
- س٢ : ما هي العوامل التي يعتمد عليها الضغط الجوي ؟
- س٣ : ما هو الغاز المثالي وما صفاته ؟
- س٤ : ما الصفات التي يتصف بها غاز محصور لثبوت درجة الحرارة ؟
- س٥ : ما الفرق بين ضغط الهواء المحصور وضغط السائل المحصور ؟
- س٦ : كيف تبرهن على أنه ليس للمقطع العرضي للمرواز الزئبقي تأثير على ارتفاع الزئبق فيه؟

الأجوبة

- ج١ : هو القوة العمودية المسلطة على وحدة المساحة ووحداته ن/م^٢، أو داين/سم^٢.
- ج٢ : تتأثر قيمة الضغط الجوي بالعوامل التالية :
١. الارتفاع أو الانخفاض عن مستوى سطح البحر .
 ٢. وجود الرطوبة في الجو .
 ٣. اتجاهات الرياح الصعودية .
- ج٣ : الغاز المثالي : هو الغاز الذي تكون جزيئاته متناهية في الصغر تامة المرونة لا تؤثر بعضها في بعض بأي قوة فيندم الاحتكاك بين جزيئاته (ينعدم التجاذب)، وأن هذا الغاز لا يتغير تركيبه الكيميائي عندما يتغير الضغط الواقع عليه أو درجة حرارته.
- وصفات الغاز المثالي :

- ١-جزيئاته متناهية في الصغر .
- ٢-تامة المرونة .
- ٣-لا تؤثر بعضها في بعض بأي قوة .
- ٤-ينعدم الاحتكاك الداخلي بين جزيئاته .

ج٤: حجم كمية محدودة من غاز تتناسب تناسباً عكسياً مع الضغط المسلط عليه، وأن كثافة الغاز تتناسب طردياً مع ذلك الضغط بثبوت درجة الحرارة .

ج٥: ضغط الهواء المحصور ناتج عن حركة جزيئات الغاز واصطدامها المستمر بجدران الوعاء الذي يحتويها ويكون متساوياً على جميع نقاط تلك الجدران، ويعتمد على درجة الحرارة حيث يزداد ضغط الهواء بازدياد درجة حرارته وعلى عدد جزيئاته الموجودة ضمن ذلك الحيز لذا فهو قيمة متغيرة بتغير العوامل السابقة إضافة إلى حجم الحيز الذي يحتويه والضغط المسلط عليه. أما ضغط السوائل فهو قيمة ثابتة ناتج عن ثقل عمود السائل عند القاعدة وعن انزلاق جزيئاته فوق بعضها البعض الآخر يعتمد على مقدار ارتفاع السائل.

ج٦: لو استخدم أنبوب ذي مساحة مقطع عرضي أكبر أو أصغر (ما لم يكن أنبوباً شعرياً) نلاحظ أن ارتفاع عمود الزئبق سوف يبقى ثابتاً في ذلك المكان .

الضغط الجوي = ضغط عمود الزئبق = $E \cdot \rho \cdot h$ للزئبق وحيث أن ليس لشكل الإناء أو حجمه تأثير على ضغط السائل الساكن لذا فإن استخدام أنابيب مختلفة الأقطار (ما لم تكن شعرية) سوف تعطي نفس القراءة.

مسائل

س١: أنبوبة على شكل الحرف (U) فيها زئبق، ما طول عمود الماء الواجب أن يصب في أحد فرعيها لكي يرتفع سطح الزئبق في الفرع الآخر ٢سم عن مستواه الأصلي؟ مع العلم أن الكثافة النسبية للزئبق ١٣,٦.

الحل:

$$\begin{aligned} \text{كث و للزئبق} = \text{كث ن للزئبق} \times ٩٨٠ \times ١٣,٦ = ١٣٣٢٨ \text{ دايـن/سم}^٣ \\ \text{ض الماء} = \text{ض الزئبق} \leftarrow \text{ع ماء} \times \text{كث و ماء} = \text{ع زئبق} \times \text{كث و زئبق} \\ \text{ع ماء} = \frac{\text{ع زئبق} \times \text{كث و زئبق}}{\text{كث و ماء}} = \frac{١٣٣٢٨ \times ٤}{٩٨٠} = ٥٤,٤ \text{ سم} \end{aligned}$$

ملاحظة:

عندما يرتفع الزئبق ٢سم في أحد الفرعين سوف ينخفض مستواه ٢سم في الفرع الآخر لذا فإن فرق الارتفاع بين الشعبتين سوف يكون ٤سم.

س٢: احسب كتلة الهواء في غرفة أبعادها (٦، ٤، ٣) أمتار إذ علمت أن الكثافة الكتلية للهواء ١,٣ كغم/م^٣.

الحل :

$$\text{ك} = \text{كث} \times \text{ح} = ١,٣ \times (٣ \times ٤ \times ٦) = ٩٣,٦ \text{ كغم.}$$

س٣: نصفاً كرة مجوفة قطرها متران ينطبقان بأحكام فرغت الكرة من الهواء تفريغاً تاماً ثم وضعت الكرة في الماء بحيث تلامس أعلى نقطة منها سطحه وكان مستوى انطباق نصفها شاقولياً، احسب القوة اللازمة لفصلهما؟ إذا كانت قراءة المرواز آنذاك ٧٥ سم زئبق.

الحل :

$$\text{الضغط الجوي} = \text{ع الزئبق} \times \text{كث و للزئبق}$$

$$= \frac{٧٥}{١٠٠} \times ١٣,٦ \times ٩,٨ = ٩٩٩٦٠ \text{ نت/م}^٢.$$

$$ق = ض \times مس = (ض جانبي للماء + ض.ج) \times نق^2 ط$$

$$= \left(\frac{1}{2} ع كث + ٩٩٩٦٠ \right) \times (١) \times ٣,١٤ \times ٢$$

$$= \left(\frac{1}{2} ع كث + ٩٨٠٠ \times ٢ \right) \times (١) \times ٣,١٤ \times ٢$$

$$= ١٠٩٧٦٠ \times ٣,١٤ = ٣٤٤٦٤٦,٤ \text{ ن ت مقدار القوة اللازمة.}$$

ملاحظة:

عند تطبيق النسبة الثابتة من خلال الحاسبة يكون الناتج (٣٤٤٨٢١ ن).

س٤: ارتفعت فقاعة هواء من قعر بحيرة فأصبح حجمها عند سطح البحيرة (٣) أمثال ما كان عليه عند قعر البحيرة فما عمق البحيرة إذا كانت قراءة المرواز ٧٥ سم زئبق؟ علماً أن درجة الحرارة ثابتة.

الحل:

نفرض أن حجم الفقاعة عند القعر = ح

إذن حجم الفقاعة عند السطح = ٣ ح

(ح_١ ض_١) عند القعر = (ح_٢ ض_٢) عند السطح

ح × (ض الماء + ض.ج) = ٣ ح × ض.ج

ض الماء = ٣ ض.ج - ض.ج

ض الماء = ٢ ض.ج

ع ماء × كث و ماء = ٢ ع زئبق × كث و زئبق

ع ماء × كث و ماء = ٢ × ٧٥ كث ن زئبق × كث و ماء

ع ماء = ١٥٠ × ١٣,٦ = ٢٠٤٠ سم = ٢٠,٤ م عمق البحيرة.

س٥: (١٠) لتزات من غاز تحت ضغط (٦٠) سم ففي أي ضغط يصبح حجمه (١٥) لتراً عند ثبوت درجة الحرارة؟

الحل:

بثبوت درجة الحرارة

$$\begin{aligned} \text{ح } ١ \text{ ض } ١ &= \text{ح } ٢ \text{ ض } ٢ \quad \leftarrow ٦٠ \times ١٠ = ٦٠ \times ١٥ \times \text{ض } ٢ \\ \text{ض } ٢ &= \frac{٦٠ \times ١٠}{١٥} = ٤٠ \text{ سم زئبق مقدار الضغط.} \end{aligned}$$

س٦: مضغوط مفتوح الطرفين الكثافة النسبية لسائله (٠,٨) ارتفع عمود السائل في الشعبة الطولية (٢٥) سم عندما وصل بوعاء فيه غاز محصور فإذا كان الضغط الجوي (٧٥) سم فما ضغط الغاز مقدر بالسنتيمترات من الزئبق ؟

الحل:

نجد أولاً ضغط عمود الزئبق الذي يعادل ضغط عمود السائل.

$$\text{ض الزئبق} = \text{ض السائل} \quad \leftarrow \text{ع زئبق} \times \text{كث} = \text{ع سائل} \times \text{كث} \text{ و سائل}$$

$$\text{ع زئبق} = \frac{\text{ع سائل} \times \text{كث} \text{ و سائل}}{\text{كث} \text{ و زئبق}} = \frac{٩٨٠ \times ٠,٨ \times ٥٠}{٩٨٠ \times ١٣,٦}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{٩٨٠ \times ٠,٨ \times ٥٠}{٩٨٠ \times ١٣,٦} = (\text{كث} = \text{كث ن} \times ٩٨٠) \\ &= ٢,٩٤ \text{ سم زئبق.} \end{aligned}$$

$$\text{ض غاز محصور} = \text{ض ج} + \text{ض عمود السائل}$$

$$= ٧٥ \text{ سم زئبق} + ٢,٩٤ \text{ سم زئبق} = ٧٧,٩٤ \text{ سم زئبق ضغط الغاز.}$$

س٧: مضغوط مسدود الطرف الواحد فيه زئبق متساوي الارتفاع في الشعبتين عندما كان الضغط الجوي (٧٤) سم زئبق وعندما وصل بغاز محصور ارتفع الزئبق في الشعبة المسدودة (٢٠) سم أعلى من سطحه في الشعبة الموصولة بالغاز وقل حجم الهواء إلى الثلث فما ضغط الغاز المحصور؟

الحل:

$$\text{ح } ١ \text{ ض } ١ = \text{ح } ٢ \text{ ض } ٢$$

$$\cancel{74 \times \text{ح}} \quad \frac{1}{3} \quad \cancel{\text{ح} \times 2}$$

ض_٣ = ٢٢٢ سم زئبق ضغط الهواء المحصور بعد توصيل الغاز.

ض الغاز المحصور = ض عمود الزئبق + ض هواء محصور

$$222 + 20 = 242$$

ملاحظة:

في السؤال عند ذكر عبارة (أعلى من سطحه في الشعبة الموصلة بالغاز فانتبه إلى ارتفاع عمود الزئبق

سوف يصبح ٤٠سم).

الفصل الرابع
الضغط وقاعدة أرخميدس
في
إتزان جسم صلب في مائع

الفصل الرابع

الضغط وقاعدة أرخميدس في

اتزان جسم صلب في المائع

إذا القينا قطعة من الفلين وحصة في بركة ماء فإن الحصة تغوص في الماء بينما تطفو الفلينة على سطح الماء، كما أن السوائل اللاممتزجة يطفو واحدتها على سطح الآخر، فالزيت مثلاً يطفو على سطح الماء وهذا يؤدي إلى تلوث الشواطئ والمساح بالزيت المتسرب من ناقلات البترول، وهذه الظاهرة تجعل من المستحيل إطفاء حرائق النفط باستعمال الماء، لأن النفط يطفو على سطح الماء ويبقى مشتعلًا.

وإذا أنزلنا بهدوء قطعة من الخشب في الماء فإننا نلاحظ أنها تخف تدريجياً حتى تبدو في النهاية كأن لا وزن لها، وهذا لا يعني أنها تفقد وزنها فعلاً بل يعني أنها قد أصبحت محمولة بدفع الماء، وقوة دفع الماء هذه تسمى **الدفع العلوي**، فالماء يدفع القطعة الخشبية إلى أعلى فتطفو .

يؤثر الدفع العلوي على أي جسم مغمور في سائل ويطفو الجسم إذا كانت قوة الدفع أكثر من وزنه،

فإذا ما أنزلنا قرميدة في الماء فإننا نحس بأن وزنها يخف ولكن ليس إلى الحد الذي يجعلها تطفو .

وكان العالم اليوناني القديم **أرخميدس** أول من درس الدفع العلوي في السوائل وقال **بأن الدفع**

العلوي يساوي وزن السائل المزاح، وهذا ما يعرف الآن بقانون أرخميدس، ويعني هذا القانون أنه إذا أزاح جسم مغمور كيلو غراماً واحداً من الماء فإن قوة الدفع العلوي على ذلك الجسم تساوي كيلو غراماً واحداً، فلو أننا أخذنا جسمين لهما نفس الحجم والشكل ولكنهما مصنوعان من مادتين مختلفتين: كتوبة وقطعة من الخشب مثلاً فإن هذين الجسمين يزيحان نفس الكمية من الماء عند غمرهما فيه أي أن قوة الدفع العلوي متساوي في كليهما، إلا أنه في قطعة الخشب تكون قوة الدفع العلوي أكبر من وزن القطعة لذلك فإنها تطفو على سطح الماء أما في حالة الطوبة فإن قوة

الدفع العلوي تكون أقل من وزن الطوبة فتغوص .

والخاصية التي تحدد طفو الأجسام هي كثافة هذا الجسم، وهي تساوي وزن

الجسم مقسوماً على حجمه .

أي أن :

$$\text{الكثافة} = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$$

فإذا كان وزن الجسم أكبر من وزن حجمه من الماء فإنه يغرق أما إذا كان وزنه أقل من وزن حجم مساوٍ له من الماء فإنه يطفو، فالطوبة تغوص لأن كثافتها أكبر من كثافة الماء أي أن وزنها يفوق وزن حجمها من الماء أما قطعة الخشب المغمورة فتزيع حجماً من الماء أثقل من وزن الخشبة أي أن كثافة الخشب أقل من كثافة الماء والزيت يطفو لأن كثافته أقل من كثافة الماء أما الزئبق فيغوص لأن كثافته أكثر من كثافة الماء بحوالي عشرة أضعاف .

تجربة :

تبين التجربة التالية أن الجسم الطافي يزيح وزناً من الماء مساوياً لوزنه ولاختبار ذلك نسجل مستوى الماء في مخبر مدرج ثم نضع فيه أنبوب اختبار مثقلاً ونسجل مستوى الماء الجديد في المخبر فيكون حجم الماء المزاح هو الفرق بين مستويي الماء (بالسم^٣) وهو عددياً يساوي وزن الماء المزاح بالغرامات حيث أن وزن السم^٣ من الماء يساوي غراماً واحداً، والآن نخرج أنبوب الاختبار المثقل من المخبر ونجففه ثم نزنه، سنجد أن وزنه مساوٍ لوزن الماء المزاح .

قاعدة أرخميدس

"كل جسم يغمر في مائع (سائل أو غاز) تتولد عليه قوة دافعة نحو الأعلى مقدارها يساوي وزن

المائع المزاح" .

أو يمكن صياغتها بالصيغة : "كل جسم يغمر في مائع (سائل أو غاز) تتولد عليه قوة دافعة نحو

الأعلى مقدارها يساوي ما يفقده الجسم من وزنه" .

تجربة :

- ١- نأخذ أسطوانة معدنية ونقيس حجمها بمعرفة أبعادها (مساحة القاعدة $\times$ الارتفاع) .
- ٢- نعلق الأسطوانة بقبان (ميزان) ونقيس وزنها .
- ٣- نغمر الأسطوانة أعلاه داخل ورق مملوء تماماً بالماء (مفيضة) ونحسب وزن الأسطوانة نلاحظ وزنها قد نقص .
- ٤- عند غمر الأسطوانة نضع تحت المفيضة دورقاً مدرجاً لقياس الحجم (حجم الماء المزاح) نلاحظ حجم الماء المزاح سوف يكون بقدر حجم الأسطوانة .
- ٥- نقيس وزن السائل المزاح نجه مساوياً تماماً للفرق بين وزن الأسطوانة وهي في الهواء ووزنها وهي مغمورة بالماء .

أي أن :

وزن الماء المزاح = وزن الأسطوانة في الهواء - وزنها في الماء

نستنتج أن :

ما يفقده الجسم من وزنه عندما يغمر في السائل يكون مساوياً لوزن السائل المزاح، أن كل جسم يغمر كلياً أو جزئياً في السائل يكون تحت تأثير قوتين هما :

(أ) وزن الجسم (قوة جذب الأرض ويكون اتجاهها نحو السفل) .

(ب) قوة دفع السائل ويكون اتجاهها نحو الأعلى .

أولاً: وزن الجسم المغمور في سائل (الأجسام الغاطسة)

(إذا غمر جسم في سائل فإنه يفقد من وزنه بقدر وزن السائل المزاح) أي أن:

السائل يدفع الجسم المغمور فيه بقوة دفع إلى الأعلى تساوي وزن السائل الذي يزيحه الجسم ويحل محله .

أي أن :

قوة دفع السائل للجسم = وزن السائل المزاح = مقدار النقص في وزن الجسم من أسفل إلى أعلى فإذا كان وزن الجسم أكبر من القوة الدافعة للسائل فإن :

وزن السائل المزاح = وزن الجسم في الهواء - وزن الجسم في السائل

وان : حجم السائل المزاح = حجم الجسم الغاطس

أي أن الجسم سوف يكون تحت تأثير قوة هي المحصلة لوزن الجسم وقوة دفع السائل يكون اتجاهها عمودياً نحو الأسفل وهي التي تمثل الوزن الظاهري للجسم (وزن الجسم في السائل) .



ملاحظة :

أن الجسم ينغمر في السائل عندما تكون قوة دفع السائل له أقل من وزنه، أي أن كثافة الجسم أكبر من كثافة السائل .

مثال (١) :

حجر حجمه (٠,٠٠١) م^٣ ووزنه (٦) نيوتن، علق بميزان نابضي ثم غمر في الماء، فإذا علمت أن وزن المتر المكعب من الماء (١٠٠٠) نيوتن فجد :

أ- قوة دفع الماء للحجر .

ب- قراءة الميزان والحجر مغمور في الماء .

الحل :

حجم الحجر = ٠,٠٠١ م^٣، وزن الحجر = ٦ نيوتن

وزن ١ م^٣ من الماء = ١٠٠٠ نيوتن

أ- قوة دفع الماء للحجر = وزن الماء المزاح

لكن حجم الماء المزاح = حجم الحجر = ٠,٠٠١ م^٣

إذن وزن الماء المزاح = $10000 \times 0,001 = 10$ نيوتن

أي أن قوة دفع الماء للحجر = 10 نيوتن

ب- قراءة الميزان والحجر مغمور في الماء = وزن الحجر في الماء

مقدار النقص في وزن الحجر = قوة دفع الماء له = 10 نيوتن

إذن وزن الحجر في الماء = وزنه في الهواء - مقدار النقص في وزنه

$$= 16 - 10 = 6 \text{ نيوتن}$$

إذن قراءة الميزان = 6 نيوتن

مثال (٢) :

قطعة زجاجية وزنها في الهواء (٥,٥ نيوتن) وفي الماء (٣,٣ نيوتن) جد :

(١) القوة الدافعة للماء .

(٢) حجم القطعة .

الحل :

(١) القوة الدافعة للماء = وزن الماء المزاح = وزن الجسم في الهواء - وزنه في الماء

$$= 5,5 - 3,3 = 2,2 \text{ نيوتن}$$

(٢) وزن الماء المزاح = وزن الجسم في الهواء - وزنه في الماء

$$9,8 \times 0,3 - 0,5 = 2,2$$

$$\text{كث الماء} \times \text{حجم الماء المزاح} = 9,8 \times 0,2 = 1,96$$

$$1000 \times \text{حجم الجسم} = 9,8 \times 0,2 = 1,96$$

$$9800 \times \text{حجم الجسم} = 1,96$$

$$\text{حجم الجسم} = \frac{0,2}{9800} = 0,00002 \text{ م}^3 \text{ حجم القطعة}$$

ثانياً: وزن الجسم الذي يطفو على سطح السائل (الأجسام الطافية).

تجربة :

نأخذ دورق إزاحة مملوء بالماء ومخبار مدرج وجسم من البلاستيك وميزان

نابضي وخيط، نعلق الجسم بالميزان ونعين وزنه في الهواء ونسجل قراءة الميزان، نجعل الجسم يطفو برفق على سطح ماء الدورق، ونسجل وزن الماء المزاح الذي تجمع في المخبر ثم نقارنه بوزن الجسم في الهواء، نلاحظ أن الجسم قد أزاح كمية من الماء وأن وزن الماء المزاح يساوي وزن الجسم في الهواء .

ويمكن القول أنه : "إذا طفا جسم على سطح سائل فإن وزن الجسم يساوي وزن السائل المزاح، وهذه هي قاعدة أرخميدس للأجسام الطافية".

أي أن :

$$\text{قوة دفع السائل للجسم} = \text{وزن السائل المزاح} = \text{وزن الجسم الطافي}$$

أو :

$$\text{القوة الدافعة للسائل} = \text{وزن السائل المزاح}$$

أو

$$\text{وزن السائل المزاح} = \text{ما يفقده الجسم من وزن}$$

وفيها يكون وزن الجسم أقل من القوة الدافعة للسائل فيرتفع الجسم طافياً على سطح السائل،

ويعتمد مقدار ما يطفو منه على كثافة السائل الوزنية وحجم الجزء المغمور منه في السائل فتكون :

$$\text{القوة الدافعة للسائل} = \text{وزن الجسم الطافي في الهواء}$$

وأيضاً :

$$\text{وزن السائل المزاح} = \text{وزن الجسم الطافي في الهواء}$$

وأن :

$$\text{حجم السائل المزاح} = \text{حجم الجزء المغمور}$$

ملاحظة : إن الجزء البارز من الأجسام الطافية من سائل يزداد كلما ازدادت كثافة السائل .

مثال :

دورق إزاحة مملوء تماماً بالماء ألقيت قطعة من الخشب فوق سطح الماء

برفق وجمع الماء المنسكب فوجد أن وزنه يساوي (٤,٥) نيوتن، جد وزن قطعة الخشب في الهواء .

الحل :

وزن الماء المزاح = ٤,٥ نيوتن

حسب قاعدة أرخميدس للأجسام الطافية :

وزن السائل المزاح = وزن الجسم الطافي

وبما أن وزن الماء المزاح = ٤,٥ نيوتن

فإن وزن الجسم الطافي = ٤,٥ نيوتن

ملاحظة :

(١) إذا وضع ثقل فوق الجسم الطافي فإن :

وزن السائل المزاح = وزن الجسم الطافي + وزن الثقل

ويمكن تطبيق : وزن السائل المزاح بسبب الثقل = وزن الثقل

(٢) إذا ربط الجسم الطافي بخيط في قعر إناء فيه سائل فإن :

وزن السائل المزاح = وزن الجسم الطافي + قوة الشد

ثالثاً: الأجسام المتزنة والمغمورة كلياً في السائل

ويكون فيها وزن الجسم مساوياً لقوة دفع السائل فيتزن الجسم، أي إذا كانت قوة دفع السائل

للجسم تساوي وزن الجسم تماماً فإن الجسم يعلق في السائل وفي هذه الحالة تكون كثافته مساوية لكثافة

السائل أي أن :

وزن السائل المزاح = وزن الجسم في الهواء

وأن :

حجم السائل المزاح = حجم الجسم

ملاحظة : في حالة اتزان الجسم فإن الجسم سوف يفقد كل وزنه بسبب قوة دفع السائل،

أي أن وزن الجسم سوف يصبح صفراً في السائل في حالتي الطفو والاتزان وهو مغمور كلياً بالسائل، وذلك

يعني أن الجسم عندما يكون متزاناً تكون القوة المحصلة

المؤثرة في الجسم والناجمة عن قوة جذب الأرض (وزنه) وقوة دفع السائل تساوي صفراً، فالوزن الظاهري للجسم في السائل (وزن الجسم في السائل) يساوي صفراً .

وقد وجد أن ما ينطبق على السوائل ينطبق أيضاً على الغازات ويطلق على السوائل والغازات اسم الموائع، فالمائع قد يكون سائلاً أو غازاً .

أن القوة الدافعة للسائل تعتمد على :

١- كثافة السائل (تناسب طردياً).

٢- حجم الجسم المغمور في السائل (كلياً أو جزئياً) (تناسب طردياً).

٣- تعجيل الجاذبية .

ويثبت ذلك رياضياً كالتالي :

القوة الدافعة للسائل = وزن السائل المزاح

$$= \text{كث و للسائل} \times \text{حجم السائل المزاح}$$

$$= \text{كث و للسائل} \times \text{حجم الجسم المغمور في السائل}$$

مثال (١) :

سوار يظهر وكأنه مصنوع من الذهب يزن في الهواء (٤٩٠٠٠ دايين) وعند غمره كلياً في الماء يزن

(٤٥٠٨٠ دايين)، هل السوار مصنوع من الذهب الخالص أم لا ؟ علماً أن كثافة الذهب (١٩ غم/سم^٣) .

الحل :

الوزن = الكتلة في التعجيل الأرضي

$$\text{و ك} = ٩٨٠ \times \text{ك} = ٤٩٠٠٠ \leftarrow \text{ك} = ٥٠ \text{ غم كتلة السوار}$$

وزن الماء المزاح = وزن الجسم في الهواء - وزنه في الماء

$$\text{كث و للماء} \times \text{حجم الجسم} = ٤٩٠٠٠ - ٤٥٠٨٠$$

$$٣٩٢٠ = \frac{\text{كث الجسم}}{\text{كث الجسم}} \times ٩٨٠ \leftarrow \frac{٥٠}{\text{كث الجسم}} \times ٩٨٠$$

كث الجسم = $\frac{٤٩٠٠٠}{٣٩٢٠} = ١٢,٥$ غم/سم^٣ كثافة المادة المصنوع منها السوار إذاً السوار غير مصنوع من الذهب الخالص لاختلاف الكثافة .

مثال (٢) :

قطعة من الرصاص علفت بقبان حلزوني وأغمرت بزيت كثافته ٨٢٠ كغم/م^٣ فكانت قراءته (٢,٠ ن) جد كتلة القطعة ؟ علماً أن كثافة الرصاص (١١٠٠٠ كغم/م^٣) .

الحل :

وزن الزيت المزاح = وزن الجسم في الهواء - وزنه في الزيت

كث و للزيت × حجم الجسم = ك الجسم × ٩,٨ - ٠,٢

$$\begin{aligned} \text{كث الزيت} \times ٩,٨ \times \frac{\text{ك الجسم}}{\text{كث الجسم}} &= ٩,٨ \text{ ك الجسم} - ٠,٢ \\ ٨٢٠ \times ٩,٨ \times \frac{\text{ك}}{١١٠٠٠} &= ٩,٨ \text{ ك} - ٠,٢ \\ ٠,٢ - ٩,٨ \text{ ك} &= ٠,٧٣ \text{ ك} \\ ٠,٢ &= ٩,٠٧ \text{ ك} \\ \text{ك} &= \frac{٠,٢}{٩,٠٧} = ٠,٠٢٢ \text{ كغم} = ٢٢ \text{ غم} \end{aligned}$$

تطبيقات على قاعدة أرخميدس

١- السفينة :

كلنا نعلم أن السفينة تصنع من الفولاذ وأن كثافة الفولاذ أكبر بكثير من كثافة الماء فكيف تطفو السفينة على سطح الماء ؟
تحتوي السفينة تجويفاً كبيراً ولهذا السبب يكون حجمها كبيراً وكثافتها أقل بكثير من كثافة الماء لذا فإنها تطفو على الماء وإذا حدث ثقب في جسم السفينة تسرب الماء إلى داخلها فإن وزنها يزداد وكذلك كثافتها فتبدأ بالغوص في الماء فتغرق .

٢- الغواصة :

تحتوي الغواصة على خزانات كبيرة تنتشر في مواقع مختلفة فيها ويتم إدخال الماء إلى الخزانات أو إخراجها منها بواسطة المضخة وعندما تملأ الخزانات بالماء تزداد كثافة الغواصة لتصبح أكبر من كثافة الماء فتغوص إلى الأعماق وعند تفريغ الخزانات من الماء تقل كثافة الغواصة فترتفع إلى أعلى، وعندما تتساوى كثافة الغواصة وكثافة الماء فإنها تعلق في الماء فلا تهبط ولا ترتفع، والجدير بالذكر أن الغواصة تكون محكمة الإغلاق وتحوي أجهزة تكييف وذلك لضمان الحياة داخلها بشكل طبيعي .

٣- العوامة المستعملة في خزان الماء :

تتكون العوامة من كرة بلاستيكية مجوفة مربوط بها ذراع قصير ذو محبس وتطفو العوامة على سطح الماء فعندما يمتلئ الخزان بالماء ترتفع الكرة إلى أعلى ويقوم ذراعها القصير بدفع المحبس وإغلاق الفتحة التي يتدفق منها الماء إلى الخزان، وإذا نقص ارتفاع الماء في الخزان فإنها تهبط إلى أسفل ويقوم ذراعها بسحب المحبس وفتح الطريق للماء ليصل إلى الخزان .

الكثافة النسبية باستخدام قاعدة أرخميدس

يمكن الاستعانة بالقوانين التالية لإيجاد الكثافة النسبية للمادة

أولاً - كث ρ لجسم صلب يغطس في الماء ولا يذوب فيه

$$\text{كث } \rho = \frac{\text{وزن المادة}}{\text{وزن الماء المزاح}}$$

$$\text{كث } \rho = \frac{\text{وزن الجسم في الهواء}}{\text{وزن الجسم في الهواء} - \text{وزنه في الماء}}$$

مثال :

قطعة حديد وزن ٩١٠ نت في الهواء و(٧٨٠ نت) في الماء جد الكثافة النسبية للحديد.

الحل :

$$V = \frac{910}{7800-910} = \frac{19}{79-19} = \text{كث}_n$$

ثانياً - لجسم صلب يغطس في الماء ويذوب فيه (كالسكر)

يتم إيجاد الكثافة النسبية باستعمال سائل آخر كثافته النسبية معلومة لا يذوب فيه الجسم ولا يتفاعل معه .

وزن الجسم في الهواء $\times$ كث_ن للسائل

$$\text{كث}_n = \frac{\text{وزن الجسم في الهواء} - \text{وزنه في السائل}}{\text{وزن الجسم في الهواء} - \text{وزنه في السائل}}$$

مثال :

قطعة سكر وزنها في الهواء (٠,٥ نت) ووزنها في سائل (٠,٣ نت) فإذا كانت الكثافة النسبية للسائل (٠,٨) فما الكثافة النسبية للسكر ؟

الحل :

$$\text{كث}_n = \frac{0,5 \times \text{كث}_n \text{ للسائل}}{0,5 - 0,3} = \frac{0,8 \times 0,5}{0,5 - 0,3} = 2$$

ثالثاً- كث_ن لجسم صلب يطفو فوق الماء (باستعمال غطاس)

وزن الجسم في الهواء

$$\text{كث}_n = \frac{\text{وزن الغطاس في الماء والجسم في الهواء} - \text{وزنيهما معا في الماء}}{\text{وزن الغطاس في الماء} - \text{وزنيهما معا في الماء}}$$

مثال :

قطعة من الفلين وزنها في الهواء (٣ نت) ربط بها غطاس معدني فكان وزن الغطاس في الماء والقطعة في الهواء (٢١ نت)، وعند غمرهما معاً في الماء (٦ نت) فما الكثافة النسبية للفلين ؟

الحل :

$$\text{كث}_n = \frac{3}{6-21} = \frac{19}{79-19} = 0,2$$

رابعاً - كث ن ل سائل باستخدام قنينة الكثافة

قنينة الكثافة : هي قنينة زجاجية معلومة الحجم .

وزن التقنية مملوءة سائل - وزنها فارغة

كث ن =

وزن القنينة مملوءة ماء - وزنها فارغة

مثال :

قنينة كثافة كتلتها (٢٠٠ غم) وهي فارغة وعند ملؤها بالماء كتلتها (٣٤٠ غم) وعند ملؤها بسائل

آخر (٣٤٤ غم) فما الكثافة النسبية لذلك السائل ؟

الحل :

(يمكن التعويض بالقانون الكتلة بدلاً من الوزن لتمثيل الكميات) .

وزن التقنية مملوءة سائل - وزنها فارغة

كث ن =

وزن القنينة مملوءة ماء - وزنها فارغة

$$1,03 = \frac{200 - 344}{200 - 340} = \frac{\text{ك التقنية مملوءة سائل - ك فارغة}}{\text{ك القنينة مملوءة ماء - ك فارغة}}$$

حركة الموائع

المائع المثالي هو المائع الذي تنعدم فيه اللزوجة وقابليته للانكسار أثناء الجريان ولجريانه نوعين :

١- **الجريان الانسيابي**: وهو حركة جسيمات المائع ببطء وبمسارات غير متقاطعة.

خصائص الجريان الانسيابي :

(١) حركة المائع ببطء .

(٢) يكون الاحتكاك قليل بين طبقات المائع .

(٣) لا تعترض حركة المائع التواءات حادة أثناء جريانه أو عوائق .

٢- **الجريان المضطرب**: وهو جريان المائع بسرعة بحركة دوامية عشوائية.

خصائص الجريان المضطرب للموائع

(١) حركة المائع سريعة .

(٢) تعترضه عوائق أو التواءات حادة .

معادلة استمرارية الجريان

سرعة انسياب كتلة محددة من سائل تتناسب عكسياً مع مساحة المقطع العرضي للمنطقة التي ينساب منها .

$$س_١ \times مس_١ = س_٢ \times مس_٢$$

معادلة برنولي لجريان الموائع (مبدأ برنولي)

لقد عرفنا أن السوائل والغازات (الموائع) تؤثر بضغط على الأجسام التي تقع عليها ولكن هل لسرعة

المائع تأثير في مقدار الضغط الذي يؤثر به في الأجسام؟

للإجابة عن هذا السؤال سنقوم بالتجربة التالية :

نأخذ شريط من الورق (بطول ١٥ سم وعرض ٣ سم)، نمسك الشريط من أحد طرفيه بإصبعي اليد

اليمنى ونضعه تجاه الفم ثم نفخ بقوة، نلاحظ أن الشريط يرتفع إلى الأعلى أثناء النفخ ثم يرجع إلى وضعه الأصلي عندما نتوقف عن النفخ .

لقد توصل العالم **برنولي** إلى مبدأ (أو قاعدة) عرف باسم (مبدأ برنولي) إذ وجد أن "ضغط المائع يقل

بازدياد سرعته" وعلى أساس هذا المبدأ يمكن تفسير ما حدث في التجربة السابقة :

إن سرعة الهواء فوق الشريط تكون كبيرة لذا يقل ضغط الهواء على سطح الشريط العلوي في حين

يكون ضغطه على سطح الشريط السفلي عادياً وأكبر من الضغط على السطح العلوي والفرق بين الضغطين يولد قوة ترفع الشريط إلى أعلى .

معادلة برنولي لجريان الموائع:

"مجموع الضغط والطاقة الحركية لوحدة الحجم للسائل المتحرك حركة انسيابية يساوي كمية ثابتة في أي

منطقة من مناطق حركة السائل" .

$$\text{كث س}_1 + \frac{1}{\rho} = \text{كث س}_2 + \frac{1}{\rho}$$

حيث كث : كثافة السائل الذي يجري في الأنبوب .

وتدرس معادلة برنولي العلاقة بين ضغط السائل وسرعة جريانه وهي علاقة عكسية (أي بزيادة سرعة الجريان يقل ضغط المائع) .

تطبيقات على قاعدة برنولي :

١- حركة الزوارق الشراعية

إن اختلاف سرعة الرياح على وجهي الشراع ينتج عنها اختلاف بالضغط بين وجهي الشراع وهذا الاختلاف مضروب في مساحة [(ض_١ - ض_٢) مس] يولد قوة تؤثر في الشراع والتي تتحلل إلى مركبتين إحداهما تسبب حكة الزورق والثانية تحاول قلب الزورق إلا أن مقاومة الماء للزورق تعادل تلك القوة فلا ينقلب الزورق .

٢- حركة الطائرة

اعتماداً على مبدأ برنولي يمكن تفسير عمل جناحي الطائرة حيث يكون شكل الجناح محدباً من أعلى ومنبسط من أسفل فيسبب اختلاف سرعة جريان الهواء أعلى وأسفل الجناح (حيث تكون سرعة جريان الهواء أعلى الجناح عالية فيكون الضغط قليلاً وأسفل الجناح تكون سرعة الجريان واطئة فيكون الضغط كبيراً) فيتولد فرقاً في الضغط بينهما وهذا الفرق مضروب في مساحة الجناح يولد قوة تؤثر فيه وتتحلل إلى مركبتين إحداهما ترفع الطائرة إلى الأعلى وتسمى القوة الرافعة وأخرى تحاول إعاقه حركة الطائرة إلى الأمام والتي يتم التغلب عليها بواسطة قوة دفع المحركات .

ملاحظة : عند ائزان الطائرة في طيرانها أفقياً يكون مجموع القوى الرافعة للطائرة مساوياً لوزنها، وتكون قوة دفع محركاتها إلى الأمام مساوية للقوى المعيقة .

مقياس جريان السوائل (مقياس فنتوري) :

وهو مقياس يستعمل لقياس حجم السائل المار خلال الأنابيب بوحدة الزمن .

الكثافة الكتلية (كث) : هي كتلة وحدة الحجم ووحداتها هي كغم/م^٣ أو غم/سم^٣

$$\frac{\text{كغم}}{\text{م}^3} = \frac{\text{كغم}}{1000 \text{ سم}^3}$$

الكثافة الوزنية (كث و) : وزن وحدة الحجم ووحداتها هي ن/م^٣ أو داي ن /سم^٣

الخلاصة

- **المائع :** لفظ يطلق على كل من السوائل والغازات .
- إذا غمر جسم في مائع أو طفا على سطحه فإنه يفقد وزنه بقدر وزن المائع المزاح .
- يطفو الجسم على سطح السائل إذا كانت كثافة الجسم أقل من كثافة السائل .
- ينغمر الجسم في السائل إذا كانت كثافة الجسم أكبر من كثافة السائل .
- يعلق الجسم في السائل إذا كانت كثافة الجسم تساوي كثافة السائل .
- إذا طفا جسم على سطح سائل فإن وزنه في السائل تساوي كثافة السائل .
- من التطبيقات على قاعدة أرخميدس : السفينة، الغواصة، البالون (المنطاد)، العوامة .
- يقل ضغط المائع بازدياد سرعته **(مبدأ برنولي)** .
- ترتفع الطائرة إلى الأعلى لأن الضغط على أجنحتها من أسفل إلى الأعلى أكبر من الضغط على تلك الأجنحة من أعلى إلى أسفل .
- من التطبيقات على مبدأ برنولي : عمل الأجنحة والمراوح في الطائرات ومرذاذ العطور وأدوات الرش .

الفصل الخامس الكهربائية الساكنة

الفصل الخامس

الكهربائية الساكنة

التكهرب

في العام ٦٠٠ قبل الميلاد اكتشف العالم والفيلسوف اليوناني طاليس نوعاً من الصمغ المتحجر يملك خاصية جذب قطع الورق الصغير والتبن والريش إذا ذلك بالفرو واسم هذا الصمغ كاه ربا (أي جاذب التبن) ومنه اشتق اسم الكهرباء .

إذا سرحت شعرك بمشط بلاستيكي تجد أن المشط يكتسب خاصية جذب قصاصات الورق الصغيرة إليه كذلك إذا سرحت شعرك بالمشط البلاستيكي بشدة في غرفة مظلمة ثم قربت المشط إلى إبهامك تلاحظ انطلاق شرارة صغيرة وكذلك تلاحظ بريقاً خفيفاً أثناء نزع لباس صوفي في غرفة مظلمة وأحياناً تشعر بلسعة خفيفة عند ملامسة المقبض الفلزي للباب بعد مشيك حافياً فوق سجادة .

ولتفسير سبب حدوث هذه الظواهر وغيرها سنقوم بالتجربة التالية :

نحضر من الزجاج وقضيباً من المطاط وقطعة صوف وقطعة حرير وقصاصات من الورق نذلك طرف قضيب الزجاج بواسطة قطعة الحرير، نقرب هذا الطرف إلى قصاصات صغيرة من الورق فنلاحظ أن قصاصات الورق الصغيرة تنجذب إلى قضيب الزجاج المدلوك بالحرير والآن نذلك طرف قضيب المطاط بقطعة الصوف ونقرب هذا الطرف إلى قصاصات الورق نلاحظ أن قصاصات الورق تنجذب أيضاً إلى قضيب المطاط المدلوك بالصوف .

وتفسير ذلك أن عملية ذلك الزجاج بالحرير ولدت شحنات كهربائية على قضيب الزجاج فانجذبت القصاصات إلى قضيب الزجاج عند تقريبه منها، وكذلك عند ذلك قضيب المطاط بالصوف تولدت شحنات كهربائية عليه فانجذبت القصاصات إليه.

ولكن هل أن الشحنات الكهربائية المتولدة على الزجاج وعلى المطاط من نوع واحد ؟ لنجر التجربة

التالية :

نحضر قضيبين من الزجاج وقضيباً من المطاط وحاملاً وقطعة حرير وقطعة صوف وخيطاً، نذلك طرفي قضيب الزجاج بقطعة الحرير ونمسكه من منتصفه ونعلقه في الحامل بوضع أفقي بواسطة ركاب من الورق، ثم نذلك قضيب الزجاج الآخر بنفس الطريقة ونقرب الطرف المدلوك إلى أحد طرفي القضيب الزجاجي المعلق في الحامل، نلاحظ حدوث تنافر بين قضيبَي الزجاج المدلوكين والآن نذلك قضيب المطاط بقطعة الصوف ونقرب طرفه المدلوك إلى طرف قضيب الزجاج المعلق في الحامل نلاحظ تجاذب قضيب الزجاج وقضيب المطاط عند اقترابهما .

نستنتج من هذه التجربة أن هناك نوعين من الشحنات الكهربائية : نوعاً تمثله الشحنة المتولدة على الزجاج المدلوك بالحرير، وآخر تمثله الشحنة المتولدة على المطاط المدلوك بالصوف، وتسمى الشحنة المتولدة على الزجاج **الشحنة الموجبة**، والشحنة المتولدة على المطاط **الشحنة السالبة** .

كما **نستنتج** أيضاً أن الشحنات الكهربائية المتشابهة تتنافر والشحنات الكهربائية المختلفة تتجاذب .

ولكن كيف تفسر تولد الشحنات الكهربائية على الأجسام بعد دلكها ؟

إن الشحنة الكهربائية هي إحدى خصائص المادة شأنها في ذلك شأن الكتلة، إذ إننا نعرف أن العناصر تتكون من ذرات وتتكون كل ذرة من نواة موجبة الشحنة بسبب احتوائها على البروتونات الموجبة وتدور حولها الإلكترونات التي تحمل الشحنة السالبة وأن الذرة في الوضع الطبيعي تكون متعادلة كهربائياً أي عدد البروتونات يكون مساوياً لعدد الإلكترونات أي أن مقدار شحنة البروتونات الموجبة على النواة يكون مساوياً لمقدار شحنة الإلكترونات السالبة .

أي أن المادة بشكل عام، متعادلة، وحين تخسر الذرة أحد إلكتروناتها أو أكثر فإن الذرة تصبح موجبة الشحنة، أما إذا كسبت إلكترونات أو أكثر فإنها تصبح سالبة الشحنة، وتختلف المواد في من حيث قابليتها لفقد إلكترونات أو كسبها، تبعاً لمدى قوة ارتباط الإلكترونات في المستويات البعيدة بنوى الذرات .

وعندما تدلك المادة بمادة أخرى مناسبة فإن إحدى المادتين تفقد إلكترونات

فتصبح موجبة الشحنة، وتكتسب المادة الأخرى تلك الإلكترونات فتصبح سالبة الشحنة، فعندما يدلك الزجاج بالحرير يفقد الزجاج إلكترونات فيصبح موجباً في حين يكتسب الحرير إلكترونات فيصبح سالباً، وكذلك عندما يدلك المطاط بالصوف يفقد الصوف إلكترونات فيصبح موجباً ويكتسب المطاط إلكترونات فيصبح سالباً .

فالتكهرب : هو عملية تكون الشحنات الكهربائية على الجسم نتيجة انتقال إلكترونات منه أو إليه .

إن عدد الإلكترونات التي تفقدها إحدى المادتين يساوي عدد الإلكترونات التي تكتسبها المادة الأخرى، أي أن الشحنتان المتولدتان على المادتين الدالكة والمدلوكة تكونان متساويتان ومختلفتان في النوع، أي أن الشحنة الكهربائية محفوظة أي لا تفنى ولا تستحدث وهذا ما يسمى بمبدأ **(حفظ الشحنة الكهربائية)** .

مبدأ حفظ الشحنة الكهربائية : مجمل الشحنة الكهربائية لأي نظام معزول كمية ثابتة .

وهذا يعني أنه عند ذلك المواد بعضها ببعض فإن الشحنات التي تفقدها مادة تساوي الشحنات التي تكتسبها المادة الأخرى .

إن وحدة قياس الشحنة الكهربائية هي **الكولوم** والذي يساوي شحنة الإلكترون المستقرة (1.6×10^{-19}) كولوم .

طرق التكهرب (الشحن)

١- طريقة الدلك : حيث يتم ذلك جسم بآخر فيفقد أحد الجسمين بعضاً من إلكتروناته ليكتسبها الجسم الآخر .

ملاحظة: إن الشحنات المتكونة بالدلك بين الجسم الدالك والجسم المدلوك تكون مختلفة، فمثلاً عند ذلك أنبوب الزجاج بالحرير فإن الزجاج سوف يكتسب الشحنة الموجبة وقطعة الحرير الشحنة السالبة .

٢- طريقة التماس : وذلك عن طريق ملامسة جسم مشحون مع الجسم عندئذ يشحن الجسم بشحنة مشابهة لشحنة الجسم الملامس له .

تجربة:

نأخذ قضيباً فلزياً ونلامس به جسم مشحون (قضيب من المطاط مدلوك بقطعة من الصوف) نلاحظ تنافر القضيب الفلزي مع الجسم المشحون وهذا يدل على أن القضيب الفلزي قد إنشحن بنوع شحنة الجسم بعد ملامسته له، والآن نقرب منه قصاصات صغيرة من الورق نلاحظ انجذاب الورق للقضيب الفلزي، وهذه التجربة تبين أن القضيب الفلزي قد اكتسب شحنة كهربائية سالبة بالتماس وتسمى هذه الطريقة (طريقة الشحن بالتماس أو الشحن باللمس) .

٣- طريقة الحث (التأثير) :

يتم شحن الجسم بطريقة الحث وذلك باتباع الخطوات التالية :-

أ- نقرب جسم مشحون من الجسم المراد شحنه .

ب- نوصل الطرف البعيد من الجسم بالأرض من غير أن نبعد الجسم المشحون.

ج- نقطع اتصال الجسم بالأرض .

د- نبعد الجسم المشحون .

فيشحن الجسم عندئذ، ولتوضيح ذلك نقوم بالتجربة التالية :

تجربة :

نحضر قضيباً مطاطياً وقطعة صوف وقضيباً فلزياً وحاملاً خشبياً، ندلك طرف القضيب المطاطي بقطعة الصوف عدة مرات نقرب الطرف المدلوك إلى أحد طرفي القضيب الفلزي الموضوع على الحامل الخشبي نلمس طرف القضيب الفلزي بطرف الإصبع بوجود القضيب المطاطي ثم نبعده بعد ذلك عن القضيب الفلزي، والآن نقرب قصاصات الورق الصغيرة من القضيب الفلزي فنلاحظ انجذابها نحو القضيب الفلزي، وتفسير ذلك أنه عندما قربنا طرف القضيب المطاطي المشحون بشحنة سالبة إلى أحد طرفي القضيب الفلزي فإن عدداً من الإلكترونات في القضيب الفلزي انتقلت إلى طرفه البعيد بسبب تنافرها مع الشحنة السالبة على القضيب المطاطي، فأصبح الطرف البعيد للقضيب الفلزي سالباً والطرف القريب له موجباً، وبعد لمس القضيب الفلزي بالإصبع فإن عدداً من الإلكترونات تنتقل عبر جسم الشخص من القضيب الفلزي إلى الأرض

فينشحن القضيب الفلزي بشحنة كهربائية موجبة، وأن انجذاب قصاصات الورق الصغيرة إلى القضيب الفلزي بعد إبعاد القضيب المطاطي يدل على أن شحنة القضيب الفلزي دائمة لا تزول بزوال القضيب المؤثر .

ملاحظة : أن الشحنات المتكونة بين الجسم الحاث والمحث تكون مختلفة فعند تقريب جسم موجب مثلاً من الجسم المراد شحنه فإنه سوف يكتسب الشحنة السالبة.

تسمى شحنة الطرف القريب **بالشحنة المقيمة** وتكون عادة مخالفة لشحنة المؤثر، وتسمى شحنة الطرف البعيد **بالشحنة الحرّة** وتكون عادة مشابهة لشحنة المؤثر.

فالشحنة المقيمة : هي الشحنة التي تظهر على الجسم المراد شحنه بطريقة الحث حيث لا يمكن لها أن تتحرك على جسم الموصل المعزول المتعادل كهربائياً، حيث أنها تكون مقيمة من قبل الجسم الحاث (**الجسم الشاحن**) .

المواد الموصلة والمواد العازلة للكهرباء

لو أخذنا قضيباً من المطاط و قضيباً من النحاس وقطعة من الخشب وقطعة صوف وقصاصات صغيرة من الورق وحاملاً .

نضع القضيب النحاسي على الحامل، ونذلك القضيب المطاطي بالصوف ونجعل طرفه المدلوك يلامس طرف قضيب النحاس ثم نبعد قضيب المطاط ونقرب قصاصات الورق إلى أحد طرفي القضيب النحاسي. نلاحظ انجذاب قصاصات الورق إلى طرف القضيب النحاسي نعيد الخطوات السابقة بالترتيب مستعملين قضيباً من الحديد وقضيباً من الزجاج وقضيباً من الخشب بعد أن نجعل قضيب المطاط المشحون يلامس كلاً منها في كل حالة .

نلاحظ في هذه التجربة أن قصاصات الورق تنجذب إلى طرف كل من قضيب النحاس والحديد ولا تنجذب إلى طرف كل من الزجاج والخشب .

وهذا يعني أن الشحنات الكهربائية قد انتقلت عبر كل من النحاس والحديد إلى الطرف الآخر مما أدى إلى انجذاب قصاصات الورق ولكنها لم تنتقل عبر الزجاج والخشب .

نستنتج من ذلك أن المواد تختلف من حيث قابليتها لانتقال الشحنة الكهربائية خلالها، فالمواد التي تسمح بانتقال الشحنات الكهربائية خلالها تسمى مواد موصلة للكهرباء، والمواد التي لا تسمح بانتقال الشحنات الكهربائية خلالها تسمى مواد عازلة للكهرباء .

وتقسم المواد إلى ثلاثة أقسام من حيث قابليتها في التوصيل الكهربائي وهي :

١- المواد الموصلة: وهي المواد التي تنتقل من خلالها الشحنات الكهربائية في الحال بسبب وجود إلكترونات حرة الحركة في ذراتها، مثل الفضة والنحاس والزنك (الفلزات جميعها) والمحاليل الكهرلية (محاليل الأملاح) .

٢- المواد العازلة: وهي المواد التي لا تنتقل من خلالها الشحنات الكهربائية في الحال بسبب عدم وجود الإلكترونات الحرة فيها، مثل المطاط والخشب والورق الجاف والهواء الجاف .

٣- المواد شبه الموصلة: وهي المواد التي تكون عادة رديئة التوصيل للكهربائية إذا كانت نقية وبدرجات الحرارة المنخفضة جداً أو بالظلمة (من غير تأثير الضوء) بينما يكون لها قابلية توصيل كهربائية درجات الحرارة الاعتيادية وتأثير الضوء وتزداد قابلية توصيلها للكهربائية إذا طعمت بشوائب معينة وتصبح موصلة إذا سخنت مثل السليكون والجرمانيوم .

ملاحظة : لا توجد حدود فاصلة بين الموصل والعازل فقد يتحول العازل إلى موصل في ظروف أخرى مثل وجود الرطوبة أو التغير الكبير في درجة الحرارة وغيرها، فالهواء الجاف مثلاً عازل جيد للكهربائية أما الهواء الرطب فهو موصل جيد للكهربائية .

الكشاف الكهربائي

هو جهاز يستخدم للكشف عن وجود الشحنة ومعرفة نوعها ويتكون من قرص معدني يتصل بساق معدنية تنتهي بورقتين رقيقتين معدنيتين وهي مواد موصلة للكهرباء) . ويتم الكشف عن وجود الشحنة وذلك عن طريق تقريب الجسم المراد الكشف

عن امتلاكه شحنة أم لا من قرص الكشاف فإذا أنفجرت ورقتا الكشاف دل ذلك على أن الجسم مشحون أما إذا بقيت ورقتا الكشاف منطبقة فإن الجسم غير مشحون .

تجربة :

ندلك قضيباً من المطاط بقطعة الصوف ونجعل طرفه المدلوك يلامس قرص الكشاف ثم نبعد القضيب نلاحظ أن ورقتي الكشاف تنفرجان بعد ملامسة طرف قضيب المطاط المدلوك لقرص الكشاف، نلمس قرص الكشاف بالإصبع فنلاحظ انطباق ورقتيه والآن نقرب الطرف المدلوك لقضيب المطاط من قرص الكشاف دون أن يلامسه نلاحظ أن ورقتيه تنفرجان .

نستنتج من ذلك أن قرص الكشاف ينشحن بطريقة التماس عند تلامس القرص مع قضيب المطاط المشحون، وتنتقل الشحنات خلال الساق الفلزية إلى ورقتي الكشاف فتتشحنان بالشحنة نفسها لذا تنفرج الورقتان .

وعند تقريب الطرف المدلوك لقضيب المطاط من قرص الكشاف فإن القرص ينشحن بالحث بشحنة مخالفة لشحنة القضيب وتنشحن الورقتان بشحنة مماثلة لشحنة القضيب فتتنفرجان وعند لمس قرص الكشاف باليد فإن الشحنات الكهربائية التي عليه تتسرب إلى الأرض من خلال جسم الإنسان الموصل للكهرباء .

معرفة نوع الشحنة باستخدام الكشاف الكهربائي

يتم معرفة نوع شحنة الجسم المشحون باتباع ما يلي :

١-يشحن الكشاف بشحنة معلومة بالنسبة لنا .

٢-نقرب الجسم المراد معرفة نوع شحنته من قرص الكشاف فإذا :

أ-ازداد انفراج ورقتي الكشاف دل ذلك على أن الجسم مشحون بشحنة مشابهة لشحنة الكشاف .

ب- قل انفراج ورقتي الكشاف دل ذلك على أن الجسم مشحون بشحنة مخالفة لشحنة الكشاف .

كهربائية الجو

عندما يحصل التفريغ الكهربائي بسرعة من جسم مشحون إلى موصل على

مقربة منه دون أن يلامسه تقفز شرارة بين الجسمين وكان العالم البريطاني **وليم فول** في عام ١٧٠٨ **أول من علل وميض البرق في السماء بأنه شرارة من هذا القبيل على نطاق واسع .**

وبعد ذلك بخمسين عاماً تقريباً أجرى العالم الأمريكي **بنجامين فرانكلين** تجربة ليحاول البرهنة على **أن التفريغ البرقي ناتج فعلاً عن الكهرباء** فعمد إلى تطيير طائرة ورقية في عاصفة رعدية معلق بها سلك معدني تتصل نهايته السفلى بخيط حريري أمسك به وقد أوصل بالخيط الحريري على مسافة امتداد ذراعه مفتاحاً معدنياً. ولدى مرور الطائرة الورقية عبر سحابة رعدية حصل فرانكلين على تفريغ كهربائي شراري من المفتاح الموصل بخيط الطائرة، وقد أكد له ذلك أن السحب الرعدية مشحونة بالكهرباء وأن البرق ما هو إلا عملية تفريغ كهربائي .

في فصل الشتاء تكثر حدوث الظواهر الطبيعية كالبرق والرعد وكثيراً ما نسمع عن حدوث صواعق مدمرة فما هو تفسير هذه الظواهر ؟

في أيام الشتاء العاصفة تكثر التيارات الهوائية الصاعدة التي تعمل على تجزئة قطرات الماء في الغيوم إلى قطرات تحمل شحنة سالبة تكون في أسفل السحابة وقطرات تحمل شحنة موجبة تكون في أعلى السحابة فإذا اقتربت سحابتان من بعضهما وكان طرف إحداهما مشحوناً بشحنة سالبة والطرف المقابل لها من السحابة مشحوناً بشحنة موجبة فإن الشحنات السالبة تنتقل من السحابة الأولى عبر الهواء لتعادل الشحنة الموجبة وانتقال هذه الشحنات يُواجه بمقاومة كبيرة تؤدي إلى تولد حرارة هائلة يصحبها ضوء بشكل شرارة أو مجموعة من الشرارات وهو البرق .

البرق :

هو ضوء قوي يحدث بفعل التفريغ الكهربائي بين أعلى وأسفل غيمة مشحونة.

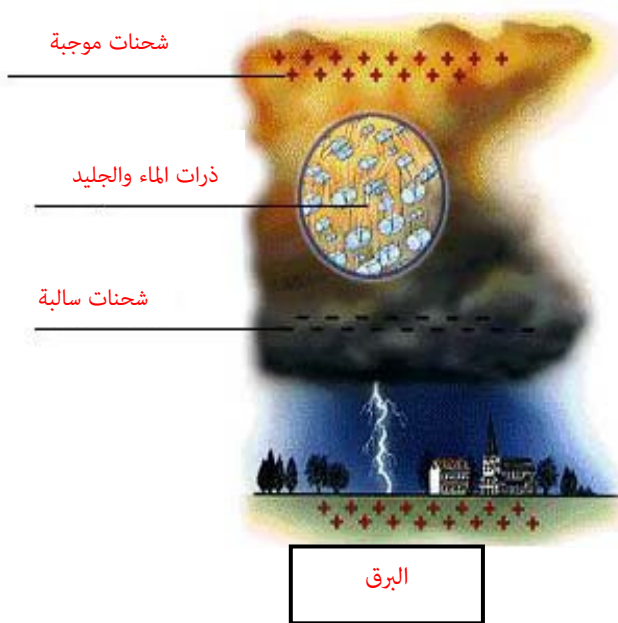
ونتيجة لانتقال الشحنات السالبة إلى الموجبة عبر الهواء تتولد حرارة هائلة تؤدي إلى تسخين الهواء في منطقة حدوث البرق فقد تصل درجة حرارة الهواء إلى 3000°C ، وهذا ما يؤدي إلى تمدد الهواء بشكل مفاجئ الأمر الذي يؤدي إلى حدوث صوت عالٍ هو صوت الرعد .

الرعد :

هو صوت قوي ينتج بفعل الحرارة المصاحبة لعملية التفريغ الكهربائي بين أعلى وأسفل غيمة مشحونة، حيث تعمل هذه الحرارة على تسخين الهواء فيتمدد ليحل محله الهواء البارد فتصطدم تلك الكتل الهوائية الباردة مولدة صوت قوي .
أن ما يحدث بين الغيوم المشحونة قد يحدث بين إحدى الغيوم المشحونة والأرض وهنا نقول إن صاعقةً ضربت الأرض، وتعمل الحرارة الهائلة الناتجة عن ذلك على حدوث الحرائق المدمرة .

الصاعقة :

هو تفريغ كهربائي يحدث بين غيمة مشحونة (وقريبة من سطح الأرض) والأرض مصحوباً بشرارة كهربائية قد تؤدي إلى حرق الأجسام التي تمر خلالها الصاعقة .



ولاتقاء خطر هذه الصواعق تستعمل مانعة الصواعق، وهي عبارة عن ساق معدني ذو رأس مدبب يوضع في أعلى البناية ويوصل طرفها الآخر وصلاً جيداً بواسطة سلك نحاسي غليظ إلى الأرض أو بربطها مباشرة في الهيكل الحديدي للبناية

إذا كان هيكلها من الحديد، وتعمل مانعة الصواعق على حصول تفريغ تدريجي بين الغيوم المشحونة وسطح الأرض فتمنع من حدوث خطر الصاعقة .

ولمعرفة مبدأ عمل مانعة الصواعق سنقوم بالتجربة التالية :

نشحن كرة نحاسية معزولة بطريقة التماس بواسطة قضيب المطاط المدلوك بالصوف، نقرب الكرة إلى الكشف، نلاحظ انفراج ورقتنا الكشف أي أن الكرة النحاسية قد انشحت، نثبت دبوساً معدنياً (فلزيًا) على سطح الكرة النحاسية بشريط لاصق ونعيد شحن الكرة النحاسية من جديد بطريقة التماس بواسطة قضيب المطاط المدلوك بالصوف ونقرب الكرة إلى قرص الكشف، نلاحظ عدم انفراج ورقتي الكشف في هذه الحالة وهذا يدل على أن الكرة غير مشحونة، وتفسير ذلك هو:

عندما شحنت الكرة في المرة الثانية كانت كثافة الشحنات على رأس الدبوس كبيرة وهذه تشحن الهواء المحيط بها بالحث بحيث تكون شحنة جزيئات الهواء القريب من رأس الدبوس مخالفة لشحنته، وشحنة الجزيئات البعيدة عن الدبوس مشابهة لشحنته، وبسبب التجاذب القوي بين شحنة الدبوس وشحنة جزيئات الهواء القريبة يحدث تفريغ كهربائي بينهما، أي تنتقل الشحنة السالبة لتعادل الشحنة الموجبة وبذلك تتلاشى شحنة الدبوس وبالتالي شحنة الكرة.

وبنفس المبدأ تعمل مانعة الصواعق المثبتة على رأس البناية، فعند اقتراب غيمة مشحونة بشحنة سالبة من البناية فإن البناية تشحن بالحث من الغيمة وتكون شحنة رأس البناية مخالفة لشحنة الغيمة، أي تكون موجبة فيعمل الرأس المدبب في مانعة الصواعق على شحن جزيئات الهواء المجاورة له بالحث فتكون شحنة الجزيئات القريبة سالبة والبعيدة موجبة، أما الشحنة السالبة فتتجذب إلى الرأس المدبب منتقلة عبر السلك النحاسي الغليظ إلى الأرض، وأما الشحنة الموجبة فتنتقل إلى السحابة لتعادل جزءاً من شحنتها .

كما تستخدم الرؤوس المدببة أيضاً في نهاية أجنحة الطائرة وفي ذيلها لتعمل على تفريغ الشحنات الكهربائية التي تستقر على جسم الطائرة أثناء الطيران .

أُسئلة

- س١: ما هي أنواع الشحنات الكهربائية ؟
- س٢: كيف تفسر تكون الشحنات الكهربائية على الأجسام ؟
- س٣: ما هو قانون التجاذب والتنافر بين الشحنات الكهربائية ؟
- س٤: ما هو الكشاف الكهربائي ؟
- س٥: ما الفائدة العملية من الكشاف الكهربائي ؟
- س٦: كيف يمكن الكشف عن وجود الشحنة باستخدام الكشاف الكهربائي ؟
- س٧: وضح بتجربة طريقة شحن جسم بالتماس .
- س٨: لديك جسم غير مشحون وقضيب من المطاط وقطعة من الصوف فكيف يمكنك شحن الجسم ؟
- أ- بالشحنة الموجبة. ب- بالشحنة السالبة.
- س٩: ما المقصود بالشحنة المقيدة ؟
- س١٠: كيف يمكنك شحن كشاف كهربائي متعادل كهربائياً بطريقة التماس ؟
- أ- بالشحنة الموجبة. ب- بالشحنة السالبة.
- س١١: كيف يمكنك شحن كشاف كهربائي بطريقة الحث ؟
- أ- بالشحنة الموجبة. ب- بالشحنة السالبة.
- س١٢: ما نوعا الشحنات الكهربائية وكيف تحصل على كل منها عملياً في المختبر ؟
- س١٣: ما نوع الشحنة التي يحملها الإلكترون؟ وما نوع الشحنة التي يحملها البروتون؟
- س١٤: ما نوع القوة بين شحنتين :
- (أ) متماثلتين . (ب) مختلفتين .
- س١٥: ما الموصل ؟ وما العازل ؟ وما شبه الموصل ؟
- س١٦: لماذا تنفرج ورقتا الكشاف الكهربائي غير المشحون عند تقريب جسم مشحون من قرصه ؟

س١٧: دلكت مسطرة من اللدائن (البلاستيك) بقطعة قماش فكيف تستطيع عملياً معرفة نوع الشحنة الموجودة على المسطرة ؟

س١٨: لو تحركت منزلقاً على مقعد سيارة مصنوع من البلاستيك وبعدها أمسكت مقبض السيارة المعدني لشعرت بحصول لسعة كهربائية فكيف تفسر ذلك؟

س١٩: كيف يمكنك شحن كشاف كهربائي بشحنة موجبة باستعمال :

(أ) قضيب من الزجاج مشحون بشحنة موجبة .

(ب) قضيب من المطاط مشحون بشحنة سالبة .

س٢٠: كيف تفسر تولد الشحنات الموجبة على قضيب الزجاج عند دلكها بالحرير؟

س٢١: لماذا يصعب إجراء تجارب الكهربائية المستقرة في يوم رطب ؟

س٢٢: لماذا تكون البناية ذات الهيكل الحديدي في مأمن من أضرار الصواعق؟

س٢٣: كيف تتخلص الطائرة من الشحنة المتكونة عليها أثناء طيرانها ؟

س٢٤: في ناقلات الوقود توضع سلاسل حديدية في مؤخرتها بحيث تلامس الأرض فما فائدة هذه السلاسل؟

س٢٥: اذكر بعض مخاطر الكهربائية الساكنة .

س٢٦: اختر الجواب الصحيح في كل مما يأتي :

١-الجسم السالب الشحنة هو جسم يكون فيه عدد الإلكترونات :

(أ) مساوياً لعدد البروتونات . (ب) أكبر من عدد البروتونات .

(ج) أقل من عدد البروتونات .

٢-إن بعض المواد تكون قليلة التوصيل للكهربائية إذا كانت نقية وتصبح جيدة التوصيل إذا احتوت على شوائب معينة هي :

(أ) الموصلات . (ب) العوازل . (ج) أشباه الموصلات .

٣- عند شحن كرة معدنية معزولة بتقريب قضيب من المطاط مشحون منها فإن هذه العملية تسمى التكهرب :

(أ) بالذلك (ب) بالحث (ج) بالتوصيل

- ٤- إذا قرب جسم مشحون بشحنة موجبة من قرص كشاف متعادل وتم لمس القرص باليد ثم أُبعدت اليد وأبعد ذلك الجسم المؤثر فإن الكشاف يكون :
- (أ) مشحوناً بشحنة موجبة. (ب) مشحوناً بشحنة سالبة. (ج) متعادلاً.
- ٥- للكشف عن نوع شحنة جسم مشحون نقرب الجسم من قرص كشاف مشحون بشحنة معلومة فإن شحنة الجسم تكون مشابهة لشحنة الكشاف إذا :
- (أ) انطبقت ورقته. (ب) زاد انفراج ورقته. (ج) لم تتأثر ورقته.
- ٦- يعتمد مبدأ عمل مانعة الصواعق على :
- (أ) الكشاف الكهربائي. (ب) استقرار الشحنات على السطوح الخارجية .
- (ج) تأثير الأسنة في التفريغ الكهربائي .
- ٧- الجسم غير المشحون في الذرة هو :
- (أ) الإلكترون. (ب) البروتون . (ج) النيوترون .
- ٨- يمكن للإلكترونات المرور خلال مادة :
- (أ) المطاط . (ب) النحاس . (ج) الزجاج .
- ٩- عند ذلك قطعتين من مادتين عازلتين تتولد على :
- (أ) القطعتين شحنتين متشابهتين. (ب) القطعتين شحنتين مختلفتين .
- (ج) إحدى القطعتين شحنة ولا تتولد على الأخرى .

الأجوبة

ج ١ : أن الشحنات الكهربائية على نوعين :

١- الشحنة الموجبة (+) : مثل شحنة البروتون التي تتكون على قضيب الزجاج حين دلكها بالحرير، وتتكون الشحنة الموجبة نتيجة لفقدان الجسم لعدد من إلكتروناته .

٢- الشحنة السالبة (-) : مثل شحنة الإلكترون أو الشحنة التي تتكون على قضيب المطاط حين دلكها بالصوف، وتتكون الشحنة السالبة نتيجة لاكتساب الجسم لعدد من الإلكترونات .

ج ٢ : تتكون الذرة من نواة موجبة بسبب احتوائها على البروتونات الموجبة وتدور حولها الإلكترونات التي تحمل الشحنة السالبة، والذرة المتعادلة كهربائياً يكون عدد البروتونات مساوياً لعدد الإلكترونات لأن مقدار شحنة الإلكترون مساوية لمقدار شحنة البروتون، فعند فقدان الجسم لعدد من الإلكترونات فإن شحنة الجسم تكون موجبة أما اكتساب الجسم لعدد من الإلكترونات فإن شحنته تكون سالبة .

ج ٣ : قانون التجاذب والتنافر بين الشحنات الكهربائية ينص على :

(أن الشحنات الكهربائية المتشابهة تتنافر والشحنات الكهربائية المختلفة تتجاذب)

ج ٤ : هو جهاز يستخدم للكشف عن وجود الشحنة ومعرفة نوعها ويتكون من قرص معدني يتصل بساق معدنية تنتهي بورقتين معدنيتين رقيقتين .

ج ٥ : يستفاد من الكشاف في :

أ- الكشف عن وجود الشحنة. ب- معرفة نوع الشحنة .

ج ٦ : يتم الكشف عن وجود الشحنة وذلك عن طريق تقريب الجسم المراد الكشف عن امتلاكه شحنة أم لا من قرص الكشاف، فإذا انفجرت ورقنا الكشاف دل ذلك على أن الجسم مشحون، أما إذا بقيت ورقتي الكشاف منطبقتين فإن الجسم غير مشحون .

ج ٧ : نأخذ كرة فلزية ونلامس بها جسم مشحون نلاحظ تنافر الكرة الفلزية مع الجسم دلالة على أن الكرة قد انشحنت بنوع شحنة الجسم المشحون بعد ملامستها له .

ج ٨ : أ- نذلك قضيب المطاط بقطعة الصوف فيكتسب القضيب الشحنة السالبة فعندما

نريد شحن الجسم بشحنة مخالفة نستخدم طريقة الحث (التأثير) .

ب- نذلك قضيب المطاط بقطعة الصوف فيكتسب القضيب الشحنة السالبة وعندما نريد شحن

الجسم بشحنة مشابهة نستخدم طريقة التماس فيكتسب الجسم الشحنة السالبة عند التماس .

ج ٩ : الشحنة المقيدة : هي الشحنة التي تظهر على الجسم المراد شحنه بطريقة الحث حيث لا يمكن لها أن

تتحرك على جسم الموصل المعزول كهربائياً لأنها تكون مقيدة من قبل الجسم الحاث (الجسم الشاحن) .

ج ١٠ : أ- نأخذ قضيباً من الزجاج ونذلكها بالحرير ثم نلامس قضيب الزجاج ومن

عدة مواضع قرص الكشاف فنلاحظ انفراج ورقتيه نتيجة انتقال عدد من الإلكترونات من قرص

الكشاف إلى قضيب الزجاج بالتماس فتكون عندئذ شحنة الكشاف موجبة .

ب- وعندما يراد شحن الكشاف بالشحنة السالبة بطريقة التماس نلامس قرص الكشاف بقضيب

من المطاط المدلوك بقطعة من الصوف .

ج ١١ : أ- يمكن شحن الكشاف وذلك باتباع الخطوات التالية :

١ - نأخذ أنبوب من المطاط ونذلكها بقطعة من الصوف ونقربه من قرص الكشاف.

٢- نلامس قرص الكشاف باليد ونلاحظ انطباق ورقتيه دلالة على تعادلها .

٣- نبعد اليد عن القرص أولاً ثم نبعد أنبوب المطاط نشاهد انفراج ورقتي الكشاف مرة أخرى دلالة

على شحن الكشاف وعند فحص نوع الشحنة نلاحظها شحنة موجبة .

ب- عندما يراد شحن الكشاف بالشحنة السالبة بطريقة الحث نقرب أنبوب من الزجاج المدلوك

بقطعة من الحرير ثم نلامس قرص الكشاف بالإصبع (أو بالأرض) ثم نبعد الاتصال والقضيب المؤثر

فيشحن عندئذ الكشاف بالشحنة السالبة .

ج ١٢ : ١- الشحنة الموجبة: ونحصل عليها من ذلك قضيب من الزجاج بقطعة حرير .

٢- الشحنة السالبة: ونحصل عليها من ذلك قضيب من المطاط بقطعة صوف .

ج ١٣ : شحنة الإلكترون سالبة وشحنة البروتون موجبة .

ج ١٤ : (أ) تنافر (ب) تجاذب

ج ١٥ : ١-المواد الموصلة : وهي المواد التي تنتقل من خلالها الشحنات الكهربائية في الحال بسبب وجود إلكترونات حرة الحركة في ذراتها، مثل الفضة والنحاس والزنك (الفلزات جميعها)

٢-المواد العازلة: وهي المواد التي لا تنتقل من خلالها الشحنات الكهربائية في الحال بسبب عدم وجود الإلكترونات الحرة فيها، مثل المطاط والخشب والورق الجاف والهواء الجاف .

٣-المواد شبه الموصلة : وهي المواد التي تكون عادة رديئة التوصيل للكهربائية إذا كانت نقية وبدرجات الحرارة المنخفضة جداً أو بالظلمة (من غير تأثير الضوء) بينما يكون لها قابلية توصيل الكهربائية درجات الحرارة الاعتيادية ويتأثر الضوء وتزداد قابلية توصيلها للكهربائية إذا طعمت بشوائب معينة وتصبح موصلة إذا سخنت مثل السليكون والجرمانيوم .

ج ١٦ : وذلك عند تقريب الجسم المشحون من قرص الكشاف سوف تظهر شحنتان القربة من الجسم تكون مخالفة (على قرص الكشاف) والشحنة الخرى مشابهة تستقر بعيداً عن الجسم عند ورقتي الكشاف فتكتسب كل ورقة شحنة مشابهة للأخرى فتتنافر (تتفرج) .

ج ١٧ : نشحن كشافاً كهربائياً بشحنة معلومة بالنسبة لنا ونقرب المسطرة من قرص الكشاف فإذا زاد انفراج الورقتين دل على أن شحنة المسطرة مشابهة لشحنة الكشاف أما إذا قل انفراج الورقتين دل ذلك على أن شحنة المسطرة مخالفة لشحنة الكشاف .

ج ١٨ : عند الحركة على المقعد اكتسب الجسم شحنة عن طريق الدلك وعند تقريب اليد من مقبض السيارة حصل تفريغ كهربائي سريع مصحوباً بشحنة كهربائية سببت الشعور باللسعة الكهربائية .

ج ١٩ : (أ) بطريقة التماس (اللمس) . (ب) بطريقة الحث (التأثير) .

ج ٢٠ : عند ذلك الزجاج سوف يفقد بعضاً من إلكتروناته ليكتسب الشحنة الموجبة

أما الحرير فسوف يكتسب تلك الإلكترونات المفقودة لتصبح شحنته سالبة .

ج ٢١ : لأن الهواء الرطب جيد التوصيل للشحنات فيحدث تفريغ سريع للشحنات التي يتم توليدها في المختبر .

ج ٢٢ : لأن الحديد من المواد الموصلة للكهربائية فالشحنات الكهربائية المتولدة بالحث سوف تتسرب إلى الأرض

فيحصل تفريغ سريع لها (فلا يتولد فرق جهد كهربائي مناسب بين الغيوم والبنية واللازم لتولد الصاعقة) .

ج ٢٣ : تتخلص الطائرة من الشحنات بواسطة الرؤوس المدببة الموضوعة عند نهاية الأجنحة وفي ذيل الطائرة .

ج ٢٤ : لتعمل على تفريغ الشحنات الكهربائية المتولدة على السطح الخارجي للناقلة فتمنع احتمالية إصابتها

بصاعقة كهربائية .

ج ٢٥ : (١) عند تجمع شحنة كهربائية كبيرة على جسم ما ينتج عنها شرارة كهربائية

قوية قد تؤدي إلى حريق كبير كما تحدثه الصاعقة .

(٢) عند تولد الكهرباء الساكنة قد يؤدي إلى تولد فرق جهد كبير يؤدي إلى

صعق الأشخاص والحيوانات مسببة الوفاة .

ج ٢٦ : ١- (ب) .

٢- (ج) .

٣- (ب)

٤- (ب)

٥- (ب)

٦- (ج)

٧- (ج)

٨- (ب)

٩- (ب)

الفصل السادس المغناطيسية

الفصل السادس

المغناطيسية

عرف الإغريق (اليونانيون القدماء) حجر المغناطيس وقدرته على جذب قطع الحديد إليه، وهذا الحجر هو أحد خامات الحديد ويعرف بالمغناطيس، ويطلق لفظ المغناطيس على كل مادة لها خاصية جذب قطع الحديد وتسمى الخاصية نفسها المغناطيسية .

وهناك بعض المواد فقط تنجذب إلى المغناطيس كالدبابيس والمسامير وبعض المواد لا تنجذب إليه مثل الخشب والمطاط والورق، وكذلك لا يجذب المغناطيس الكثير من المعادن الفلزية كالنحاس والألمنيوم والذهب وتسمى المواد التي تنجذب نحو المغناطيس مواد مغناطيسية بينما تسمى المواد الأخرى مواد غير مغناطيسية .



خصائص المغناطيس

للمغناطيس خصائص عديدة منها :

١- قطبا المغناطيس

لو أخذنا مغناطيساً مستقيماً وبرادة حديد وورقاً مقوى ووضعنا المغناطيس على ورقة بيضاء ونثرنا برادة الحديد على المغناطيس نلاحظ تجمع البرادة على أجزاء المغناطيس جميعها ولكنها تتجمع أكثر بالقرب من طرفي المغناطيس بينما يكون تجمعها أقل عند المنتصف .

يسمى طرفا المغناطيس اللذان تتجمع فيهما البرادة أكثر **قطبي المغناطيس**، ويقعان في طرفيه **(كل قطب في طرف)**، ولو علقنا المغناطيس من منتصفه بالخيط بشكل أفقي وحر نلاحظ أنه يتجه دائماً باتجاه الشمال والجنوب الجغرافي تقريباً، لذلك أطلق على القطب الذي يتجه باتجاه الشمال الجغرافي القطب الشمالي (ش) وعلى القطب الذي يتجه باتجاه الجنوب الجغرافي القطب الجنوبي (ج) .

٢- الأقطاب المغناطيسية المتشابهة تتنافر والمختلفة تتجاذب

لو أخذنا قضيبين مغناطيسيين وعيّنا القطب الشمالي والقطب الجنوبي لكل منهما وعلقنا أحدهما من منتصفه في حامل بواسطة الخيط وعندما يستقر نقرب أحد طرفي المغناطيس الآخر من أحد طرفي المغناطيس المعلق نلاحظ أن القطب الشمالي لمغناطيس يجذب القطب الجنوبي للمغناطيس الآخر كما نلاحظ أن القطب الشمالي لأحد المغناطيسيين يتنافر مع القطب الشمالي للمغناطيس الآخر وكذلك يتنافر القطبان الجنوبيان للمغناطيس، أي أن القطبين المتشابهين للمغناطيسيين يتنافران والقطبين المختلفين يتجاذبان .

نستنتج من ذلك أن الأقطاب المتشابهة للمغانط تتنافر والأقطاب المختلفة تتجاذب .

طرق التمغنط

١- **التمغنط بالدلك** : وهو أحد الطرق لمغنطة مسمار أو قطعة من الفولاذ وذلك عن طريق دلك قطعة من الفولاذ بأحد قطبي مغناطيس مبتدئين من أحد طرفي القطعة

ومتجهين نحو الطرف الآخر وباتجاه واحد فقط ولعدة مرات فتصبح قطعة الفولاذ ممغنطة .

ملاحظة :

(أ) أن الطرف الذي نبدأ عنده الدلك يكون مشابهاً لقطب المغناطيس الدالك والطرف الذي ينتهي عنده

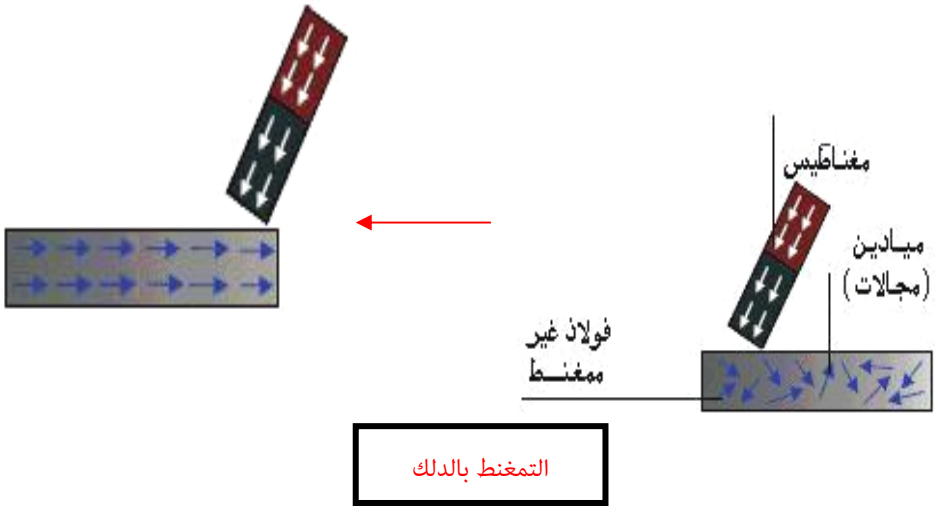
الدلك يكون مخالفاً لقطب المغناطيس الدالك .

(ب) كلما ازداد عدد مرات الدلك كانت شدة المغناطيس المتولد أكبر وذلك لزيادة عدد الجزيئات

المغناطيسية المترتبة بانتظام .

(ج) يجب أن يكون اتجاه الدلك واحد فقط لأن عكس الاتجاه يؤدي إلى بعثرة الجزيئات المغناطيسية مرة

أخرى بعد ترتيبها فتبقى القطعة غير ممغنطة.



- **التمغنط بالتأثير (الحث) :** عند وضع عدة قطع من الحديد بالقرب من المغناطيس أو ملامستها معه فإن

كل هذه القطع تتمغنط بالتأثير ويكون لها قطبان مغناطيسيان، حيث يكون طرف القطعة القريب من المغناطيس المؤثر قطباً مخالفاً لقطب المغناطيس والطرف البعيد لها يكون قطباً مشابهاً لقطب المغناطيس المؤثر .

وتتأثر شدة المغناطيس المتولد بالتأثير بالعوامل التالية :

أ- شدة القطب المغناطيسي المؤثر .

ب- بعد أو قرب القطع الحديدية عن موقع القطب المغناطيسي المؤثر .

ج- بعد أو قرب القطع الحديدية عن وسط المغناطيس المؤثر .

٣-**التمغنط بالتيار الكهربائي :** عند مرور تيار كهربائي في ملف أسطواني متكون من سلك نحاسي معزول فإن الملف يعمل عمل قضيب ممغنط، له قطبان أحدهما شمالي والآخر جنوبي، وتزول تلك المغناطيسية عند انقطاع التيار الكهربائي، وعند وضع قطعة من الحديد الفولاذ داخل الملف فإنها تصبح مغناطيساً عند مرور التيار في الملف ولكن عند قطع التيار فإن تلك القطعة سوف تحافظ على بعض مغناطيسيتها (أي يمكن صنع مغناطيس دائم من الفولاذ)، وعند وضع قضيب من الحديد المطاوع داخل الملف فإنه يصبح مغناطيساً عند مرور التيار الكهربائي في الملف ولكن عند قطع التيار تزول تلك المغناطيسية (أي يكون المغناطيس وقتياً) .

وتعتمد قوة المغناطيس الكهربائي على عاملين هما :

أ- مقدار التيار الكهربائي المار في السلك .

ب- عدد لفات السلك حول قطعة الحديد .

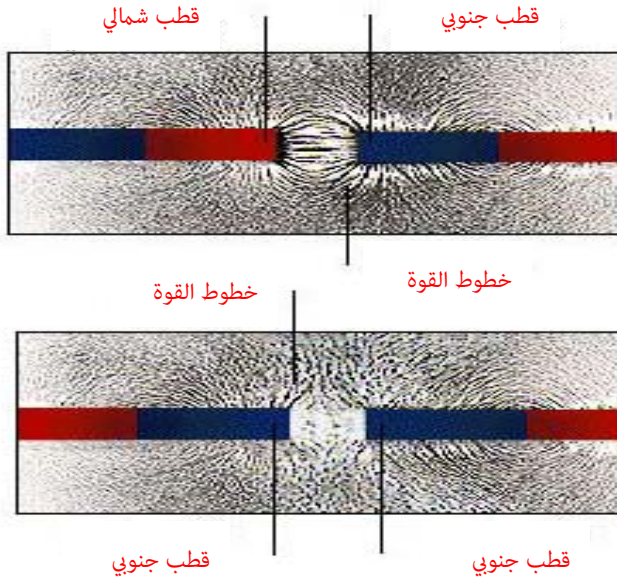
إن سبب التمغنط بذلك وبالتيار الكهربائي في المواد المغناطيسية هو أن ذرات المواد المغناطيسية تكون نفسها مغناطيسات دقيقة جداً، أي أن هذه المواد تتألف من مغناط صغيرة تسمى جزيئات مغناطيسية لكل منها قطبان مختلفان في النوع أحدهما شمالي والآخر جنوبي، حيث تتوزع داخل تلك المواد بصورة عشوائية فلا تظهر فيها خصائص التمغنط، ولكن عند تسليط قوة ممغنطة خارجية عليها فإن ذلك يؤدي إلى تدوير هذه الجزيئات وترتيبها باتجاه واحد مواز لاتجاه هذه القوة وعندها تصبح القطعة ممغنطة (أي تظهر فيها الخصائص المغناطيسية) .

ومما يؤيد هذه النظرية أنه لا يمكن الحصول على قطب مغناطيسي منفرد، فلو قطعنا المغناطيس إلى قطع صغيرة فأنا سنحصل على مغناط صغيرة لكل منها قطب شمالي وآخر جنوبي، وهذه النظرية تفسر فقدان المغناطيس خاصية التمغنط عند التسخين لأن الحرارة تشتت نظام ذراته، وكذلك يفقد المغناطيس خاصيته المغناطيسية بالطرق أو الإسقاط للسبب نفسه .

المجال المغناطيسي

اعتقد الإغريق أن السبب في جذب المغناطيس لقطع الحديد هو وجود **خطافات دقيقة** على سطحه، ومن اليسير برهنة عدم صحة ذلك لأننا حين نقرب المغناطيس من دبوس فإن الدبوس يقفز نحو قطب المغناطيس، كما يمكننا جذب الأجسام بالمغناطيس عبر قطعة فاصلة من الورق . أي أن المغناطيس يجذب الأجسام دون أن يمسه فكيف يؤثر المغناطيس في الجسم الآخر ؟

إن للمغناطيس نوعاً من التأثير ينتشر في الفضاء حوله يدعى المجال المغناطيسي أو مجال القوة، فالمغناطيس يؤثر في منطقة حوله يجذب المواد المغناطيسية ويتبادل فيها التجاذب أو التنافر مع المغناطيسات الأخرى .



المجال المغناطيسي

ويمكن تمثيل المجال المغناطيسي عملياً بوضع ورقة فوق مغناطيس ورش قليل من برادة الحديد فوقها، وعند نقر الورقة بخفة تنتظم البرادة في نسقٍ محدد تتجمع فيه في المناطق التي يكون تأثير المغناطيس فيها أشد، ويمكننا ملاحظة كثافة تجمع

برادة الحديد قرب القطبين وانتظامها في خطوط تمتد بوضوح بينهما أي أن خطوط القوى المغناطيسية تزدحم في الموضع الذي يكون فيه المجال المغناطيسي قوياً وتتباعد في الموضع الذي يكون فيه المجال ضعيفاً .

وتسمى هذه الخطوط بخطوط المجال المغناطيسي وهي خطوط وهمية تمتد من القطب الشمالي خارج المغناطيس نحو القطب الجنوبي مكتملة دورتها داخل المغناطيس من القطب الجنوبي نحو القطب الشمالي، وتبين الاتجاه الذي يؤثر فيه المغناطيس على الشيء الذي يوضع في مجاله ويمكننا ملاحظة أن هذه الخطوط تتوتر متخذة أقصر طول ممكن وهي لا تتقاطع بل تتنافر مع بعضها، ويتضاءل تأثير المغناطيس كلما ابتعدنا عنه فنقول في هذه الحالة أن مجاله يضعف .

المواد التي يؤثر من خلالها المجال المغناطيسي

لقد لاحظنا أن المجال المغناطيسي يؤثر في برادة الحديد من خلال الورق فهل أن جميع المواد يؤثر المجال المغناطيسي من خلالها ؟ وللإجابة عن هذا السؤال سنقوم بالتجربة التالية:

نضع عدداً من الدبابيس على لوح زجاجي ونحرك أحد قطبي المغناطيس أسفل لوح الزجاج نلاحظ أن الدبابيس تتأثر بالمغناطيس، نستبدل لوح الزجاج بلوح من الخشب فنلاحظ تأثر الدبابيس كذلك بالمغناطيس، ثم نكرر الخطوات السابقة باستعمال لوح من الحديد ولكننا نلاحظ أن الدبابيس لم تتأثر بالمغناطيس .

والآن نضع كمية من الماء في حوض ونضع دبوساً فيه ونقرب أحد قطبي المغناطيس إلى سطح الماء فوق الدبوس فنلاحظ انجذاب الدبوس إلى المغناطيس .

لقد أثبت العلماء أن المجال المغناطيسي للمغناطيس يؤثر من خلال كل المواد ما عدا بعضها كالحديد والكوبالت والنيكل التي تسمى المواد الحديدومغناطيسية (الفيرومغناطيسية) .

المغناطيسية الأرضية

تعتبر الأرض مغناطيساً كبيراً قطبه الشمالي في الجنوب الجغرافي وقطبه

الجنوبي في الشمال الجغرافي، فإذا علقنا مغناطيس تعليقاً حرّاً من منتصفه فإن محوره يأخذ اتجاه الشمال والجنوب الجغرافي تقريباً، فيكون للأرض مجالاً مغناطيسياً يحيط بها وقد بين العلماء أن المجال المغناطيسي حول الأرض تتغير شدته من مكان إلى آخر كما تتغير شدته مع الزمن .

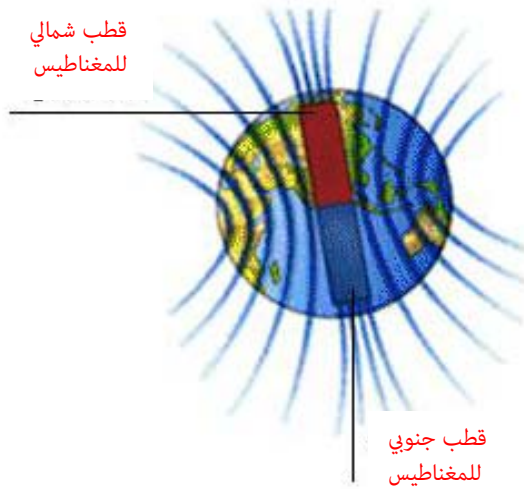
ولا يعرف السبب الحقيقي لوجود المغناطيسية الأرضية سوى أن الأرض تعمل كمغناطيس افتراضي يميل محوره حوالي ١٥ درجة عن محور دوران الأرض بحيث أن قطبه الجنوبي يقع بالقرب من القطب الشمالي الجغرافي للأرض، ويقع قطبه الشمالي بالقرب من القطب الجنوبي لها .

لقد وضع العلماء خط وهمي على سطح الأرض يصل بين القطب الشمالي والقطب الجنوبي الجغرافيين أسموه **خط الزوال الجغرافي** .

وافترضوا وجود خط آخر على سطح الأرض يصل بين القطب الشمالي والقطب الجنوبي المغناطيسيين أسموه **خط الزوال المغناطيسي** وهذا الخط ينطبق عليه خط اتجاه إبرة البوصلة .

كما أسموا الزاوية المحصورة بين خط الزوال الجغرافي وخط الزوال المغناطيسي المارين في تلك النقطة

بـ زاوية الانحراف المغناطيسي .



البوصلة : هي عبارة عن مغناطيس صغير مدبب الطرفين يسمى بالإبرة المغناطيسية مثبت على محور شاقولي ليتسنى له الحركة بمستوٍ أفقي تكون قاعدتها مدرجة وتوضع داخل علبة مصنوعة من النحاس أو من أي مادة ليست من المواد الحديدومغناطيسية (الحديد، الكوبالت، النيكل)، ويوجد أسفل المغناطيس دائرة مدرجة مبين عليها الجهات الأربع، ووجه البوصلة العلوي يكون من الزجاج .



البوصلة

ويستفاد من البوصلة في الملاحة البحرية والجوية، وتستعمل للأغراض التالية:

- ١- لتعيين الاتجاهات الأربعة (تستعمل لمعرفة الاتجاه) .
- ٢- لتعيين اتجاه المجال المغناطيسي الأرضي .
- ٣- لتعيين اتجاه خطوط المجال المغناطيسي لقطعة مغناطيس .
- ٤- لتعيين موقع القطب المغناطيسي .

إن الفائدة من معرفة زاوية الانحراف المغناطيسي هي :

- ١- تعيين مواضع السفن والطائرات وفق خرائط معدة لهذا الغرض .
- ٢- معرفة اتجاه حركة الجسم .

إبرة الميل :

إبرة مغناطيسية مثبتة من وسطها بمحور أفقي ليتسنى لها الحركة بمستوى عمودي .

إبرة الميل المغناطيسي:

هي الزاوية المحصورة بين الأفق ومحور الإبرة المغناطيسية المتحركة بمستوى عمودي يحتوي خط الزوال المغناطيسي في ذلك المكان .

ملاحظة:

- ١- عند قياس زاوية الميل يجب وضع الإبرة في مستوى خط الزوال المغناطيسي .
- ٢- عندما تكون زاوية الميل صفراً فإن موقع الجسم يكون عند خط الاستواء المغناطيسي وعندما تكون قيمة زاوية الميل (٩٠) فيكون الجسم فوق موقع أحد القطبين المغناطيسيين للأرض، أي أن الإبرة تكون بمستوى عمودي .

أسئلة

- س١:** في أي اتجاه يستقر القضيب الممغنط عند تعليقه من منتصفه عندما يكون حر الحركة ؟
- س٢:** إذا غمس قضيب ممغنط في برادة حديد فأين تكون قوة جذب القضيب للبرادة أكبر ما يمكن ؟
- س٣:** هل تتأثر قوة المغناطيس عند طريقه أو تسخينه ؟ ولماذا ؟ .
- س٤:** عند تمغنط قضيب حديدي بالدلك ما نوع قطب القضيب الممغنط بالنسبة للقطب الدالك في الطرف الذي :
- (أ) بدأ الدلك منه ؟ (ب) انتهى الدلك عنده ؟
- س٥:** قرب قطب شمالي مغناطيسي من طرف قضيب من الحديد، ما نوع قطبية قطعة الحديد عند :
- (أ) الطرف القريب من القطب المؤثر ؟
- (ب) الطرف البعيد عن القطب المؤثر ؟
- س٦:** بأي وسيلة يمكن تعيين اتجاه شدة المجال المغناطيسي في نقطة على الأرض ؟
- س٧:** علام يدل انحراف إبرة البوصلة عن الشمال الجغرافي ؟
- س٨:** كم يصبح مقدار زاوية الميل المغناطيسي :
- (أ) عند خط الاستواء للأرض ؟
- (ب) عند كل من القطبين المغناطيسين للأرض .
- س٩:** اختر الجواب الصحيح في كل مما يأتي :
- ١- اتجاه خطوط المجال المغناطيسي لأي مغناطيس تبدأ من :
- (أ) القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي .
- (ب) القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي .

- (ج) القطبين إلى منتصف المغناطيس .
- ٢- عند ذلك قضيب من النحاس بمغناطيس فإن القضيب :
- (أ) يتحول إلى مغناطيس دائم .
- (ب) يتحول إلى مغناطيس مؤقت .
- (ج) لا يتحول إلى مغناطيس .
- ٣- عند غمر مغناطيس مستقيم في برادة حديد فإن دقائق البرادة تتركز في :
- (أ) كلا طرفيه .
- (ب) أحد طرفيه .
- (ج) منتصفه .
- ٤- عند تعليق قضيب ممغنط من منتصفه، حر الحركة فإنه يستقر باتجاه خط :
- (أ) الاستواء .
- (ب) الزوال المغناطيسي .
- (ج) الزوال الجغرافي .
- ٥- من خواص المغناطيس :
- (أ) تزداد مغناطيسيته في المنتصف .
- (ب) الأقطاب المختلفة تتنافر .
- (ج) له مجال مغناطيسي .
- ٦- إحدى المواد الآتية تعتبر مادة مغناطيسية :
- (أ) الخشب .
- (ب) النيكل .
- (ج) النحاس .

الأجوبة

ج ١: يستقر القضيب الممغنط مشير إلى اتجاه الشمال والجنوب الجغرافي بصورة تقريبية.

ج ٢: تكون قوة الجذب أكبر عند طرفي القضيب أي عند موقع الأقطاب المغناطيسية .

ج ٣: نعم، حيث أن قوة المغناطيس سوف تضعف أو تزول لأن قطعة المغناطيس تتألف من مغناط صغيرة تسمى جزيئات مغناطيسية تكون مرتبة داخل القطعة بحيث تتجه محاورها باتجاه واحد فتظهر قوة الجذب المغناطيسي، فعند طرقها أو تسخينها سوف تكتسب تلك الجزيئات طاقة حركية تعمل على بعثرتها داخل القطعة وهدم نسق ترتيبها فتضعف أو تزول القوة المغناطيسية حسب شدة الطرق أو التسخين .

ج ٤ : (أ) مشابه لقطب المغناطيس الدالك .

(ب) مخالف لقطب المغناطيس الدالك .

ج ٥ : (أ) مخالف للقطب المؤثر .

(ب) مشابه للقطب المؤثر .

ج ٦ : باستخدام البوصلة .

ج ٧ : يدل على انحراف خط الزوال المغناطيسي عن خط الزوال الجغرافي بزاوية والتي تدعى زاوية الانحراف المغناطيسي (أي عدم انطباق الخطين) .

ج ٨ : (أ) صفر . (ب) 90° .

ج ٩ : ١ - (أ) .

٢ - (ج) .

٣- (أ) .

٤- (ب) .

٥- (ج) .

٦- (ب) .

الفصل السابع الحرارة واللاتزان الحراري

الفصل السابع

الحرارة والاتزان الحراري

الحرارة :

هي الطاقة التي إذا أعطيت إلى جسم أصبح أكثر سخونة مما كان عليه أو تغيرت حالته أو بعض خصائصه .

أو **الحرارة :** هي طاقة منتقلة من الجسم إلى محيطه أو بالعكس بتأثير فرق في درجات الحرارة بين الجسم ومحيطه .

الطاقة الحرارية :

هي نوع من أنواع الطاقة المرتبطة بالحركة العشوائية للجزيئات وأن الطاقة الحرارية التي نكتسبها المادة تزيد الطاقة الداخلية لجسيماتها حيث تمثل الطاقة الداخلية مجموع الطاقة الكامنة والحركية لجميع جسيمات المادة .

درجة الحرارة :

مقياس لقدرة الجسم على التبادل الحراري بينه وبين الأجسام الأخرى التي هي في حالة تماس حراري معه وتقاس بدرجة سيلسيوس .

ملاحظة: سرعة انتقال الحرارة بين الأجسام يزداد بزيادة الفرق بين درجات حرارة الأجسام المتلامسة ولا يتوقف على مقدار الطاقة الداخلية التي يحتويها كل منهما .

مصادر الحرارة :

- ١- الشمس وتعتبر أهم وأعظم وأول مصدر طبيعي للحرارة .
- ٢- باطن الأرض .
- ٣- التفاعلات الكيميائية، كاحتراق الخشب والنفط والغاز .
- ٤- الطاقة الميكانيكية .

- ٥- الطاقة الكهربائية، كما في المكواة والمسخن الكهربائي .
- ٦- التفاعلات النووية .

تأثيرات الحرارة :

- ١- السخونة .
- ٢- التمدد والتقلص .
- ٣- تغير الحالة .
- ٤- تغير بعض الصفات الطبيعية للمادة كاللون والكثافة .
- ٥- تأثيرات كيميائية .

التأثيرات الحرارية :

- ١-التمدد : هو الزيادة الحاصلة في بعد واحد من أبعاد الجسم عند رفع درجة حرارته .
 - أو التمدد : هو التغير الحاصل في أبعاد الجسم بفعل الطاقة الحرارية التي يكتسبها الجسم .
- إن الطاقة الحرارية التي يكتسبها الجسم تزيد من الطاقة الحركية لجزيئاته فتزداد المسافات البينية بين تلك الجزيئات مما يؤدي إلى التمدد .

أولاً - تمدد الأجسام الصلبة :

تتصف الأجسام الصلبة بأن لها شكل معين وحجم ثابت، لذا فإن الجسم الصلب يمكن أن يتمدد بأحد أنواع التمدد التالية :

أ- التمدد الطولي : وهو التغير أو الزيادة الحاصلة في بعد واحد من أبعاد الجسم عند رفع درجة حرارته .

ويتوقف مقدار الزيادة الحاصلة في طول الجسم على العوامل التالية :

- ١- الطول الأصلي : كلما زاد طول الجسم زاد مقدار تمدده .
- ٢- نوع المادة (ويحددها معامل التمدد الطولي) .

٣- مقدار التغير بدرجات الحرارة .

معامل التمدد الطولي (م د) : هو الزيادة الحاصلة في طول متر واحد من المادة عندما ترتفع درجة حرارتها

درجة سيليزية واحدة، ووحداته (١/س°).

ملاحظة : يستخدم معامل التمدد الطولي للمقارنة بين تمدد الأجسام الصلبة المختلفة طولياً .

$$= \Delta$$

$$\frac{\Delta L}{L \Delta t}$$

حيث م د : مقدار ثابت للمادة الواحدة ويسمى معامل التمدد الطولي

ΔL : مقدار التغير في الطول، L : الطول الأصلي

Δ : مقدار التغير في درجات الحرارة (الفرق بين درجة الحرارة النهائية والابتدائية).

الطول الجديد (L_2) = $L + \Delta L$

$$L_2 = L + \Delta L \quad L_1 = L + (1 + \Delta) L$$

مثال :

أنبوب من الألمنيوم طوله (٢ م) بدرجة ٢٧° س فأصبح طوله (٢,٠٠٢٤ م) ما معامل تمدده الطولي ؟

الحل :

$$L_2 = L + \Delta L \quad 2,0024 = 2 + \Delta L$$

$$\Delta L = 2,0024 - 2 = 0,0024 \text{ م مقدار التغير في الطول .}$$

$$0,0024 = \frac{\Delta L}{L \Delta t} \quad 0,0024 = \frac{\Delta L}{2 \times (27 - 77)^\circ \text{س}}$$

ب-التمدد السطحي : هو الزيادة الحاصلة في بعدين من أبعاد الجسم عند رفع درجة حرارة الجسم الصلب .

معامل التمدد السطحي (ي) : هو الزيادة الحاصلة في وحدة المساحة من الجسم عندما ترتفع درجة حرارته

درجة سيليزية واحدة، ووحداته (١/س°).

ملاحظة: يستخدم معامل التمدد السطحي للمقارنة بين تمدد الأجسام الصلبة المختلفة سطحياً .

$$\gamma = \frac{\Delta \text{مس}}{\text{مس}_1 \Delta \text{د}}$$

حيث أن γ = تقريباً 2 م د

$$\text{مس}_2 = \text{مس}_1 (\gamma + 1) \Delta \text{د}$$

$$\text{مس}_2 = \text{مس}_1 (\gamma + 1) \Delta \text{د}$$

مس : المساحة الجديدة بعد تغير درجات الحرارة .

مثال :

صفيحة نحاسية مساحتها 100 سم^2 في درجة صفر س، كم ستصبح مساحتها في درجة 50° س ؟

الحل :

$$\Delta \text{مس} = \text{مس}_1 \times \gamma \times \Delta \text{د} \quad \leftarrow \text{مس}_1 \times 2 \times \text{م د} \times \Delta \text{د}$$

$$= 100 \times 2 \times 17 \times 10^{-6} \times (50 - \text{صفر}) \quad \leftarrow 0,17 \text{ سم}^2$$

$$\text{مس} = \text{مس}_1 + \Delta \text{مس}$$

$$= 100 + 0,17 \quad \leftarrow 100,17 \text{ سم}^2 \text{ مساحة الصفيحة .}$$

ج- التمدد الحجمي: وهو الزيادة الحاصلة في جميع أبعاد الجسم عند رفع درجة حرارتها .

معامل التمدد الحجمي (ج) : هو الزيادة الحاصلة في وحدة الحجم من الجسم (المادة) عندما ترتفع درجة

حرارته درجة سيليزية واحدة، ووحداته ($1/\text{س}$) .

ملاحظة : يستخدم معامل التمدد الحجمي للمقارنة بين تمدد الأجسام الصلبة المختلفة حجمياً .

$$\beta = \frac{\Delta \text{ح}}{\text{ح}_1 \Delta \text{د}}$$

وأن الحجم بعد التغير بفعل درجات الحرارة (ح_٢) سيصبح :

$$ح_٢ = ح_١ (\Delta ح)$$

$$ح_٢ = ح_١ (١ + ج \Delta د)$$

حيث أن ج = تقريباً ٣ م د

مثال :

قارورة زجاجية سعتها في درجة صفر س تساوي ٥٠٠ سم^٣ كم ستصبح سعتها إذا ارتفعت درجة حرارتها ٣٠°س ؟ .

الحل :

$$ح_٢ = ح_١ (١ + ج \Delta د) \leftarrow ١ (١ + ٣ \times ٣٠ \times د \Delta)$$

$$= ٥٠٠ (١ + ٩ \times ٣٠ \times ٣ \times ١٠^{-٦})$$

$$= ٥٠٠,٤٠٥ سم^٣ سعتها بعد التسخين$$

اللاتزان الحراري : هو تساوي درجة حرارة جسمين أو أكثر متلامسين مع بعض مختلفين بدرجة حرارتهما، فالجسم الساخن يفقد كمية من حرارته يكتسبها الجسم البارد إلى أن تتساوى درجة حرارتهما وفي حال العزل الحراري الجيد تكون :

كمية الحرارة المكتسبة = كمية الحرارة المفقودة

وهذا يعني أن العدد الكلي لوحدة الحرارة التي تعطى المادة الساخنة سيكون مساوياً للعدد الكلي لوحدة الحرارة التي تكتسبها المادة التي هي أوطأ منها في درجة الحرارة .

وتمثل هذه العلاقة (في حالة الاتزان الحراري) صورة لقانون حفظ الطاقة الحرارية .

تعتمد كمية الحرارة التي يكتسبها أو يفقدها الجسم على :

- ١- كتلة الجسم (تناسب تناسباً طردياً) .
- ٢- نوع المادة (وذلك بثبوت كل من الكتلة ودرجة الحرارة) .
- ٣- مقدار التغير في درجة حرارة الجسم (تناسب تناسباً طردياً) .

ويمكن حساب كمية الحرارة التي يكتسبها أو يفقدها الجسم من العلاقة الرياضية التالية :

$$\text{حر} = \text{ك} \times \text{ن} \times \Delta \text{د}$$

حيث أن حر : كمية الحرارة المكتسبة أو المفقودة .

ك : كتلة الجسم

ن : السعة الحرارية النوعية (والتي تحددها نوع المادة) .

$\Delta \text{د}$: مقدار التغير بدرجات الحرارة .

حيث $\Delta \text{د} = \text{درجة الحرارة النهائية (د}_2\text{)} - \text{درجة الحرارة الابتدائية (د}_1\text{)} .$

وتقاس كمية الحرارة بوحدة تسمى السعرة وكذلك تقاس بالجول .

السعرة : هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة (١ غم) من الماء المقطر درجة سيليزية واحدة .

الجول : هو الشغل الذي تنجزه قوة مقدارها نيوتن واحد لإزاحة جسم إزاحة مقدارها متر واحد باتجاهها .

* السعرة تكافئ شغلاً مقداره (٤,٢ جول) تقريباً .

السعة الحرارية النوعية (ن) : كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة ١غم من المادة درجة سيليزية واحدة .

وحدات درجة الحرارة هي درجة السيلسيوس والدرجة المطلقة (كلفن) وهي أوطأ درجة حرارة في

الطبيعة وتساوي عند الصفر المطلق (-273°س) أي أن :

$$\text{مط} = \text{د}^{\circ}\text{س} + 273$$

$$\text{وحدات السعة الحرارية النوعية} \quad \text{سعة} \quad \text{أو} \quad \frac{\text{جول}}{\text{غم.س}}$$

ملاحظة : إن المادة التي سعتها الحرارية النوعية قليلة يكون تسخينها سريعاً أما المادة التي تكون سعتها

الحرارية النوعية عالية فيكون تسخينها بطيئاً والعكس صحيح أي إذا كانت السعة الحرارية عالية تبرد ببطء

وإذا كانت واطئة تبرد بسرعة .

مثال :

سخنت قطعة من الألمنيوم كتلتها (كغم) من درجة (٢٠س) إلى درجة (٨٠س) كم هي كمية الحرارة التي اكتسبتها أثناء التسخين، علماً أن السعة الحرارية النوعية للقطعة (٠,٢٢ سعرة/غم صفر س) ؟ .

الحل :

ملاحظة: وحدات الكتلة تتبع وحدات السعة الحرارية النوعية فيجب أن تكون متماثلة .

$$١ \text{ كغم} = ١٠٠٠ \text{ غم}$$

$$\frac{١}{٢} \times ١٠٠٠ = ٥٠٠ \text{ غم كتلة القطعة}$$

$$\text{حر} = \text{ك} \times \text{ن} \times \Delta$$

$$= (٢٠ - ٨٠) \times ٠,٢٢ \times ٥٠٠$$

$$= ٦٦٠٠ = ٦٠ \times ١١٠ \text{ سعرة كمية الحرارة المكتسبة}$$

ويمكن تطبيق فكرة الاتزان الحراري (تبادل الطاقة) في إيجاد السعة الحرارية النوعية لجسم صلب

أو سائل وذلك باستعمال المسعر .

المسعر :

إناء (وسيلة) لإيجاد السعة الحرارية النوعية لمادة مجهولة السعة الحرارية . ويتكون من إناء معدني من النحاس أو الألمنيوم سعته الحرارية النوعية معلومة وله حافظة وهي إناء آخر أوسع من المسعر بداخلها مادة عازلة وتغطي الحافظة بعد وضع المسعر فيها بغطاء من مادة عازلة للحرارة فيه ثقبان أحدهما لإدخال محرار والآخر لإدخال سلك معقوف يعمل على تحريك السائل في المسعر .

مثال :

خلط (٢٠٠ غم) من الماء الساخن بدرجة (٨٠س) مع (٥٠٠ غم) من الماء البارد بدرجة (١٠س) كم

هي درجة حرارة الاتزان للماء الناتج ؟ .

الحل :

نرتب معطيات السؤال في جدول لتسهيل عملية الحل :

المادة	ك	ن	د	د
ماء ساخن (فاقد)	٢٠٠	١	٨٠	٢٥
ماء بارد (مكتسب)	٥٠٠	١	١٠	٢٥

حر المكتسبة للماء البارد = حر المفقودة للماء الساخن

(ك × ن × د) ماء بارد = (ك × ن × د) ماء ساخن

$$(٢٠٠ - ٨٠) \times ١ \times ٢٠٠ = (١٠ - ٢٥) \times ١ \times ٥٠٠$$

$$٥٠٠ (١٠ - ٢٥) = ٢٠٠ (٢٥ - ٨٠)$$

$$٥٠٠ - ٢٥٠٠ = ١٦٠٠٠ - ٢٠٠٠$$

$$٥٠٠٠ + ١٦٠٠٠ = ٢٠٠٠ + ٢٥٠٠$$

$$٢١٠٠٠ = ٢٥٠٠$$

$$٢١٠٠٠ = ٢٥٠٠ \times ٣٠^\circ \text{ س درجة حرارة الاتزان الحراري (النهائية للمزيج) .}$$

التمدد التفاضلي : اختلاف تمدد جسمين متساويين في الطول عند رفع درجة حرارتهما عدد متساوٍ من الدرجات .

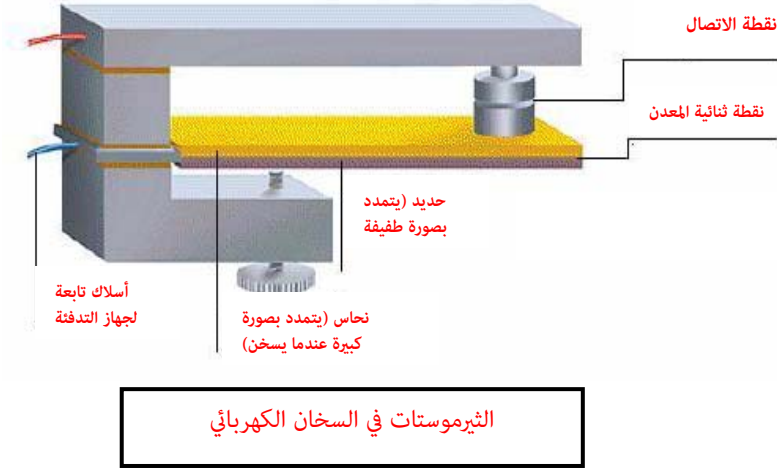
تطبيقات على ظاهرة تمدد الأجسام الصلبة :

من التطبيقات الشائعة على ظاهرة تفاوت تمدد الأجسام الصلبة بالحرارة باختلاف نوع مادتها :

١-المنظم الحراري (الثيرموستات) : هو جهاز يحتوي على قطعة ثنائية المعدن

تستعمل لتنظيم درجة الحرارة في أجهزة التبريد والتسخين لتحديد درجة الحرارة عند الحد المطلوب .

ويمكن استعمال المنظم الحراري في الأجهزة غير الكهربائية كالأفران والسخانات النفطية والغازية بحيث تتحكم في كمية النفط والغاز الذي يحترق داخل الجهاز .



٢-مجس إنذار الحريق : جهاز يتركب من قطعة ثنائية المعدن تكون جزءاً من دائرة كهربائية مفتوحة تحتوي على جرس كهربائي حيث تعمل القطعة ثنائية المعدن على إيصال التيار الكهربائي عند ارتفاع درجات الحرارة بفعل حريق ما والذي يؤدي إلى إغلاق الدائرة الكهربائية وبالتالي إلى رن الجرس الكهربائي فينبه عن حدوث الحريق .

ملاحظة :

تستعمل ظاهرة التمدد الحراري في لحم المواد المتساوية في معامل تمددها الطولي مثل لحم الزجاج بالبلاتين .

أُسئلة

- س١ :** لماذا لا تصح العبارة (الحرارة في الجسم) ؟ .
- س٢ :** ما علاقة الاتزان الحراري بدرجة الحرارة؟ .
- س٣ :** لماذا لا ينكسر إناء زجاج البايكس أثناء بينما ينكسر إناء الزجاج الاعتيادي؟ .
- س٤ :** كيف ترتبط الطاقة الحرارية في الجسم بحركة جسيماته ؟ .
- س٥ :** اذكر سببين يجعل استعمال الحديد في الخرسانة المسلحة أفضل من غيره؟.
- س٦ :** جسمان مصنوعان من نفس المادة ولهما نفس الأبعاد أحدهما مجوف والآخر صلد، هل تكون الزيادة في حجميهما متساوية أو مختلفة عند تسخينهما للدرجة نفسها ؟
- س٧ :** إذا تغيرت درجة حرارة القطعة الثنائية المعدن هل يكون انحنائها لجهة واحدة أو للجهة الأخرى أيضاً ؟ ولماذا ؟ .
- س٨ :** لديك مسمار نحاسي أكبر بقليل من ثقب موجود في قطعة حديدية هل تسخن المسمار وتبرد الحديد لكي يدخل المسمار في الثقب أم بالعكس ؟ .

الأجوبة

- ج ١ :** لأن الحرارة هي مقياس للطاقة الداخلية التي يمتلكها الجسم .
- ج ٢ :** لا نحصل على الاتزان الحراري إلا عند تساوي درجة حرارة الجسمين المتلامسين والمختلفين أصلاً بدرجة حرارتهما .
- ج ٣ :** لأن معامل التمدد الطولي لزجاج البايكس أقل من معامل التمدد الطولي للزجاج الاعتيادي فيكون تمدده أقل عند تغير درجة حرارتهما بنفس المقدار.
- ج ٤ :** الطاقة الحرارية التي تكتسبها المادة تزيد الطاقة الداخلية لجسيماتها (الكامنة والحركية) .
- ج ٥ :** (أ) معامل تمدده صغير ومتانته عالية قياساً بمعاملات التمدد الطولية ومتانة بقية المواد الصلبة الأخرى .
- (ب) معامل التمدد الطولي للحديد والخرسانة متساوٍ مما يجعلهما يتمددان بنفس المقدار عند تغير درجة حرارتهما لعدد متساوٍ من درجات الحرارة .
- ج ٦ :** نعم، لأن المساحة السطحية الداخلية للمادة التي تحيط بالتجويف تتمدد بنفس المقدار الذي تتمدد به المساحة السطحية الخارجية لتلك المادة .
- ج ٧ :** يمكن أن تنحني للجهة الأخرى أيضاً وهذا يعتمد على التغير بدرجات الحرارة، ففي حالة التسخين سوف تنحني القطعة لجهة، وفي حالة التبريد سوف تنحني القطعة للجهة الأخرى، حيث يكون مقدار التمدد مساوياً لمقدار التقلص .
- ج ٨ :** نسخن القطعة الحديدية ونبرد المسمار النحاسي لأن معامل التمدد الطولي للحديد أصغر من معامل التمدد الطولي للنحاس .

مسائل

١- أنبوب من الألمنيوم طوله (٢ م) بدرجة ٢٧° س سخن إلى درجة ٧٧° س فأصبح طوله (٢,٠٠٢٤ م) ما معامل تمدده الطولي ؟ .

الحل :

$$L_{\Delta} + \Delta = L \quad L_{\Delta} + 2 = 2,0024$$

$$\Delta = L_{\Delta} - L = 2,0024 - 2 = 0,224 \text{ م مقدار التغير في الطول .}$$

$$\alpha = \frac{\Delta}{L \times \Delta T} = \frac{0,224}{(27 - 77) \times 2} = \frac{0,224}{-50 \times 2} = -2,24 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

٢- ما مقدار استطالة جسر مصنوع من الحديد طوله ٢ كم عندما ترتفع درجة الحرارة ٣٠° س إذا علمت أن معامل التمدد الطولي للحديد (١٢ × ١٠^{-٦}) ؟ .

الحل :

$$L = 2000 \text{ م}$$

$$\Delta L = L \times \alpha \times \Delta T$$

$$\Delta L = 2000 \times 12 \times 10^{-6} \times 30 = 0,72 \text{ م مقدار الاستطالة.}$$

٣- سلك من النحاس طوله ١٢٠ سم بدرجة ٢٠° س مر فيه تيار كهربائي سخنه فأصبح طوله (١٢٠,٨ سم) فكم هي درجة حرارة السلك النهائية، إذا علمت أن معامل التمدد الطولي للنحاس (١٧ × ١٠^{-٦}) ؟ .

الحل :

$$L_{\Delta} = L(1 + \alpha \Delta T)$$

$$120,8 = 120(1 + 17 \times 10^{-6} \times \Delta T)$$

$$\Delta T = \frac{120,8 - 120}{120 \times 17 \times 10^{-6}} = 3,07$$

$$\Delta T = 3,07$$

$$١٧ \times ١٠^{-٦} \Delta = ٠,٠٠٧$$

$$\Delta = \frac{٠,٠٠٧}{١٧ \times ١٠^{-٦}} = ٤١١,٧^\circ \text{ س} = \text{تقريباً } ٤١٢^\circ \text{ س}$$

٤- قضيبان طول كل منهما (١٠٠ سم) في درجة (١٠٠ س) أحدهما مصنوع من النحاس والآخر من الحديد، فكم يكون الفرق بينهما عندما تصبح درجة الحرارة (٦٠ س)، إذا علمت أن معامل التمدد للنحاس هو (١٧×١٠^{-٦}) وللحديد (١٢×١٠^{-٦}) ؟

الحل :

لنحاس : $\Delta \text{ ل} = \text{ل} \times \text{م} \times \Delta$

$$= ١٠٠ \times ١٧ \times ١٠^{-٦} \times (٦٠ - ١٠)$$

$$= ٠,٠٨٥ \text{ سم}$$

للهديد : $\Delta \text{ ل} = \text{ل} \times \text{م} \times \Delta$

$$= ١٠٠ \times ١٢ \times ١٠^{-٦} \times (٦٠ - ١٠)$$

$$= ٠,٠٦ \text{ سم}$$

$$\Delta \text{ ل للنحاس} - \Delta \text{ ل للحديد} = ٠,٠٨٥ - ٠,٠٦$$

$$= ٠,٠٢٥ \text{ سم الفرق بين طوليهما .}$$

٥- قضيبان أحدهما من الحديد طوله (٢٥,٥٥ سم) والآخر من الألمنيوم طوله (٢٥,٥٠ سم) بدرجة صفر سيلسيوس، في أي درجة حرارة يتساوى طولاهما؟.

الحل :

يتساوى طولاهما أي :

$$\text{ل للحديد} = \text{ل للألمنيوم} \rightarrow \text{ل} (١ + \text{م} \Delta) = \text{ل} (١ + \text{م} \Delta) \text{ حديد} = \text{ل} (١ + \text{م} \Delta) \text{ ألمنيوم}$$

$$٢٥,٥٥ + ٢٣ \times ١٠^{-٦} \times ٢٥,٥٠ = ٢٥,٥٥ + ١٢ \times ١٠^{-٦} \times ٢٥,٥٥$$

$$٢٥,٥٥ + ٥,٨٦٥ \times ١٠^{-٤} = ٢٥,٥٥ + ٣,٠٦٦ \times ١٠^{-٤}$$

$$٢٥,٥٠ - ٢٥,٥٥ = ٣,٠٦٦ \times ١٠^{-٤} - ٥,٨٦٥ \times ١٠^{-٤}$$

$$٠,٠٥ = ٢,٧٩٩ \times ١٠^{-٤}$$

$$\Delta = \frac{0.05}{2.799 \times 10^{-6}} = 178.6^\circ \text{ س}$$

٦- ثبتت قضبان سكة حديد طول كل منها ١٠ م عندما كانت درجة الحرارة 15° س فما طول الفاصل الواجب تركه بين كل قضيبين إذا كان أقصى درجة حرارة في الصيف تصل 52° س في منطقة تثبيت السكة ؟ .

الحل :

$$\Delta L = L \times \alpha \times \Delta T$$

$$= 10 \times 12 \times 10^{-6} \times (52 - 15) = 0.0044 \text{ م الفاصل الواجب تركه .}$$

٧- قضيبان أحدهما من الحديد والآخر من الخارصين فإذا كان طول قضيب الحديد ٧٢ سم في درجة 20° س فكيف يجب أن يكون طول قضيب الخارصين في درجة صفر س ليبقى الفرق بين طوليهما ثابتاً مهماً درجة الحرارة (إذا علمت أن معامل التمدد للحديد (12×10^{-6}) وللخارصين (27×10^{-6}) ؟ .

الحل :

يبقى الفرق بين طوليهما ثابتاً أي :

$$\Delta L_{\text{الحديد}} = \Delta L_{\text{للخارصين}}$$

$$L_1 \times \alpha_1 \times \Delta T_1 = L_2 \times \alpha_2 \times \Delta T_2 \quad (\text{للتغير بدرجات الحرارة متساو})$$

$$72 \times 12 \times 10^{-6} \times 10 = 32 \times 27 \times 10^{-6} \times \Delta T_2$$

$$\Delta T_2 = 32 \text{ سم طول قضيب الخارصين}$$

٨- أحدثت فتحة دائرية في قرص من البراص نصف قطرها (١ سم) بدرجة 20° س، سخن القرص إلى 200° س، ما مساحة الفتحة وما نصف قطرها بعد التسخين ؟ .

الحل :

$$\Delta = \text{مس} = \text{مس}_1 \times \alpha \times \Delta T \quad \leftarrow \text{نق}^2 \times ط \times 2 \times \Delta T = (200 - 20)$$

$$180 \times 10^{-7} \times 19 \times 2 \times 3,14 \times (1) =$$

$$= 0,0215 \text{ سم}^2 \text{ الزيادة في مساحة الفتحة}$$

$$\text{مس}_2 = \text{مس}_1 + \Delta \text{ مس} \quad \leftarrow 3,14 + 0,0215 = 3,161 \text{ سم}^2$$

(مساحة الفتحة بعد التسخين)

$$\text{مس}_2 = \text{نق}^2 \times 3,14 \quad \leftarrow 3,14 \times \text{نق}^2 = 3,161$$

$$\text{نق}^2 = 1,0066 \quad \leftarrow \text{نق} = 1,0034 \text{ سم نصف القطر بعد التسخين.}$$

الفصل الثامن

تمدد السوائل

الفصل الثامن

تمدّد السوائل

تتميز السوائل بأن لها شكلاً متغيراً وحجماً ثابتاً، لذا فإن لها تمدداً واحداً هو التمدد الحجمي، فلو أخذنا دورقاً زجاجياً ووضعنا فيه سائلاً ملوناً وحددنا مستوى السائل في الدورق، ثم نعمل على تسخين الدورق نلاحظ انخفاض مستوى سطح السائل أولاً وأن مقدار هذا الانخفاض يمثل مقدار تمدد الإناء حجماً وعند الاستمرار بالتسخين ووصول الحرارة إلى السائل نلاحظ ارتفاع مستوى سطح السائل إلى أعلى من مستواه الأصلي وأن هذه الزيادة سوف تمثل مقدار التمدد الحقيقي للسائل .

أما الزيادة عن المستوى الأصلي للسائل فهي الزيادة الظاهرية في حجم السائل. لذا يظهر نوعان من التمدد للسائل وهو التمدد الظاهري والتمدد الحقيقي حيث أن :

التمدد الحقيقي = التمدد الظاهري للسائل + التمدد الحجمي للإناء الذي يحويه.

أي أن :

التمدد الحقيقي = التمدد الظاهري + تمدد الإناء

ملاحظة: أن الزيادة في حجم السائل تكون أكثر من الزيادة في حجم الإناء بسبب كبر معاملات التمدد الحجمية للسوائل لذا يجب مراعاة تمدد الإناء أثناء قياس مقدار التمدد الحجمي للسائل .

معامل التمدد الحقيقي للسائل (جـ) : مقدار الزيادة الحاصلة في وحدة الحجم إذا تغيرت درجة حرارته درجة سيليزية واحدة ووحداته (°س).

$$جـ = \frac{\Delta \text{ح}}{\Delta \text{ح}_1}$$

معامل التمدد الظاهري للسائل (هـ) : مقدار الزيادة الظاهرية الحاصلة في وحدة

الحجوم إذا تغيرت درجة الحرارة درجة سيليزية واحدة .

$$\text{هـ} = \frac{\Delta \text{ح}}{\Delta \text{ح}_1 \text{ د}}$$

حيث $\Delta \text{ح}$ ترمز للزيادة الظاهرية في الحجم .

العلاقة بين معامل التمدد الحقيقي ومعامل التمدد الظاهري للسائل :

معامل التمدد الحقيقي للسائل يساوي مجموع معامل التمدد الظاهري للسائل ومعامل التمدد

الحجمي للإناء الذي يحويه .

$$\text{ج} = \text{هـ} + \text{د}$$

إن الزئبق من السوائل منتظمة التمدد أثناء تسخينه أي أن معامل التمدد الحقيقي للزئبق ثابت للدرجات الحرارية المختلفة على عكس سوائل أخرى كالماء فليس لها معامل تمدد حقيقي واحد بل يتغير بتغير درجات الحرارة المختلفة فتكون تمدداتها غير منتظمة في درجات الحرارة المختلفة لذلك يفضل استعمال الزئبق في صنع المحارير .

مثال :

دورق من زجاج البايركس حجمه ٢٥٠ سم^٣ مملوء تماماً بسائل درجة حرارته ١٥°س فما مقدار ما ينسكب منه عند رفع درجة حرارة الدورق والسائل إلى ٢٥°س ؟ علماً أن معامل التمدد الحقيقي للسائل (١,٥ × ١٠^{-٤}/°س) و معامل التمدد الطولي لزجاج البايركس (٣,٣ × ١٠^{-٦}/°س) .

الحل :

$$\text{للسائل } \Delta \text{ح} = \text{ح}_1 \text{ ج} \Delta \text{ د} \leftarrow$$

$$= ٢٥٠ \times ٥,١ \times ١٠^{-٤} \times (٢٥ - ١٥) = ١,٢٧٥ \text{ سم}^٣$$

$$\text{للدورق } \Delta \text{ح} = \text{ح}_1 \text{ ج} \Delta \text{ د} \leftarrow$$

$$= ٢٥٠ \times ٣ \times ٣,٣ \times ١٠^{-٦} \times (٢٥ - ١٥) (\text{ج} = ٣ \text{ م د})$$

$$= ٠,٠٢٣ \text{ سم}^٣$$

التمدد الظاهري للسائل = التمدد الحقيقي للسائل - تمدد الإناء الحجمي

$$= 1,275 - 0,023 \leftarrow$$

$$= 1,252 \text{ سم}^3 \text{ مقدار ما ينسكب من السائل}$$

مثال :

اشترى مدخر (مستودع الأدوية) سائل بدرجة حرارة صفر°س، يحتوي اللتر الواحد منه على خليط

نصفه أثيل الكحول (معامل تمدده الحقيقي $7,5 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{س}$) ونصفه الآخر ماء (معامل تمدده الحقيقي $2,1 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{س}$) وبسعر ١٠٠٠ دينار للتر الواحد، ثم باعه بسعر ١٠٠٠ دينار للتر الواحد أيضاً وهو بدرجة حرارة

٢٥°س، فكم هو مقدار ربح المدخر في اللتر الواحد ؟ .

الحل :

$$\Delta \text{ أثيل الكحول } = \text{ح} \text{ } ^\circ\text{ج} \Delta \text{ د}$$

$$= \frac{1}{3} \times 7,5 \times 10^{-4} \times (25 - 0) \leftarrow$$

$$= 0,0094 \text{ لتر مقدار الزيادة في حجم أثيل الكحول عند البيع .}$$

$$\Delta \text{ للماء } = \text{ح} \text{ } ^\circ\text{ج} \Delta \text{ د}$$

$$= \frac{1}{3} \times 2,1 \times 10^{-4} \times (25 - 0) \leftarrow$$

$$= 0,0026 \text{ لتر مقدار الزيادة الكلية في حجم الماء عند البيع}$$

$$\Delta \text{ ح الكلي } = \Delta \text{ ح للكحول } + \Delta \text{ ح للماء}$$

$$= 0,0094 + 0,0026 = 0,012 \text{ لتر مقدار الزيادة الكلية في حجم السائل .}$$

$$\text{مقدار الربح} = \text{سعر اللتر} \times \text{سعر الزيادة}$$

$$= 0,012 \times 1000 = 12 \text{ دينار مقدار ربح المدخر في اللتر الواحد .}$$

شدوذ تمدد الماء :

تتمدد السوائل بارتفاع درجة حرارتها ويشذ عن ذلك الماء بين درجتي (صفر - ٣,٩٥) °س إذ

يتقلص حجمه كلما ارتفعت درجة حرارته من (صفر - ٣,٩٥) °س ثم

يبدأ حجمه بالزيادة عندما ترتفع درجة حرارته فوق تلك الدرجة .

جهاز هوب :

وهو جهاز يستعمل للتحقق من شذوذ الماء بين صفر س و عُس تقريباً، ويتكون من مخبر فلزي أو زجاجي له فتحتان يدخل منهما ميزانا الحرارة، الأولى قريبة من الفوهة، والأخرى قريبة من القاعدة ويحيط بوسط المخبر حوض .

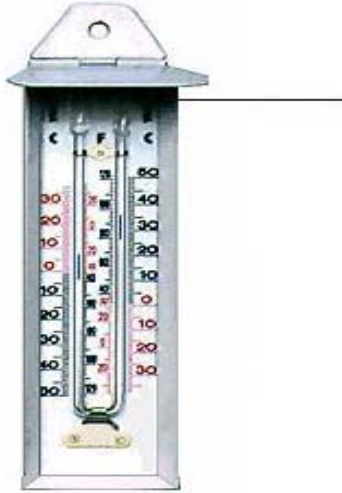
تطبيقات على تمدد السوائل :

١- المحارير (موازين الحرارة) :

وهي مقاييس يتم بواسطتها قياس درجة حرارة الأجسام ومنها :

أ- المحرار الزئبقي (ميزان الحرارة): يتألف المحرار الزئبقي من منتفخ صغير من الزجاج يدعى بالمستودع أو البصلة يستقر فيه الزئبق المستعمل في المحرار ينتهي بأنبوب شعري منتظم المقطع مغلق ومفرغ من الهواء وتكون جدران المستودع رقيقة في حين تكون جدران الأنبوب الشعري سميكة .

محرار زئبقي



ويتميز المحرار الزئبقي عن باقي المحارير والذي جعله مفضلاً عن بقية المحارير بأن الزئبق المستخدم فيه يتميز بـ :

- تمده منتظم .
- يقيس مدى واسع من الدرجات (من -39° س إلى 257° س) .
- الزئبق معتم فني لماع يسهل مشاهدته من خلال الزجاج .
- لا يلتصق بجدار الإناء .
- جيد التوصيل للحرارة مما يجعله سريع التأثير بتغيرات درجة الحرارة .

والجدير بالذكر أن هناك عدة أنظمة لتدريج ميزان الحرارة أهمها ثلاثة هي :

(١) النظام المئوي

ويتم تدريج المحرار الزئبقي في هذا النظام بالطريقة التالية :

يوضع المحرار في جليد مجروش وماء نقي تحت الضغط الجوي الاعتيادي وتكتب عند النقطة التي يصلها الزئبق ويثبت عندها الصفر سيلسيوس ثم ينقل ليوضع مستودعه في بخار ماء نقي تحت الضغط الجوي الاعتيادي ويكتب عند المستوى الذي يصله الزئبق درجة المائة، وتقسم المسافة بين الإشارتين إلى مائة قسم متساوٍ ليكون كل قسم يشير إلى درجة سيليزية واحدة .

(٢) النظام المطلق

وفيه تكون درجة تجمد الماء 273° ، ودرجة غليان الماء 373° ، وفي هذا النظام تكون الدرجة المطلقة الواحدة مساوية إلى درجة سيلسيوس واحدة .

(٣) النظام الفهرنهايتي

وفيه تكون درجة تجمد الماء 32° ، ودرجة غليان الماء 212° ، والمسافة بينهما مقسمة إلى 180 قسمًا، يطلق على كل قسم منها اسم درجة فهرنهايتية. وتقابل كل درجة فهرنهايتية تسعة أخماس درجة سيلسيوس أو مطلقة.

ولتحويل قراءة ميزان حرارة (محرار) من أحد الأنظمة إلى الآخر نتبع ما يلي:

- ١- للتحويل من النظام المئوي إلى المطلق : نضيف رقم 273 إلى قراءة الميزان المئوي وتكون النتيجة قراءة الميزان المطلق .

٢- للتحويل من النظام المئوي إلى النظام الفهرنهايتي : نلاحظ أن كل ١٠٠ تدرج على المحرار المئوي يقابلها ١٨٠ تدرجاً على المحرار الفهرنهايتي، إذ أن التدرج الواحد على الميزان المئوي يقابل تسعة أخماس (١,٨) تدرج على المحرار الفهرنهايتي، وكذلك يقابل الصفر على التدرج المئوي ٣٢ على التدرج الفهرنهايتي .

لذلك يعطى التدرج الفهرنهايتي الذي يقابل درجة مئوية معينة بالعلاقة التالية:

$$ف = ١,٨ + ٣٢ س$$

كما يمكن التوصل إلى علاقة تربط درجات الحرارة المطلقة والمئوية والفهرنهايتية بواسطة نظريات التناسب في الهندسة المستوية :

$$\frac{ط - ٢٧٣}{١٠٠} = \frac{ف - ٣٢}{١٨٠} = \frac{س - ٠}{١٠٠}$$

ب- المحرار الكحولي (الميزان الكحولي) : وهو المحرار الذي يحتوي على الكحول الذي يتميز بأن درجة إنجماده منخفضة (١٣٠°س) لذا يفضل استخدامه في المناطق الباردة .

ج- المحرار الطبي : وهو المحرار الذي يستخدم لقياس درجة حرارة الإنسان وهو محرار زئبقي ولكنه يتميز بما يلي :

- تدرجاته محصورة ما بين ٣٥°س و ٤٢°س .
- وجود تخرم بين مستودع الزئبق والأنبوب الشعري لمنع رجوع الزئبق إلى المستودع عند إخراج المحرار من فم المريض وتعرضه لدرجة حرارة الجو.



٢- السخان الشمسي :

يعتمد السخان الشمسي على حركة الماء الساخن فيه، فعندما تسقط أشعة

الشمس على المجمعات الشمسية يسخن الماء البارد فيها، فيرتفع إلى الأعلى ويحل محله الماء البارد الأكثر كثافة، وهكذا .

أسئلة

س١: علل :

(أ) ليس لمعامل التمدد الظاهري لسائل ما قيمة ثابتة ؟ .

(ب) تستمر الحياة للأحياء في قيعان الأنهار والبحيرات بالرغم من تجمد ماء سطوحها؟ .

س٢: تكون درجة حرارة البخار داخل الفقاعة المغمورة تحت الماء الذي يغلي أعلى من درجة الغليان .

س٣: تتغير درجة غليان السائل مع تغير الضغط المسلط على سطحه .

س٤: اختر الجواب الصحيح في كل مما يأتي :

(١) تكافئ السعرة الواحدة تقريباً :

(أ) ٤,٢ جول .

(ب) ٤٢٠ جول .

(ج) ٤٢ جول .

(٢) تتوقف كمية الحرارة لجسم عند ثبوت كل من الكتلة ودرجة الحرارة على :

(أ) حجم الجسم .

(ب) شكل الجسم .

(ج) نوعية مادة الجسم .

(٣) كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة (١ غم) من المادة درجة سيلسيوس واحدة تسمى :

(أ) كمية الحرارة .

(ب) السعة الحرارية النوعية .

(ج) درجة الحرارة .

(٤) المحرار الذي يصلح لقياس درجات الحرارة المنخفضة جداً هو :

(أ) الزئبقي .

(ب) الطبي .

(ج) الكحولي .

(٥) تنحصر تدريجات المحرار الطبي بين :

(أ) (٣٥ - ٤٢) س .

(ب) (٠ - ١٠٠) س .

(ج) (٥٠ - ١٠٠) س .

الأجوبة

ج ١ :

(أ) لأن معامل التمدد الظاهري هو مقدار الفرق بين معامل التمدد الحقيقي للسائل ومقدار تمدد الإناء الحجمي ولأن الإناء متغير عند الاستعمال من مكان لآخر لذا فإن قيمته ليست ثابتة بل تعتمد على نوع مادة الإناء فتصبح قيمة معامل التمدد الظاهري غير ثابتة أيضاً .

(ب) وذلك بسبب شذوذ تمدد الماء فعندما تنخفض درجة حرارة الجو تتجمد سطوح مياه الأنهار والبحيرات بينما يبقى الماء تحت السطوح المتجمدة سائلاً بدرجة ٤° س مما يحافظ على حياة الكائنات الموجودة فيه .

ج ٢ : لأن الفقاعة سوف تتأثر بضغط السائل في نقطة وجودها ولكي تتغلب على هذا الضغط تمتص كمية من الحرارة أكبر لزيادة ضغط بخار السائل الموجود داخلها وجعله مساوياً لمجموع الضغطين ضغط عمود السائل والضغط المسلط على سطح السائل فترتفع درجة حرارتها .

ج ٣ : درجة غليان السائل تتناسب تناسباً طردياً مع الضغط المسلط على سطح السائل حيث ترتفع درجة الغليان بزيادة الضغط المسلط عليه والعكس صحيح .

ج ٤ : (١) (أ) .

(٢) (ج) .

(٣) (ب) .

(٤) (ج) .

(٥) (أ) .

مسائل

- ١- دورق زجاجي سعته لتر واحد في درجة صفر سيلسيوس ملئ بالزئبق ثم سخن إلى 100°C فانسكب منه $10,2$ سم^٣ فما معامل التمدد الطولي للزجاج ؟ .

الحل :

$$١ \text{ لتر} = ١٠٠٠ \text{ سم}^٣$$

$$\text{هـ} = \frac{\Delta \text{ح}}{\Delta \text{ح}} = \frac{١٠,٢}{(١٠٠ - \text{صفر})} \leftarrow$$

$$= ١٠٢ \times 10^{-٦} \text{ /س معامل التمدد الظاهري للزئبق .}$$

$$\text{ج} = \text{هـ} + \text{ج} \leftarrow = 182 \times 10^{-٦} = \text{هـ} + ٣ \text{ م د}$$

$$182 \times 10^{-٦} = 102 \times 10^{-٦} + ٣ \text{ م د}$$

$$\text{م د} = \frac{10^{-٦} \times ٣٠}{٣} = \frac{182 - 102 \times 10^{-٦}}{(١٠٠ - \text{صفر})}$$

$$= 10 \times 10^{-٦} \text{ /س معامل التمدد الطولي للزجاج .}$$

- ٢- إناء زجاجي سعته 100 سم^٣ في درجة 25°C وضع فيه سائل فشغل حيزاً مقداره 99 سم^٣ في نفس الدرجة فإذا وجد أن السائل يشغل الحيز تماماً عند الدرجة 30°C ، احسب معامل التمدد الظاهري للسائل في هذا الإناء، ثم احسب معامل التمدد الحقيقي للسائل ؟ .

الحل :

$$\text{هـ} = \frac{\Delta \text{ح}}{\Delta \text{ح}} = \frac{١٠ - ٩٩}{(٣٥ - ٢٥) \times 99} = \frac{١٠ - ٩٩}{(٣٥ - ٢٥) \times 99}$$

$$= 1,01 \times 10^{-٣} \text{ /س}$$

$$\text{ج} = \text{هـ} + \text{ج} \leftarrow = 1,01 \times 10^{-٣} + ٣ \text{ م د}$$

$$= 1,01 \times 10^{-٣} + ٣ \times 9 \times 10^{-٦}$$

$$= 1,10 \times 10^{-٣} + ٢٧ \times 10^{-٦}$$

$$= 1037 \times 10^{-٦} \text{ /س معامل التمدد الحقيقي للسائل .}$$

٣- إذا كانت كثافة الماء في درجة صفر^س = ٩٩٩,٨ كغم/م^٣، جد كثافته عند درجة ٤^س، ثم عند درجة ٥٤^س إذا علمت أن معامل التمدد الحقيقي للماء بين (صفر - ٤) ^س يساوي ١٠ × ٥٠^{-٦}، وبين (٤-٥٤)^س يساوي ٢٤٣ × ١٠^{-٦} ^س.

الحل :

$$\text{ك}_\epsilon = \text{ك}_\Delta \leftarrow \text{كث}_\text{صفر} \times \text{ح}_\text{صفر} = \text{كث}_\epsilon \times \text{ح}_\epsilon$$

$$٩٩٩,٨ \times \text{ح}_١ = \text{كث}_\epsilon \times \text{ح}_٢$$

$$٩٩٩,٨ \times \text{ح}_١ = \text{كث}_\epsilon (\text{ح}_١ - \Delta \text{ح}) \quad [\text{ح}_٢ = \text{ح}_١ - \Delta \text{ح} \text{ بسبب شذوذ تمدد الماء}]$$

$$\leftarrow ٩٩٩,٨ \times \text{ح}_١ = \text{كث}_\epsilon (\text{ح}_١ - \Delta \text{ح}_١)$$

$$\leftarrow ٩٩٩,٨ \times \text{ح}_١ = \text{كث}_\epsilon \times \text{ح}_١ (١ - \Delta \text{ح}_١)$$

$$\leftarrow ٩٩٩,٨ = \text{كث}_\epsilon (١ - ١٠ \times ٥٠ \times ١٠^{-٦})$$

$$\leftarrow ٩٩٩,٨ = \text{كث}_\epsilon (١ - ٠,٠٠٢)$$

$$\leftarrow ٩٩٩,٨ = \text{كث}_\epsilon \times ٠,٩٩٨$$

$$\text{كث}_\epsilon = \frac{٩٩٩,٨}{٠,٩٩٨} = ١ \text{ كغم/م}^٣$$

بين (٤ - ٥٤) ^س

$$\text{ك}_\epsilon = \text{ك}_\Delta \leftarrow \text{كث}_\epsilon \times \text{ح}_\epsilon = \text{كث}_\Delta \times \text{ح}_\Delta$$

$$\leftarrow ١٠٠٠ \times \text{ح}_١ = \text{كث}_\Delta \times \text{ح}_٢$$

$$\leftarrow ١٠٠٠ \times \text{ح}_١ = \text{كث}_\Delta \times \text{ح}_١ (١ + \Delta \text{ح}_١)$$

$$\leftarrow ١٠٠٠ = \text{كث}_\Delta (١ + ١٠ \times ٢٤٣ \times ١٠^{-٦})$$

$$\leftarrow ١٠٠٠ = \text{كث}_\Delta (١ + ٠,٠٢٤٣)$$

$$\text{كث}_\Delta = \frac{١٠٠٠}{١,٠٢٤٣} = ٩٨٨ \text{ كغم/م}^٣$$

٤- اسطوانة زجاجية منتظمة المقطع طولها ١٠ سم مسدودة من أسفلها فما طول عمود الزئبق المسكوب فيها لكي يبقى الحيز المتبقي ثابت في جميع درجات الحرارة ؟.

$\Delta_{\text{ح}} = \Delta_{\text{ح}}^{\text{اسطوانة}}$ ← $\Delta_{\text{ح}} = \Delta_{\text{ح}}^{\text{ج}} = \Delta_{\text{ح}}^{\text{د}}$ (نفس التغير بدرجات الحرارة)

$$\text{ع زئبق} = \frac{2700}{182} = 14,835 \text{ سم ارتفاع الزئبق}$$

الحل :

$$. (20 - 40) \times 10 \times 240 \times 10 \leftarrow \Delta \text{ح}_1 = \text{ح} \Delta$$

$= 0,09 \text{ لتر} = 90 \text{ سم}^3$ مقدار التغير في الحجم (1 لتر = 1000 سم³).

٦- زئبق كثافته ١٣,٥٥ غم/سم^٣ في درجة (٢٠°س) في أي درجة حرارة تصبح كثافته ١٣,٤٥ غم/سم^٣ ؟

الحل :

$$\leftarrow \text{ك} = \text{ك}_\text{س} \quad \leftarrow \text{كث} = \text{ك}_\text{س} \times \text{ح}_\text{س}$$

$$17 \times 13,40 = 17 \times 13,00$$

$13,00 = 13,40 + (1 + \Delta \text{جـ})$ [لأن الكثافة قلت وازداد الحجم وهذا يعني أن العملية تسخين].

$$5 \Delta^{7-10} \times 182 = 1 - 1,07\% \leftarrow \quad 5 \Delta^{7-10} \times 182 + \frac{13,00}{1,07} =$$

$$\frac{0,0074}{0,0074 \times 182} = 0,0074 \Delta$$

$$\text{س } 38,7=2 - 40,7 = 2 \quad \leftarrow (2-) - 2 = 40,7 \quad \leftarrow 2 - 2 = 0 \Delta$$

الفصل التاسع

تمدد الغازات

الفصل التاسع

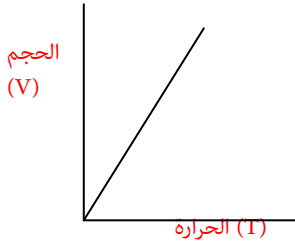
تمدد الغازات

تتميز الغازات بأن ليس لها شكل معين ولا حجم ثابت بل يملأ الحيز الذي يحتويه فيكون حجم الغاز مساوياً لسعة الإناء الحاوي له فعند تغيير درجة حرارة غاز محصور في إناء حجمه ثابت يتغير ضغطه أما إذا كان حجم الحيز الحاوي للغاز قابلاً للتغيير في أثناء تسخينه فإن حجم الغاز عندئذ يكون متغيراً بتغير درجة حرارته، وقد يتغير حجم الغاز بتغير الضغط المسلط عليه بثبوت درجة حرارته .

قانون شارل:

لقد توصل العالم شارل إلى هذه النتيجة حيث رأى أن الغازات يزداد حجمها بارتفاع درجة حرارتها عند ثبوت ضغطها، أي :

"يتوقف حجم كتلة معينة من الغاز على مقدار التغير في درجة حرارة الغاز عند ثبوت الضغط المسلط عليه".



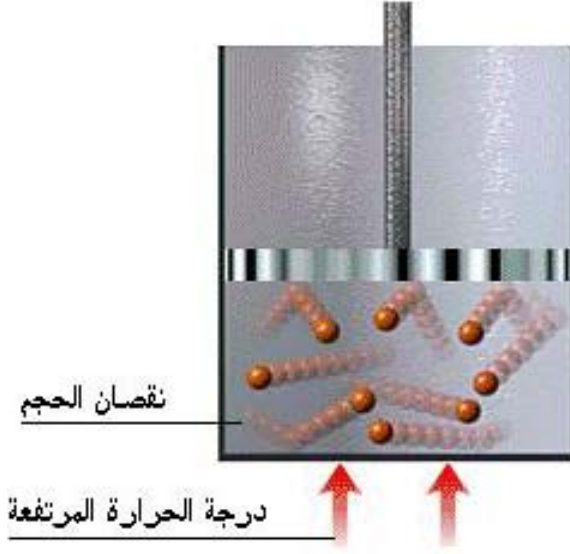
قانون شارل

لذلك فإن للغازات تمدد واحد فقط هو التمدد الحجمي وأن مقدار الزيادة الحاصلة في حجم الغاز

تحددها العوامل التالية :

- ١- حجم الغاز .
- ٢- درجة حرارة الغاز .
- ٣- ضغط الغاز .

وتتميز الغازات بتساوي معامل التمدد الحجمي لجميعها عند ثبوت الضغط المسلط عليها (حيث يمكن إهمال تمدد الإناء لصغره)، لأن جميع الغازات تتألف من جزيئات صغيرة الحجم جداً ومتباعدة عن بعضها تباعداً كبيراً نسبياً مما يجعل القوى المؤثرة بين الجزيئات لا قيمة لها في تمدد الغازات لذا فإنها تسلك نفس السلوك ولها نفس الصفات الفيزيائية ما عدا الغازات القريبة من حالة السيولة .



قانون شارل

معامل التمدد الحجمي للغاز (م): وهو الزيادة الحاصلة في حجم وحدة الحجوم من الغاز المحصور وهو بدرجة الصفر السيلسيوس إذا سخن درجة سيلسيوس واحدة بثبوت الضغط، أي أن :

$$\text{معامل التمدد الحجمي للغاز} = \frac{\text{الزيادة في حجم الغاز}}{\text{الحجم الأصلي} \times \text{ارتفاع درجة الحرارة}}$$

$$= \frac{\Delta C}{C \times \Delta D} \quad \text{م غ}$$

حيث Δ ح : التغير في حجم الغاز .

ح : حجم الغاز الأصلي .

Δ د : التغير في درجة حرارة الغاز .

وعند إيجاد مقدار تمدد الغاز يجب مراعاة العوامل التالية :

١- الحجم .

٢- الضغط .

٣- درجة الحرارة .

فنطبق العلاقة الآتية :

$$\frac{H_2 \text{ ض } 2}{\text{مط } 2} = \frac{H_1 \text{ ض } 1}{\text{مط } 1}$$

لقد وجد تجريبياً أن معامل التمدد الحجمي هو نفسه لجميع الغازات في درجة صفر سيلسيوس وبثبوت الضغط المسلط عليها، ويساوي تقريباً $(273/1)$ أس، فلو فرضنا أن حجم كتلة من غاز محصور تساوي ٢٧٣ سم^٣ في درجة صفر سيلسيوس، وأن درجة حرارته زادت بمقدار درجة سيلسيوس واحدة فإن الزيادة في حجمه تساوي $(273/1)$ من حجمه الأصلي، أي ١ سم^٣، وإذا كانت الزيادة في درجة الحرارة تساوي ١٠ درجات فإن الزيادة في الحجم تكون ١٠ سم^٣، وإذا انخفضت درجة حرارته درجة سيلسيوس واحدة فإن حجمه سينقص بمقدار $(273/1)$ من حجمه الأصلي، أي أن الحجم سينقص بمقدار ١ سم^٣ ويصبح ٢٧٢ سم^٣، وإذا نقصت درجة حرارته بمقدار ١٠ درجات فإن الحجم يصبح عندئذ ٢٦٣ سم^٣.

ولكن ماذا يصبح حجم الغاز إذا انخفضت درجة الحرارة إلى ٢٧٣ درجة ؟

إن درجة الحرارة عند هذه النقطة ستكون -٢٧٣س، وعند هذه النقطة يساوي حجم الغاز صفراً وهذه النتيجة غير صحيحة لأن الغاز في هذه الحالة لن يبقى في حالته الغازية إذ أنه باستمرار التبريد سيتحول إلى سائل عند درجة حرارة معينة قبل أن يصل درجة -٢٧٣س وفي هذه الحالة سوف **لن ينطبق قانون تمدد**

الغازات، بل

سيخضع لقوانين تمدد السوائل.

ووفق هذه النتيجة اعتمد نظام جديد لقياس درجة الحرارة يعرف بـ "النظام المطلق" وفي هذا النظام اعتبرت درجة (-273°) س درجة الصفر المطلق (وهي أدنى درجة يمكن الوصول إليها)، وفيها تصبح طاقة حركة جزيئات المادة تساوي صفراً، وفي هذا النظام تكون درجة انصهار الجليد 273° درجة مطلقة، ودرجة غليان الماء 373° درجة مطلقة (والدرجة المطلقة في هذا النظام تساوي درجة سيلسيوس) .

إن حجم الغاز يتناسب تناسباً طردياً مع درجة حرارته المطلقة بثبوت ضغطه .

أي أن :

$$ح = \text{مقداراً ثابتاً} \times د$$

حيث د : درجة حرارة الغاز مقاسة بوحدة كلفن .

$$\frac{ح_1}{د_1} = \frac{ح_2}{د_2}$$

حيث ح₁ : حجم الغاز عند درجة كلفن د₁ .

ح₂ : حجم الغاز عند درجة كلفن د₂ .

وسميت هذه العلاقة بقانون شارل في الغازات الذي ينص على أن : "حجم أي كتلة من غاز محصور

يتناسب تناسباً طردياً مع درجة حرارته بوحدة كلفن عند ثبوت ضغطه" .

علاقة الكثافة بدرجة الحرارة

من المعلوم أن الكثافة تساوي الكتلة مقسومة على الحجم وحيث أن ارتفاع درجة حرارة الغاز

يزيد من حجمه فإن الكثافة ستقل بارتفاع درجة الحرارة، وتزداد كثافة الغاز بانخفاض درجة حرارته، أي أن :

$$\frac{د_1}{ث_1} = \frac{د_2}{ث_2}$$

حيث ث₁ : كثافة الغاز الأولى عند درجة حرارة د₁ .

ث. : كثافة الغاز الثانية عند درجة حرارة د .

نستنتج من ذلك أن : "كثافة الغاز المحصور تتناسب تناسباً عكسياً مع ارتفاع درجة حرارته بوحدة

كلفن بثبوت ضغطه" .

الفصل العاشر

تغير حالة المادة

الفصل العاشر

تغير حالة المادة

تغير الحالة هو تحول المادة من حالة إلى أخرى بتأثير الحرارة (فقدان أو اكتساب)، فعند تسخين جسم عن طريق الطاقة المزودة إليه ستعمل على زيادة سرعة الحركة الاهتزازية للجزيئات وبالتالي تؤدي إلى رفع درجة حرارة ذلك الجسم، فإذا كانت تلك الطاقة المزودة كافية لجعل الطاقة الحركية للجزيئات لها قدرة التغلب على القوى الجزيئية عندئذ تغيرت حالة المادة .

أولاً - الانصهار :

هو عملية تحول المادة من حالتها الصلبة إلى حالتها السائلة بتأثير الحرارة .

ثانياً - الانجماد :

هو عملية تحول المادة من حالتها السائلة إلى الحالة الصلبة بالتبريد .

درجة الانصهار : هي تلك الدرجة الحرارية التي تبدأ عندها المادة بالتحول من حالة الصلابة إلى حالة السيولة تحت ضغط ثابت .

درجة الانجماد : هي تلك الدرجة الحرارية التي تبدأ عندها المادة بالتحول من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة تحت ضغط ثابت .

العوامل المؤثرة على درجة الانصهار (أو الانجماد)

تعتمد درجة الانصهار (الانجماد) على العوامل التالية :

١- نقاوة المادة:

تزداد درجة انصهار المادة بزيادة نقاوة المادة حيث أن وجود الشوائب في المادة يخفض درجة

انصهارها أو انجمادها وهذا يتوقف على :

(أ) نوع المادة المذابة .

(ب) تركيز المادة المذابة .

٢- الضغط المسلط على المادة :

(أ) المواد التي يزداد حجمها أثناء الانصهار كالشمع تؤدي زيادة الضغط إلى زيادة

درجة انصهارها أو انجمادها .

(ب) المواد التي يقل حجمها أثناء الانصهار كالجليد فإن زيادة الضغط يؤدي إلى خفض درجة انصهار أو

انجماد المادة .

نوعا الانصهار :

١- الانصهار في درجة حرارة ثابتة : حيث تبقى درجة حرارة المادة ثابتة عند نقطة الانصهار حتى يتم تحويل

الصلب إلى سائل دون أن ترتفع درجة حرارته وذلك لأن تلك المواد كالجليد والفسفور واليود تترتب فيها

الجزيئات أو الذرات في البلورة بطريقة معينة .

٢- الانصهار في مدى من الدرجات: حيث لا يتم انصهار المادة إلا بعد أن تمر بحالة عجيبة هي بين الصلابة

والسيولة حيث تستمر فيها درجة الحرارة بالارتفاع ببطء حتى تنصهر المادة بأكملها وذلك لأن تلك المواد لا

تملك تركيباً بلورياً معيناً (عشوائية التركيب) أو لا تكون نقية كالشمع والقار والسمن والزجاج.

وتمثل درجة الانصهار المعدل لدرجتي بدء الانصهار وبدء الانجماد لتلك المادة (وهي نفسها درجة

انجماد تلك المادة)، والفائدة العملية من المواد التي تنصهر في درجة حرارة ثابتة والتي تنصهر في مدى من

الدرجات في الكشف عن تلك المواد، كما يستفاد منها في تشكيل تلك المادة وهي ساخنة بالشكل الذي نريده .

قانونا الانصهار

١- لكل مادة نقية نقطة انصهار خاصة بها تحت ضغط ثابت وتكون هي نقطة انجمادها .

٢- تبقى درجة حرارة المادة النقية ثابتة عند نقطة انصهارها حتى يتم انصهار تلك المادة بأكملها .

تغير حجم المواد بالانصهار والانجماد

يجب توافر شغل خارجي لإبعاد جزيئات المادة عن بعضها وذلك عن طريق

تزويدها بكمية من الحرارة، فعندما تكتسب أغلب المواد المتبلورة أو غير المتبلورة كمية معينة من الحرارة كافية لتهديم هيكلها البلوري تتباعد جسيماتها عن بعضها فيزداد حجمها لذا تقل كثافتها عند انصهارها .
أما المواد الشبيهة بالجليد مثل الانتيومون والحديد الصلب فهي تشد، إذ يقل حجمها وتزداد كثافتها عند انصهارها حيث تتقارب جزيئاتها عند اكتسابها لكمية من الحرارة (والعكس صحيح في حالة الانجماد).

الحرارة الكامنة للانصهار

عند تحول المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة (عند درجة الانصهار) تبقى درجة حرارتها ثابتة إلى أن تنصهر جميع المادة بالرغم من تزويدها بالحرارة باستمرار فأين تذهب تلك الحرارة التي تكتسبها المادة في هذه الحالة ؟

من المعلوم أن المادة مؤلفة من جزيئات وهذه الجزيئات تربط بينها قوى تجاذبية تكون كبيرة عندما تكون المادة في الحالة الصلبة، بينما تكون هذه القوى أضعف منها في الحالة السائلة إلا أنها كافية لأن تبقى الجزيئات قريبة من بعضها، وتكون لها حرية كافية لأن تنزلق بعضها فوق بعض، أما في الحالة الغازية فإن هذه القوى تكون ضعيفة جداً بحيث يمكن إهمالها، والطاقة الحرارية المكتسبة تستغل في بذل شغل لإبعاد جزيئات المادة عن بعضها وإعطاؤها درجة من الحرية تتمكن فيها من الانزلاق داخل المادة فتتحول المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة، وبما أن الطاقة الحرارية تستغل لإبعاد الجزيئات عن بعضها ولا تستخدم لزيادة سرعة الجزيئات وزيادة الطاقة الحركية لها، فإن درجة الحرارة تبقى ثابتة عند درجة الانصهار إلى أن يتم تحول المادة بأكملها إلى الحالة السائلة .

أي أن :

الحرارة الكامنة للانصهار (ص) : هي كمية الحرارة اللازمة لتحويل وحدة الكتل (١غم) من المادة من الحالة الصلبة وتحويلها إلى حالتها السائلة مع بقاء درجة الحرارة ثابتة في نقطة الانصهار، ووحداتها هي (سعة/غم) أو (جول/كغم) .

ويمكن حساب كمية الحرارة اللازمة لصهر المادة دون أن ترتفع درجة حرارتها وهي

في درجة انصهارها من العلاقة الرياضية التالية :

$$\text{حر} = \text{ك} \times \text{ص}$$

ملاحظة : لكل مادة نقية تحت الضغط الجوي الاعتيادي حرارة انصهار كامنة خاصة بها فمثلاً:

ص للجليد بدرجة صفر سيلسيوس = ٨٠ سعة/غم = ٣٣٦ كيلو جول/كغم = ٣٣٦٠٠٠ جول/كغم .

مثال :

ما مقدار الحرارة اللازمة لصهر (١٠٠غم) من الجليد بدرجة صفر سيلسيوس ورفع درجة حرارة الماء

الناتج إلى (٣٠°س) ؟ .

الحل :

(١) كمية الحرارة اللازمة لصهر الجليد وهو بدرجة صفر سيلسيوس .

$$\text{حر} = \text{ك} \times \text{ص}$$

$$= ٨٠ \times ١٠٠ = ٨٠٠٠ \text{ سعة}$$

(٢) كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الماء الناتج إلى ٣٠°س

$$\text{حر} = \text{ك} \times \text{ن} \times (١٥ - ٢٥)$$

$$= ١ \times ١٠٠ \times (٣٠ - \text{صفر})$$

$$= ٣٠ \times ١٠٠ = ٣٠٠٠ \text{ سعة}$$

(٣) كمية الحرارة الكلية اللازمة = ٨٠٠٠ + ٣٠٠٠

$$= ١١٠٠٠ \text{ سعة} .$$

ثالثاً - التصعيد : عملية تحول المادة من حالتها السائلة إلى الحالة الغازية .

التبخير (أو التبخر) : هو تصعيد بطيء يتم فيه تحول المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية (بخار) بتأثير

الحرارة أو الضغط أو كليهما .

كيف تحدث عملية التبخر ؟

لجزيئات السائل طاقة حركية تختلف في مقدارها من جزيئة لأخرى بسبب التصادم العشوائي بين

الجزيئات والحركة الاهتزازية، فالجزيئات ذات الطاقة الحركية

العالية عند اقترابها من سطح السائل تستطيع الإفلات من الجزيئات الأخرى لتصبح في حالة غازية (بخار) .

التبخر عملية تبريد

لكي يتبخر السائل فإنه يحتاج إلى كمية من الحرارة وهذه الحرارة يكتسبها من الجسم الملامس له مما يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة ذلك الجسم، لأن الجزيئات الهاربة من سطح السائل في عملية التبخر هي جزيئات ذوات طاقة عالية وهي تمتص الطاقة من السائل فيؤدي ذلك إلى نقص في متوسط الطاقة الداخلية للجزيئات المتبقية مما يؤدي إلى تبريد السائل .

العوامل المساعدة على سرعة التبخر

- ١ - اتساع سطح السائل : كلما اتسع سطح السائل زادت سرعة التبخر .
 - ٢ - حركة الهواء : ازدياد سرعة الهواء تزيد سرعة التبخر .
 - ٣ - درجة الحرارة : ارتفاع درجة الحرارة تزيد من سرعة التبخر .
 - ٤ - نوع السائل : كلما كانت درجة غليان السائل أوطأ كان تبخره أسرع .
 - ٥ - الضغط : كلما قل الضغط المسلط على سطح السائل كان تبخره أسرع .
 - ٦ - كمية بخار السائل في الهواء : كلما قلت كمية بخار السائل في الهواء كان تبخره أسرع .
- بخار الإشباع :** هو بخار السائل الموجود في حيز محدود عندما يكون عدد الجزيئات الهاربة من سطح السائل مساوياً لعدد الجزيئات العائدة له .

ملاحظة : السائل الموجود في حيز محدود لا يتبخر بأكمله مهما طال مدة بقائه داخل ذلك الحيز .

ضغط بخار الإشباع : هو ضغط بخار السائل الموجود في حيز محدود في حالة إشباع على سطح السائل .

الغليان : هو تبخر سريع يحدث على شكل فقاعات مملوءة ببخار السائل في جميع أجزاء السائل ويحدث في درجة حرارة معينة .

درجة الغليان : وهي تلك الدرجة الحرارية التي يبدأ عندها السائل بالغليان حيث يتساوى فيها ضغط الإشباع لبخار السائل مع الضغط المسلط على سطحه وتبقى تلك الدرجة ثابتة طيلة مدة الغليان حتى يتبخر السائل بأكمله .

ملاحظة : لكل سائل درجة غليان معينة تحت الضغط الجوي الاعتيادي .

العوامل المؤثرة في درجة غليان السائل

تعتمد درجة غليان السائل على :

١- الضغط المسلط على سطح السائل : إذ يؤدي زيادة الضغط إلى ارتفاع درجة الغليان، ويؤدي انخفاض الضغط إلى انخفاض درجة الغليان، لأن الضغط يؤدي إلى سهولة ارتفاع فقاعات البخار من داخل السائل لتتبخر عند سطحه عندما يكون ضغط الغاز داخل الفقاعة مساوياً للضغط المسلط عليه فيبدأ السائل بالغليان في درجة حرارة أوطأ .

٢- ذوبان المواد المختلفة في السوائل : إن وجود المواد المختلفة في السوائل يزيد من درجة غليانها .

ملاحظة : يتوقف ضغط بخار السائل على تركيز المواد الصلبة في السائل .

قياس درجة غليان السائل

يتم قياس درجة غليان السائل من خلال قياس درجة حرارة البخار فوق سطح السائل مباشرة وذلك لأن فقاعات البخار داخل السائل تتأثر أيضاً بضغط السائل في نقطة وجود الفقاعة لذلك يجب أن تكون درجة حرارتها مرتفعة قليلاً عن درجة حرارة البخار عند سطح السائل .

التقطير : هي عملية تبخير السائل ثم عودته إلى حالته السائلة بتكثيف بخاره بالتبريد .

ملاحظة: عملية تكثيف الخليط الذي يحتوي على عدة سوائل بعد تبخيره يزيد من تركيز السائل الذي درجة غليانه واطئة .

الحرارة الكامنة للتبخير (خ) : كمية الحرارة اللازمة لتحويل (١غم) من السائل إلى بخار عند درجة غليانه الطبيعية دون أن ترتفع درجة حرارته، ووحداتها (سعة/غم)

أو (جول/كغم) .

ملاحظات :

- كمية الحرارة سميت كامنة لأنها تخزن في السائل وبالتالي فإنها تصرف لأجل التبخر وليس لأجل التسخين.

- تختلف الحرارة الكامنة للتبخر باختلاف درجة الحرارة فهي أكبر في الدرجات الحرارية الواطئة منها في الدرجات العالية، وذلك لأن جزيئات السائل تكون أقل ارتباطاً ببعضها في درجات الحرارة العالية بسبب طاقتها المرتفعة عنها في درجات الحرارة الواطئة وعليه فإن الطاقة اللازمة لفصل الجزيئات تقل بزيادة درجة الحرارة .

- لكل مادة حرارة كامنة للتبخر في درجة حرارية معينة فمثلاً :
خ للماء في نقطة غليانه (١٠٠س) = ٥٤٠ سعرة/غم = ٢٢٦٠ كيلو جول/كغم = ٢٢٦٠ جول/غم = ٢٢٦٠٠٠٠ جول/كغم .

- عند تحول المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية فإنها تكتسب حرارة أما عند تحولها من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة فإنها تفقد حرارة، وتكون الحرارة المكتسبة أو المفقودة مساوية لحاصل ضرب الكتلة في الحرارة الكامنة للتبخر (للتصعيد).

ويمكن حساب كمية الحرارة اللازمة لتبخير السائل وهو في درجة الغليان من العلاقة الرياضية

التالية :

$$\text{حر} = \text{ك} \times \text{خ}$$

مثال :

ما كمية الحرارة اللازمة لتبخير (١٠٠غم) من الماء بدرجة (٥٠س) في درجة غليانه الطبيعية ؟

الحل :

(١) كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الماء إلى (١٠٠س).

$$\text{حر} = \text{ك} \times \text{ن} \times (\text{د} - \text{د}_1)$$

$$= 100 \times 1 \times (50 - 100)$$

$$= 5000 = 50 \times 100 \text{ سعرة}$$

(٢) كمية الحرارة اللازمة لتبخير الماء بدرجة ١٠٠°س

$$\text{حر} = \text{ك} \times \text{خ}$$

$$= 540 \times 100 = 54000 \text{ سعرة}$$

(٣) كمية الحرارة الكلية اللازمة = 54000 + 5000

$$= 59000 \text{ سعرة}$$

رابعاً - التكاثف (أو التكثيف) : هو عملية تحول المادة من حالتها الغازية إلى الحالة السائلة بالتبريد أو الضغط أو كليهما معاً .

درجة حرارة التكاثف : هي تلك الدرجة الحرارية التي تبدأ عندها المادة بالتحول من الحالة الغازية إلى حالة السيولة .

الشروط الواجب توفرها في عملية التكثيف

١- خفض درجة الحرارة إلى حد معين . ٢-زيادة الضغط المسلط على المادة .

درجة الحرارة الحرجة : هي تلك الدرجة الحرارية التي لا يمكن إسالة الغاز عندما تكون حرارته أعلى منها مهما زيد الضغط الواقع عليه .

الضغط الحرج : هو الضغط اللازم لتكثيف الغاز وهو في درجة حرارته الحرجة.

البخار : هو حالة المادة الغازية عندما تكون درجة حرارتها أوطأ من درجة الحرارة الحرجة لتلك المادة .

الغاز : هو حالة المادة الغازية عندما تكون درجة حرارتها أعلى من درجة الحرارة الحرجة لتلك المادة .

التسامي : هو تحول لمادة الصلبة إلى بخار أو غاز من غير أن تمر بحالة السيولة كما في تسامي ثاني أكسيد الكربون والنفثالين واليود .

الفرق بين التبخر والغليان

التبخر	الغليان
١- تبخر بطيء .	١- تبخر سريع .
٢- يحدث في جميع درجات الحرارة.	٢- يحدث في درجة حرارة معينة تدعى (درجة الغليان) .
٣- يشمل سطح السائل فقط .	٣- يشمل جميع أجزاء السائل .
٤- لا يكون مصحوباً بفقاعات .	٤- يكون مصحوباً بفقاعات مملوءة ببخار السائل في جميع أرجاء السائل .

تطبيقات

١- قدور الضغط :

تستعمل قدور الضغط في طهي الطعام بصورة جيدة وسريعة لأن الضغط للإضافي الذي يولده البخار المحصور على سطح السائل يؤدي إلى رفع درجة غليان السائل مما يؤدي إلى اكتساب كمية من الحرارة أكبر مما يجعل في نضج الطعام .

٢- عملية التبريد في الثلاجة الكهربائية :

إن سائل الأمونيا أو الفريون الموجود في الأنابيب المحيطة بالقسم العلوي من داخل الثلاجة عند تبرده يحتاج إلى حرارة يسحبها من جو الثلاجة الداخلي والأطعمة الموجودة فيها ثم يعود ليتكاثف في الأنابيب الموجودة خارج الثلاجة عن طريق الضغط بواسطة الكابسة وكذلك بسبب فقدانه للحرارة إلى المحيط (جو الغرفة) بواسطة شبكة الأنابيب السوداء المشعة للحرارة والموجودة خلف الثلاجة .

مسائل

١- ما مقدار الحرارة اللازمة لصهر (١٠٠غم) من الجليد بدرجة الصفر السيلسيوس ورفع درجة حرارة الماء الناتج إلى (٣٠°س) ؟

الحل :

(١) كمية الحرارة اللازمة لصهر الجليد وهو بدرجة الصفر السيلسيوس

$$\text{حر} = \text{ك} \times \text{ص}$$

$$= ٨٠٠ \times ١٠٠ = ٨٠٠٠ \text{ سعرة}$$

(٢) كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الماء الناتج إلى ٣٠°س

$$\text{حر} = \text{ك} \times \text{ن} \times (٢٤ - ١٤)$$

$$١٠٠ \times ١ \times (٣٠ - \text{صفر})$$

$$= ٣٠ \times ١٠٠ = ٣٠٠٠ \text{ سعرة}$$

(٣) كمية الحرارة الكلية اللازمة = ٨٠٠٠ + ٣٠٠٠

$$= ١١٠٠٠ \text{ سعرة}$$

٢- قطعة من الجليد كتلتها ١٠٠ غم وبدرجة (-٢٠°س) أُمِرَّ عليها ٥٠ غم من بخار الماء بدرجة ١٠٠°س، فكم هي درجة الحرارة النهائية وماذا سيكون تركيب الخليط من غير أن تتسبب حرارة من وإلى المجموعة ؟ .

الحل :

عند انصهار الجليد وارتفاع درجة حرارة الماء الناتج إلى ١٠٠°س فإن كمية الحرارة المكتسبة :

$$\text{حر} = \text{ك} \times \text{ن} \times \Delta + \text{د} \times \text{ك} \times \text{ص} + \text{ك} \times \text{ن} \times \Delta$$

$$= ١٠٠ \times ٤,١٩ \times ١٠٠ + ٣٣٦ \times ١٠٠ + ٢٠ \times ٢,٠٩ \times ١٠٠ =$$

$$= ٤١٨٠ + ٣٣٦٠٠ + ٤١٩٠٠ = ٧٩٦٨٠ \text{ جول}$$

عند تكثف البخار وتحوله إلى ماء فإن كمية الحرارة المفقودة :

$$\text{حر} = \text{ك} \times \text{خ} = ٢٣٦٠ \times ٥٠ = ١١٣٠٠٠ \text{ جول}$$

نستنتج من ذلك أن درجة الحرارة النهائية هي 100° س لأن كمية الحرارة المفقودة أكبر من كمية الحرارة المكتسبة وأن قسماً من البخار فقط سوف يتكاثف .

$$113000 - 79680 = 33320 \text{ جول كمية الحرارة لبخار الماء غير المتكاثف}$$

$$\text{حر} = \text{ك} \times \text{خ} \leftarrow 33320 = \text{ك} \times 2260$$

$$\text{ك} = \frac{33320}{2260} = 14,74 \text{ غم بخار الماء غير المتكاثف بدرجة } 100^\circ \text{ س}$$

٣- ما الحرارة الكامنة لتبخر الماء بدرجة 40° س ؟ .

الحل :

لإيجاد الحرارة الكامنة لتبخر الماء في درجة 40° س نحسب الحرارة اللازمة لتسخين الماء من 40° س إلى 100° س، ثم نحسب الحرارة التي يفقدها البخار الناتج ليبرد إلى 40° س فالنتيجة تمثل الحرارة الكامنة لتبخر الماء في تلك الدرجة

$$\text{حر} = \text{ك} \times \text{ن} \times \Delta + \text{ك} \times \text{خ} + \text{ك} \times \text{ن} \times \Delta$$

$$1 = 2,2 \times (100 - 40) + 1 \times 2260 + 1 \times 2,01 \times (40 - 100)$$

$$= 252 + 2260 - 120,6 = 2391,4 \text{ كيلو جول/كغم الحرارة الكامنة لتبخر الماء بدرجة } 40^\circ \text{ س}$$

٤- كم غراماً من البخار يلزم إمراره في خليط من الماء والجليد بدرجة الصفر سيلسيوس لغرض صهر 80 غم من الجليد فقط ؟

الحل :

$$\text{حر المكتسبة لصهر الجليد} =$$

$$\text{حر المكتسبة لتكثيف البخار} + \text{حر المفقودة لتبريد ماء البخار}$$

$$\text{ك} \times \text{ص} = \text{ك} \times \text{خ} + \text{ك} \times \text{ن} \times \Delta \leftarrow$$

$$80 \times 100 = 336 \times \text{ك} + 2260 \times \text{ك} + 2,2 \times 100 \times \text{ك}$$

$$26880 = 2260 \times \text{ك} + 220 \times \text{ك} \leftarrow$$

$$2688.0 = 268.0 \text{ ك}$$



$$= \text{ك} \quad \frac{2688.0}{268.0} : 10.02 \text{ غم}$$

$$= 0.01 \text{ كغم كتلة البخار}$$

٥- ما كمية الحرارة التي يحررها ٢٠غم من البخار عندما يتكاثف في درجة الغليان الطبيعية ؟

الحل :

$$\text{حر} = \text{ك} \times \text{خ} = 20 \times 2260 = 45200 \text{ جول}$$

$$= 45.2 \text{ كيلو جول كمية الحرارة المتحررة}$$

٦- مسعر نحاسي كتلته ٨٠ غم يحتوي ٣٩٥ غم ماء بدرجة ٥° س، أمرر به بخار ماء في درجة ١٠٠° س فأصبحت

درجة حرارة المزيج ٣٥° س وكانت كتلة المسعر ومحتوياته ٤٩٥ غم، أحسب الحرارة الكامنة لتبخر الماء. (السعة

الحرارية النوعية للنحاس = ٠.٤٢ كيلو جول/كغم° س).

الحل :

$$\text{ن للنحاس} = 0.42 \text{ كيلو جول/كغم}^\circ \text{س} = 0.42 \text{ جول/غم}^\circ \text{س}.$$

$$495 - (80 + 395) = 20 \text{ غم كتلة بخار الماء}$$

$$\text{حر المكتسبة للمسعر} + \text{حر المكتسبة للماء} =$$

$$\text{حر المفقودة لتكاثف البخار} + \text{حر المفقودة لتبريد ماء البخار}$$

$$(ك \times \text{ن} \times \Delta \text{مسعر}) + (ك \times \text{ن} \times \Delta \text{ماء}) = ك \times \text{خ} + (ك \times \text{ن} \times \Delta \text{ماء البخار})$$

$$80 \times 0.42 \times (50 - 35) + 395 \times 4.2 \times (50 - 35) = 20 \times \text{خ} + 20 \times 4.2 \times (100 - 35)$$



$$1008 + 49770 = 20 \times \text{خ} + 5460$$



$$20 \times \text{خ} = 50778 - 5460$$

$$20 \times \text{خ} = 45318$$

$$خ = \frac{٤٥٣١٨}{٢٠} = ٢٢٦٥,٩ \text{ جول/غم} = ٢٢٦٥,٩ \text{ كيلو جول/كغم}.$$

٧- ما كمية الحرارة اللازمة لتحويل ٢٠ غم جليد الذي هو في درجة (-١٠° س) إلى بخار في درجة (١٢٠° س) ؟ .

الحل :

١- الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الجليد إلى صفراً س

$$\text{حر} = ك \times ن \times \Delta = ٢٠ \times ٢,٠٩ \times ٢٠ = ٨٣٦ \text{ جول}$$

٢- الحرارة اللازمة لصهر الجليد بدرجة صفراً س

$$\text{حر} = ك \times ص = ٢٠ \times ٣٣٦ = ٦٧٢٠ \text{ جول}$$

٣- الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الماء المنصهر إلى ١٠٠° س

$$\text{حر} = ك \times ن \times \Delta = ٢٠ \times ٤,٢ \times ١٠٠ = ٨٤٠٠ \text{ جول}$$

٤- الحرارة اللازمة لتبخير الماء بدرجة ١٠٠° س

$$\text{حر} = ك \times خ = ٢٠ \times ٢٢٦٠ = ٤٥٢٠٠ \text{ جول}$$

٥- الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة البخار إلى ١٢٠° س

$$\text{حر} = ك \times ن \times \Delta = ٢٠ \times ٢,٠١ \times ٢٠ = ٨٠٤ \text{ جول}$$

$$\text{الحرارة الكلية اللازمة} = ٨٣٦ + ٦٧٢٠ + ٨٤٠٠ + ٤٥٢٠٠ + ٨٠٤ =$$

$$= ٦١٩٦٠ \text{ جول} = ٦١,٩٦ \text{ كيلو جول}$$

٨- خليط من ماء وجليد في توازن حراري بدرجة صفر سيلسيوس كتلته ٢٠٠ غم موضوع في مسعر كتلته ١٠٠

غم وسعته الحرارية النوعية ٠,٨٤ كيلو جول/كغم° س فإذا أضيف إلى الخليط ٤٠ غم بخار الماء بدرجة ١٠٠°

س وأصبحت درجة الحرارة النهائية للمسعر وما فيه ٦٠° س، فكم كانت كتلة الجليد قبل إضافة البخار ؟ .

الحل :

نفرض كتلة الجليد = ك ← كتلة الماء = ٢٠٠ - ك

الحرارة المكتسبة لصهر الجليد ← حر = ك × ص

$$= ٣٣٦ \times ك = ٣٣٦ \text{ ك جول/غم}$$

الحرارة المكتسبة لماء الجليد ليصل لدرجة الاتزان

$$\text{حر} = \text{ك} \times \text{ن} \times \Delta \quad \leftarrow \text{ك} \times ٤,٢ \times (٦٠ - \text{صفر}) \times ٤,٢ \times (٦٠ - \text{صفر})$$

$$\text{الحرارة المكتسبة للماء} \quad \leftarrow \text{حر} = \text{ك} \times \text{ن} \times \Delta$$

$$= (٢٠٠ - \text{ك}) \times ٤,٢ \times (٦٠ - \text{صفر})$$

$$= (٢٠٠ - \text{ك}) \times ٢٥٢ = ٢٥٢ \times ٥٠٤٠٠ - ٢٥٢ \text{ ك جول/غم}$$

$$\text{الحرارة المكتسبة للمسعر} \quad \leftarrow \text{حر} = \text{ك} \times \text{ن} \times \Delta$$

$$= ١٠٠ \times ٠,٨٤ \times (٦٠ - \text{صفر}) = ٥٠٤٠ \text{ جول}$$

الحرارة المفقودة لتكاثف البخار

$$\text{حر} = \text{ك} \times \text{خ} = ٢٢٦٠ \times ٤٠ = ٩٠٤٠٠ \text{ جول}$$

الحرارة المفقودة لماء البخار ليصل لدرجة الاتزان

$$\text{حر} = \text{ك} \times \text{ن} \times \Delta = ٤٠ \times ٤,٢ \times (٦٠ - ١٠٠) = ٦٧٦٠ \text{ جول}$$

حر المكتسبة = حر المفقودة

$$٣٣٦ \text{ ك} + ٢٥٢ \text{ ك} + ٥٠٤٠٠ - ٢٥٢ = ٩٠٤٠٠ + ٦٧٦٠$$

$$٩٧١٦٠ = ٥٥٤٤٠ + ٣٣٦ \text{ ك} \quad \leftarrow ٣٣٦ \text{ ك} = ٤١٧٢٠$$

$$\text{ك} = \frac{٤١٧٢٠}{١٢٤,٦٦ \frac{٣٣٦}{٣٣٦}} = ٠,١٢٤ \text{ كغم كتلة الجليد}$$

٩- مسعر من الألمنيوم كتلته ٥٠ غم وسعته الحرارية النوعية ٠,٩ كيلو جول/كغم[°] س يحتوي على خليط من

١٥٠ غم من الماء و٣٠ غم من الجليد في توازن حراري بدرجة صفر سيلسيوس، أَمَر في المسعر بخار ماء بدرجة

١٠٠° س فتكثف ٩ غم من البخار، ما هي الدرجة النهائية للخليط ؟

الحل :

الحرارة المكتسبة للمسعر

$$\text{حر} = \text{ك} \times \text{ن} \times \Delta = ٥٠ \times ٠,٩ \times (٥٠ - \text{صفر}) = ٤٥٠ \text{ د جول/س}$$

الحرارة المكتسبة للماء

$$\text{حر} = \text{ك} \times \text{ن} \times \Delta = ١٥٠ \times ٤,٢ \times (٥٠ - \text{صفر}) = ٦٣٠٠ \text{ د جول/س}$$

الحرارة المكتسبة لصهر الجليد

$$\text{حر} = \text{ك} \times \text{ص} = 336 \times 30 = 10080 \text{ جول}$$

الحرارة المكتسبة لرفع درجة حرارة ماء الجليد إلى درجة الاتزان

$$\text{حر} = \text{ك} \times \text{ن} \times \Delta = 4,2 \times 30 \times (126 - 0) = 15876 \text{ جول}$$

الحرارة المفقودة عند تكاثف البخار

$$\text{حر} = \text{ك} \times \text{خ} = 2260 \times 9 = 20340 \text{ جول}$$

الحرارة المفقودة لتبريد ماء البخار إلى درجة الاتزان

$$\text{حر} = \text{ك} \times \text{ن} \times \Delta = 4,2 \times 9 \times (100 - 37,8) = 2378,8 \text{ جول}$$

حر المكتسبة = حر المفقودة

$$\leftarrow 15876 + 10080 + 20340 = 46296 \text{ جول}$$

$$46296 = 838,8 \text{ د}$$

$$\frac{46296}{838,8} = 55,2 \text{ د}$$

١٠٠ د الدرجة النهائية للخليط .

الفصل الحادي عشر

خصائص حرارية للمادة

الفصل الحادي عشر

خصائص حرارية المادة

طرق انتقال الحرارة:

الحرارة نوع من الطاقة تنتقل من جسم إلى آخر ويتم انتقال الحرارة من المصدر إلى الأجسام المجاورة بأحد الطرق التالية:

أولاً : انتقال الحرارة بالتوصيل :

وهو انتقال الحرارة في الجسم من الطرف الساخن إلى الطرف الأقل سخونة من غير أن يحصل انتقال جزيئات ذلك الجسم .

١- تفسير انتقال الحرارة بالتوصيل

إن حركة الجزيئات في جميع المواد الصلبة هي حركة موضعية ولذلك فإن الحرارة تنتقل فيها بالتوصيل، ولكن تتفاوت الطاقة الحرارية المنقولة من مادة إلى أخرى، وتعتبر الفلزات أجود المواد الصلبة نقلاً للطاقة الحرارية بالتوصيل، وسبب ذلك هو عامل غير آخر غير الحركة التذبذبية إذ أن الإلكترونات الحرة الموجودة في المواد الموصلة للكهرباء تساهم في انتقال الحرارة حيث تزيد من قدرتها على التوصيل الحراري، وأفضل الفلزات الناقلة للكهرباء والطاقة الحرارية بالترتيب هي : الفضة، النحاس، الألمنيوم .

ملاحظة: تعتبر طريقة التوصيل لانتقال الحرارة جيدة بالنسبة للأجسام الصلبة وريئة بالنسبة للسوائل والغازات .

اختلاف قابلية المواد في توصيلها للحرارة

تجربة :

نأخذ قضيبين أحدهما من النحاس والآخر من الحديد ونثبت عليها كرات من الشمع وعلى أبعاد متساوية ثم نضع طرفي القضيبين متقاربين ونسخنهما، بحيث تصل الحرارة بالتساوي، نلاحظ تساقط كرات الشمع على قضيب النحاس قبل الكرات المثبتة على قضيب الحديد.

ولو أخذنا أنبوبة اختبار ووضعنا فيها ماء وقطعة من الجليد المثلث بمشبك لكي يبقى الجليد في قعر الأنبوب ثم نسخن الجزء العلوي للأنبوبة فنشاهد أن الماء يبدأ بالغليان بعد فترة من غير أن تنصهر قطعة الجليد مما يدل على أن الماء رديء التوصيل للحرارة .

أما الهواء فهو من المواد العازلة للحرارة، لذلك فإن الملابس الصوفية والملابس ذات الوبر والفراء والتي يتخللها الهواء في فجوات نسيجها تعد من الملابس التي تقينا برد الشتاء لأنها عازلة جيدة للحرارة وكذلك المواد الغازية تعتبر رديئة التوصيل للحرارة .

نستنتج من ذلك أن قابلية المواد تختلف في توصيلها للحرارة، وأن مقدار الطاقة الحرارية (ط ح) المنقولة بالتوصيل تعتمد على :

- ١- **طول القضيب (ل):** إذ أن الطاقة الحرارية (ط ح) تتناسب تناسباً عكسياً مع الطول (ل) .
- ٢- **مساحة مقطع القضيب (م):** تتناسب الطاقة الحرارية (ط ح) تناسباً طردياً مع (م) .
- ٣- **الزمن (ز):** تتناسب الطاقة الحرارية (ط ح) تناسباً طردياً مع الزمن (ز) .
- ٤- **الفرق في درجة الحرارة (Δ د):** تتناسب الطاقة الحرارية (ط ح) تناسباً طردياً مع (Δ د) .
- ٥- **نوع المادة التي يتكون منها القضيب:** حيث يتغير مقدار الطاقة الحرارية (ط ح) بتغير نوع المادة إذ أن لكل مادة معامل توصيل خاص بها (K ح)، أي أن :

$$\frac{Q_{(K, \Delta d, L)}}{L} = (ط ح)$$

حيث م : مساحة المقطع (م٢) .

ز : الزمن (ث) .

Δ د : الفرق في درجة الحرارة (س) .

ل : الطول (م) .

(K) : معامل التوصيل الحراري (واط . م^{-١} . س^{-١}) .

وتعرف هذه العلاقة بقانون التوصيل الحراري، الذي ينص على :

" يتناسب مقدار الطاقة الحرارية المنقولة بالتوصيل خلال جسم صلب، عكسياً مع طوله، وطردياً مع كل من مساحة مقطعه، والفرق في درجة الحرارة بين طرفيه، والزمن الذي تم فيه انتقال الحرارة " .

معامل التوصيل الحراري (K): هو مقدار الطاقة الحرارية التي تنفذ عمودياً بالتوصيل في الثانية الواحدة عبر جزء من المادة، مساحته متر مربع واحد، وسمكه متر مربع واحد، والفرق في درجة الحرارة بين وجهيه المتقابلين درجة سلسيوس واحدة .

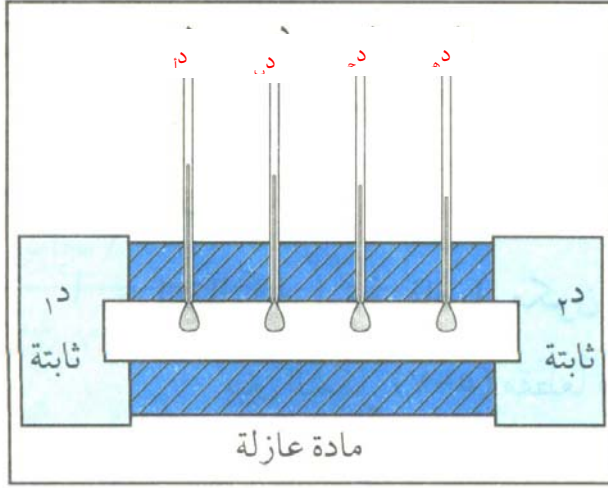
ملاحظة : يزداد معامل التوصيل الحراري للفلزات بانخفاض درجة الحرارة، وتتعاظم هذه الزيادة كلما اقتربنا من درجة الصفر المطلق .

٢- الممال الحراري

تجربة :

لو أخذنا قضيب فلزي ووصلناه بين مصدرين حراريين (كما في الشكل) لهما درجتا حرارة ثابتتان (د_١، د_٢) بحيث تكون (د_١ < د_٢) ووضعنا فوقه أربعة محارير على أبعاد متساوية لتعيين درجات الحرارة بعد أن تثبت، فسنلاحظ أن الحرارة تنتقل في القضيب الفلزي من (د_١) إلى (د_٢)، وبالاستعانة بقراءات المحارير بعد إبعادها عن الطرف الساخن (د_١) نلاحظ أن درجة الحرارة (د) تتغير مع البعد (ل) حيث تكون د_١ < د_٢ < د_٣ < د_٤ وتسمى النسبة بين تغير درجة الحرارة مع طول القضيب الفلزي **الممال الحراري** وتوضح بالعلاقة التالية :

$$\text{الممال الحراري} = \frac{\Delta d}{\Delta l}$$



وبما أن درجة الحرارة تتناقص من د_١ إلى د_٢ فهذا يعني أن الممال سالب.

الممال الحراري : هو التغير في درجة حرارة الموصل لكل مت من طوله عندما تنتقل فيه الحرارة عمودياً على مساحة مقطعه العرضي، ووحداته (°س/م)

مثال :

وعاء فلزي فيه ماء درجة حرارته ٩٠°س ودرجة حرارة السطح الخارجي للوعاء ٦٠°س، سمك مادة

الوعاء ١,٥ مم، جد الممال الحراري .

الحل :

الممال الحراري =

$$= \frac{90 - 60}{1.5 \times 10^{-3}} \text{ °س/م}$$

تطبيقات

أولاً- انتقال الحرارة في فاصل مكون من عدة طبقات :

كما في الثيرموس (الحافظ الحراري) الذي يتكون من طبقتين، الطبقة الداخلية

من البلاستيك والخارجية من البولسترين، وتعملان معاً على حفظ حرارة السائل وتقلل من نسرب الحرارة بمرور الزمن، وقد يكون الجدار في حالات كثيرة مزدوجاً أو مكوناً من ثلاث طبقات وفي هذه الحالة يتم انتقال الحرارة فيها بالتوصيل .
ويمكن حساب كمية الحرارة التي تنفذ في فترة زمنية محددة من العلاقة التالية :

$$\Phi = \frac{K \cdot \Delta T \cdot A}{L} = \frac{\Delta T \cdot A}{\frac{L}{K}} = \frac{\Delta T \cdot A}{R}$$

حيث Φ : المعدل الزمني لانتقال الحرارة بالتوصيل .

معدل انتقال الحرارة بالتوصيل (Φ) : هو مقدار الطاقة الحرارية التي تنفذ من سطح معين في الثانية الواحدة، ووحدتها ال واط .

فإذا كان الجدار مزدوجاً فإن (Φ) التي تنفذ من الطبقة الأولى ستنفذ أيضاً من الطبقة الثانية وهكذا وفي هذه الحالة يكون النظام قد وصل إلى حالة الثبات الحراري .

العزل الحراري في البناء :

العزل الحراري في البناء هو تقليل مقدار الطاقة الحرارية التي ستنقل عبر البناء وذلك بإضافة مواد إلى البناء تقاوم انتقال الحرارة وتسربها خلال الجدران، ويوفر العزل الحراري الراحة للأشخاص إذ أن الإنسان يكون في وضع مريح في درجة حرارة تقريباً (٢٠ س)، كما يقلل من النفقات التي تصرف على التدفئة أو التبريد، ولبعض المواد المستعملة في العزل الحراري خصائص أخرى بالإضافة إلى ما ذكر فبعضها يمتص الصوت، وبعضها يمنع تسرب الماء وغيرها ذو خصائص جمالية .

وتصنف المواد العازلة للحرارة من حيث **طبيعتها** إلى :

- ١- المواد الطبيعية : منها الصوف، اللباد، الخشب والفلين .
- ٢- المواد الصناعية اللدنة (البلاستيكية) : منها البوليسترين، البولي يورثان .
- ٣- المواد الصناعية المعدنية : منها الصوف الصخري، الصوف الزجاجي .

كما تصنف المواد العازلة من حيث **شكلها** إلى :

- ١- ألواح وصفائح ذات سمك منتظم وأبعاد مختلفة مثل ألواح البوليسترين التي تستعمل في غطاء الجدران والسقوف .
- ٢- لفات مثل بطانيات الصوف الزجاجي التي تلف حول أنابيب التدفئة .
- ٣- حبيبات تخلط مع مواد أخرى في القسارة الداخلية أو مدة الميلان، وأحياناً تدخل في صناعة الطابوق العازل للحرارة .

ثانياً- انتقال الحرارة بالحمل :

وهو انتقال الحرارة وانتشارها في الموائع (السوائل والغازات) أثناء تحرك جزيئات المائع التي اكتسبت الحرارة بتأثير فرق درجات الحرارة .

ملاحظة : تعتبر طريقة الحمل لانتقال الحرارة جيدة بالنسبة للسوائل والغازات وريئة بالنسبة للأجسام الصلبة .

انتقال الحرارة وانتشارها في الموائع

إن حركة جزيئات السوائل والغازات هي حركة انتقالية، وإن الطاقة الحرارية تزيد من سرعة الحركة الانتقالية للجزيئات وتؤدي إلى كبر المسافات البينية فيما بينها وتقل كثافتها فترتفع إلى الأعلى ناقلية الحرارة لتحل محلها الجزيئات الأكثر كثافة مولدة ما يعرف بتيارات الحمل أو الحمل الحراري .

أنواع الحمل الحراري

أ- حمل حراري طبيعي : ويحدث عند اختلاف درجة الحرارة بين منطقتين من المائع ينتج عنه حركة للمائع بحيث تتحرك الأجزاء ذات الكثافة المنخفضة إلى الأعلى بينما تهبط أجزاء المائع ذات الكثافة المرتفعة إلى الأسفل وبذلك تنتقل الطاقة الحرارية من المائع .

ب- حمل حراري قسري : وهو الذي تنتقل فيه الطاقة الحرارية بسبب حركة المائع باستعمال جهاز ميكانيكي يحدث فرقاً في الضغط خلال المائع، مثل المضخة التي تدفع

الماء والمروحة التي تحرك الهواء .

العوامل المؤثرة في معدل الطاقة المنقولة بالحمل الحراري

يعتمد معدل الطاقة المنقولة بالحمل الحراري (Φ) على العوامل التالية :

١- الفرق في درجة الحرارة (Δ د) بين المنطقة التي تنتقل منها الحرارة والمنطقة التي تنتقل إليها الطاقة الحرارية .

٢- الخصائص الفيزيائية للمائع : مثل :

أ- الكثافة .

ب- اللزوجة .

ج- الحرارة النوعية .

د- معامل التوصيل الحراري .

هـ- الحرارة الكامنة للانصهار .

و- الحرارة الكامنة للتصعيد .

ي- شكل الجسم الصلب الملامس للمائع الناقل للحرارة (مستوي أم عمودي أسطواني أم مضلع خشن أم أملس).

٣- نوع حركة المائع :

أ- حركة انسيابية هادئة .

ب- حركة عنيفة مضطربة .

٤- المساحة المشتركة بين السطح الصلب والمائع التي يتم فيها التبادل الحراري (م).

ويعبر عن معدل الطاقة المنقولة بالحمل الحراري بالعلاقة التالية :

$$\Phi = K \cdot \Delta \cdot d$$

حيث K : معامل الحمل الحراري (معامل انتقال الحرارة بالحمل) وتعتمد قيمته على العوامل (٢،

٣، ٤).

ووحده واط/م^٢ س .

معامل الحمل الحراري : هو كمية الطاقة الحرارية المنقولة عبر سطح مساحته (١) م^٢ بتأثير فرق في درجة الحرارة مقداره درجة سيلسيوس واحدة .

مثال :

ما معدل انتقال الحرارة بالحمل بين سطح مساحته (٤٠) م^٢ والهواء إذا كانت درجة حرارة السطح (٤٥ س) ومعدل درجة حرارة الهواء (٢٠ س)، ومتوسط معامل انتقال الحرارة بالحمل بين السطح المذكور والهواء (١٠) واط/م^٢س .

الحل :

$$\phi = K \times m \times \Delta$$

$$= 10 \text{ واط م}^2 \text{ س}^{-1} \times 40 \text{ م}^2 \times (20 - 45) \text{ س}$$



$$\phi = 10000 \text{ واط}$$

ثالثاً : انتقال الحرارة بالإشعاع :

وهو انتقال الحرارة عبر الفراغ أو من خلال بعض الأوساط المادية من غير أن ترتفع درجة حرارة ذلك الوسط .

ويتميز الانتقال بالإشعاع بما يلي :

- ١ - ينتقل بسرعة كبيرة جداً .
- ٢ - ينتقل بخطوط مستقيمة .
- ٣ - يمكن أن تنعكس على السطوح الصقيلة .

الامتصاص الحراري

إن مقدار الطاقة الحرارية الممتصة يختلف من مادة إلى أخرى بمعنى أن لكل مادة معامل امتصاص إشعاع حراري خاصاً بها، ويمكن حساب معامل الامتصاص الإشعاعي الحراري (E) من العلاقة التالية :

الطاقة التي يمتصها الجسم

الطاقة الكلية الساقطة على الجسم

معامل الامتصاص الإشعاعي (E) =

العوامل المؤثرة في الطاقة الإشعاعية الممتصة

تعتمد الطاقة الإشعاعية الممتصة على عوامل عديدة منها :

- ١- طول موجة الإشعاع الساقط: تزداد الطاقة الممتصة بزيادة طول موجة الإشعاع الساقط .
- ٢- نوع المادة التي يسقط عليها الإشعاع: يختلف مقدار الطاقة الممتصة باختلاف نوع المادة (أي أن امتصاص الجسم للإشعاع يعتمد على الخصائص الفيزيائية له) .
- ٣- طبيعة السطح المعرض للإشعاع: السطوح الصقيلة رديئة الامتصاص للطاقة والسطوح الخشنة جيدة الامتصاص .
- ٤- اللون: المواد ذات اللون الأبيض والألوان الفاتحة تكون رديئة الامتصاص للطاقة والألوان السوداء أو الغامقة تكون جيدة الامتصاص .
- ٥- سمك الطبقة الملونة في السطح (إذا كان السطح مطلي): يتفاوت مقدار الطاقة الإشعاعية الممتصة بتفاوت سمك طبقة الطلاء .

مثال :

ما مقدار معامل الامتصاص الحراري لجسم تسقط عليه الطاقة الشمسية بمعدل (٣٥) واط يمتص منها (٢٠) واط ويعكس الباقي ؟ .

الحل :

$$\text{معامل الامتصاص الحراري (C)} = \frac{\text{الطاقة الممتصة}}{\text{الطاقة الساقطة}}$$

$$C = \frac{20}{35} = 0,571$$

الجسم الأسود

هو الجسم الذي يمتص جميع الطاقة الإشعاعية الساقطة عليه، وقد افترض أن معامل امتصاص الجسم الأسود (١)، وهو غير موجود فعلاً، ولكنه يمثل بفجوة ذات ثقب صغير تدخل من خلاله الطاقة الإشعاعية فيمتص الجسم الأسود جزءاً منها ويعكس

الجزء الباقي من مناطق كثيرة في الفجوة وفي كل انعكاس للطاقة يحدث امتصاص حتى تمتص الفجوة جميع الطاقة الساقطة عليه .

فعندما يسقط الضوء الأبيض المكون من ألوان الطيف على جسم أحمر فهذا يعني أن الجسم يعكس اللون الأحمر فقط ويمتص الألوان الستة الباقية، وهذا يحدث في الطيف الكهرومغناطيسي. وإذا بدا الجسم باللون الأبيض فذلك يعني أن الجسم يعكس جميع ألوان الطيف المرئي بشكل متوازن .

الإشعاع الحراري

إن كل جسم تكون درجة حرارته فوق درجة صفر كلفن يعطي طاقة إشعاعية في منطقة أو أكثر من مناطق الطيف الكهرومغناطيسي وتختلف هذه الطاقة في درجة حرارتها وتزداد بشكل كبير بازدياد درجة الحرارة .

وتكون الأجسام جيدة الإشعاع للحرارة، وهي أكثر سخونة من المحيط ويزداد المعدل الزمني للإشعاع بزيادة الفرق بين درجتي حرارة الجسم والمحيط.

ملاحظة: الأجسام الجيدة الامتصاص للحرارة تكون جيدة الإشعاع لها .

تطبيقات

تسخين الماء باستخدام الطاقة الشمسية

يتم تسخين الماء باستخدام الطاقة الشمسية بواسطة جهاز يتألف من صفيحة متعرجة يثبت فوقها أنابيب نحاسية جيدة التوصيل للحرارة مطلية باللون الأسود والجيد الامتصاص للحرارة وتغطي من الأعلى بطبقة رقيقة من الزجاج وتعزل حرارياً من الأسفل والجوانب وتثبت باتجاه معين بالنسبة للشمس وبزاوية ميل معينة، فعندما تسقط الأشعة الشمسية على الصفيحة والأنابيب يسخن الماء الذي بداخلها فتقل كثافته فيرتفع إلى الأعلى ويتجه نحو خزان الماء الساخن ليندفع محله الماء البارد وليسخن بطريقة الحمل .

ملاحظة:

يمكن استخدام الخلايا الشمسية في تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية .

الانبعاث الطيفي

وهو الطاقة الصادرة عن مساحة (١) م^٢ من الجسم المشع في الثانية الواحدة والمحصورة في طول موجي مقداره نانومتر واحد .

خصائص الانبعاث الطيفي

يمكن تحديد خصائص الانبعاث الطيفي وكما موضح بالشكل بالنقاط التالية :

١- في الأطوال الموجية الأقل من (١٠٠٠) نـم فإن الانبعاث الطيفي يساوي صفر، أي أن الجسم لا يرسل

طاقة إشعاعية على موجات أقل من (١٠٠٠) نـم، وتسمى الموجه (١٠٠٠) نـم موجة القطع .

٢- إن قيمة الانبعاث الطيفي تتزايد بشكل سريع حتى يبلغ القيمة العظمى له عند الطول الموجي

(٣٧٥٠) نـم، وتسمى الموجه (٣٧٥٠) نـم موجة الذروة .

٣- تتناقص قيمة الانبعاث الطيفي بعد القيمة العظمى حتى تقترب من الصفر بعد الطول الموجي

(١٢٠٠٠) نـم .

٤- إن معدل انبعاث الطاقة في حزمة موجية من الطيف يساوي المساحة المحصورة بين أطول موجة واقصر

موجة في الحزمة الموجية (تحت المنحنى في الشكل) .

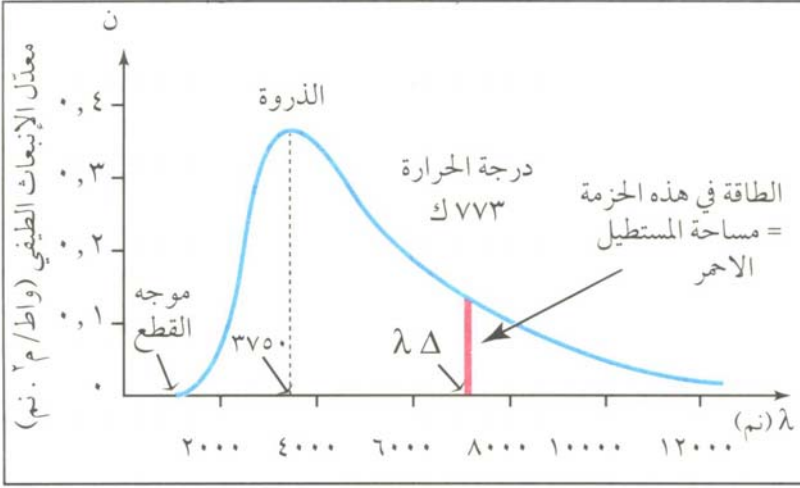
أي أن :

$$\Phi_{\text{نـم}} = \Delta \lambda \times \text{م}$$

حيث ن : معدل الانبعاث الطيفي من سطح مساحته (١) م^٢ من الجسم لكل نانومتر . (واط م^{-٢} نـم^{-١})

$$\Delta \lambda = \lambda_1 - \lambda_2 \text{ عرض الحزمة الموجية (نـم) .}$$

$\Phi_{\text{نـم}}$: معدل انبعاث الطاقة (واط) .



قانون فين للإزاحة

يبين قانون فين للإزاحة العلاقة بين درجة الحرارة بوحدة كلفن، وطول الموجة التي يكون الانبعاث

الطيفي عندها أكبر ما يمكن (λ_s)، وقد توصل العالم الألماني فين إلى العلاقة التالية :

$$\lambda_s K = \text{ث}$$

حيث أن:

λ_s : طول الموجة التي يكون الانبعاث عندها أكبر ما يمكن (الذروة) .

K : درجة الحرارة بوحدة كلفن .

ث : ثابت فين = $2,897 \times 10^{-3}$ م ك أو $2,897 \times 10^{-3}$ م ك

فوضع القانون الذي سمي بقانون فين للإزاحة ونصه :

" يتناسب طول الموجة التي لها أكبر انبعاث طيفي عكسياً مع درجة الحرارة بوحدة كلفن " .

مثال تطبيقي

إذا كان الانبعاث الطيفي في نهايته العظمى عند الطول الموجي (1450) نم لإشعاع

منطلق من فرن لصهر المعادن، فما درجة حرارة الفرن ؟ .

الحل :

$$\lambda_K = \theta$$

$$1450 \text{ nm} \times K = 2,897 \times 10^{-6}$$

$$K = 1998$$

قانون ستيفان - بولتزمان

توصل العالم النمساوي ستيفان إلى حساب الطاقة الإشعاعية الكلية المنبعثة من جسم بالعلاقة

التالية :

$$P = \sigma \epsilon K^4$$

حيث σ : ثابت ستيفان - بولتزمان ($\sigma = 5,667 \times 10^{-8} \text{ واط / م}^2 \text{ ك}^4$)

ϵ : معامل الإشعاع الحراري .

K : درجة حرارة الجسم بوحدة كلفن .

ϵ : مساحة سطح الجسم .

فإذا اعتبرنا أن معامل الإشعاع الحراري (ϵ) للجسم الأسود يساوي (1) فإن معدل الطاقة الإشعاعية

الصادرة عن الجسم في الثانية الواحدة ومن وحدة المساحة هي:

$$\phi_K = \frac{P}{\Delta z}, \quad z = 1 \text{ ث}, \quad \epsilon = 1, \quad m = 1 \text{ م}$$

$$\phi_K = \sigma K^4$$

وتسمى ϕ_K القدرة الإشعاعية .

وينص قانون ستيفان - بولتزمان على ما يلي :

" إن معدل الطاقة الإشعاعية الصادرة عن جسم تتناسب طردياً مع القوة الرابعة لدرجة حرارته مقاسة بالكلفن . "

فإذا فرضنا أن درجة حرارة الجسم الأسود K_1 ، والوسط المحيط به K_2 ، فإن الجسم (بصورة عامة) يشع

طاقة بمعدل (σK_1^4) ويمتص طاقة بمعدل (σK_2^4)

فإذا كان :

أ - $\epsilon_K < \epsilon_W$ فإن :

$$\text{معدل الطاقة المنبعثة } \Phi_{ش} = \frac{\Delta \epsilon_{ط}}{\Delta \epsilon_{ز} - \epsilon_{و}} =$$

ب- $\epsilon_K < \epsilon_W$ فإن :

$$\text{معدل الطاقة الممتصة } \Phi_{م} = \frac{\Delta \epsilon_{ط}}{\Delta \epsilon_{ز} - \epsilon_{و}} =$$

ج- في حالة الجسم العادي، فإن الجسم لا يمتص جميع الطاقة الإشعاعية الساقطة عليه بل يمتص جزءاً منها أي أن $(\epsilon > 1)$.

أُسئلة

س١ : اذكر الطريقة أو الطرق التي تنتقل فيها الحرارة في كل مما يأتي :

أ-انتقال الحرارة إلى جسمنا عند جلوسنا أمام مدفأة .

ب-تسخين سائل .

ج-تسخين جو الغرفة بوضع مدفأة فيها .

د-تسخين سلك معدني .

هـ-وصول الحرارة من الشمس إلى الأرض .

س٢ : هل يجب أن يكون انتقال الحرارة بالإشعاع من خلال وسط مادي ؟ وضح ذلك .

س٣ : لماذا يكون قسم التجميد في الثلاجة في مكان مرتفع ؟ وماذا يحصل لو جعل في مكان منخفض منها ؟ .

س٤ : ما المقصود بامتصاص الحرارة ؟ وما تأثير لون الجسم في عملية امتصاصه للحرارة ؟ .

س٥ : لو عزلنا جسمًا ساخنًا في الفراغ فهل يبرد ؟ ولماذا ؟ .

س٦ : لو أردت التخفيف من شدة حرارة الشمس الداخلة للبيت عبر النوافذ صيفاً بوضع قماش يغطي

الشبابيك من الخارج فأني لون تختار ولماذا ؟ .

س٧ : اختر الجواب الصحيح في كل مما يأتي :

١-يستخدم الثرموستات في الأجهزة الكهربائية لغرض :

(أ) خفض درجة الحرارة .

(ب) ضبط درجة الحرارة .

(ج) رفع درجة الحرارة .

٢-إذا لمست الملعقة المعدنية الموضوعة في قرح الشاي الساخن فإن الحرارة تنتقل إلى يدك بواسطة :

(أ) الحمل .

(ب) الإشعاع .

(ج) التوصيل .

٣- تكون السطوح الخشنة :

(أ) جيدة الامتصاص للحرارة وعالية الانعكاسية .

(ب) جيدة الامتصاص للحرارة ورديئة الانعكاسية .

(ج) رديئة الامتصاص للحرارة ورديئة الانعكاسية .

٤- إن عملية انتقال الحرارة من خلال بعض الأوساط المادية من غير أن ترتفع درجة حرارة ذلك الوسط تسمى :

(أ) التوصيل .

(ب) الحمل .

(ج) الإشعاع .

الأجوبة

ج ١ : أ-طريقة الإشعاع .

ب-طريقة الحمل .

ج-طريقة الحمل .

د-طريقة التوصيل .

هـ-طريقة الإشعاع .

ج ٢ : كلا حيث لا يشترط انتقال الحرارة بالإشعاع وجود وسط مادي، إذ يمكن أن تنتقل في الفراغ، حيث أن وصول الحرارة من الشمس إلى الأرض دليل على ذلك .

ج ٣ : لكي يتمكن الهواء الساخن الموجود داخل الثلاجة القليل الكثافة من أن يرتفع نحو الأعلى ليحل محله الهواء البارد الأكثر كثافة، مما يولد تيار حمل داخل الثلاجة تعمل على تبريدها جميعاً، أما إذا وضع في القسم الأسفل فإن الحرارة سوف تنتقل بالتوصيل، وهي طريقة رديئة للغازات .

ج ٤ : امتصاص الحرارة هو اكتساب الجسم الطاقة الساقطة عليه، وأن الألوان الغامقة للجسام تجعلها جيدة الامتصاص للحرارة على عكس الألوان الفاتحة التي تجعل الأجسام رديئة الامتصاص للحرارة .

ج ٥ : نعم يبرد بفعل انتقال الحرارة بطريقة الإشعاع .

ج ٦ : اللون الأبيض لأنه رديء التوصيل للحرارة، وجيد الإشعاع لها .

ج ٧ : ١-(ب) .

٢-(ج) .

٣-(ب) .

٤-(ج) .

الفصل الثاني عشر

الضوء

الفصل الثاني عشر

الضوء

الضوء :

هو الطاقة التي تؤثر في العين وتحدث الإبصار، وقد قام العالم العربي الحسن بن الهيثم بدراسات عديدة في مجال الضوء ففسر ظاهرة الإبصار والنتيجة من انعكاس الضوء من الجسم المرئي وقد سمى الأجسام التي تصدر ضوءاً بذاتها كالشمس والشمعة **أجساماً مضيئة** أما الأجسام التي تعكس الضوء الساقط عليها كالقمر والأشجار وغيرها اسم **الأجسام المستضيئة**، ووضع قانوني الانعكاس وأثبتهما تجريبياً، كما وضع قانوني الانكسار وأثبتهما تجريبياً وله دراسات في المرايا والعدسات وتكوين الضوء فيهما، إلى جانب إثباته بأن الضوء يسير بخطوط مستقيمة .

مصادر الضوء

مصادر الضوء على نوعين هما :

١-المصادر الأساسية : وهي المصادر التي ينبعث منها الضوء مباشرة كالشمس والمصابيح الكهربائية (الأجسام المضيئة) .

٢-المصادر الثانوية : وهي المصادر التي تعكس الضوء الساقط عليها فتظهر مضيئة كالقمر والمرآة (الأجسام المستضيئة) .

وتقسم المواد بالنسبة لشفافيتها (سماعها للضوء بالمرور من خلالها) إلى:

١-المواد المعتمة : وهي المواد التي لا تسمح بمرور الضوء من خلالها إذ تعمل جزيئات هذه المادة على تفريق الأشعة بداخلها لذلك تنفذ هذه الأشعة في اتجاهات مختلفة فلا ترى الأشياء خلفها كالخشب والمعادن .

٢-المواد الشفافة : وهي المواد التي تسمح بمرور القسم الأعظم من الضوء من خلالها فتري الأشياء الواقعة خلفها بوضوح كالهواء والماء والزجاج الرقيق.

٣- **المواد النصف شفافة :** وهي المواد التي تسمح بمرور قسم قليل من الضوء وتمتص وتعكس الباقي من الضوء الساقط عليها فلا ترى الأشياء الواقعة خلفها بوضوح كالزجاج الخشن والماء العكر .

انتشار الضوء

يسير الضوء بخطوط مستقيمة في الأوساط المتجانسة والشفافة بشرط أن لا يمر من خلالها ثقب ضيقة جداً وحافات حادة، كما أن الأشعة الضوئية عندما تتقاطع لا يؤثر أي منها في الآخر ويستمر كل منها في اتجاهه .

الوسط المتجانس :

هو ذلك الوسط الذي تكون جميع أجزأه متشابهة في طبيعتها الضوئية، بمعنى آخر أن سرعة الضوء لا تتغير عند مروره في جميع أجزاء ذلك الوسط .

الشعاع الضوئي : هو خط وهمي مستقيم يحدد اتجاه مسار الضوء .

الحزمة الضوئية : هي مجموعة من الأشعة المتجاورة .

وتكون الحزمة الضوئية على ثلاثة أنواع :

١- الحزمة المتوازية : وهي الحزمة التي لا تتغير أبعادها عن بعضها مهما ابتعدت عن مصدرها مثل أشعة الشمس وأشعة الليزر .

٢- الحزمة المتفرقة : وهي الحزمة التي تنبعث من نقطة مضيئة وتتباعدها عن بعضها البعض عند الابتعاد عن مصدرها مثل أشعة ضوء مصباح أو شمعة.

٣- الحزمة المتجمعة : وهي الحزمة التي تتقارب مجموع أشعتها بعضها إلى بعض حتى تتقاطع مثل الأشعة التي تنفذ من عدسة لامة .

طبيعة الضوء

أولاً - نظرية نيوتن الدقائقية

افترض العالم نيوتن أن " الضوء عبارة عن سيل من دقائق مادية تامة المرونة متناهية في الصغر ذات سرعة هائلة تنبعث من المصدر المضيء إلى جميع الاتجاهات

وبخطوط مستقيمة في الفراغ أو الأوساط المادية الشفافة "

وقد نجحت النظرية الدقائقية في تفسير الظواهر الضوئية التالية :

١- انتشار الضوء بخطوط مستقيمة .

٢- تكوين الظلال .

٣- ظاهرة الانعكاس .

كما نجحت النظرية الدقائقية فيما بعد في تفسير الظواهر التي برزت كالإشعاع والامتصاص والانبعاث الكهروضوئي، ولكنها فشلت في تفسير الانكسار وقوانينه وذلك لافتراض نيوتن أن سرعة الضوء في الهواء تكون أقل من سرعته في الماء وذلك بسبب التجاذب بين جسيمات الماء ودقائق الضوء، وقد أثبت العالم فوكو بعد ذلك بأن سرعة الضوء في الهواء أكثر من سرعته في الماء أو المواد الشفافة الأخرى .

ثانياً - نظرية هوبكنز الموجية

أفترض العالم هوبكنز أن " الضوء هو سلسلة من الموجات تنتشر في الأوساط الشفافة وأن طاقة الضوء تنتقل من مصادرها إلى جميع الاتجاهات على هيئة سلسلة من الموجات وافترض وجود الأثير كوسط يملأ الفراغ " (والأثير : هو وسط ناقل ذو كثافة متناهية في الصغر ومرونة عالية جداً) .

وقد وجد إن انطلاق الضوء في الفراغ أكبر من انطلاقه في الهواء ويساوي 3×10^{10} كم/ثا أو 3×10^{10} م/ث، فاستنتج أن سرعة الضوء في الوسط الأكثر كثافة أقل من سرعته في الوسط الأقل كثافة .

وقد أجرى العالم يونك تجارب في التداخل والحيود دعم فيها النظرية الموجية في الضوء .

قاعدة هوبكنز

كل نقطة على جبهة الموجة يمكن اعتبارها مصدراً ثانوياً يولد موجات تنتقل بنفس سرعة الموجة

الأصلية .

جبهة الموجة : هو السطح الذي تنتمي إليه جميع النقاط المهتزة بنفس الكيفية والتي تتوزع عليها الطاقة الضوئية بانتظام وتصلها في آن واحد .

الشعاع: هو الخط الوهمي الذي يمثل اتجاه انتشار الموجة ويكون عمودياً على جبهاتها .

وقد نجحت النظرية الموجية في تفسير الظواهر الضوئية التالية :

- ١- قوانين الانعكاس .
 - ٢- قوانين الانكسار .
 - ٣- نجحت النظرية الموجية فيما بعد في تفسير الظواهر التي برزت كالتداخل والحيود والاستقطاب .
- ولكن النظرية الموجية فشلت في تفسير انتشار الضوء بخطوط مستقيمة وتكون الظلال .

النظرية الحديثة للضوء

لقد فسرت النظرية الحديثة للضوء الظواهر الضوئية حيث تنص هذه النظرية على أن: " للضوء سلوكين أحدهما موجي وهو الذي يفسر ظواهر الانعكاس والانكسار والتداخل والحيود والاستقطاب والآخر دقائقي والذي يفسر ظاهرة الإشعاع والامتصاص والانبعث الكهروضوئي .

قوة الإضاءة : هي الطاقة الضوئية المنبعثة في الثانية الواحدة .

وحدات قوة الإضاءة (الشمعة القياسية): وهي الطاقة الضوئية المنبعثة من ثقب مساحته $(\frac{60}{1})$ سم^٢ من وعاء مجوف مشع أسود درجة حرارته ثابتة عند نقطة انجماد البلاطين، (وهي ٢٠٤٦ كلفن) .

السيل الضوئي : هي الطاقة التي يشعها مصدر مضيء منتظم خلال وحدة الزمن

ضمن زاوية مجسمة واحدة .

وحدة قياس السيل الضوئي (اللومن) :

اللومن: مقدار السيل الضوئي الساقط على وحدة المساحة من سطح كروي نصف قطره وحدة الأطوال في مركزه مصدر ضوئي نقطي قوة إضاءته شمعة قياسية واحدة .

الشمعة القياسية = ٤ ط لومن = ١٢,٥٧ لومن .

ويكون السيل الضوئي المتدفق من المصابيح المتفلورة أكبر من السيل الضوئي

المتدفق من المصابيح الحرارية كالمصباح الكهربائي الاعتيادي، لذلك يفضل استعمال المصابيح المتفلورة للإنارة بدلاً من المصابيح الحرارية .

شدة الاستضاءة : مقدار الطاقة الضوئية التي تسقط عمودياً على وحدة المساحة (١)م^٢ من السطح المضاء في الثانية الواحدة وتعطى من العلاقة التالية :

السييل الضوئي

$$\text{شدة الاستضاءة} = \frac{\text{المساحة}}$$

ووحدة شدة الاستضاءة هي (لومن/م^٢)

ويتوقف قياس شدة استضاءة سطح مضاء بمصدر ضوئي على :

- ١- قوة إضاءة المصدر الضوئي .
- ٢- مربع البعد بين مصدر الضوء والسطح المضاء .
- ٣- زاوية سقوط الأشعة على السطح المضاء .
- ٤- لون الضوء .

مثال (١) :

ما الزمن الذي يستغرقه ضوء الشمس ليصل الأرض إذا كان بعد الشمس عن الأرض $1,489 \times 10^{11}$ كم ؟ .

الحل :

$$\text{سز} = \frac{\text{ز}}{\text{ن}} \quad \leftarrow \text{ن} = \frac{1,489 \times 10^{11}}{3 \times 10^8} = 496,3 \text{ ثانية}$$

مثال (٢) :

إذا علم أن أقرب نجم من الأرض يستغرق ضوءه للوصول إليها (٤,٣ سنة) فما بعد هذا النجم مقدراً بالكيلومترات ؟ .

الحل :

$$\text{سز} = \frac{\text{ز}}{\text{ن}}$$

يوم ساعة ثانية

$$z = \text{سز} \times n = 3 \times 10^8 \times 3 \times 10^8 \times 24 \times 3600 = 40,98 \times 10^{12} \text{ كم}$$

الظل : هي منطقة مظلمة تقع خلف الجسم المعتم ناتجة عن امتصاص أو انعكاس الأشعة الضوئية الساقطة عليه والتي تكون منبعثة من مصدر واحد .

شبه الظل : هي منطقة مضاءة قليلاً تتكون حول منطقة الظل التام تزداد فيها شدة الاستضاءة تدريجياً كلما ابتعدنا عن منطقة الظل التام .

ويتكون شبه الظل إذا تعددت المصادر الضوئية أو إذا كان المصدر الضوئي كبيراً .

فإذا تعددت المصادر الضوئية فإن الضوء المنبعث من أي منها لا يؤثر في الضوء المنبعث من الأخرى

وهو ما يسمى في علم الضوء بمبدأ استقلال الأشعة وهو خاصية أخرى من خصائص الضوء.



الظل وشبه الظل

الخسوف : هي ظاهرة وقوع القمر في ظل الأرض على أن يكون بدرًا (وقوع الأرض بين القمر والشمس والقمر بدرًا).

• إذا وقع القمر في ظل الأرض التام سميت هذه الظاهرة بالخسوف الكلي فلا يمكن رؤية القمر كلياً .

• إذا وقع القمر في شبه ظل الأرض سميت هذه الظاهرة بالخسوف الجزئي فيمكن رؤية جزءاً من القمر .

الكسوف : هي ظاهرة وقوع الأرض في ظل القمر على أن يكون القمر في المحاق (وقوع القمر بين الأرض والشمس والقمر في المحاق) .

• إذا وقعت الأرض في ظل القمر التام سميت هذه الظاهرة بالكسوف الكلي فلا يمكن رؤية الشمس كلياً .

• إذا وقعت الأرض في شبه ظل القمر سميت هذه الظاهرة بالكسوف الجزئي فيمكن رؤية جزءاً من الشمس .

ويستغرق كسوف الشمس عادة حوالي (٣) دقائق ولا يزيد عن (٧,٥) دقيقة وذلك بسبب حركة القمر .

تفاعل الضوء مع المادة

عندما يسقط الضوء على جسم فإن الجسم يعكس قسماً منه وقسماً آخر ينكسر بينما يمتص الجسم قسماً آخر، وما يحدث للضوء يحدث أيضاً لموجات الكهرومغناطيسية، أي أن :

الطاقة الضوئية الساقطة =

الطاقة الضوئية المنعكسة + الطاقة الضوئية النافذة + الطاقة الضوئية الممتصة .

وعند قسمة هذه المعادلة على الطاقة الساقطة ينتج :

$$\frac{\text{الطاقة الساقطة}}{\text{الطاقة الساقطة}} = \frac{\text{الطاقة المنعكسة}}{\text{الطاقة الساقطة}} + \frac{\text{الطاقة النافذة}}{\text{الطاقة الساقطة}} + \frac{\text{الطاقة الممتصة}}{\text{الطاقة الساقطة}}$$

$$1 = \text{معامل الانعكاس} + \text{معامل النفاذ} + \text{معامل الامتصاص}$$



$$1 = \text{معامل الانعكاس} + \text{معامل النفاذ} + \epsilon$$

أولاً- الانعكاس

هو ارتداد الضوء الساقط على سطح فاصل بين وسطين إلى الوسط الذي قدم منه .

الشعاع الساقط : هو الشعاع الصادر عن المصدر الضوئي .

الشعاع المنعكس : هو الشعاع المرتد عن السطح العاكس .

ويكون الانعكاس على نوعين :

١- الانعكاس المنتظم : يحدث إذا كان سطح الجسم العاكس مصقولاً وينتج عنه أخيلة تعتمد في طبيعتها على نوع السطح العاكس .

٢- الانعكاس غير المنتظم (التشتت) : يحدث إذا كان سطح الجسم العاكس خشناً فتتفرق الأشعة المنعكسة بزوايا مختلفة ولا تتكون أخيلة .

الفرق بين الانعكاس المنتظم والانعكاس غير المنتظم

الانعكاس غير المنتظم	الانعكاس المنتظم
١- يحدث إذا كان السطح خشناً كالخشب والورق غير الصقيل .	١- يحدث إذا كان السطح العاكس صقلاً كالمرآة .
٢- لا يمكن تحديد اتجاه الحزمة الضوئية المنعكسة حيث أنها تنتشر في جميع الاتجاهات .	٢- يمكن تحديد اتجاه الحزمة الضوئية المنعكسة .
٣- زوايا السقوط لأشعة الحزمة الضوئية تكون غير متساوية .	٣- زوايا السقوط لأشعة الحزمة الضوئية تكون متساوية وهي تساوي زوايا انعكاساتها .
٤- لا تتكون أخيلة .	٤- ينتج منه أخيلة تعتمد في طبيعتها على سطح الجسم العاكس .

الانعكاسية : هي النسبة المئوية بين كمية الضوء المنعكس عن سطح وكمية الضوء الكلي الساقط عليه .

$$\text{الانعكاسية} = \frac{\text{كمية الضوء المنعكس}}{\text{كمية الضوء الكلي الساقط}} \times 100\%$$

كمية الضوء الكلي الساقط
مبدأ رجوع الضوء

هو ارتداد الشعاع الضوئي متخذاً نفس المسار الذي سلكه عند سقوطه، " يرتد

الشعاع الضوئي الساقط متخذاً نفس المسار إذا سقط بصورة عمودية على سطح

سطح مرآة مستوية " .

المرايا

وهي سطح صقيل عاكس للضوء انعكاساً منتظماً، وهي على نوعين :

١- المرآة المستوية :

وهي جزء من سطح مستوي عاكس للضوء انعكاساً منتظماً حيث تكون صوراً واضحة للأجسام

الواقعة أمامها .

تكون الصور في المرايا المستوية

صفات الصورة (الأخيلة) المتكونة في المرآة المستوية

لو وقفنا أمام مرآة مستوية سلاحظ صورتنا (خيالنا) دون شك في المرآة المستوية دون أن يحدث لها تكبير أو تصغير، كما سناها معتدلة أي أنها ليست مقلوبة، وأن الصورة تقع خلف المرآة، ولا يمكن جمعها على حاجز أو ستار، وفي هذه الحالة نقول أن الصورة وهمية وليست حقيقية، كما سلاحظ أن الصورة تقترب منا إذا اقتربنا من المرآة وتبتعد عنا إذا ابتعدنا عنها، وإذا حركنا اليد اليمنى تتحرك اليد اليسرى للصورة فتصبح الجهة اليمنى يسرى أي أن الصورة تكون مقلوبة جانبياً . ويمكن تلخيص صفات الصورة المتكونة في المرآة المستوية بالنقاط التالية :

١- وهمية لا يمكن تسلمها على حاجز وتعين من تقاطع امتدادات الأشعة المنعكسة .

- ٢- كبر الصورة يساوي كبر الجسم .
- ٣- بعد الصورة عن المرآة يساوي بعد الجسم عنها .
- ٤- معتدلة من حيث الأعلى والأسفل مقلوبة الجوانب من حيث اليمين واليسار .



الفرق بين الصور الوهمية والصور الحقيقية

الصورة الحقيقية	الصورة الوهمية
١- ناتجة من التقاء الأشعة المنعكسة.	١- ناتجة من التقاء امتدادات الأشعة المنعكسة .
٢- تقع أمام المرآة .	٢- تقع خلف المرآة .
٣- يمكن تسلمها على شاشة أو حاجز.	٣- لا يمكن تسلمها على شاشة أو حاجز.
٤- مقلوبة دائماً .	٤- معتدلة دائماً .

تعدد الصور في المرايا المستوية المتوازية :

إذا وضع جسم بين مرآتين مستويتين بينهما زاوية تكونت للجسم عدد من الصور يعتمد على الزاوية المحصورة بينهما ووفق العلاقة الرياضية التالية :

$$ع_3 = \frac{360}{هـ} - 1$$

حيث ع₃ : عدد الصور المتكونة .

هـ : الزاوية المحصورة بين المرآتين .

ملاحظة : كلما صغرت الزاوية بين المرآتين المستويتين زاد عدد الصور المتكونة فيها للجسم الراي .

٢- المرآة الكروية :

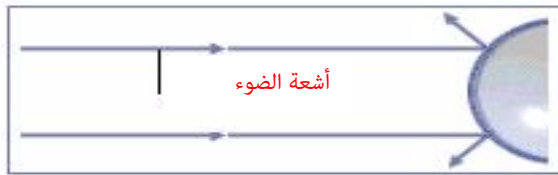
وهي جزء من سطح كروي عاكس للضوء انعكاساً منتظماً وهي عِلنوعين:

أ- المرآة المقعرة : وهي المرآة التي يكون سطحها الصقيل العاكس للضوء من الداخل .



مرآة مقعرة

ب- المرآة المحدبة : وهي المرآة التي يكون سطحها الصقيل العاكس للضوء من الخارج .



مرآة محدبة

مصطلحات في المرايا :

- ١- **قطب المرآة (ق) :** منتصف سطح المرآة .
- ٢- **مركز تكور المرآة (م) :** مركز الكرة الذي أخذت منه المرآة .
- ٣- **نصف قطر التكور (نق) :** نصف قطر الكرة الذي أخذت منه المرآة .
- ٤- **محور الأساسي (الرئيسي) :** امتداد الخط الواصل بين قطب المرآة ومركز تكورها .
- ٥- **البؤرة (ب) :** هي نقطة تجمع الأشعة المتوازية والموازية للمحور الأساسي بعد انعكاسها عن سطح المرآة المقعرة، أما في المرآة المحدبة فإن البؤرة فهي النقطة التي يبدو أن الأشعة المتوازية والموازية للمحور الأساسي تخرج منها بعد انعكاسها عن سطح المرآة .
- ٦- **البعد البؤري (ع) :** هو المسافة بين البؤرة وقطب المرآة .

ملاحظات :

- (١) البؤرة ومركز تكور المرآة في المرايا المقعرة يكون موقعها أمام المرآة (**حقيقية**).
- (٢) البؤرة ومركز التكور في المرايا المحدبة يكون موقعها خلف المرآة (**وهمية**).
- (٣) كل شعاع ساقط يوازي المحور الأساسي ينعكس ليمر في البؤرة (**هو أو امتداده**) وكل شعاع ساقط يمر في البؤرة ينعكس موازياً للمحور الأساس .
- (٤) كل شعاع ساقط يمر بمركز التكور ينعكس (**هو وامتداده**) على نفس المسار الذي قدم منه أي أن الشعاع المنعكس أو امتداده يمر أيضاً بمركز التكور .

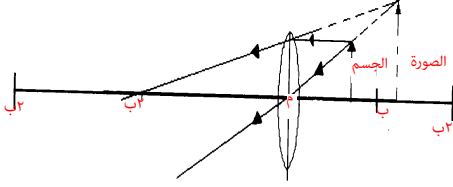
أولاً- صفات الصورة (الخيال) التي تكونها المرآة المقعرة

تتوقف طبيعة الصور (**الأخيلة**) التي تكونها المرآة المقعرة على بعد الجسم عن المرآة وهي ست

حالات :

الحالة الأولى : إذا كان الجسم بعيد جداً عن المرآة .

صفات الصورة :



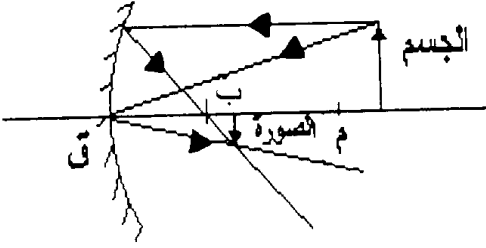
- ١- حقيقية .
- ٢- مصغرة جداً (تظهر كنقطة مضيئة) .
- ٣- تقع في بؤرة المرآة .

يستفاد من هذه الحالة في :

- أ- تعيين البعد البؤري للمرآة المقعرة .
- ب- تجميع الطاقة الشمسية وتركيز أشعة الشمس في بؤرة المرآة .

الحالة الثانية : إذا كان الجسم واقعاً على مسافة أكبر من البعد البؤري للمرآة (خلف مركز تكور المرآة) .

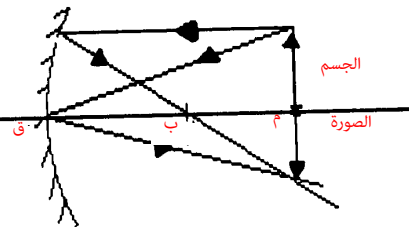
صفات الصورة :



- ١- حقيقية .
- ٢- مقلوبة .
- ٣- مصغرة .
- ٤- تقع على مسافة أكبر من البعد $2f$ وبؤرتها).

الحالة الثالثة : إذا كان الجسم واقعاً على مسافة تساوي ضعف البعد البؤري للمرآة (في مركز تكور المرآة) .

صفات الصورة :

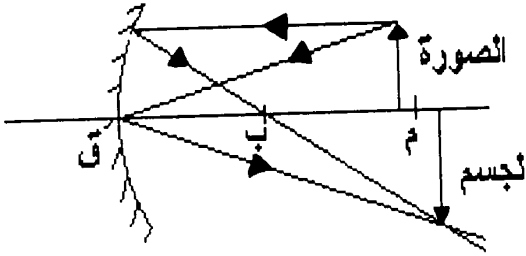


- ١- حقيقية .
- ٢- مقلوبة .
- ٣- بكبر الجسم .
- ٤- تقع على مسافة تساوي ضعف البعد البؤري (في مركز تكور المرآة) .

الحالة الرابعة : إذا كان الجسم واقعاً على مسافة أكبر من البعد البؤري وأقل من ضعف البعد البؤري للمرآة (بين مركز تكور المرآة وبؤرتها).

صفات الصورة :

١- حقيقية .



٢- مقلوبة .

٣- مكبرة .

٤- تقع على مسافة أكبر

من ضعف البعد البؤري (خلف مركز تكور المرآة) .

يستفاد من هذه الحالة في تكبير الصورة إلى حد معين .

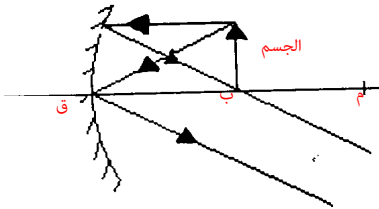
الحالة الخامسة : إذا كان الجسم واقعاً على مسافة تساوي البعد البؤري للمرآة (في بؤرة المرآة) .

صفات الصورة :

لا تتكون صورة لأن الأشعة المنعكسة

تكون متوازية .

يستفاد من هذه الحالة :



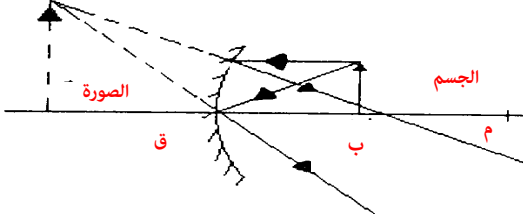
أ- عند استعمال المرآة المقعرة في مصابيح السيارات الأ

الأشعة الضوئية على سطحها وتنعكس عنها متوازية فتضيء إلى مسافات بعيدة أمام السيارة .

ب- في الحصول على حزمة ضوئية قوية كما في إضاءة داخل الفم والأذن عند فحص الأطباء .

الحالة السادسة : إذا كان الجسم واقعاً على مسافة أقل من البعد البؤري للمرآة (بين بؤرة المرآة وقطبها) .

صفات الصورة :



- ١- وهمية .
- ٢- معتدلة .
- ٣- مكبرة .
- ٤- تقع خلف المرآة .

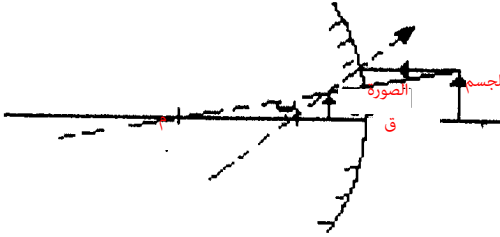
يستفاد من هذه الحالة في :

أ- تفريق الأشعة .

ب- تكبير زاوية النظر لذا توضع على جانبي السيارة ليتمكن السائق من الرؤية بمجال واسع .

ثانياً - صفات الصورة التي تكونها المرآة المحدبة

أينما يقع الجسم أمام المرآة المحدبة فإن صورته تكون :



- ١- وهمية .
- ٢- معتدلة .
- ٣- مصغرة .
- ٤- تقع خلف المرآة .

ويستفاد من الصورة التي تكونها المرآة المحدبة في السيارات لرؤية الأجسام في الطريق خلف السائق

ومن جانبي السيارة في المرآة الجانبية وبزاوية رؤية أوسع من المرآة المستوية .

ومن الممكن تحديد موقع الصورة المتكونة في المرآة المحدبة باتباع نفس القواعد للمرايا المقعرة مع

اختلاف بسيط وكما يلي :

- ١- الشعاع الموازي للمحور الأساسي للمرآة ينعكس عنها بحيث يمر امتداده بالبوّرة .
- ٢- الشعاع الساقط عن سطح المرآة يمر امتداده بالبوّرة و ينعكس عنها بحيث يوازي محورها الأساس .
- ٣- الشعاع الساقط على سطح المرآة يمر امتداده بمركز تكور المرآة و ينعكس على نفسه .

الزوغان الكروي :

هو عدم تجمع الأشعة المنعكسة عن سطح مرآة كروية في نقطة واحدة مما يسبب تشوهاً للصورة التي تكون في المرآة .

كيف يمكن تقليل الزيغ الكروي ؟

- ١- يجب أن لا يتجاوز مقدار الزاوية المركزية التي تقابل قوس المرآة عشر درجات .
- ٢- استعمال حاجر حلقي معتم يحجب الضوء عن حافات المرآة الكروية لجعل حزمة الضوء المنعكسة ضيقة وقريبة من المحور الأساس فيقل الزيغ الكروي .
- ٣- صنع المرآة على شكل قطع مكافئ مجسم .

قانون التكبير الخطي (ت)

$$ت = \frac{ل}{ل} = \frac{ص}{س}$$

حيث (ت) : التكبير (ل) : طول الصورة (ل) : طول الجسم

(س) : بعد الجسم عن المرآة (ص) بعد الصورة عن المرآة .

ملاحظة : إذا كانت القيمة العددية للتكبير :

أ- أكبر من واحد فإن الصورة تكون مكبرة .

ب- تساوي واحد فإن الصورة تكون بكم الجسم .

ج- أقل من واحد فإن الصورة تكون مصغرة .

قانون الأبعاد في المرايا

أو قانون المرايا الكروية العام

من الممكن تحديد صفات صورة (خيال) أي جسم يوضع على بعد معين من سطح مرآة كروية إذا ما علمنا بعدها البؤري وذلك بتطبيق المعادلة التالية:

$$\frac{1}{ص} + \frac{1}{س} = \frac{1}{ع}$$

حيث (ع) : البعد البؤري للمرآة .

ومن الممكن تحديد موقع الصورة بالرسم باتباع القواعد التالية :

- ١- الشعاع الموازي للمحور الأساسي للمرآة ينعكس بحيث يمر في البؤرة .
 - ٢- الشعاع المار بالبؤرة ينعكس بحيث يوازي المحور الأساسي للمرآة.
 - ٣- الشعاع المار بمركز تكور المرآة ينعكس على نفسه (أي أن زاوية سقوطه على سطح المرآة يساوي صفر) .
- ولتحديد صورة نقطة ما يكفي رسم شعاعين منها أحدهما يوازي المحور الأساسي والشعاع الآخر يمر في مركز تكور المرآة فتكون نقطة تلاقي الشعاعين المنعكسين عن المرآة هي صورة (خيال) النقطة .

ملاحظة :

- ١- نصف قطر تكون المرآة (نق) يساوي ضعف البعد البؤري لها .

نق = ٢ب

- ٢- عند تطبيق قانون التكبير أو قانون الأبعاد يجب مراعاة ما يأتي :

أ- أي كمية حقيقية يجب أن تكون إشارتها موجبة وأي كمية خيالية (وهمية) يجب أن تكون إشارتها سالبة .

ب- كل بعد أمام المرآة حقيقي وتكون إشارته موجبة وكل بعد وهمي تكون إشارته سالبة وكما هو موضح في الجدول الآتي :

نوع المرآة / الأبعاد	ب	جـ	ص	ت
مقعرة	+	+	(+) في الحالة ١-	(+) في الحالة ١-

٤-٣-٢	٤-٣-٢			
-	-	+	-	محدبة

القيمة الموجبة تعني حقيقي ، القيمة السالبة تعني وهمي .

٣- أي صورة ترى في المرآة فهي وهمية ولا يمكن تسلمها على شاشة أو حاجز وأي صورة تستلم على شاشة أو حاجز فهي حقيقية ولا يمكن رؤيتها إلا عند إسقاطها على ذلك الحاجز .

ثانياً- النفاذ

هو انتقال الضوء (عند سقوطه على سطح فاصل بين وسطين) من الوسط الأول إلى الوسط الثاني ويسمى الوسط الذي ينتقل فيه الضوء بالوسط الشفاف مثل الزجاج والماء، وتكون والمواد الشفافة على ثلاثة أنواع :

أ- المواد تامة الشفافية: وهي المواد التي يمكن رؤية معالم الجسم الموجود وراءها بوضوح لأنها تسمح بمرور القسم الأعظم من الضوء من خلالها كالزجاج والماء .

ب- المواد النصف شفافة : وهذه المواد تسمح بمرور (أو نفاذ) قسم قليل من الضوء وتمتص وتعكس الباقي من الضوء الساقط عليها فلا يمكن رؤية معالم الجسم الموجود خلفها بوضوح كالحليب و البلاستيك والزجاج الخشن .

ج- المواد المرشحة : وهي المواد التي لا تنفذ جميع ألوان الطيف بل تنفذ اللون الخاص بها مثل ورقة السيلوفان الزرقاء تعكس اللون الأزرق والزجاج الأصفر يعكس اللون الأصفر وهكذا .

معامل النفاذ ومعامل الانعكاس

لكي نقيس معامل النفاذ نستخدم جهاز الفوتومتر (وهو جهاز يستخدم لقياس شدة الاستضاءة لمصدر ضوئي أو للمقارنة بين قوتي مصدرين ضوئيين) ونستقبل الضوء من مصدر معين ونحسب شدة الاستضاءة (ش١) ثم نضع المادة الشفافة بين المصدر الضوئي والفوتومتر، ونحسب شدة الاستضاءة (ش٢) وبذلك يمكننا إيجاد معامل النفاذ من العلاقة التالية :

ش ١

معامل النفاذ =

ش ٢

ويطلق أيضاً على معامل النفاذ الشفافية وهو مقدار ثابت للمادة الواحدة، وتعتمد قيمته على سمك المادة الشفافة، حيث تمتص المادة الشفافة جزءاً من الطاقة الضوئية ويعتمد هذا الجزء على طول مسار الشعاع الضوئي في المادة الشفافة وهذا ما يفسر وجود الفارق الكبير بين شدة الاستضاءة على عمق (١) م في ماء المحيط وعلى عمق (١٠٠) م .

ولكي نقيس معامل الانعكاس نتبع نفس الطريقة السابقة فنقيس شدة الاستضاءة الساقطة (ش ١) وشدة الاستضاءة المنعكسة (ش ٣) وبذلك يمكننا إيجاد معامل الانعكاس من العلاقة التالية :

معامل الانعكاس =

ش ٣

ش ١

ثالثاً- الامتصاص

ذكرنا سابقاً أن أي جسم .. . له الإشعاع يمتص جزءاً منه ويتراوح معامل الامتصاص للمواد المختلفة بين (٧%) للفضة المصقولة و(٩٩%) للدهان الأسود .
إن الطاقة الضوئية الممتصة تتحول إلى طاقة حرارية في المادة الماصة وقد يصاحب هذا التحول ظواهر أخرى منها :

- أ- في الخلية الكهروضوئية : ينبعث عدد من الإلكترونات نتيجة امتصاص الضوء .
- ب- في البطارية الشمسية : يحدث اختزان للطاقة الكهربائية نتيجة امتصاص الضوء .
- ج- في شبكية العين : ينتج من امتصاص الضوء إرسال إيعازات عصبية إلى المخ فتدرك تفاصيل الجسم المرئي .
- د- في جلد الإنسان : ينتج من امتصاص الأشعة فوق البنفسجية تزويد الجسم بفيتامين (D) الضروري لبناء العظام .
- هـ- في أوراق النباتات الخضراء : تحدث عملية التركيب الضوئي نتيجة امتصاص الضوء .

الخلاصة

- الانعكاس هو ارتداد الأشعة الضوئية عن سطح عاكس.
- عند انعكاس الضوء عن سطح عاكس فإن زاوية السقوط = زاوية الانعكاس.
- الشعاع الساقط، والشعاع المنعكس، والعمود المقام على السطح العاكس من نقطة السقوط تقع كلها في مستوى واحد عمودي على السطح العاكس.
- تكون المرايا المستوية أخيلة وهمية ومعتدلة ومساوية لحجم الجسم، ومقلوبة جانبياً.
- عدد الأخيلة لجسم موضوع بين مرأتين مستويتين بينهما زاوية θ يساوي $\frac{360}{\theta} - 1$.
- المرآة المحدبة جزء من سطح كرة جوفاء سطحها العاكس من الخارج.
- المرآة المقعرة جزء من سطح كرة جوفاء سطحها العاكس من الداخل.
- تكون المرايا المقعرة أخيلة حقيقية، إذا كان الجسم موضوعاً على بُعد أكبر من البعد البؤري للمرآة، وتكون هذه الأخيلة مقلوبة دائماً، ويعتمد مقدار تكبيرها على بُعد الجسم عن سطح المرآة، أما إذا وضع الجسم على بُعد أقل من البعد البؤري فيتكون له خيال وهمي ومعتدل ومكبر.
- الأخيلة المتكونة في المرايا المحدبة وهمية ومعتدلة ومصغرة دائماً.
- ينص قانون المرايا الكروية العام على أن:

$$\text{مقلوب بُعد الجسم} + \text{مقلوب بُعد الخيال} = \text{مقلوب البعد البؤري للمرآة.}$$
- وعند تطبيق هذا القانون يراعى أن تكون إشارة البعد البؤري للمرآة المحدبة سالبة، وللمرآة المقعرة موجبة كما يعد الخيال حقيقياً ومقلوباً، إذا كانت إشارة بُعد الخيال موجبة، ويعد وهمياً ومعتدلاً إذا كانت إشارة بُعد الخيال سالبة.
- التكبير يساوي حاصل قسمة طول الخيال على طول الجسم، ويساوي حاصل سمة بُعد الخيال على بُعد الجسم.
- للمرايا على اختلاف أنواعها تطبيقات واسعة في الحياة العملية .

أسئلة

- س١ : ما هي الشروط الواجب توفرها لكي يسير الضوء بخط مستقيم ؟ .
- س٢ : كيف تتعرف على نوع الحزمة الضوئية باستعمال حاجز وكرة معتمة معلقة بخيط ومصدر ضوء ؟ .
- س٣ : أيهما أفضل الانعكاس على مرآة زجاجية أم مرآة معدنية ؟ .
- س٤ : ما نوع المرآة التي يستعملها كل من :
- أ- سائق السيارة في سيارته .
 - ب- طبيب الأسنان .
 - ج- طبيب العيون .
 - د- العارض فوق الرأس .
- س٥ : كيف تحدد موقع البؤرة الحقيقية عملياً ؟ .
- س٦ : ما الفرق بين الانعكاس والانعكاس الكلي ؟ .

الأجوبة

ج ١: أ- يجب أن يكون الوسط الذي يسير فيه الضوء متجانساً شفافاً .

ب- يجب أن لا يمر من خلالها ثقب ضيقة جداً وحافات حادة .

ج ٢: نضع الكرة بين المصدر والحاجز ونلاحظ مساحة ظل الكرة فإذا كانت :

أ- قطر دائرة الظل بقدر قطر الكرة فالحزمة متوازية .

ب- قطر دائرة الظل أكبر من قطر الكرة فالحزمة متفرقة .

ج- قطر دائرة الظل أصغر من قطر الكرة فالحزمة متجمعة .

ج ٣: مرآة معدنية لعدم تعدد الانعكاسات التي تحصل في المرآة الزجاجية والتي تحصل عند السطح الخارجي وعند السطح الداخلي للزجاج .

ج ٤: أ - محدبة .

ب- مقعرة .

ج- مقعرة .

د- مقعرة .

ج ٥: يتم ذلك بإسقاط حزمة ضوئية موازية للمحور الأساسي على سطح مرآة مقعرة وتستلم الأشعة المنعكسة عنها على حاجز ويغير موقعه تدريجياً حتى تستلم أصغر صورة واضحة لمصدر الضوئي حيث يمثل موقعها موقع بؤرة المرآة المقعرة .

ج ٦: الفرق بين الانعكاس والانعكاس الكلي هو :

الانعكاس الكلي	الانعكاس
١- ارتداد الضوء المنتقل من وسط شفاف إلى وسط شفاف آخر أقل منه في الكثافة الضوئية عند الحد الفاصل بين الوسطين .	١- ارتداد الضوء الساقط من على جسم معتم .
٢- لا يتم الانعكاس الكلي إلا إذا كانت زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة لذلك الوسط .	٢- يتم الانعكاس مهما كانت قيمة زاوية السقوط (من صفر° إلى ٨٩°) .

الفصل الثالث عشر

انكسار الضوء

الفصل الثالث عشر

انكسار الضوء

الانكسار : هو انحراف في مسار الضوء المنتقل بصورة مائلة من وسط شفاف إلى آخر يختلف عنه في الكثافة الضوئية .

أو:

الانكسار : هو التغير في اتجاه الشعاع عن اتجاهه الأصلي عند سقوطه بصورة مائلة عن الحد الفاصل بين وسطين مختلفين في الكثافة الضوئية بسبب التغير الحاصل في سرعة الضوء عند انتقاله بين الوسطين .



الكثافة الضوئية : هي صفة من صفات الطبيعة للوسط الشفاف والتي تعتمد عليها سرعة الضوء المار فيه .

خصائص الكثافة الضوئية

١- إذا انتقل الشعاع الضوئي من وسط قليل الكثافة إلى وسط أكبر منه في الكثافة الضوئية فإنه ينحرف مقترباً من العمود المقام على الحد الفاصل بين الوسطين من نقطة السقوط وهذا يعني أن زاوية السقوط هي دائماً أكبر من زاوية الانكسار .

٢- إذا انتقل الشعاع الضوئي من وسط كثيف إلى وسط أقل منه في الكثافة

الضوئية فإنه ينحرف مبتعداً من العمود المقام على الحد الفاصل بين الوسطين من نقطة السقوط، وهذا يعني أن زاوية السقوط هي دائماً أصغر من زاوية الانكسار .

٣- إذا سقط الشعاع الضوئي بصورة عمودية على الحد الفاصل بين وسطين مختلفين في الكثافة الضوئية فإنه ينفذ دون أن يعاني أي انحراف .

ولكي يحدث انكسار الضوء يجب توفر الشروط التالية :

أ- يجب أن ينتقل الضوء بصورة مائلة .

ب- يجب أن ينتقل الضوء بين وسطين شفافين مختلفين في الكثافة الضوئية .

ملاحظة :

١- كلما كبرت الكثافة الضوئية للوسط الشفاف قلت سرعة الضوء فيه والعكس صحيح، وكثافة الهواء الضوئية هي أقل من كثافة الماء والزجاج الضوئية .

٢- إذا سقط الشعاع الضوئي بصورة عمودية على السطح الفاصل بين وسطين شفافين مختلفين في الكثافة الضوئية فإن الشعاع لا ينكسر بالرغم من تغير سرعة الضوء لأن الجبهات المستوية تبقى متوازية مع بعضها في كلا الوسطين.

زاوية الانكسار (β) : هي الزاوية المحصورة بين الشعاع المنكسر والعمود المقام على الحد الفاصل بين الوسطين الشفافين من نقطة السقوط .

معامل الانكسار النسبي (n) هو النسبة بين سرعة انتشار الضوء في الوسط الأول إلى سرعته في الوسط الثاني .

$$n = \frac{c}{v_1} \quad \text{أو} \quad n = \frac{v_2}{v_1}$$

جاس سض_١ سض_٢

جار سض_١

معامل الانكسار المطلق (n) : هو النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ إلى سرعته في

$$n = \frac{c}{v}$$

وسط ما سض فراغ سض مادة

ملاحظة : لا يعتمد معامل الانكسار للمادة الشفافة على زاوية سقوط الضوء .

قانون الانكسار

- ١- الشعاع الساقط والشعاع المنكسر والعمود المقام على الحد الفاصل بين الوسيطين من نقطة السقوط تقع في مستوى واحد يكون عمودياً على السطح الكاسر .
- ٢- النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ وسرعته في وسط ما كمية ثابتة تسمى معامل الانكسار لذلك الوسط

ملاحظة :

$$\text{أ- معامل انكسار الهواء} = 1, \text{ ومعامل انكسار الماء} = \frac{4}{3} \text{ أي } 1,33$$

$$\text{ومعامل انكسار الزجاج} = \frac{3}{2} \text{ أي } 1,5$$

ب- كلما كبرت زاوية السقوط كبرت زاوية الانكسار .

زاوية الانحراف : هي الزاوية المحصورة بين الشعاع المنكسر وامتداد الشعاع الساقط (ح) وتحسب بالعلاقة الآتية :

$$\text{زاوية الانحراف} = \text{زاوية السقوط} - \text{زاوية الانكسار}$$

$$\alpha - \beta = \text{ح}$$

أولاً - انكسار الضوء في صفيحة متوازية الوجهين

عند إسقاط حزمة من الضوء بصورة مائلة على حافة مستطيل زجاجي فإن الحزمة سوف تنحرف عن مسارها في أثناء انتقالها من الهواء إلى الزجاج وفي أثناء انتقالها من الزجاج إلى الهواء سنلاحظ : إن الشعاع الساقط وامتداد الشعاع النافذ يكونان متوازيان دوماً .

قانون سنل

لقد وجد العالم الرياضي الفلكي الهولندي أن النسبة بين جيب زاوية السقوط وجيب زاوية الانكسار تساوي مقداراً ثابتاً ووضع القانون الذي سمي باسمه والذي ينص على:

"معامل انكسار وسط في جيب تمام زاوية السقوط يكون مساوياً إلى معامل انكسار الوسط الثاني في جيب تمام زاوية انكسار الضوء فيه".

$$\frac{\text{سض}_1}{\text{سض}_2} = \frac{\text{لوسط الأول}}{\text{لوسط الثاني}} = \frac{\text{سض}_1}{\text{سض}_2}$$

وبقسمة المعادلتين أعلاه ينتج :

$$\frac{\text{سض}_1}{\text{سض}_2} = \frac{\text{سض}_1}{\text{سض}_2} \quad \text{فإن} \quad \frac{\text{سض}_1}{\text{سض}_2} = \frac{\text{سض}_1}{\text{سض}_2}$$

ويتوقف معامل انكسار وسط معين على :

- ١- طول موجة الضوء النافذ : حيث يتناسب معامل الانكسار تناسباً عكسياً مع طول الموجة الضوئية .
- ٢- نوع الوسط الشفاف والذي تعتمد عليه الكثافة الضوئية .
- ٣- الكثافة الكتلية للوسط : كلما ازدادت كثافة الوسط ازداد معامل انكساره فمثلاً كثافة الهواء الكتلية العالية تجعل معامل انكسار الهواء المطلق أكبر قيمة من معامل انكسار الهواء الأقل كثافة .
- ٤- درجة حرارة الوسط .

إن أشعة الضوء تنكسر أثناء مرورها في طبقات جو الأرض وذلك بسبب اختلاف كثافة طبقات الجو مما يؤدي إلى اختلاف معاملات انكسارها وبالتالي اختلاف سرعة الضوء فيها .

الفائدة العملية من معرفة معامل انكسار المادة المتجانسة

إن معامل انكسار المادة المتجانسة هو مقدار ثابت ويستفاد منه في :

- ١- معرفة تلك المادة .
- ٢- مدى نقاوة تلك المادة .
- ٣- مقدار طول موجة الضوء داخل تلك المادة .

مقياس الانكسار : هو جهاز يستعمل لقياس معامل الانكسار للمواد المختلفة باستعمال ضوء أحادي اللون .

العمق الحقيقي والعمق الظاهري

العمق الحقيقي : هو البعد الحقيقي للأجسام التي تشاهد من وسط يختلف عن وسطها في الكثافة الضوئية .

العمق الظاهري : هو البعد الوهمي لصورة الأجسام التي تشاهد من وسط يختلف عن وسطها في الكثافة الضوئية .

فعند النظر إلى الأجسام الموجودة في وسط يختلف عن وسط الناظر في الكثافة الضوئية فإنها سوف ترى في مواقع غير مواقعها الحقيقية وبحسب ما يلي:

١- إذا كان الناظر في وسط قليل الكثافة الضوئية (كالهواء) والأجسام المرئية في وسط أكثر كثافة ضوئياً (كالماء) فإنها ستشاهد في موقع أقرب إلى الحد الفاصل بين الوسطين من موقعها الحقيقي .

٢- إذا كان الناظر في وسط كثيف ضوئياً (كالماء) والأجسام المرئية في وسط أقل منه في الكثافة الضوئية (كالهواء) فإنها ستشاهد في موقع أبعد عن الحد الفاصل بين الوسطين من موقعها الحقيقي .

٣- إذا نظر إلى تلك الأجسام بصورة عمودية فإنها ترى في مواقعها الأصلية .

والسبب في رؤية الأجسام في غير مواقعها الحقيقية عند النظر إليها من وسط

يختلف عن وسطها في الكثافة الضوئية هو انكسار الضوء حيث تشاهد عين الناظر امتدادات الأشعة المنكسرة فيظهر الجسم في موقع غير موقعه الأصلي .

ويحدد الموضع الظاهري للجسم بـ :

١- معامل انكسار كل وسط .

٢- اختلاف البعد الحقيقي للجسم .

ويمكن إيجاد معامل الانكسار من العلاقة التالية :

العمق الحقيقي

معامل الانكسار المطلق =

العمق الظاهري

وإذا تعددت طبقات الأوساط الشفافة الكاسرة للضوء فإن :

العمق الظاهري الكلي = معامل انكسار وسط الراصد × (العمق الظاهري للوسط الأول + العمق الظاهري للوسط الثاني + ...) .

مثال :

شخص موجود في الماء ينظر إلى قفاز سباحة الذي يعلو ٣ م عن سطح الماء عندما كان يسبح على

عمق ٢ م فأين سيبدو القفاز بالنسبة له ؟ (علماً أن معامل انكسار الماء = ٣/٤)

الحل :

$$\frac{\text{العمق الحقيقي}}{\text{العمق الظاهري}} = \frac{\text{م الجسم المنظور}}{\text{م الراصد}}$$

$$\frac{\text{س}}{\text{س}} = \frac{١}{٣}$$

$$\text{س} = ٤ \text{ م يظهر القفاز عن سطح الماء}$$

٤ + ٢ = ٦ م بعد القفاز عن السباح

مثال :

إناء فيه سائل ارتفاعه ١٦ سم ومعامل انكساره المطلق ١,٦ تعلوه طبقة من الماء ارتفاعها ١٠ سم

معامل الانكسار المطلق له (٣/٤) جد العمق الظاهري لقعر الإناء عند النظر إليه عمودياً من الأعلى في الهواء .

الحل :

$$\frac{\text{العمق الحقيقي}}{\text{العمق الظاهري}} = \frac{\text{العمق الظاهري للسائل}}{\text{العمق الظاهري للماء}}$$

$$\frac{١٦}{\text{س}} = \frac{١,٦}{\text{س}}$$

$$\text{س} = ١٠$$

$$\frac{\text{العمق الحقيقي}}{\text{العمق الظاهري}} = \frac{\text{العمق الظاهري للسائل}}{\text{العمق الظاهري للماء}}$$

$$\frac{١٠}{\text{س}} = \frac{٤}{٣}$$

$$\text{س} = ٧,٥$$

العمق الظاهري الكلي = م الراسد × (العمق الظاهري للوسط الأول + العمق الظاهري)

$$= 1 \times (7,5 + 10) = 17,5 \text{ سم}$$

الزاوية الحرجة والانعكاس الكلي

الزاوية الحرجة (ح) : هي أكبر زاوية سقوط للضوء في الوسط الأكتف ضوئياً التي تقابلها زاوية انكسار قائمة في الوسط الأقل كثافة ضوئية .

$$= \frac{1}{\text{ج ا ح}}$$

الانعكاس الكلي : هو ارتداد كلي للأشعة الضوئية الساقطة من وسط إلى وسط آخر أقل منه في الكثافة الضوئية بحيث تكون زاوية السقوط لذلك الشعاع أكبر من الزاوية الحرجة لذلك الوسط .

ويشترط في حدوث الزاوية الحرجة ما يلي :

- ١- يجب أن ينتقل الضوء من وسط كثيف ضوئياً إلى وسط أقل منه الكثافة الضوئية .
 - ٢- يجب أن تقابل زاوية السقوط للشعاع زاوية الانكسار قائمة في الوسط الأقل كثافة ضوئياً .
- كما يشترط في حدوث الانعكاس الكلي ما يلي :
- ١- يجب أن ينتقل الضوء من وسط كثيف إلى وسط آخر أقل منه في الكثافة الضوئية .
 - ٢- يجب أن تكون زاوية سقوط الشعاع الضوئي أكبر من الزاوية الحرجة لذلك الوسط .

مثال :

سرعة الضوء في الزجاج (٥/٣) قيمتها في الفراغ فما معامل انكسار ؟ وما مقدار زاويته الحرجة .

$$= \frac{\text{سرعة فراغ}}{\text{سرعة زجاج}} = \frac{3}{5} = 1,5$$

معامل انكسار الزجاج.

$$\frac{3}{5} = \frac{1}{3/5} = \frac{1}{m} = \text{جا ح} = 37^\circ = \text{ح}$$

الزاوية الحرجة للزجاج .

مثال :

وضع مصدر ضوئي نقطي في سائل على بعد ٢٠ سم من سطح السائل احسب مساحة الدائرة المضيئة من سطح السائل، علماً بأنه يبدو على بعد ١٢ سم من سطح السائل المصدر عند النظر إليه عمودياً من الأعلى .

الحل :

$$\frac{\text{العمق الحقيقي}}{m} = \frac{\text{العمق الظاهري}}{20}$$

$$\frac{3}{5} = \frac{1}{3/5} = \frac{3}{m} = \text{جا ح} = 37^\circ = \text{ح}$$

$$\frac{\text{نق}}{l} = \frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}} = \frac{\text{نق}}{20}$$

$$\frac{3}{20} = \frac{\text{نق}}{4} \quad \leftarrow \text{نق } 15 \text{ سم قطر الدائرة المضيئة}$$

$$\text{مساحة الدائرة المضيئة} = \text{نق}^2 \times \pi = (15)^2 \times \pi = 706,5 \text{ سم}^2$$

مسار الشعاع الضوئي في صفيحة متوازية الوجهين :

إن الشعاع الخارج من لوح زجاجي متوازي السطحين يكون موازياً للشعاع الساقط عليه ولكن ذلك التوازي يتباعد كلما :

١- كبر سمك اللوح الزجاجي .

٢- كبر معامل انكسار الزجاج .

ثانياً - الانكسار عن سطح كروي يفصل بين وسطين شفافين

لو أخذنا جسمًا نقطياً مثل (حـ) يمثل مصدراً ضوئياً موضوعاً في وسط شفاف معامل انكساره (n_1) ويقع المصدر الضوئي على محور السطح الكروي، كما في الشكل، وكانت (س) تمثل بعد المصدر عن السطح الكروي، و(ص) تمثل بعد خياله عن السطح، و(θ_1) تمثل زاوية سقوط أحد الأشعة الصادر من (حـ)، وتمثل (θ_2) زاوية الانكسار في الوسط الثاني الذي معامل انكساره (n_2)، والنقطة (ن) هي مركز تكور السطح الكروي الذي نصف قطر تكوره يساوي (نق)، والنقطة (حـ) هي صورة النقطة (حـ) .

ولو أخذنا فقط (الأشعة المحورية) هي الأشعة الصادرة من (حـ) بزوايا صغيرة فتسقط على السطح الفاصل قريبة من المحور، وتكون زوايا سقوطها وانكسارها صغيرة أيضاً وتطبيق قانون سنل يكون :

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad \text{..... (أ)}$$

وباعتبار الزوايا صغيرة ومقاسة بالراد فإن :

$$n_1 \theta_1 \approx n_2 \theta_2 \quad \text{وكذلك } \theta_1 \approx \theta_2$$

$$n_1 \theta_1 \approx n_2 \theta_2 \quad \text{..... (ب)}$$

$$\text{زاوية الانكسار} = \theta_2 + \gamma$$

$$\theta = \alpha + \text{زاوية الانكسار}$$

وبالتعويض عن θ_1, θ_2 في العلاقة (ب) يكون :

$$n_1 (\beta + \alpha) = n_2 (\beta - \gamma)$$

$$\text{أي أن } \beta (n_1 - n_2) = n_2 \gamma + n_1 \alpha \quad \text{..... (ج)}$$

وبما أن α, β, γ كلها زوايا صغيرة ومقاسة بالراد، لذلك نستخدم العلاقات الرياضية

التقريبية التالية :

$$\frac{ل}{س} \cong \alpha \text{ ظا } \cong \alpha \text{ جا } \cong \frac{ل}{نق} \quad \beta \cong \beta \text{ ظا } \cong \beta \text{ جا } \cong \frac{ل}{نق}$$

$$\frac{ل}{ص} \cong \gamma \text{ ظا } \cong \gamma \text{ جا } \cong \gamma \text{ ، } \alpha \text{ ، } \beta \text{ ، } \gamma \text{ مقاسة بالراد .}$$

وبالتعويض في العلاقة (ج) يكون :

$$(١) \dots\dots\dots \frac{١٢}{ص} + \frac{١٢}{س} = \frac{(١١ - ٢٢)}{نق}$$

وعند تطبيق العلاقة السابقة يجب أن ندرك بأن الشعاع ساقط من الوسط ١، إلى الوسط ٢، أما نظام الإشارات المتبع فهو نظام يشبه نظام الإشارات المتبع في المرايا الكروية ويتلخص في :

١- تعتبر مسافة الجسم (س) عن السطح الكاسر للضوء قيمة موجبة إذا كان الجسم حقيقياً، وتعتبر سالبة إذا كان الجسم وهمياً .

الجسم الحقيقي : هو الجسم الذي تتفرق منه الأشعة .

الجسم الوهمي : هو الجسم الذي تتجمع فيه الأشعة .

٢- تعتبر (ص) قيمة موجبة إذا كانت الصورة حقيقية، وتكون قيمة سالبة إذا كانت الصورة وهمية .

٣- تعتبر قيمة نصف القطر (نق) موجبة إذا سقط الشعاع على سطح محدب، وقيمة سالبة إذا سقط الشعاع على جسم مقعر .

ويمكن تطبيق العلاقة الرياضية (١) السابقة على أي عدد من الأوساط الشفافة الكاسرة للضوء التي تفصل بينها سطوح كروية محدبة أو مقعرة أو مستوية حيث أن :

(نق = ∞ للسطح المستوي) .

وما أن العلاقة الرياضية (١) هي علاقة تقريبية فإنه لا تنطبق إلا على الأشعة المحورية التي تنبعث من المصدر بزوايا صغيرة. ..

مثال :

قضيب أسطواني من الزجاج أحد طرفيه على شكل كرة نصف قطرها (٢.٥) سم وضع القضيب في الهواء ووضعه على محوره جسم صغير على بعد (١٠) سم من قطبه، ما بعد الخيال المتكون للجسم الصغير إذا علمت أن معامل انكسار القضيب الزجاجي (١,٥) ؟ .

الحل :

$$\frac{14}{1,0} + \frac{14}{1} = \frac{(14 - 14)}{1 - 1,0}$$

$$\frac{14}{1,0} + \frac{14}{1} = \frac{0}{-0,0}$$

$$\frac{14}{1,0} + \frac{14}{1} = \frac{14}{2,0}$$

$$14 + 14 = 28$$

ثالثاً - الانكسار عن سطحين كرويين متتاليين

إذا انكسر الضوء عن السطح الأول، فإنه يكون خيلاً وهذا الخيال يعتبر جسمًا بالنسبة للسطح الثاني ويكون بعد الجسم بالنسبة لهذا السطح هو بعد الخيال عن السطح الكروي الثاني .

مثال :

قطعة من الزجاج معامل انكسارها (١,٦)، صقل أحد وجهيها فأصبح سطحاً كروياً نصف قطر تكوره (٤) سم، وصقل الوجه الثاني فأصبح أيضاً سطحاً كروياً نصف قطر تكوره (٦) سم، والمسافة بين قطبي السطحين (٢٠) سم، ولهما محور مشترك، وضع جسم على المحور المشترك على بعد (٢٠) سم من قطب السطح الكروي الذي نصف قطر تكوره (٤) سم، جد مكان الخيال النهائي.

الحل :

يعتبر كل سطح مستقلاً عن الآخر

السطح الأول :

نق = ٤ سم، م_١ = ١، م_٢ = ٦، ١، س = ٢٠ سم

$$= \frac{1^2}{ص} + \frac{(1^2 - 2^2)}{1,6} = \frac{1,6}{ص} + \frac{1 - 1,6}{20} = \frac{1,6}{ص} - \frac{0,6}{20} = \frac{1,6}{ص} - \frac{3}{100}$$

ص = ١٦ سم

السطح الثاني :

نق = ٦- سم، ١,٦ = ١ م، ١ = ٢ م

س = ٦ - ٢٠ = ٤ سم

$$\frac{1}{ص} + \frac{1,6}{٤} = \frac{1}{٦-}$$

ص = ٣ سم بعد الخيال النهائي .

الموشور (المنشور) : هو منشور ثلاثي شفاف محدد بثلاث أوجه مستطيلة الشكل يتقاطع كل وجهين بخط مستقيم يسمى (حرف الموشور)، ويتقاطع الوجهان الآخران بزواوية تسمى (زاوية رأس المنشور) .

الفائدة العملية من استخدام الموشور

يعمل الموشور على :

- ١- حرف الأشعة المارة خلاله نحو قاعدته أو عكسها مكوناً صورة وهمية للجسم .
 - ٢- تحليل الضوء البيض إلى ألوانه الأساسية أو مزج تلك الألوان للحصول على اللون الأبيض للضوء .
 - ٣- يستخدم في الناظور ذي الموشورين وفي الأجهزة البصرية .
- عندما يمر ضوء الشمس الأبيض في الموشور يتحلل إلى ألوانه الأساسية بسبب اختلاف سرعة الألوان داخل الموشور، فاللون الأحمر يكون أسرعها فيكون أقل انكساراً من بقية الألوان والأقل سرعة كاللون البنفسجي يكون أكثرها انكساراً داخل الموشور أما بقية الألوان فتقع بين هذين اللونين كل حسب سرعته داخل الموشور .

ويمكن مزج ألوان الطيف الشمسي بعد تحليلها والحصول على اللون الأبيض بوضع موشور مقلوب بالنسبة للموشور الذي تم خلاله تحليل ضوء الشمس حيث يقوم الموشور المقلوب بإعادة جمع الألوان وإنتاج اللون الأبيض وهذا أيضاً يسبب اختلاف في سرعة تلك الألوان واختلاف زوايا انكسارها حسب سرعتها .

زاوية الانحراف (ح) : هي الزاوية المحصورة بين اتجاه أو امتداد الشعاع الساقط على الموشور وامتداد الشعاع النافذ منه .

زاوية الانحراف = زاوية السقوط + زاوية النفوذ - زاوية رأس الموشور

$$ح = \alpha + ص - أ$$

ملاحظة: تدعى زاوية الانحراف بزاوية الانحراف الصغرى عندما تتساوى زاوية السقوط مع زاوية النفوذ للضوء فيتمثل عندئذ الشعاعان الساقط والنافذ من الموشور من حيث الميل .

ويعتمد مقدار الانحراف في الأشعة الضوئية النافذة من الموشور (زاوية الانحراف) على :

١- زاوية السقوط .

٢- زاوية رأس الموشور .

٣- معامل انكسار مادة الموشور .

ملاحظة : لا يعتمد مقدار الانحراف على زاوية السقوط مادامت قيمتها صغيرة جداً .

مثال :

منشور زاوية رأسه (٥٠) وزاوية الانحراف الصغرى له (٣٦) فما معامل انكساره ؟ .

الحل :

$$ج_١م = \left(\frac{أ+ح}{٢} \right) \quad ج_٢م = \left(\frac{أ}{٢} \right)$$

$$ج_١م = \left(\frac{٣٦+٥٠}{٢} \right) \quad ج_٢م = \left(\frac{٥٠}{٢} \right)$$

$$\times \text{ جا } (٤٣)^\circ = \text{م} \text{ جا } (٢٥)^\circ \quad \text{م} = ١,٦$$

انكسار الضوء في الجو :

وهو ما يشبه ما يراه غواص في الماء عند النظر إلى الأجسام التي في الهواء، وهو السبب في رؤية قرص الشمس البيضوي كبير عند الأفق وقت غروبها حيث تنكسر الأشعة القادمة من حافتها السفلى أكثر مما تنكسر الأشعة القادمة من حافتها العليا بسبب اختلاف الكثافة الضوئية للطبقات الهوائية التي تؤلف جو الأرض مما يؤدي إلى تغير مستمر في معامل الانكسار .

وكثيراً ما نشاهد قرص الشمس بعد أن تغيب فعلاً تحت الأفق أو قبل أن تشرق والسبب في ذلك أن الشمس تستغرق دقيقتين لكي تقطع مسافة ظاهرية تساوي قطرها في أثناء شروقها أو غروبها عند خط الأفق .

الخلاصة

- الانكسار هو: تغيير مسار الشعاع الضوئي عند انتقاله من وسط شفاف إلى وسط شفاف آخر.
- الشعاع الساقط والشعاع المنكسر والعمود المقام على السطح الفاصل من نقطة السقوط تقع كلها في مستوى واحد.
- النسبة بين جيب زاوية السقوط في (الفراغ أو الهواء)، وجيب زاوية الانكسار في وسط شفاف تساوي مقدار ثابتاً، يسمى معامل الانكسار المطلق للوسط .
- توصل العالم العربي الحسن بن الهيثم إلى قانوني الانكسار وتوصل العالم سنل إلى العلاقة الرياضية بين جيب زاوية السقوط، وجيب زاوية الانكسار.
- عند انتقال الضوء من وسط شفاف إلى وسط شفاف آخر، معامل انكساره أكبر من معامل انكسار الوسط الأول فإنه ينكسر في الوسط الثاني مقترباً نحو العمود المقام على السطح الفاصل بين الوسطين من نقطة السقوط .
- وعند انتقال الضوء من وسط شفاف إلى وسط شفاف آخر، معامل انكساره أقل من معامل انكسار الوسط الأول فإنه ينكسر في الوسط الثاني مبتعداً عن العمود المقام على السطح الفاصل بين الوسطين من نقطة السقوط.
- الزاوية الحرجة لوسط ما هي زاوية السقوط في الوسط يقابلها زاوية انكسار في الهواء أو الفراغ مقدارها (90°) .
- معامل انكسار المادة المطلق يساوي مقلوب جيب الزاوية الحرجة لها.
- إذا انتقل الضوء من وسط كثيف (معامل انكساره كبير) كالزجاج إلى الهواء أو الفراغ، فإن الشعاع المنكسر يبتعد عن العمود المقام على السطح الفاصل بين الوسطين من نقطة السقوط وإذا زادت زاوية السقوط عن الزاوية الحرجة للوسط الكثيف فإن الضوء لا ينفذ من سطحه بل ينعكس عن السطح الفاصل داخله، وتكون زاوية السقوط مساوية لزاوية الانعكاس وتسمى هذه الظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي.

- لظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي تطبيقات مهمة في الحياة العملية منها: استخدام الألياف الضوئية في الطب في عمليات التنظير، والعمليات الجراحية الباطنية، وكذلك في الاتصالات .
- **يكون البعد الظاهري لجسم ما أقل من بعده الحقيقي** إذا شوهد من وسط معامل انكساره أقل من معامل انكسار الوسط الموجود فيه الجسم، **ويكون بعده الظاهري أكبر من بعده الحقيقي**، إذا شوهد من وسط معامل انكساره أكبر من معامل انكسار الوسط الموجود فيه الجسم.
- معامل الانكسار المطلق لوسط ما يساوي النسبة بين البعد الحقيقي، والبعد الظاهري لجسم موضوع فيه .
- يفترض النموذج الجسيمي للضوء أن الضوء عبارة عن سيل من الدقائق المادية تنبعث من مصدر الضوء بسرعة كبيرة وبخطوط مستقيمة.
- استطاع النموذج الجسيمي للضوء تفسير انتقال الضوء بخطوط مستقيمة، وانعكاس الضوء بنجاح وفشل في تفسير ظاهرة الانكسار.
- يفترض النموذج الموجي للضوء، أن الضوء ينتشر من المصدر الضوئي على شكل موجات كروية مركزها المصدر.
- استطاع النموذج الموجي تفسير ظاهرتي الانعكاس والانكسار بنجاح.

أُسئلة

س ١ : ماذا ينتج عن :

٣

٢

أ- انتقال الشعاع الضوئي من الهواء إلى وسط شفاف معامل انكساره

ب- زيادة سمك طبقة رقيقة من الماء .

ج- إسقاط شعاع ضوئي على أحد أوجه الموشور الداخلية بزاوية اكبر من الزاوية الحرجة لزجاج الموشور .

س ٢ : على ماذا يتوقف معامل انكسار وسط معين ؟ .

س ٣ : ما سبب تقوس أشعة الضوء أثناء مرورها في طبقات جو الأرض ؟ .

س ٤ : ما الفائدة العملية من معرفة معامل انكسار المادة المتجانسة ؟ .

س ٥ : ما سبب رؤية الأجسام في مواقع غير مواقعها الحقيقية عند النظر إليها من وسط آخر يختلف عن وسطها في الكثافة الضوئية ؟ .

س ٦ : ما سبب استعمال ألياف بلاستيكية شفافة في عمل أجهزة بصرية تستعمل لنقل الضوء إلى أماكن يتعذر الدخول إليها ؟ .

س ٧ : ما الذي يحدد الموضع الظاهري للجسم ؟ .

س ٨ : لماذا تتألق الماسة ولا تتألق قطعة الزجاج المشابهة لتلك الماسة ؟ .

س ٩ : لماذا تكون صورة الجسم المرئي واضحة عند استخدام الموشور بدلاً من المرآة المستوية ؟ .

س ١٠ : ما السبب في تألق النجوم والضوء البعيد والقريب من الأفق ؟ .

س ١١ : على ماذا يعتمد مقدار الانحراف في الأشعة الضوئية النافذة من الموشور ؟ .

س ١٢ : لماذا لا تحصل الحالة الحرجة إذا انتقل الضوء من الهواء إلى الماء ؟ .

الأجوبة

ج ١ : أ- ينحرف مقترباً نحو العمود المقام على السطح الفاصل بين الوسيطين (من الهواء إلى الزجاج) .

ب- سوف تصبح جسم معتم فلا ينفذ الضوء خلالها .

ج- انعكاس كلي ويصبح الوجه يعمل عمل مرآة مستوية .

ج ٢ : يتوقف على :

أ- طول موجة الضوء النافذ حيث يتناسب معامل الانكسار تناسباً عكسياً مع طول الموجة الضوئية .

ب- نوع الوسط الشفاف والذي تعتمد عليه الكثافة الضوئية .

ج- الكثافة الكتلية للوسط حيث كلما ازدادت كثافة الوسط ازداد معامل انكساره .

ملاحظة : كثافة الهواء الكتلية العالية تجعل معامل انكسار الهواء المطلق أكبر قيمة من معامل انكسار

الهواء الأقل كثافة .

د- درجة حرارة الوسط .

ج ٣ : وذلك بسبب اختلاف كثافة طبقات الجو مما يؤدي إلى اختلاف معاملات انكسارها وبالتالي اختلاف سرعة الضوء فيها .

ج ٤ : معامل انكسار المادة مقدار ثابت يستفاد منه في :

أ- معرفة تلك المادة .

ب- مدى نقاوة المادة .

ج- مقدار طول موجة الضوء داخل تلك المادة .

ج ٥ : لأن عين الناظر سوف ترى امتدادات الأشعة المنكسرة وبذلك تظهر صورة (خيال) وهمية في غير موقعها الحقيقي أي بسبب انكسار الضوء .

ج ٦ : لأن تلك الألياف تمتاز بأنه كلما سقط الضوء على جدرانها الداخلية سينعكس انعكاساً كلياً إلى أن يخرج من الطرف الآخر فيمكن عندئذٍ إنارة تلك المناطق .

ج ٧ : ١- معامل انكسار كل وسط .

٢- اختلاف البعد الحقيقي للجسم .

ج ٨ : لأن الزاوية الحرجة للماس هي أصغر من الزاوية الحرجة للزجاج فيكون معامل انكسار الماس أكبر من معامل انكسار الزجاج، فالضوء الساقط على الماس والنافذ إلى داخله سيعاني عدة انعكاسات كلية ليخرج بعدها إلى عين الناظر مكسباً الماس ذلك البريق المتألق .

ج ٩ : وذلك :

- (١) لتعدد الانعكاسات على وجهي زجاج المرآة .
 - (٢) تكون المرآة معرضة للتلف والتآكل بسبب الرطوبة .
 - (٣) صور الموشور أكثر وضوحاً وسطوعاً من صور المرآة .
- ج ١٠ :** بسبب اختلاف الكثافة الضوئية للطبقات الهوائية التي تؤلف جو الأرض، وهذا الاختلاف يؤدي إلى تغير مستمر في معامل الانكسار ينتج عنه ذلك التألق .

ج ١١ : يعتمد على :

- ١- زاوية رأس الموشور .
 - ٢- معامل انكسار مادة الموشور .
- ج ١٢ :** لأن كثافة الهواء الضوئية أقل من الكثافة الضوئية للماء .

مسائل

(١) ما المقصود بالقول أن معامل الانكسار المطلق للزجاج هو $2/3$ ؟ جد الزاوية الحرجة لهذا الزجاج .

الحل :

$$\text{جا ح} = \frac{1}{\text{م}} \text{ جا ح} = \leftarrow \frac{2}{2/3} = \frac{2}{3} \quad \text{ح} = 41,2^\circ$$

(٢) ارسم بدقة مسار شعاع ضوئي خلال قطعة زجاج بشكل متوازي المستطيلات سمكها ٢٠ سم ومعامل انكسارها (٣) إذا كانت زاوية السقوط 60° ثم جد زاوية نفوذ الشعاع .

الحل :

عند نفوذ الشعاع إلى الزجاج

$$\text{م جا س} = \text{م جا ر} \quad \leftarrow 1 \times \text{جا } 60 = 3 \times \text{جا ر}$$

$$\text{جا ر} = \frac{\sqrt{3}}{3} \times 1 = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

جا ر = $2/1$ $\leftarrow$ وهي زاوية سقوط الضوء على لسطح الداخلي للزجاج عند نفوذ الشعاع إلى الهواء

$$\leftarrow \text{م جا س} = \text{م جا ر} \quad \leftarrow \sqrt{3} \times \text{جا } 30 = 1 \times \text{جا ر}$$

$$\text{جا ر} = \frac{\sqrt{3} \times 2}{1} = 2\sqrt{3}$$

$$\text{جا ر} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

ر = 60° زاوية نفوذ الشعاع

(٣) إذا كان معامل انكسار الماء (٣/٤) ومعامل انكسار الزجاج (٢/٣) احسب مقدار الزاوية الحرجة بين هذين الوسطين.

الحل :

الكثافة الضوئية للزجاج أكبر من الكثافة الضوئية للماء

$$١م جا س = ٢م جا ر$$

$$\frac{٣}{٢} \times جا ح = \frac{٤}{٣} \times جا ٩٠ \leftarrow جا ح = \frac{٨}{٩} = ٠,٨٨٨$$

$$ح = ٥٦٢,٧$$

(٤) مصدر نقطي مضيء وضع في قاع حوض واسع فيه ماء ارتفاعه $\sqrt[٧]{٤}$ جد نصف قطر أصغر قرص معتم إذا وضع على سطح الماء يمنع رؤية الجسم من أي موضع في الهواء، (معامل انكسار الماء $٣/٤$) .

الحل :

$$جا ح = \frac{١}{١,٣} \leftarrow جا ح = \frac{١}{٣/٤}$$

$$جا ح = \frac{٣}{٤} \leftarrow ح = ٤٨,٥^\circ$$

$$\frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}} = ظا ح$$

$$\frac{\text{نق}}{\text{ل}} = ظا ح = ٤٨,٥$$

$$\frac{\text{نق}}{\sqrt[٧]{٤}} = ١,١٣$$

نق = ١٢ سم نصف قطر أصغر قرص

الفصل الرابع عشر الألوان

الفصل الرابع عشر

الألوان

اللون :

هو صفة الضوء التي تعتمد على تردد الموجة الكهرومغناطيسية وتحدد لون الضوء صفة تردد الضوء .

إن الضوء النافذ من خلال الموشور يتشتت إلى مجموعة من الألوان وذلك لأن زاوية انكسار الضوء عبر الموشور تتعلق بتردد الموجة الضوئية أي بطول الموجة الضوئية إذ أن كل لون من ألوان الطيف ستكون له زاوية انكسار مختلفة عن زوايا انكسار الألوان الأخرى الموجودة ضمن الطيف وبتكرار الانكسار باتجاه قاعدة الموشور يحدث تشتت الألوان .

اللون الحقيقي :

أ- لون الجسم المعتم : هو دالة لأطوال الضوء الموجية التي لا يمتصها الجسم.

ويعتمد لون الجسم المعتم على :

١- لون الضوء الذي يعكسه للعين .

٢- لون الضوء الساقط على الجسم .

وهذا يعني :

١- إذا كان الجسم يعكس جميع الألوان التي يستقبلها سميناه أبيضاً .

٢- إذا كان الجسم يمتص جميع الأشعة الساقطة عليه سميناه أسوداً .

٣- إذا كان الجسم يعكس الضوء الأحمر مثلاً ويمتص ميع الألوان الباقية الساقطة عليه يسمى أحمرأ .

ب- لون الجسم الشفاف (المرشح) : هو دالة لأطوال الضوء الموجية النافذة منه ويعتمد لون الجسم الشفاف على لون الضوء الذي ينفذ منه للعين، وهذا يعني :

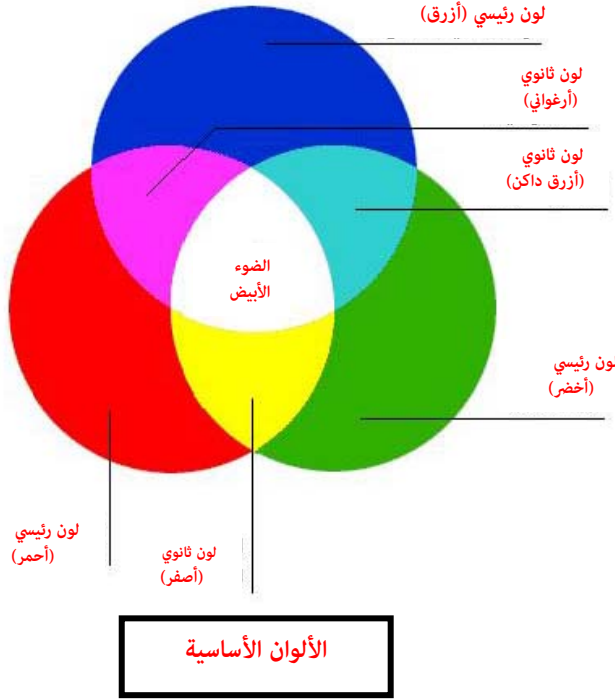
١- إذا كان الجسم الشفاف يسمح لجميع الألوان بالنفوذ خلاله فهو عديم اللون

كزجاج الشبائيك والماء .

٢- إذا كان الجسم الشفاف يسمح بنفوذ اللون الأحمر فقط (كلياً أو جزئياً) ويمتص بقية الألوان فالجسم الشفاف سيكون أحمرأ .

الألوان الأساسية :

هي الألوان التي يمكن بواسطتها الحصول على أي لون من الألوان وإذا اجتمعت بنسب متساوية كونت الضوء الأبيض وهذه الألوان هي :
اللون الأحمر واللون الأزرق واللون الأخضر .



ملاحظة : الألوان الأساسية ليست ألواناً مؤلفة من طول موجة واحدة فهي ليست ألواناً أحادية .

اللون المتمم :

هو اللون الذي إذا ما اتحد مع متممه تولد منهما ضوء أبيض وهذه الألوان هي:

- اللون الأصفر .

- اللون الأرجواني .

- اللون الفيروزي .

أحمر + أخضر = أصفر

أحمر + أزرق = أرجواني

أخضر + أزرق = فيروزي

أحمر + أزرق + أخضر = أبيض

أحمر + فيروزي = أبيض

أخضر + أرجواني = أبيض

أزرق + أصفر = أبيض

ويمكن الحصول على اللون الأبيض بواسطة :

١- موشور مقلوب بالنسبة لموشور آخر الذي حلل الضوء .

٢- قرص رسمت عليه ألوان الطيف بمساحات تتناسب مع نسبها في الطيف المرئي .

إشباع اللون : تحرير أحد الألوان الأساسية من البياض الناتج عن اللونين الآخرين والذي يجعله يبدو باهتاً نوعاً ما بوجوده .

درجة إشباع اللون : وهي درجة نقاوة اللون أي درجة تحرره من اللون الأبيض وهي نسبة مئوية تتراوح من صفر إلى ١٠٠% .

الخواص المميزة للون

١- نوع اللون والذي يتوقف على طول موجته .

٢- درجة الإشباع والتي تتوقف على نسبة البياض الممزوج بهذا اللون .

٣- السطوع وتتوقف على شدة الضوء .

اللونية : وهي الخاصية للون والتي تجمع بين اللون ودرجة إشباعه .

العين البشرية وحساسيتها للون

تفسر العين البشرية مزيج موجتين ضوئيتين أو أكثر بلون واحد وإذا لم يسقط على شبكية العين أي

ضوء أحست بالظلمة أو السواد، وتستطيع العين أن تميز أكثر

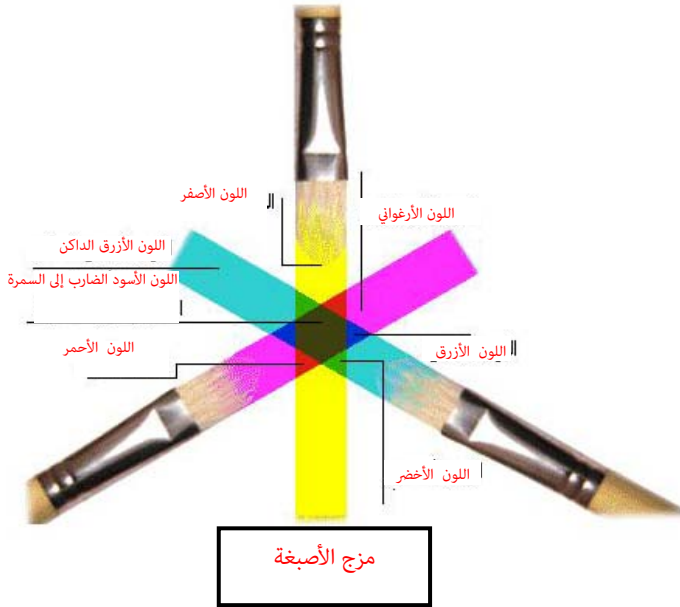
التفاصيل الموجودة في جزء من المشهد الملون الموجود على امتداد محور النظر أما بقية أجزاء المشهد فتكون تفاصيلها الملونة أقل .

طرح الألوان (مزج الأصبغة) :

هي عملية امتصاص بعض الأطوال الموجية للضوء الساقط على جسم والسماح بنفوذ أو انعكاس البعض الآخر، والأصبغة هي الأصفر والأرجواني والفيروزي، فعند مزج صبغتين أو أكثر فإن المشترك الذي تعكسه الصبغتين سوف يظهر أما الألوان الأخرى فإنها تمتص (تطرح) من قبل السطح .

الأصفر + الأرجواني = أحمر

الأصفر + الأزرق الداكن = أخضر



الأزرق الداكن + الأرجواني = أزرق

الأصفر + الأزرق الداكن + الأرجواني = أسود

اللون الأزرق يتمم الصبغة الصفراء ← أسود

اللون الأحمر يتمم الصبغة الزرقاء الداكنة ← أسود

أسود



اللون الأخضر يتمم الصبغة الأرجوانية

العلاقة بين الألوان الأساسية والصبغات الأساسية

إن الصبغات الأساسية هي متممات للألوان الأساسية حيث أن :

- ١- المرشح الأصفر يمتص الأزرق وينفذ ألوان الطيف من الأحمر حتى الأخضر .
- ٢- المرشح الأزرق الداكن يمتص متممه الأحمر وينفذ ألوان الطيف من الأخضر حتى البنفسجي .
- ٣- المرشح الأرجواني يمتص متممه الأخضر وينفذ بداية الطيف الأحمر ونهايته البنفسجي .

ظواهر طبيعية في الضوء

أولاً - السراب :

هو ظاهرة طبيعية تنشأ بسبب الانعكاس الكلي للأشعة الضوئية التي تصدرها الأجسام البعيدة عند طبقات الجو كما لو كانت منعكسة عن سطح الماء.

١- **سراب المناطق الحارة :** ينشأ من اختلاف كثافة الهواء في طبقات الجو لاختلاف درجة حرارتها حيث أن الطبقات القريبة لسطح الأرض كالطرق المعبدة تسخن وتقل كثافتها بينما تبقى الطبقات التي فوقها أقل سخونة وأكثر كثافة، وبسبب الانعكاس الكلي للأشعة الضوئية القادمة من جسم بعيد تظهر صورة مرسومة على الأرض خيالية مقلوبة وتنعكس صورة السماء أيضاً عن تلك الطبقات فتظهر وكأنها ماء متموج فوق سطح الأرض بسبب تيارات الحمل .

٢- **سراب المناطق الباردة :** في المناطق الباردة يكون الهواء الملاصق لسطح الأرض أبرد من الهواء الذي فوقه فتزداد كثافة الطبقات الهوائية الملاصقة والقريبة للثلج، وبسبب الانعكاس الكلي للأشعة الضوئية القادمة من جسم بعيد يظهر ذلك الجسم وكأنه معلق في الهواء .

ثانياً - قوس قزح :

هو ظاهرة طبيعية تنشأ بسبب مرور الضوء الأبيض في قطرات الماء العالقة

في الجو أثناء سقوط المطر حيث تقوم بتحليل أشعة الشمس القريبة من الأفق مكونة أقواساً ملونة متحدة المركز تمثل قاعدة مخروط ضوئي تقع عين الناظر عند رأس المخروط .

ملاحظة :

١- إن الانعكاس الكلي الداخلي والانكسار وتشئت الألوان داخل القطرة المائية العالقة هو السبب في تكوين قوس قزح .

٢- إن اللون الأحمر يكون القوس الخارجي لقوس قزح ويكون اللون البنفسجي القوس الداخلي له وتكون بقية الألوان بين هذين القوسين وهذا ما يدعى (القوس قزح الابتدائي) .

القوس قزح الثانوي : وهو قوس أكبر من القوس قزح الابتدائي ويقع فوقه ويكون ترتيب ألوانه عكس ترتيبها في قوس قزح الابتدائي ويكون بريقه أقل من بريق قوس قزح الابتدائي .

ويتكون قوس قزح الثانوي بسبب الانعكاس الكلي الداخلي الذي يحدث مرتين داخل قطرة المطر، ويكون بريقه أقل بسبب التشئت والامتصاص الحاصل داخل قطرة ماء المطر .

ثالثاً - الهالة :

هي حلقة مضيئة ذات ألوان مختلفة باهتة جداً ترى حول الشمس أو القمر عندما تكون في السماء سحب ثلجية عالية، فإذا كانت الحلقة ذات إضاءة جيدة ظهرت حافتها الداخلية حمراء وحافتها الخارجية صفراء، أما إذا كانت قليلة الإضاءة ظهرت الهالة بيضاء .

وتتكون الهالة بسبب انكسار الضوء داخل البلورات الجليدية في السحب الثلجية

العالية وتحلله إلى ألوانه فيها .

أسئلة

س١ : علل ما يأتي :

- ١- تبدو قطعة القماش الزرقاء عند وضعها في المنطقة الحمراء من طيف الشمس سوداء ؟
- ٢- الجسم الأزرق إذا أضيء بمصباح كهربائي يبدو داكناً أكثر من لو أضيء بضوء الشمس ؟ .
- ٣- في ضوء الشمس تبدو الأجسام بألوانها الحقيقية ؟ .

س٢ : هل للون الضوء الساقط على جسم تأثير على لون ذلك الجسم ؟ كيف ؟ .

س٣ : لماذا يعتبر مزج الألوان عملية جمع بينما يعتبر انعكاس الضوء من سطح جسم معتم أو نفوذه من جسم شفاف عملية طرح ؟ .

س٤ : كيف يفسر الفيزيائيون رؤية الضوء الأبيض ؟ .

س٥ : هل حقيقة قوس قزح هو قوس من الألوان أم دائرة من الألوان ؟ .

س٦ : ماذا يقصد باللون المتمم ؟ .

س٧ : تستطيع رؤية قرص الشمس فعلاً قبل شروقها وبعد غروبها ببضع دقائق اشرح السبب، وهل يحدث ذلك لو إنعدم الهواء المحيط بالأرض ؟ .

س٨ : هل تتحسس العين البشرية جميع الألوان بالتساوي ؟ وضح ذلك .

س٩ : إذا نظرت من خلال مرشح فيروزي فكيف تبدو الوردة الحمراء ؟ وكيف تبدو الورقة الخضراء ؟ .

س١٠ : قارن بين قوس قزح الابتدائي وقوس قزح الثانوي .

س١١ : ميز بين عملية مزج الألوان وعملية مزج الأصبغة .

س١٢ : أضيفت وردة بضوء أبيض فبدت حمراء اللون بينما تبدو الوردة نفسها سوداء لو أضيفت بضوء أزرق ما تفسر ذلك ؟ .

الأجوبة

ج ١ :

١- لأنها لا تجد في هذه المنطقة ضوءاً أزرقاً تعكسه من ناحية ولامتصاصها جميع

الألوان الأخرى من ناحية ثانية .

٢- لأن المصباح الاعتيادي يحتوي نسبة عالية من اللون الأحمر وقليلاً من الأزرق ولهذا يعكس نسبة قليلة

من الأزرق تجعله داكناً .

٣- لأن ضوء الشمس يحتوي جميع الأطوال الموجية المرئية .

ج ٢ : نعم، لأن لون الجسم يعتمد على الأطوال الموجية التي لا يمتصها الجسم فإذا كانت تلك الأطوال الموجية

(الألوان) في الضوء الساقط فيبدو الجسم بذلك اللون .

ج ٣ : لأن مزج الألوان يتم نتيجة جمع تأثير لون ما مع تأثير لون آخر في شبكية العين أما الجسم المعتم أو

الجسم الشفاف فهو يمتص جزءاً من الأطوال الموجية من الضوء الساقط عليه فتحصل عملية طرح الألوان .

ج ٤ : إن الأشعة الداخلة إلى العين تتعرض للانكسار وتتجمع الألوان المختلفة للضوء الأبيض في نقطة تركيز

واحدة على الشبكية فتتأثر الشبكية بحاصل جمع تأثير مكونات الضوء الأبيض لذا تراه العين أبيض .

ج ٥ : دائرة من الألوان .

ج ٦ : هو اللون الناتج من طرح أحد الألوان الأساسية من الضوء الأبيض أو هو اللون الذي إذا مزج مع لون آخر

تكون منهما ضوء أبيض .

ج ٧ : لأن الشعاع الصادر من الشمس سوف يعاني انكساراً متخذاً مساراً منحنياً بحيث يشاهد الناظر امتداده

فتظهر في موقع أعلى من موقعها الحقيقي حيث أن الشمس تستغرق دقيقتين لكي تقطع مسافة ظاهرية

تساوي قطرها في أثناء شروقها أو غروبها عند خط الأفق، ولا يحدث ذلك لو انعدم الهواء المحيط بالأرض

لعدم وجود اختلاف

في الكثافة الضوئية فلا يعاني الضوء القادم من الشمس انكساراً .

ج ٨ : تختلف حساسية العين فتكون حساسيتها للون الأخضر المصفر أكثر من بقية الألوان وذلك لأن الضوء الأبيض عند

دخوله عدسة العين يعاني انكساراً بزوايا مختلفة، وتقع الشبكية

في منطقة الضوء الأخضر المصفر وهذا يعني أن بقية الألوان أصبحت أمام الشبكية أو خلفها .

ج ٩ : الوردة الحمراء تبدو سوداء لأن المرشح الفيروزي يمتص اللون الأحمر، والورقة الخضراء تبدو خضراء لأن المرشح الفيروزي ينفذ الضوء الأخضر .

ج ١٠ : مقارنة بين قوس قزح الابتدائي وقوس قزح الثانوي.

قوس قزح الثانوي	قوس قزح الابتدائي
١- يتم عن الانعكاس الداخلي لألوان الطيف داخل القطرة المائية مرتين إضافة إلى التشتت والامتصاص .	١- ينتج عن الانعكاس الداخلي والانكسار وتشتت الألوان داخل القطرة المائية العالقة .
٢- القوس الداخلي أحمر والقوس الخارجي بنفسجي .	٢- القوس الداخلي بنفسجي والقوس الخارجي أحمر .
٣- أكبر حجماً ويقع فوق قوس قزح الابتدائي.	٣- أصغر حجماً ويقع أسفل قوس قزح الثانوي .
٤- أقل بريقاً .	٤- أشد بريقاً .

ج ١١ : مقارنة بين عملية مزج الألوان وعملية مزج الأصبغة :

مزج الأصبغة	مزج الألوان
١- عملية طرح (امتصاص) بعض الأطوال الموجية للضوء الساقط فتتأثر الشبكية بالألوان المنعكسة عن الصبغة إلى العين.	١- عملية جمع تأثير لون ما مع تأثير لون آخر في شبكية العين.
٢- عند مزج الأصبغة الأساسية الثلاثة نحصل على الصبغة السوداء.	٢- عند مزج الألوان الأساسية الثلاث بنسب متساوية نحصل على اللون الأبيض.

ج ١٢ : لأن لون الوردة الحقيقي أحمر فهي تعكس اللون الأحمر وتمتص بقية ألوان

الضوء الأبيض أما عند إضاءتها باللون الأزرق فأنها تمتصه ولا تعكس للعين أي لون فتبدو سوداء اللون.

الفصل الخامس عشر العدسات

الفصل الخامس عشر

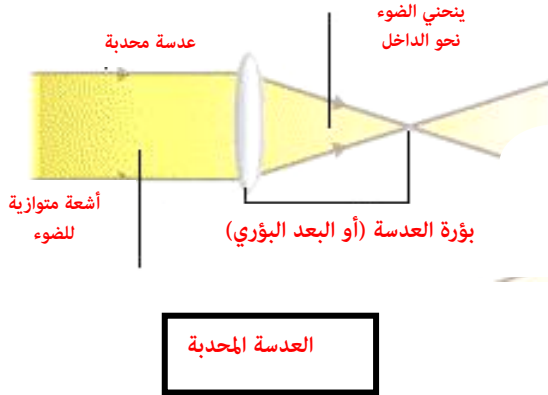
العدسات

العدسة : جسم شفاف محصور بين سطحين يكون أحدهما في الأقل كروياً وهي على نوعين :

١- **العدسة اللامة (المحدبة) :** وهي جسم شفاف يكون وسطها أكثر سمكاً من حافاتها، وفيها يتأخر الضوء النافذ من وسطها الأكبر سمكاً أكثر مما تفعله حافاتها الرقيقة مما يجعل الضوء النافذ والساقط بجهات مستوية ذي جبهات كروية متحدة المركز ومن الجهة الثانية للعدسة فتشكل حزمة متجمعة في هذا المركز .

أي أنه إذا سقطت أشعة متوازية على عدسة محدبة فإنها تجمع تلك الأشعة الضوئية في نقطة واحدة بعد نفوذها منها، لذلك سميت عدسة لامة أو جامعة، وهي على ثلاثة أشكال حسب تكور سطحها :

- عدسة محدبة الوجهين .
- عدسة محدبة مستوية .
- عدسة محدبة مقعرة .



٢- العدسة المفرفة (المقعرة) : وهي جسم شفاف يكون وسطها أقل سمكاً من حافتها وفيها يتأخر الضوء النافذ من حافتها الأكبر سمكاً أكثر مما يفعله وسطها الأرق مما يجعل الضوء النافذ والساقط بجهات مستوية ذي جهات كروية متحدة المركز والذي يقع في نفس الجهة التي قدم منها فتشكل حزمة متفرقة وكأنها صادرة من ذلك المركز .

أي أنه إذا سقطت أشعة متوازية على عدسة مقعرة فإنها تقوم بتفريق تلك الأشعة الضوئية بعد نفوذها منها، لذلك سميت عدسة مفرفة، وهي على ثلاثة أشكال حسب تحدب سطحها :

- عدسة مقعرة الوجهين .
- عدسة مقعرة مستوية .
- عدسة مقعرة محدبة .



العدسة المقعرة

المصطلحات المستعملة في دراسة العدسات

١- مركز التكور (م) : هو مركز الكرة التي يكون سطح العدسة جزءاً منها، ولكل سطح من العدسة مركز تكور .

٢- المحور الأساس (الرئيسي) : هو امتداد الخط الواصل بين مركزي تكور سطحي العدسة .

- ملاحظة :** إن كل شعاع يوازي المحور الأساس ينكسر ويمر هو أو امتداده في بؤرة العدسة .
- ٣-قطب العدسة :** هو نقطة تقاطع سطح العدسة مع محورها، ولكل سطح من العدسة قطب .
- ١- السطح الأساسي :** هو السطح الذي فيه تتلاقى امتدادات الأشعة الساقطة على العدسة مع امتدادات الأشعة النافذة منها .
- ٥-المركز البصري :** هو نقطة في العدسة تقع على محورها الرئيسي لا يتغير اتجاه الشعاع المار فيها .
- أي أن : كل شعاع يمر خلال المركز البصري للعدسة ينفذ دون أن يعاني من أي انحراف
- ٦-النقطة البؤرية الأولى :** وهي نقطة تقع على محور العدسة الرئيسي تنكسر الأشعة الصادرة منها في العدسة، وتخرج موازية لمحورها (العدسة المحدبة)، أو تتلاقى فيها امتدادات الأشعة الساقطة على العدسة التي تنكسر، ثم تخرج موازية لمحورها (العدسة المقعرة) .
- ٧-النقطة البؤرية الثانية :** وهي نقطة تقع على محور العدسة تتجمع فيها الأشعة المتوازية والموازية لمحور العدسة بعد انكسارها عن العدسة (المحدبة)، أو تنكسر الأشعة المتوازية عند سطحي العدسة وتبدو كأنها خارجة منها العدسة (المقعرة) .
- ٨-البعد البؤري :** هو المسافة بين المركز البصري للعدسة وإحدى نقطتيها البؤريتين (البؤرة الأصلية) .
- ويكون البعد البؤري للعدسة المحدبة موجب وللعدسة المقعرة سالب، كما تكون بؤرة العدسة المحدبة حقيقية بينما بؤرة العدسة المقعرة وهمية .
- ٩-الخيال الحقيقي :** هو الخيال الذي يتكون بسبب تلاقي الأشعة بعد انكسارها عند سطحي العدسة ويمكن جمعه على حاجز (شاشة) .
- ١٠-الخيال الوهمي :** هو الخيال الذي يتكون عند تلاقي امتدادات الأشعة المنكسرة، ولا يمكن جمعه على حاجز (شاشة) .

١١- الجسم الحقيقي : هو الجسم الذي تصدر عنه أشعة متفرقة، وقد يكون هذا الجسم مادياً

كالشمعة، أو يكون خيالياً حقيقياً تكونه عدسة محدبة ويقع أمام عدسة أخرى .

١٢- الجسم الوهمي: هو خيال وهمي تكونه عدسة ثم تسقط الأشعة (التي يتكون الخيال الوهمي

عن التقاء امتداداتها) على عدسة أخرى .

تكون الصور في العدسة اللامة (المحدبة) :

تتوقف صفات صورة (خيال) الجسم المتكونة بواسطة العدسة اللامة على موقع الجسم وهي :

الحالة الأولى : إذا كان الجسم

بعيداً جداً عن العدسة .

صفات الصورة :

١- حقيقية .

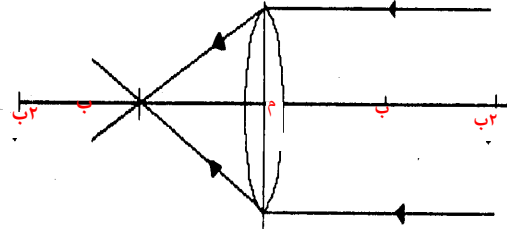
٢- مصغرة جداً تظهر كنقطة مضيئة .

٣- واقعة على مسافة تساوي البعد البؤري من الجهة الأخرى للعدسة .

ويستفاد من هذه الحالة في :

أ- تعيين موقع البؤرة .

ب- قياس البعد البؤري للعدسة .



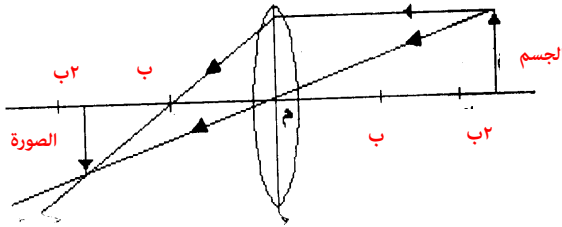
الحالة الثانية : إذا كان الجسم واقعاً على مسافة أبعد من ضعف البعد البؤري .

صفات الصورة :

١- حقيقية .

٢- مقلوبة .

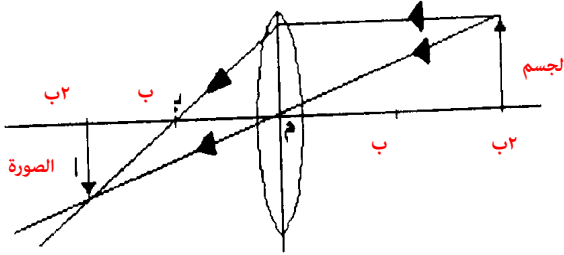
٣- مصغرة .



٤- واقعة على مسافة أبعد من البعد البؤري وأقل من ضعف البعد البؤري للعدسة من الجهة الأخرى للعدسة .

الحالة الثالثة : إذا كان الجسم واقعاً على مسافة تساوي ضعف البعد البؤري للعدسة .

صفات الصورة :



١- حقيقية .

٢- مقلوبة .

٣- بكبر الجسم .

٤- واقعة على مسافة تساوي ضعف البعد البؤري من الجهة الأخرى للعدسة .

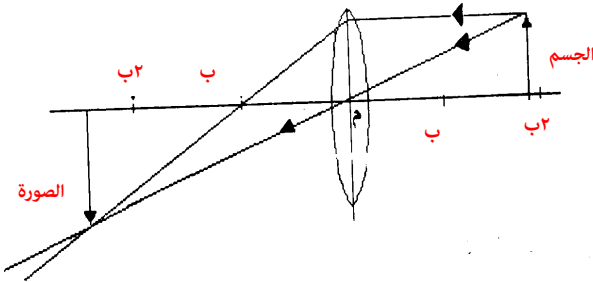
ويستفاد من هذه الحالة في :

أ- حساب البعد البؤري .

ب- قلب الصورة دون تكبير .

الحالة الرابعة : إذا كان الجسم واقعاً على مسافة أقل من ضعف البعد البؤري وأكبر من البعد البؤري .

صفات الصورة :



١- حقيقية .

٢- مقلوبة .

٣- مكبرة .

٤- واقعة على مسافة

أبعد من ضعف البعد البؤري من الجهة الآخر

ويستفاد من هذه الحالة في تكبير الصورة كما في المجهر المركب وفي آلة العرض السينمائية وفي جهاز

عارض الصور الثابتة .

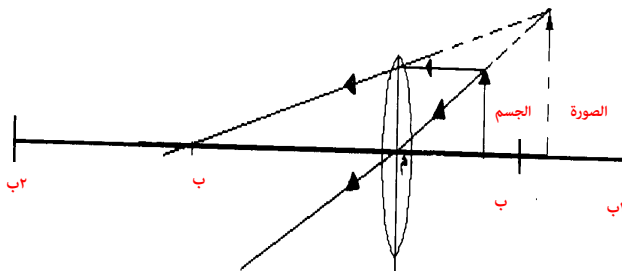
صفات الصورة :

ويستفاد من هذه الحالة في الإنارة للحصول على حزمة ضوء قوية، فإذا وضع مصدر ضوئي في بؤرة العدسة

A ray diagram for a converging lens. An object (labeled 'الجسم' in red) is placed between the lens and its focal point F . Three rays are shown: a parallel ray that refracts through the far focal point F , a central ray that passes straight through, and a focal ray that originates from the near focal point F and refracts parallel to the axis. The rays diverge on the right side, and their backward extensions intersect to form a virtual, upright, and magnified image on the left side of the lens. The focal points are labeled F on both sides, and the optical center is marked with a cross.

صفات الصورة :

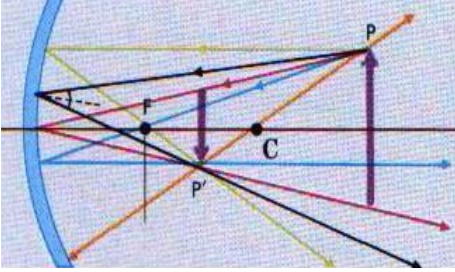
- ويستفاد من هذه الحالة في تكبير الصور كما في المجهر البسيط وفي النظارة الطبية.



تكون الصور في العدسة المفرفة (المقعرة)

صفات الصورة :

أينما يقع الجسم أمام العدسة المقعرة فإن الصورة تكون :



- ١- وهمية .
- ٢- معتدلة .
- ٣- مصغرة .
- ٤- تقع على نفس الجهة التي يقع فيها الجسم وأقرب منه للعدسة .

٣- العدسة الرقيقة : هي العدسة التي يكون سطحها الكروي قريبين من بعضهما إلى درجة يمكن اعتبار المسافة بينهما (سمك العدسة) صغيرة بالنسبة لبعدها البؤري .

صفات الأخيلة المتكونة لجسم في العدسات

يقصد بصفات الخيال (الصورة) المتكون لجسم بواسطة عدسة أن يكون: حقيقياً أم وهمياً، مكبراً أم مصغراً، معتدلاً أم مقلوباً .

ولتحديد ذلك تستخدم إحدى الطريقتين الآتيتين :

أ- الطريقة الهندسية :

يحدد الخيال (الصورة) المتكون للجسم برسم شعاعين من الأشعة الثلاثة الآتية باستخدام مقياس

مناسب للرسم :

- ١- شعاع يوازي المحور الرئيسي، وينكسر هذا الشعاع في العدسة ماراً بالبؤرة الثانية (في العدسة المحدبة)، أو امتداده ليمر بالبؤرة الثانية (في العدسة المقعرة) .
- ٢- شعاع يمر بالبؤرة الأولى، ينكسر هذا الشعاع في العدسة ويخرج موازياً لمحورها (في العدسة المحدبة)، أو ينكسر امتداد الشعاع المار بالبؤرة موازياً للمحور الأساسي (في العدسة المقعرة) .

٣- شعاع يمر بالمركز البصري، وهذا الشعاع ينفذ دون أن يغير مساره في كلتا العدستين .

وتسمى هذه الطريق **ب- قانون التكبير الطولي (ت) :** " النسبة بين طول الصورة إلى طول الجسم يساوي

النسبة بين بعديهما عن المركز البصري للعدسة " .

ويحدد تكبير الخيال (الصورة) من العلاقة التالية :

$$\frac{\text{طول الخيال (الصورة)}}{\text{طول الجسم}} = \frac{\text{ت}}{\text{ل}}$$

ويعتبر الخيال مكبراً إذا كان $\text{ت} < ١$ ، ومصغراً إذا كان $\text{ت} > ١$ ، ومساوياً إذا كان $\text{ت} = ١$.

ملاحظة :

١- طول الصورة الحقيقية موجباً والوهمية سالباً .

٢- النسبة بين مساحة الصورة والجسم تساوي مربع النسبة عن بعديهما عن المركز البصري للعدسة .

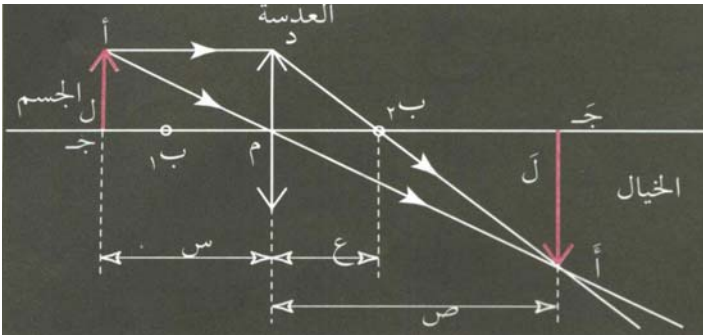
$$\frac{\text{مس}}{\text{ص}^2} = \frac{\text{مس}}{\text{س}^2}$$

ب- الطريقة الحسابية :

قانون الأبعاد في العدسات : أو قانون العدسات العام : " مقلوب البعد البؤري للعدسة يساوي مجموع

مقلوبي بعد الجسم عن العدسة وبعد الخيال (الصورة) عنها " .

من تشابه المثلثين



أ ج م، أ ج م :

$$\text{التكبير} = \frac{\text{أ ج}}{\text{أ ح}} = \frac{\text{ص}}{\text{س}} \dots\dots\dots (٢)$$

ومن تشابه المثلثين د م ب، أ ج ب :

$$\text{د م} = \frac{\text{أ ج}}{\text{م ب}} \dots\dots\dots (٢)$$

$$\frac{\text{ص}}{\text{س}} = \frac{\text{ص - ع}}{\text{ع}} \quad \leftarrow$$

ومن المعادلتين (٢) و (٢) نلاحظ أن د م = أ ج

$$\dots\dots\dots (٣) \quad \frac{1}{\text{ع}} = \frac{1}{\text{ص}} + \frac{1}{\text{س}} \quad \leftarrow$$

حيث س : بعد الجسم عن المركز البصري يعتبر قيمة موجبة للجسم الحقيقي .

ص : بعد الخيال (الصورة) عن المركز البصري يعتبر قيمة موجبة للخيال

الحقيقي وسالبة للخيال الوهمي .

ع : البعد البؤري للعدسة يعتبر قيمة موجبة للعدسة المحدبة، وسالبة للعدسة المقعرة.

ملاحظة: كما في الماريا يجب مراعاة الإشارات الموجبة والسالبة للمقادير أعلاه فإذا كانت الصورة أو البؤرة خيالية يكون بعدها سالباً أما القيم الحقيقية فتعوض موجبة سواء أكان بعد الجسم أو بعد الصورة أو البعد البؤري للعدسة اللامة (المحدبة).

مثال (١) :

وضعت شمعة مضيئة أمام عدسة لامة (محدبة) فتكونت لها صورة في الجهة الثانية مكبرة ثلاث مرات وتبعد هذه الصورة عن الشمعة ١٠٠ سم، جد بعد الشمعة وبعد الصورة عن العدسة، ثم احسب البعد البؤري للعدسة .

الحل :

نفرض أن بعد الجسم عن العدسة = س

إذاً بعد الصورة عن العدسة (ص) = ١٠٠ - س

$$\frac{\text{ص}}{\text{س}} = \text{ت}$$

$$\frac{-١٠٠}{\text{س}} = ٣$$

$$٣ = \text{س} - ١٠٠$$

$$١٠٠ = \text{س} - ٣$$

$$\text{س} = ١٠٣ \text{ سم} \quad \text{ص} = ٧٠ \text{ سم}$$

$$\frac{1}{\text{ع}} = \frac{1}{\text{ص}} + \frac{1}{\text{س}}$$

$$\frac{1}{\text{ع}} = \frac{1}{٧٠} + \frac{1}{١٠٣}$$

$$\frac{1}{\text{ع}} = \frac{١٠٣ + ٧٠}{٧٠ \times ١٠٣}$$

$$\frac{1}{\text{ع}} = \frac{١٧٣}{٧٠٣٠} \Rightarrow \text{ع} = \frac{٧٠٣٠}{١٧٣} = ٤٠,٦٣ \text{ سم}$$

مثال (٢) :

وضع جسم على بعد ٩٠ سم من شاشة بيضاء، فأين توضع عدسة لامة بعدها البؤري ٢٠ سم لتسقط صورة الجسم على الشاشة تماماً ؟ .

الحل :

الصورة تستلم على شاشة فهي حقيقية .

نفرض بعد الجسم عن العدسة = س

إذاً بعد الصورة عن العدسة = ٩٠ - س

$$\frac{1}{\text{ع}} = \frac{1}{\text{ص}} + \frac{1}{\text{س}}$$

$$٢٠ \times (٩٠ - س) \times \left[\frac{١}{س - ٩٠} + \frac{١}{س} = \frac{١}{٢٠} \right]$$

$$س (٩٠ - س) = ٢٠ (س - ٩٠) + ٢٠ س$$

$$٩٠ س - س^٢ = ١٨٠٠ - ٢٠ س + ٢٠ س$$



$$س^٢ - ٩٠ س + ١٨٠٠ = صفر$$

$$(س - ٣٠) (س - ٦٠) = صفر$$

إذاً أما س = ٣٠ سم (الحالة الرابعة) أو س = ٦٠ سم (الحالة الثانية)

مثال (٣)

وضع فلم عليه صورة مساحتها ٤ سم^٢ داخل جهاز عرض الصور، فإذا كانت عدسة الجهاز تبعد على الشاشة ٨٠٤ سم والبعد البؤري لها ٤ سم، جد بعد الفلم عن العدسة ومساحة الصورة على الشاشة ؟ .

الحل :

$$٨٠٤ \times \left[\frac{١}{٨٠٤} + \frac{١}{س} = \frac{١}{٤} \right]$$

$$٢٠١ س + ٨٠٤ = ٢٠١$$

$$٢٠٠ س = ٨٠٤ \quad \leftarrow \quad س = ٤,٠٢ \text{ سم بعد الفلم (الجسم) عن العدسة}$$

$$\frac{\text{مس}^٢}{س} = \frac{\text{مس}}{\text{مس}^٢}$$

$$\frac{\text{مس}}{٤} = \frac{\text{مس}^٢}{(٨٠٤)^٢}$$

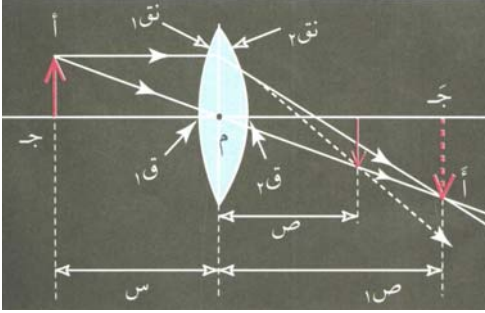
$$\frac{\text{مس}}{٤} = \frac{\text{مس}^٢}{٤(٤,٠٣)^٢}$$

$$١٦٠٠٠٠ = \text{مس}^٢ \text{ مساحة الصورة} = \frac{٦٤٦٤١٦ \times ٤}{١٦,١٦٠٤} \quad \leftarrow \quad \text{مس}^٢ =$$

معادلة صانع العدسة : للعدسة الرقيقة

إذا سقط الضوء الصادر عن جسم (أ جـ) على أحد وجهي عدسة رقيقة فإن هذا الوجه يكون

للجسم (أ جـ) خيالياً (صورة) (أ جـ)، وتحكم ذلك العلاقة الرياضية التالية :



$$\frac{1}{14} - \frac{1}{24} = \frac{1}{14} + \frac{1}{14}$$

(نق1) 14 14

وتتكون صورة الجسم (أ جـ) على بعد (ص) من السطح (ق2) وتقع الصورة وراء السطح الثاني، وتعتبر

هي الجسم بالنسبة للسطح الثاني، فيكون بعده (ص) سالباً بالنسبة للسطح الثاني، وقد افترضنا أن النقاط الثلاث (ق1، م، ق2) نقطة واحدة كون العدسة رقيقة .
ثم نطبق العلاقة (1) مرة أخرى بالنسبة للسطح الثاني :

$$\frac{1}{14} + \frac{1}{24} = \frac{1}{14} - \frac{1}{24}$$

14 24 14 24

$$\frac{1}{14} + \frac{1}{24} + \frac{1}{24} + \frac{1}{14} = \frac{1}{14} - \frac{1}{24} + \frac{1}{24} - \frac{1}{14}$$

14 24 14 24 14 24 14 24

$$\frac{1}{14} + \frac{1}{24} = \left[\frac{1}{24} - \frac{1}{14} \right] \frac{14 - 24}{14}$$

(4)..... 14 24 14 24 14 24 14 24

حيث م2 هو معامل انكسار مادة العدسة وتسمى العلاقة الرياضية (4) معادلة صانع العدسة لأن

القيم م2، نق1، نق2 يستطيع صانع العدسة اختبارها وعملها لذلك أخذت المعادلة هذا الاسم .

إن القيمة $\frac{1}{14} + \frac{1}{24}$ للعدسة قد عرفت بأنها $\frac{1}{ع}$ لكل من العدستين المحدبة الرقيقة والمقعرة الرقيقة فيكون بذلك :

$$- \frac{1}{24} - \frac{1}{14} \left(\frac{14 - 24}{14} \right) = \frac{1}{ع}$$

(5)..... 24 14 14 24 14 24 14 24

ويمكن التعبير عن البعد البؤري للعدسة بتطبيق المعادلة (٥) دون الرجوع إلى بعد الجسم وبعد الخيال، وإذا كانت العدسة سميكة فإن العلاقة (٥) تطبق مرتين عند كل سطح من سطحي العدسة .

قوة (قدرة) العدسة :

هو مقلوب البعد البؤري للعدسة عندما يكون مقاساً بالأمتار ويقدر بوحدة الديوبتر ورمزها Δ .

$$\text{قوة العدسة} = \frac{1}{ع}$$

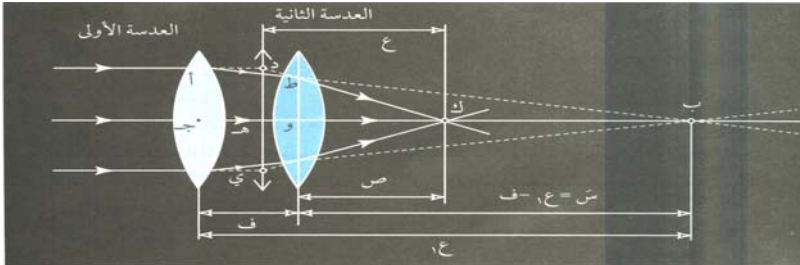
العدسات المتباعدة

عندما تكون العدستان الرقيقتان متباعدتين، فإننا نجد الخيال (الصورة) الذي تكونه العدسة الأولى سواء بطريقة الرسم أم بطريقة الحساب ونعتبر هذا الخيال جسماً بالنسبة للعدسة الثانية، ثم نجد الخيال المتكون لهذا الجسم وتكون قيمة التكبير النهائي (ت) حاصل ضرب التكبير (ت_١) في التكبير (ت_٢) :

$$ت = ت_١ \times ت_٢ \dots\dots\dots (٦)$$

البعد البؤري لنظام مكون من عدستين رقيقتين

يبين الشكل عدستين رقيقتين فإذا سقطت مجموعة أشعة متوازية على العدسة الأولى فإنها تتجمع في بؤرتها (ب) وراء هذه العدسة، فإذا وضعت عدسة ثانية تبعد عن العدسة الأولى مسافة (ف) فإن مسار الأشعة المنكسرة عن العدسة الأولى تعترض العدسة الثانية، فتتجمع في نقطة (ك)، ونلاحظ أن امتدادات مسارات الأشعة الساقطة والنافذة من العدسة الثانية تلتقي في (د، ي) وبذلك يكون السطح (د ي) هو السطح الأساسي للعدسة المكافئة للعدستين، وتكون نقطة (ك) بؤرتها .



إن العدسة الأولى كونت الخيال في نقطة (ب)، فتكون (ب) بذلك جسمًا وهميًا بالنسبة للعدسة

الثانية ويبعد عنها مسافة (س = ع_١ - ف)، ويكون الخيال الذي تكونه العدسة الثانية على بعد (ص) منها .

ومن تشابه المثلثين أ ب ج ط ب و، ينتج :

$$\frac{\text{ط و}}{\text{أ ج}} = \frac{\text{ع} - \text{ف}}{\text{ع}}$$

ومن تشابه المثلثين د ك ه ط ك و، ينتج:

$$\frac{\text{ط و}}{\text{أ ج}} = \frac{\text{ص}}{\text{ع}} \quad (\text{إن د ه} = \text{أ ج})$$

أي أن :

$$\frac{\text{ع} - \text{ف}}{\text{ع}} = \frac{\text{ص}}{\text{ع}} \quad \leftarrow \quad \frac{1}{\text{ع} - \text{ف}} = \frac{1}{\text{ص}}$$

ثم نطبق قانون العدسات على العدسة الثانية مع ملاحظة أن البعد البؤري للعدسة (ع_٢) وبعد

الجسم عنها - (ع_٢ - ف) لأن الجسم وهمي بالنسبة للعدسة الثانية، وأن بعد الخيال (الصورة) (ص) حيث :

$$\frac{1}{\text{ع} - \text{ف}} = \frac{1}{\text{ص}}$$

$$\frac{1}{\text{ع} - \text{ف}} + \frac{1}{\text{ع} - \text{ف}} = \frac{1}{\text{ع}_2} \quad \text{إذاً}$$

$$(V) \quad \frac{1}{\text{ع}_2} - \frac{1}{\text{ع}_2} + \frac{1}{\text{ع}_2} = \frac{1}{\text{ع}} \quad \leftarrow$$

$$(A) \quad \dots\dots\dots + \frac{1}{\text{ع}_2} = \frac{1}{\text{ع}} \quad \leftarrow$$

وتصبح العلاقتين (٧) و (٨) عند تطبيق مفهوم قوة العدسة بالشكل التالي :

$$ق = ق_1 + ق_2 - ف ق_1 ق_2 \dots\dots\dots (٩)$$

$$ق = ق_1 + ق_2 \dots\dots\dots (١٠)$$

عيوب الأخيلة المتكونة في العدسات

توجد عدة عيوب في الأخيلة (الصور) التي تكونها العدسات منها :

أ- الزوغان الكروي

هو تجمع مجموعة من الأشعة القريبة من المحور في نقطة (بؤرة) ومجموعة من الأشعة الساقطة عبر الأطراف في نقطة (بؤرة) أخرى، وعند وضع شاشة لتجميع الأشعة عليها تظهر البؤرة على هيئة دائرة وليست نقطة، أي لا يكون للعدسة نقطة بؤرية واحدة، وسبب هذا العيب هو اتساع سطح العدسة .

ويعتبر اتساع سطح العدسة ضرورياً لإدخال كمية كافية من الضوء لكي نستطيع تحديد معالم الخيال المتكون، ويتم التخلص من الزوغان الكروي باختيار نصفي قطرين مناسبين للعدسة على أن يكون أقل ما يمكن بالنسبة لجسم في موضع محدد (س) وخياله في موضع محدد (ص)، وعندما يختلف بعد الجسم عن (س) يعود هذا العيب إلى الظهور .

ب- الزوغان اللوني

هو عدم تجمع ألوان الضوء الأبيض النافذ من العدسة في نقطة واحدة عند سقوط الضوء الأبيض عليها مما يشوه الخيال فيظهر بينهما بشكل مجموعة من الأخيلة اللونية المتراكبة على بعضها كالظلال الملونة مما يقلل من وضوح الخيال وتحديد معالمه .

ويتم التخلص من الزوغان اللوني باستخدام العدسة اللالونية وهي عدسة مركبة من عدسة محدبة وأخرى مقعرة تختلف عن الأولى في معامل انكسارها وظيفتها تكوين خيال للجسم بنفس ألوانه، أو باستخدام مجموعة من العدسات تكون متلاصقة أو مفصولة عن بعضها ومجموعة العدسات هذه تعمل على دمج الألوان مع بعضها حتى

يتلاشى الاختلال اللوني فيتكون خيال واحد محدد وواضح المعالم .

الزاوية البصرية وقوة التكبير :

من المشاهدات المألوفة لدينا أن الأجسام البعيدة تبدو لنا صغيرة وأنها تكبر وتصبح أكثر وضوحاً كلما اقتربنا منها، ويعتمد حجم الجسم الذي نراه على حجم الصورة (الخيال) الذي تكونها العين على الشبكية إذ يكون الحجم الظاهري للجسم كبيراً إذا كان حجم صورته على شبكية العين كبيرة، ويكون الحجم الظاهري للجسم صغيراً إذا كان حجم صورته على الشبكية صغيراً لأن الزاوية التي يقابلها الجسم عند العين تكون صغيرة عندما يكون الجسم بعيداً وتكبر هذه الزاوية كلما اقترب الجسم من العين، وتسمى الزاوية التي يقابلها الجسم عند العين الزاوية البصرية.

الزاوية البصرية: هي الزاوية المحصورة بين الشعاعين الصادرين من أبعد نقطتين في الجسم إلى العين. ويعتمد الحجم الظاهري للجسم على زاويته البصرية فإذا كبرت الزاوية البصرية يكبر حجمه، والعكس صحيح.

وتعتمد الزاوية البصرية على العوامل التالية:

- طول الجسم الحقيقي (حجمه) .
- بعد الجسم عن العين .

وعند استخدام آلة بصرية لتكبير جسم ما أو تقريبه فإنها تعمل على زيادة الزاوية البصرية للجسم، فتراه العين أكبر مما تراه بدونها، وفي هذه الحالة تكون الآلة قد عملت على تكبير الجسم، وتساوي قوة تكبيرها النسبة بين ظل الزاوية البصرية التي تقابل الجسم (صورته) عند النظر إليه عبر الآلة وظل الزاوية البصرية التي تقابله عند النظر إليه بالعين المجردة أي أن:

قوة التكبير للآلة البصرية =

ظا (الزاوية البصرية لصورة الجسم الذي تكونه الآلة) (١١)

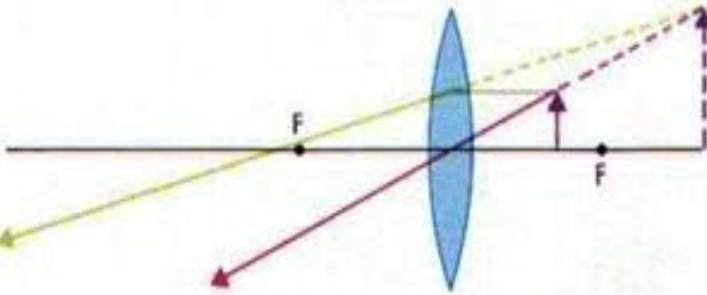
ظا (الزاوية البصرية للجسم الذي تراه العين المجردة)

المجهر البسيط :

هو عدسة لامة قصيرة البعد البؤري يستفاد منها في الحصول على صورة وهمية معتدلة مكبرة ويستعمل المجهر البسيط للقراءة أو لتصليح الأجهزة الدقيقة كالساعات .



المجهر البسيط



وتكون الصورة (الخيال) أوضح ما يمكن في حالة عدم استخدام أي آلة بصرية عندما يكون الجسم على بعد معين من العين ويعتمد هذا البعد على صحة إبصار العين وتختلف من شخص إلى آخر، وتسمى أقصر مسافة بين العين والجسم الذي تتمكن العين من رؤيته بشكل واضح وبدون إجهاد **مسافة الرؤية الواضحة (ف)** وهي للعين السليمة (٢٥) سم .

ولحساب قوة تكبير المجهر البسيط تطبق المعادلة (١١) فيكون :

$$\text{قوة التكبير} = \frac{\text{طا (الزاوية (١))}}{\text{طا (الزاوية (٢))}}$$

حيث **زاوية (١)** : الزاوية البصرية التي تقابل الصورة التي تكونها العدسة .

زاوية (٢) : الزاوية البصرية للجسم لو كان على بعد يساوي مسافة الرؤية الواضحة (ف) .

وبما أن تكبير العدسة للصورة يحسب بالعلاقة الآتية :

$$\text{التكبير} = \frac{\text{طول الصورة (ل)}}{\text{طول الجسم (ل)}} = \frac{\text{بعد الصورة}}{\text{بعد الجسم}}$$

وبقسمة البسط والمقام على (ف) يكون :

$$\text{قوة التكبير} = \frac{\frac{\text{ل}}{\text{ف}}}{\frac{\text{ل}}{\text{ف}}} = \frac{\text{طا زاوية (١)}}{\text{طا زاوية (٢)}} = \frac{\text{ف}}{\text{س}}$$

إذن : قوة التكبير = $\frac{\text{طا زاوية (١)}}{\text{طا زاوية (٢)}}$ = $\frac{\text{ف}}{\text{س}}$

وعندما نطبق القانون العام للعدسات نجد أن :

$$\frac{1}{\text{ع}} = \frac{1}{\text{ف}} + \frac{1}{\text{س}}$$

(الإشارة سالبة لأن الصورة (الخيال) وهمي)

وبضرب طرفي المعادلة في (ف) تكون :

$$\frac{\text{ف}}{\text{ع}} = 1 - \frac{\text{ف}}{\text{س}}$$

$$\text{ولكن } \frac{f}{s} = \text{قوة التكبير إذن :}$$

$$\text{قوة التكبير} = \frac{f}{e} + 1$$

حيث f = مسافة الرؤية الواضحة ، e : البعد البؤري للعدسة

المجهر المركب :

هو جهاز بصري يستعمل لرؤية الأجسام الصغيرة التي لا تستطيع العين أن تراها بوضوح .

يتركب المجهر المركب من عدسة لامة شبيثة قصيرة البعد البؤري تعمل على تكوين صورة (خيال)

حقيقية مكبرة للجسم المراد تكبيره وعدسة لامة أخرى ذات بعد بؤري أكبر من البعد البؤري للعدسة الشبيثة تسمى العدسة العينية تعمل على تكوين صورة (خيال) وهمية مكبرة للصورة التي كونتها العدسة الشبيثة .

كما يتكون المجهر المركب من أنبوب طويل نسبياً تكون العدسة العينية بأحد طرفيه والعدسة الشبيثة في الطرف الآخر.

وعندما يراد العمل بالمجهر يوضع الجسم المراد تكبيره بين البؤرة ونقطة ضعفي البعد البؤري

للعدسة الشبيثة وعندئذ يتكون صورة (خيال) حقيقية مقلوبة مكبرة للجسم، ويكون موقع الصورة على بعد من العدسة العينية أقل من بعدها البؤري وفي هذه الحالة تعمل العدسة العينية عمل مجهر بسيط.

قوة تكبير المجهر المركب = قوة تكبير العدسة الشبيثة × قوة تكبير العدسة العينية

$$\text{ولكن قوة تكبير العدسة الشبيثة} = \frac{v_1}{s_1}$$

حيث v_1 : بعد الصورة التي تكونها العدسة الشبيثة عنها .

s_1 : بعد الجسم عن العدسة الشبيثة .

$$\text{تكبير العدسة الع} \quad 1 + \frac{f}{e}$$

حيث $f = v_2$.

التكبير التقريبي لمجهر = تكبير الشيئية × تكبير العينية

إذن قوة تكبير المجهر المركب

$$ت = \frac{ص}{(ف + ١)}$$

تطبيقات

$$\frac{ص}{ع} \quad \frac{س}{ع}$$

أ- المرقب الفلكي العاكس :

هو جهاز بصري يستعمل لرؤية الأجرام السماوية بوضوح إذ يعمل على زيادة إبصار الجرم السماوي ومراقبة حركته .

ويقوم مبدأ عمل المرقب الفلكي العاكس على تكبير الزوايا البصرية للجرم السماوي فتشاهد بوضوح أكبر ويتركب من عدستين محدبتين: عدسة عينية ذات بعد بؤري صغير، وعدسة شيئية ذات بعد بؤري كبير، وأنبوبة تدعى قسبة المرقب وتقع العدستان على طرفيه، ويكون طول الأنبوب أقل بقليل من مجموع البعد البؤري للعدسة العينية والبعد البؤري للعدسة الشيئية، وتكون العدسة العينية في طرف أنبوب قابل للحركة (الانزلاق) داخل قسبة المقرب وبذلك يمكن تغير المسافة بين العدستين الشيئية والعينية.

وعند استخدام المرقب الفلكي العاكس لرصد جرم سماوي توجه العدسة الشيئية نحوه فتتكون له صورة (خيال) حقيقية في بؤرتها ويكون بعد الصورة عن العدسة العينية أقل من بعدها البؤري فتكون العدسة العينية للصورة الحقيقية للجسم صورة وهمية مكبرة.

ويمكن إيجاد قوة تكبير المرقب الفلكي العاكس بالعلاقة التالية:

$$\text{قوة التكبير} = \frac{\text{البعد البؤري للعدسة الشيئية}}{\text{البعد البؤري للعدسة العينية}}$$

وتوجد في المرقب الفلكي العاكس مرآة مقعرة وظيفتها تسلم وعكس أكبر كمية ممكنة من الضوء الصادر من الجرم المراقب بسبب كبر نصف قطر تكورها ومساحتها الكبيرة، ويفضل استعمال المرآة المقعرة في المرقب الفلكي العاكس للأسباب الآتية :

١- عدم حصول زوغان لوني كما في العدسات .

٢- عدم حصول زوغان كروي لأنها تكون بشكل قطع مكافئ .

٣- سهولة صنعها .

٤- إمكانية تثبيتها في قعر المرقب مما يجعلها أكثر ثباتاً واستقراراً .

ب- جهاز العرض فوق الرأس: هو جهاز يستخدم لعرض الكتابة أو الرسوم الإيضاحية المرسومة أو المثبتة على صفيحة من اللدائن الشفافة على شاشة كبيرة.

ج- المطياف ذو الموشور : هو جهاز يستخدم لفحص وقياس طيف الضوء المنبعث من أي جسم منير ويتركب من :

١- المسدد .

٢- الموشور .

٣- الناظور (المرقب) .

٤- المقياس .

وتكون المطياف على أنواع منها :

أ- كشاف الطيف ويستخدم لرؤية الطيف .

ب- مقياس الطيف ويستخدم لقياس الأطوال الموجية لألوان الطيف بدقة .

ج- مسجل الطيف ويستخدم لتصوير الطيف من خلال آلة تصوير ملحقة به .

د- آلة التصوير الحديثة (الكاميرا) :

تشابه آلات التصوير جميعاً في مبدأ عملها بالرغم من اختلاف أشكالها وأحجامها وأنواعها، وتتكون

آلة التصوير من الأجزاء الرئيسية التالية :

١- الغلاف :

وهو الجزء الخارجي من آلة التصوير والذي يحدد شكلها وحجمها، وتثبت فيه الأجزاء الأخرى

ويصنع من مادة صلبة غير قابلة للصدأ ويكون محكم الإغلاق وجدرانها الداخلية مطلية بدهان

أسود لمنع انعكاسات الضوء داخله.

٢- العدسة المحدبة :

وتقع في مقدمة آلة التصوير وتثبت بشكل يمكن من تحريكها إلى الأمام

والخلف (أي باتجاه الغلاف وخارجه)، ويقع على حامل العدسة ضابط المسافات وهو تركيب يعمل على تكييف المسافة بين العدسة والفلم لتكوين صورة واضحة للمنظر المراد تصويره .

٣- الحديقة :

هي مجموعة من صفائح فلزية رقيقة متداخلة متصلة مع بعضها بنظام ميكانيكي خاص بحيث يمكن التحكم بواسطتها في اتساع فتحتها، بحسب كمية الضوء المراد إسقاطها على الفلم، وتعمل الحديقة على مبدأ الرقم البؤري وهو النسبة بين البعد البؤري للعدسة وقطر فتحة الحديقة، فكلما زاد اتساع فتحة الحديقة قلت القيمة العددية للرقم البؤري .

٤- حاجب الضوء (الغالق) :

وهو الجزء المهم من آلة التصوير وظيفته تحديد زمن تعريض الفلم للضوء، إذ يقوم هذا الجزء بإغلاق فتحة الحديقة بعد فترة زمنية معينة، فإذا تم ضبط الغالق على الرقم (٢٥٠) مثلاً فإن الزمن الذي يتعرض فيه الزمن للضوء يساوي جزء من (٢٥٠) جزءاً من الثانية .

٥- محدد المنظر، أو معين المشهد :

وهو وسيلة تسهل رؤية حدود المنظر المراد تصويره ويتكون من مجموعة من المرايا المستوية التي تعكس الضوء الداخل عبر العدسة إلى عين المصور .

٦- ناقل الفلم :

وهو وسيلة ميكانيكية يعمل على تحريك الفلم وتهيئته لتصوير اللقطة، كما تعمل كذلك على شد الفلم الملفوف بحيث تكون المساحة المواجهة للعدسة من الفلم مستوية تماماً .
إن آلة التصوير تعمل وفق مبدأ تكوين صور (أخيلة) حقيقية للمنظر التي يراد تصويرها، ويتم ذلك بواسطة مجموعة عدسات الآلة، على فلم حساس للضوء يكون بشكل شريط رقيق من مادة بلاستيكية مغطاة بطبقة أو عدة طبقات من مواد كيميائية تتأثر بالضوء وعندما تتكون الصورة على الفلم تتأثر أجزاؤه

بالضوء الساقط عليه ويتفاوت تأثرها بتفاوت شدة الضوء الساقط عليها، ثم يتم تثبيت الصور (الأخيلة) المتكونة عليه بواسطة مواد كيميائية تستخدم لهذا الغرض وهذا ما يسمى تحميض الفلم .

الخلاصة

- **العدسة :** هي عبارة عن جسم شفاف محاط بسطحين كرويين.
- **العدسات نوعان :** عدسات محدبة، وعدسات مقعرة .
- العدسة المحدبة تجمع الضوء وتسمى العدسة اللامة، وتختلف صفات الصورة (الخيال) المتكونة لجسم منها باختلاف بعده عنها .
- العدسة المقعرة تفرق الضوء وتسمى العدسة المفرقة، وتكون دائماً صور (أخيلة) وهمية معتدلة مصغرة للأجسام التي توضع أمامها .
- يوضح القانون العام للعدسات العلاقة بين بعد الجسم، وبعد الصورة، والبعد البؤري للعدسة .
- التكبير يساوي بعد الصورة مقسوماً على بعد الجسم، ويساوي طول الصورة (الخيال) مقسوماً على طول الجسم .
- **الزاوية البصرية هي :** الزاوية التي تقابل الجسم، أو الصورة (الخيال) عند العين .
- يعتمد مبدأ عمل الآلات البصرية على تكبير الزاوية البصرية للجسم المراد مشاهدته، ويكون ذلك إما بتكبير الجسم أو تقريبه .
- المجهر البسيط هو عدسة محدبة الوجهين، تكون صوراً (أخيلة) للجسم المراد تكبيره على بعد يساوي مسافة الرؤية الواضحة وهي للأصحاء بصرياً تساوي (٢٥) سم .
- للمجهر المركب عدستان محدبتان تقعان على طرفي أنبوب طويل نسبياً وقوة تكبيره تساوي حاصل ضرب قوة تكبير عدستيه : الشيئية والعينية .
- يتكون المقرّب الفلكي العاكس من عدستين محدبتين : عدسة عينية ذات بعد بؤري صغير، وعدسة شيئية ذات بعد بؤري كبير نسبياً موضعتين على

طرفي أنبوب يدعى قصبه المرقب وطول الأنبوب أقل بقليل من مجموع البعدين البؤريين للعدستين،
وتساوي قوة تكبير حاصل قسمة البعد البؤري للعدسة الشيئية على البعد البؤري للعدسة العينية .
-آلة التصوير: هي إحدى الآلات التي تستخدم فيها العدسات لتكوين صور (أخيلة) حقيقية للأجسام على
فلم حساس للضوء .

أَسْئَلَة

- س١ : وضع جسم أمام عدسة فتكونت للجسم صورة معتدلة أقرب إلى العدسة من الجسم فما نوع العدسة ؟ وما موقع الجسم ؟ .
- س٢ : في أحد الأجهزة البصرية أريد قلب صورة جسم بدون تكبير، فما نوع العدسة الملائم استخدامها لذلك ؟ وما موقع الجسم وموقع الصورة ؟ .
- س٣ : عند إيجاد بؤرة عدسة لامة أسقطت مرة حزمة ضوئية حمراء ومرة أخرى حزمة ضوئية بنفسجية وبصورة موازية لمحورها الأساس، فهل يختلف موقع بؤرة تلك العدسة في كل حالة ولماذا ؟ .
- س٤ : عدسة بعدها البؤري (١٠) سم وضع أمامها جسم فتمّ تسلّم صورة مكبرة للجسم على شاشة تقع على بعد (٢٥) سم عن العدسة من الجهة الأخرى، فما نوع العدسة ؟ ولماذا ؟ .
- س٥ : هل تكون الصورة التي تكونها العين : (أ) حقيقية أم وهمية ؟ (ب) معتدلة أم مقلوبة ؟ .
- س٦ : ما سبب الزوغان اللوني في العدسات وكيف يعالج ؟ .
- س٧ : علل ما يأتي :
- أ- البعد البؤري في العدسة يختلف باختلاف لون الأشعة الساقطة عليها .
- ب- انحراف الأشعة النافذة من عدسة لامة (محدبة) يكون نحو محورها الأساس عادة .
- س٨ : ماذا يقصد بالتكبير في العدسات ؟ وما علاقة ذلك ببعد الصورة (الخيال) وبعد الجسم عن العدسة ؟
- س٩ : اذكر بعض التطبيقات العملية لكل حالة من الحالات الست للعدسة اللامة (المحدبة) .
- س١٠ : كيف تتكون الصور في المجهر المركب ؟ .

س١١ : أي نوع من العدسات يمكن استعمالها وأين يجب أن يوضع الجسم بالنسبة للعدسة لتكوين :

أ- صورة حقيقية مكبرة ؟ .

ب- صورة حقيقية مصغرة ؟ .

ج- صورة حقيقية بكبر الجسم ؟ .

د- صورة وهمية مكبرة ؟ .

هـ - صورة وهمية مصغرة ؟ .

س١٢ : إذا زاد البعد بين الشاشة وجهاز عرض الصورة فما الذي يجب عمله في البعد بين الفلم الشفاف

(الذي يمثل الجسم المراد تكبير صورته) والعدسة لإعادة سقوط الصورة واضحة على الشاشة ؟ .

الأجوبة

ج ١ : بما أن الصورة معتدلة فهي وهمية واقرب إلى العدسة فهي مصغرة، فالعدسة مفرقة (مقعرة) وأينما يقع الجسم أمام العدسة تظهر له هذه الصفات .

ج ٢ : بما أن الصورة مقلوبة فهي حقيقية وبدون تكبير فهي بكبر الجسم فالعدسة الملائم استخدامها هي العدسة (اللامعة) المحدبة (الحالة الثالثة) .

يكون موقع الجسم على مسافة تساوي ضعف البعد البؤري ولذلك سوف يكون موقع الصورة على مسافة تساوي ضعف البعد البؤري للعدسة من الجهة الأخرى للعدسة .

ج ٣ : نعم، وذلك لاختلاف سرعة الألوان داخل العدسة فاللون الأحمر أسرعها سوف يكون أقلها انكساراً أما اللون البنفسجي فأبطأها لذلك يكون أكثر انكساراً، فيكون موقع البؤرة في الحالة الأولى أبعد من موقع البؤرة في الحالة الثانية .

ج ٤ : بما أن الصورة قد استلمت على شاشة من الجهة الأخرى فهي حقيقية والعدسة اللامعة (المحدبة) هي فقط التي تكون الصور الحقيقية (الحالة الرابعة) .

ج ٥ : الصورة التي تكونها العين حقيقية مقلوبة مصغرة .

ج ٦ : وذلك بسبب تغير معامل الانكسار لمادة العدسة مع الطول الموجي للشعاع الضوئي النافذ من خلالها ويعالج باستخدام العدسة اللالونية .

ج ٧ :

١ - لاختلاف معامل الانكسار لمادة العدسة حيث ستختلف زاوية انكسارها .

٢ - لأن الشعاع الساقط يعاني من انكسارين الأول عند دخوله ويكون مقترباً نحو العمود المقام على سطح العدسة من نقطة السقوط والثاني أثناء خروجه منها مبتعداً عن العمود ماراً بالبؤرة الأساسية للعدسة .

ج ٨ : هو نسبة لطول الخيال إلى طول الجسم وهو يساوي أيضاً النسبة بين بعد الخيال وبعد الجسم عن العدسة .

ج ٩ : الحالة الأولى : تعيين البعد البؤري وموقع البؤرة للعدسة .

الحالة الثانية : الحصول على صورة مصغرة مقلوبة كما في العين .

الحالة الثالثة : قلب الصورة بدون تكبير .

الحالة الرابعة : الحصول على صورة مكبرة مقلوبة كما في المجهر المركب أو

آلة عرض الأفلام السينمائية .

الحالة الخامسة : الحصول على حزمة ضوء قوية .

الحالة السادسة : الحصول على صورة معتدلة مكبرة كما في المجهر البسيط .

ج ١٠ : العدسة الشيئية تكون للجسم صورة حقيقية مكبرة تقع على مسافة أقل من البعد البؤري للعدسة العينية والتي تصبح بالنسبة لها جسماً لتقوم العدسة العينية بتكبيرها ثانية والحصول على صورة وهمية معتدلة مكبرة .

ج ١١ : أ- عدسة لامة، يوضع الجسم بين البعد البؤري وضعف البعد البؤري للعدسة .

ب- عدسة لامة، يوضع الجسم على مسافة أكبر من ضعف البعد البؤري للعدسة .

ج- عدسة لامة، يوضع الجسم على مسافة تساوي ضعف البعد البؤري للعدسة .

د- عدسة لامة، يوضع الجسم على مسافة أقل من البعد البؤري للعدسة .

هـ- عدسة مفرقة، أينما يوضع الجسم أمام العدسة نحصل على تلك الصورة .

ج ١٢ : يجب تقريب الفلم الشفاف للعدسة لإعادة سقوط الصورة واضحة على الشاشة .

مسائل

١- قطعة نقود موضوعة في قعر حوض ماء، صورت بآلة تصوير مصوبة عمودياً إليها فوق الحوض، فإذا كان بعد عدسة آلة التصوير على سطح الماء ٢٥ سم وبعد الفلم عن العدسة ١٠ سم والبعد البؤري للعدسة ٨ سم ومعامل انكسار الماء (٣/٤)، جد عمق الماء في الحوض .

الحل :

$$\frac{1}{ص} + \frac{1}{س} = \frac{1}{ب}$$

$$40 \times \left[\frac{1}{10} + \frac{1}{s} = \frac{1}{8} \right]$$

$$5 \text{ سم} = 40 + 4 \text{ سم}$$

سم = 40 سم بعد الجسم عن العدسة، والجسم هو الصورة الظاهرية للقطعة

$$s = \text{العمق الظاهري} + 25$$

$$40 = \text{العمق الظاهري} + 25 \text{ سم} \quad \leftarrow \text{العمق الظاهري} = 15 \text{ سم}$$

العمق الحقيقي

$$\begin{aligned} \text{معامل الانكسار} &= \frac{\text{العمق الظاهري}}{\text{العمق الحقيقي}} \\ &= \frac{4}{\frac{15}{10}} \\ &= \frac{4 \times 10}{3} \\ &= \frac{40}{3} \text{ سم} \end{aligned}$$

$$20 \text{ سم} = \text{العمق الحقيقي لقطعة النقود وهو عمق الماء في الحوض} .$$

٢- تكونت صورة معتدلة طولها (٣) أمثال طول الجسم عند استعمال عدسة بعدها البؤري (١٥) سم، ما نوع العدسة المستعملة ؟ وما بعد الجسم وبعد الصورة عنها ؟ .

الحل :

لأن الصورة معتدلة فهي وهمية، وطولها (٣) أمثال طول الجسم فهي مكبرة فالعدسة إذن لامة

(الحالة السادسة)

نفرض طول الجسم (ل)

طول الصورة = ٣- ل (لأن الصورة معتدلة فهي وهمية وإشارتها تكون سالبة)

$$\frac{v}{s} = \frac{l}{l}$$

$$\frac{v}{s} = \frac{3-l}{l}$$

$$v = 3s - s$$

$$\frac{1}{ص} + \frac{1}{س} = \frac{1}{ب}$$

$$١٥ \times س \left[\frac{1}{س^٣} - \frac{1}{س} = \frac{1}{١٥} \right]$$

$$س - ١٥ = ٥$$

$$س = ١٠ \text{ سم بعد الجسم}$$

$$ص = ٣ - س$$

$$= ٣ - ١٠ = -٣٠ \text{ سم بعد الصورة}$$

٣- وضع جسم أمام عدسة لامة فتكونت له صورة مقلوبة مكبرة مرتين، فإذا كان البعد بين الجسم والصورة ٦٠ سم، جد البعد البؤري للعدسة .

الحل :

لأن الصورة مقلوبة فهب حقيقية

نفرض بعد الجسم = س ← بعد الصورة (ص) = ٦٠ - س، إذّا ت = ٢ + .

$$\frac{ص}{س} = ت$$

$$\frac{٦٠ - س}{س} = ٢$$

$$س = ٢٠ \text{ سم بعد الجسم} \quad \leftarrow$$

$$٦٠ - س = ٤٠$$

$$ص = ٦٠ - س$$

$$٤٠ = ٦٠ - ٢٠ = ٤٠ \text{ سم بعد الصورة}$$

$$\frac{1}{ص} + \frac{1}{س} = \frac{1}{ب}$$

$$٤٠ \times ب \left[\frac{1}{٤٠} + \frac{1}{٢٠} = \frac{1}{ب} \right]$$

$$٤٠ = ٢ + ب$$

$$\frac{٤٠}{٣} = ب$$

= ١٣,٣٣ سم البعد البؤري للعدسة

٤- وضعت شمعة بصورة عمودية على المحور الأساس لعدسة لامة بعدها البؤري ٢٥ سم فتكون لها صورة مساحتها مكبرة (٢٥) مرة جد بعد الشمعة عن العدسة : (أ) إذا كانت الصورة حقيقية، (ب) إذا كانت الصورة وهمية .

الحل :

الصورة وهمية	الصورة حقيقية
نفرض مساحة الجسم = مس إذاً مساحة الصورة = ٢٥- مس $\frac{\text{مس}}{\text{مس}} = \frac{\text{ص}^2}{\text{س}^2}$ $\frac{\text{ص}^2}{\text{س}^2} = \frac{\text{٢٥-مس}}{\text{مس}}$ ص^٢ = ٢٥- س^٢ ← ص = -٥ س $\frac{1}{\text{ص}} + \frac{1}{\text{س}} = \frac{1}{\text{ب}}$ $\text{س} \times 25 \times \left(\frac{1}{\text{س}^2} - \frac{1}{\text{س}} \right) = \frac{1}{25}$ س = ٢٥ - ٥ = ٢٠ سم بعد الجسم (الشمعة) عن العدسة .	نفرض مساحة الجسم = مس إذاً مساحة الصورة = ٢٥ مس $\frac{\text{مس}}{\text{مس}} = \frac{\text{ص}^2}{\text{س}^2}$ $\frac{\text{ص}^2}{\text{س}^2} = \frac{\text{٢٥مس}}{\text{مس}}$ ص^٢ = ٢٥ س^٢ ← ص = ٥ س $\frac{1}{\text{ص}} + \frac{1}{\text{س}} = \frac{1}{\text{ب}}$ $\text{س} \times 25 \times \left(\frac{1}{\text{س}^2} + \frac{1}{\text{س}} \right) = \frac{1}{25}$ س = ٥ + ٢٥ = ٣٠ سم بعد الجسم (الشمعة) عن العدسة .

الفصل السادس عشر الليزر

الفصل السادس عشر

الليزر

يمتاز الضوء الصادر من مصباح الإضاءة الاعتيادية أو من الشمس بأنه:

- متعدد الألوان (أطوال موجية مختلفة) .
- غير متشابهة (أطوار موجاتها غير متوافقة) .
- انبعاثها عشوائي في جميع الاتجاهات .

أشعة الليزر

في عام ١٩٥١ نجح العلماء **تاونس وجوردن وزيجر** في توليد الانبعاث المحفز في غاز الأمونيا على شكل أشعة في المنطقة الميكروية من الطيف الكهرومغناطيسي، وأسموها **المليزر**، وفتح هذا الاكتشاف الطريق إلى إمكانية توليد انبعاث محفز آخر بأطوال موجية أخرى فنجح العالم مايمان في الحصول على انبعاث في منطقة الضوء المرئي وسمي هذا الانبعاث فيما بعد **الليزر**، فقد استخدم مايمان قضيباً من بلورة الياقوت الأحمر ثم صقل وجهيها وأحاط بهذه البلورة مصباح ومضئ حلزوني كما أحاط المنظومة بسطح عاكس لزيادة كفاءة الضخ وهكذا تولد ضوء أحمر براق يدعى الليزر .

فأشعة الليزر: هي تضخيم الضوء بواسطة الانبعاث المحفز للإشعاع، أو تضخيم الموجات الدقيقة بواسطة الانبعاث المحفز للإشعاع. وتعتمد الأطوال الموجية وإشعاع الليزر على طريقة عمل الليزر من حيث الأساس وتمتد من طيف الأشعة تحت الحمراء مروراً بطيف الضوء المرئي حتى الأشعة السينية للإشعاع الكهرومغناطيسي .

صفات الليزر

- ١- ضوء أحادي الطول الموجي أو اللون : يتميز الليزر بالنقاوة اللونية (الطيفية) تفوق أي مصدر ضوئي آخر، فلو أمررنا شعاعاً ليزرياً في منشور زجاجي فإنه لا يتحلل .

٢- التشاكه : لأشعة الليزر صفات متماثلة من حيث الطور والاتجاه والطاقة مما يجعل بالإمكان الحصول على معدل تداخل مستديم في تجربة يونغ من شقين باستعمال أشعة الليزر لأنه متشاكه مما يجعله ذو شدة ضوئية عالية جداً.

٣- الشدة العالية : تكون الحزمة الليزرية ذات شدة عالية أكثر بكثير من شدة الضوء الذي نحصل عليه من أي مصدر آخر والسبب في الشدة العالية لليزر هو تركيز الطاقة المنبعثة في حزمة ضيقة قليلة الانفراج .

$$\text{شدة الإشعاع} = \frac{\text{قدرة}}{\text{المساحة}} = \frac{\text{طاقة / زمن}}{\text{المساحة}}$$

٤- له صفة الاتجاهية المحددة : يسير الليزر مسافات كثيرة بحزمة ذات انفرجية قليلة دون أن ينتشر أو يتلاشى وقد وجد أن إشعاع الليزر المرسل من الأرض والمنعكس بواسطة مرآة موضوعة على سطح القمر يبقى من شدته ما هو كافٍ لأجل الكشف عنه عند عودته من الأرض بعد أن قطع إشعاع الليزر أكثر من ٧٥,٠٠٠ كم في كامل رحلته .

ولتجميع أشعة الليزر بمساحة أصغر تستخدم عدسة لكي تزداد شدة الإشعاع الليزري .

مثال :

احسب شدة شعاع ليزر Co_2 ذي قدرة ٣٠٠ واط وقطر الحزمة ٣ ملم.

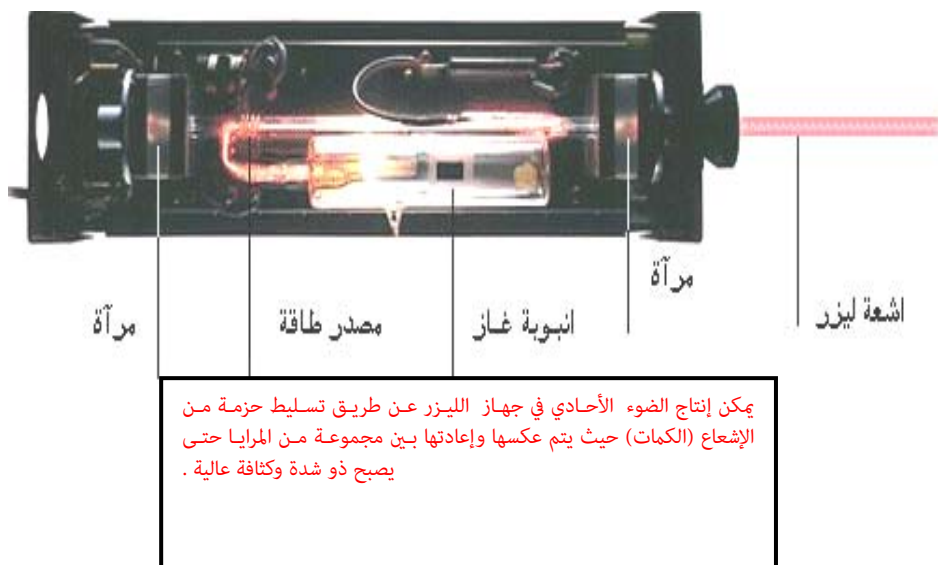
الحل :

$$\text{شدة الإشعاع} = \frac{\text{قدرة}}{\text{المساحة}} = \frac{300}{\pi (0.15)^2} = 4250 \times \frac{10}{3} \text{ واط/سم}^2$$

الفرق بين أشعة الليزر والضوء الاعتيادي .

الضوء الاعتيادي	ضوء الليزر
١- ضوء طبيعي .	١- ضوء لا ينتج إلا عن طريق تضخيم الضوء بالانبعاث المحفز للإشعاع .
٢- مزيج من عدة ألوان .	٢- أحادي اللون .

٣- ينتشر بخطوط مستقيمة .	٣- ينتشر- بحزمة ضيقة ولمسافات شاسعة من غير أن تنتشر .
٤- غير متألقة .	٤- متألقة لأنها تهتز بطور واحد وطول موجي واحد .



أسس عمل الليزر :

أ- الامتصاص : هو انتقال الذرة من مستوى طاقة واطئ إلى مستوى طاقة أعلى (مستوى تهيج) وذلك بامتصاصها فوتوناً ذا تردد مناسب طاقته تساوي فرق الطاقة بين هذين المستويين .

$\text{ط}_2 - \text{ط}_1 = \text{طاقة فوتون}$

$\text{ط}_2 - \text{ط}_1 = \text{ج د}$

$$\text{د} = \frac{\text{ط}_2 - \text{ط}_1}{\text{ح}} \quad \text{حيث (ح) هو ثابت بلانك} = 6,63 \times 10^{-34} \text{ جول.ثا}$$

ب- الانبعاث التلقائي : إن الذرة المتهيجة تميل دائماً لحالة الاستقرار فتعود بعد فترة زمنية معينة إلى المستوى الأرضي، وعندما تنتقل الذرة من مستوى طاقة أعلى والهبوط إلى مستوى طاقة أوطأ يصاحبه انبعاث فوتون تساوي فرق الطاقة بين

المستويين ويسمى هذا الانتقال بالانبعاث التلقائي .

تمتاز فوتونات الانبعاث التلقائي :

- غير متشاكهة .
- تنبعث في جميع الاتجاهات .

ج- الانبعاث المحفز : يحصل عندما تكون الذرة موجودة في مستوى التهيج (ط_٢) مثلاً وتستطيع الانتقال إلى المستوى الأرضي (ط_١) بتأثير إشعاع كهرومغناطيسي، أي اصطدامها بفوتون ناتج من انبعاث تلقائي بين المستويين (ط_٢، ط_١) والذي تردده (ت د) بحيث أن (ج د) يساوي تماماً فرق الطاقة بين المستويين (ط_٢-ط_١) عند هذا الشرط تحفز الذرة التي في المستوى (ط_٢) لنتقل إلى المستوى الأوطأ (ط_١) مما يؤدي إلى انبعاث فوتون جديد مماثل لفوتون الانبعاث التلقائي الذي اصطدم بالذرة من حيث الطور والاتجاه والطاقة ويسمى هذا الانبعاث بالانبعاث المحفز .

مميزات الانبعاث المحفز :

- طور جميع الفوتونات المنبعثة واتجاهها وطاقتها مطابقة للفوتونات المحفزة .
 - الانبعاث المحفز يتناسب مع شدة الإشعاع الكهرومغناطيسي المتمثل بالانبعاث التلقائي.
- د- التوزيع المعكوس :** حالة يكون فيها عدد الذرات المتهيجة في المستويات العليا للطاقة أكبر مما عليه في المستويات الواطئة للطاقة وذلك لزيادة احتمال الانبعاث المحفز والذي يعتبر ضرورة لتوليد الليزر .
- ويحصل الانبعاث المحفز عند سقوط إشعاع محدد مغناطيسي على مادة يكون فيها عدد الذرات المتهيجة في المستوى العلوي للطاقة أكبر مما هو عليه في المستوى الواطئ للطاقة .
- وتستعمل أنظمة ذرية لها مستويات طاقة وسطية (مستوى شبه مستقر) يكون متوسط زمن عمرها طويل نسبياً (١٠ - ٥ - ١٠ - ٢) ثانية لكي تبقى الذرات المتهيجة فيها لفترة زمنية أطول من فترة وجودها في مستويات التهيج الأخرى للنظام.

طرق الضخ

تسمى الإجراءات العملية المتبعة لتحقيق التوزيع المعكوس بواسطة الليزر بعمليات الضخ وتعتمد عمليات الضخ لتوليد أشعة الليزر على طبيعة الوسط الفعال وهي على أنواع :

١- الضخ الضوئي :

يستخدم لهذا النوع من الضخ مصدر ضوئي ذو شدة عالية لتحريض الوسط الفعال الذي تقوم ذراته أو جزيئاته أو أيوناته بامتصاص هذه الطاقة فتساعد على الانتقال إلى مستوى طاقة أعلى وتستخدم لغرض الضخ بهذه الطريقة مصابيح خاصة تبعاً لنوع الليزر المطلوب بحيث أن جزءاً مهماً من طيف انبعاث المصباح يتم امتصاصه من قبل الوسط الفعال لأجل إثارته .

وتستعمل هذه الطريقة لتوليد الليزر من نوع :

- ليزر الحالة الصلبة مثل ليزر الياقوت .
- ليزر الحالة السائلة مثل ليزر الصبغة العضوية .

٢- الضخ الكهربائي :

تستخدم هذه الطريقة في الليزر الغاز وتتم عن طريق التفريغ الكهربائي حيث يوضع الغاز داخل أنبوب التفريغ بين قطبين كهربائيين ويطبق عليه فرق جهد عالي . وتعتمد حركة الإلكترونات بين القطبين نتيجة فرق الجهد العالي فتصطدم مع ذرات أو جزيئات الغاز سببه تهيجها وانتقالها إلى مستويات طاقة أعلى . وتستخدم هذه الطريقة (تسليط فرق جهد كهربائي) في ليزر شبه الموصل أيضاً ولكن عملية الإثارة تختلف من حيث الأساس عن ليزر الغاز .

٣- الضخ الكيميائي :

يكون التفاعل الكيميائي بين مكونات الوسط الفعال أساس توفير الطاقة لتهيج الذرات في عمل الليزر الكيميائي .

وتكون كفاءة الليزر الكيميائي عالية جداً نسبة لكفاءة ليزر أشباه الموصلات لأن

طاقة نواتج التفاعل الكيميائي قد تفوق ولمقدار كبير الطاقة اللازمة لإحداث التفاعل الكيميائي حيث لا تتجاوز الكفاءة في ليزر شبه الموصل ٣٥% بينما كفاءة ليزر الضخ الكيميائي قد تصل ٢٠٠% أو ٣٠٠% .

منظومات الضخ

يتم اختيار أوساط التضخيم في الليزر على أساس عدد المستويات، وتستخدم منظومات الضخ لتوليد الليزر وتكون على أنواع :

١- نظام المستويات الثلاثة : توجد في هذا النظام ثلاثة مستويات للطاقة هي :

- مستوى الطاقة الأرضي ط_١ ب .
- مستوى الطاقة الوسطي (شبه مستقر) .
- مستوى الطاقة العالي .

وفي هذا النظام تهيج الذرات بالضخ من المستوى الأرضي ط_١ ب إلى مستوى ط_٢ فإذا تم اختيار الوسط بحيث أنه عند وصول الذرات إلى المستوى ط_٢ فإنها تهبط بسرعة إلى المستوى ط_١ أي يكون متوسط زمن العمر للمستوى ط_٢ قصير جداً (١٠^{-٨} ثانية) في حين يكون زمن العمر للمستوى شبه المستقر ط_٢ أطول منه (١٠^{-٦} - ١٠^{-٢} ثانية) حسب نوع الوسط الفعال، وعند توافر هذين الشرطين يمكن تحقيق التوزيع المعكوس بين ط_٢ و ط_١ فيولد عندئذ الانتقال من المستوى ط_٢ إلى المستوى ط_١ شعاع الليزر المطلوب .

٢- نظام المستويات الأربعة : في هذا النظام تهيج الذرات بالضخ بطريقة ما بين المستوى الأرضي ط_١ إلى

مستوى الطاقة الرابع ط_٤ فإذا تم اختيار الوسط بشكل يوفر هبوطاً سريعاً من مستوى الطاقة الرابع ط_٤ إلى مستوى الطاقة الثالث ط_٣ وكذلك هبوطاً سريعاً من مستوى الطاقة الثاني ط_٢ إلى مستوى الطاقة الأرضي ط_١ وعندها سيتحقق التوزيع المعكوس بين مستوى الطاقة ط_٢ (المستوى شبه المستقر) ومستوى الطاقة ط_١ حيث يولد الانتقال بينهما أشعة الليزر.

إن التوزيع المعكوس في نظام المستويات الأربعة يتحقق بسهولة بين المستويين ط_٣ و ط_٢ ولما كان

ط_٢ تقريباً فارغاً لأن أغلب الذرات تكون في المستوى

الأرضي ط_١ فإن أي عدد من الذرات حتى لو كان بسيطاً في ط_٢ سيحقق شرط التوزيع المعكوس. أما في حالة نظام المستويات الثلاثة فإن المقارنة في عدد الذرات تكون بين مستوى مملوء بالذرات هو المستوى الأرضي ط_١ ومستوى التهيج ط_٢ مما يتطلب ضخاً شديداً للطاقة لجعل عدد الذرات في ط_٢ أكبر ط_١.

الشروط الأساسية لتوليد أشعة الليزر

١- وجود وسط فعال (صلب، سائل، غاز، شبه موصل) .

٢- تحقيق التوزيع المعكوس .

٣- المرنان (وسيلة التغذية الاسترجاعية) .

١-الوسط الفعال :

هو مجموعة من ذرات أو جزيئات أو أيونات عنصر أو مركب أو مزيج بحالة صلبة أو سائلة أو غازية له عدد مستويات الطاقة تصلح لأن يتحقق بينهما الانتقالات الثلاثة الضرورية (امتصاص، انبعاث تلقائي، وانبعاث محفز) .
ويصنف الوسط الفعال اعتماداً على احتمالية الانتقال بين المستويات لكي يكون من منظومات المستويات الثلاثة أو الأربعة لانبعاث أشعة الليزر .

٢- التوزيع المعكوس :

وهو شرط ضروري لجعل الانبعاث المحفز ممكناً لأجل خروج شعاع الليزر، وللحصول على حالة التوزيع المعكوس تستخدم طرائق ضخ معينة .

٣- المرنان (وسيلة التغذية الاسترجاعية) :

إذا فرضنا أن طول موجة الليزر تساوي متوسط طول موجة الضوء المرئي أي ما يقارب ٥٥٠ نانومتر فإن تذبذب إشعاع الليزر في تجويف زيتي بهذا الطول لا يكون ناجحاً إذ لا يمكن تصميم جهاز بهذه الأبعاد، لذلك كانت التغذية الاسترجاعية من الشروط الضرورية لكي يأخذ المنبعث تذبذبه الصحيح (أي أن طول المسار البصري يساوي أعداداً من أنصاف الطول الموجي المستعمل) فيحدث التداخل البناء للحصول على حزمة من أشعة الليزر ذات اتجاهية عالية .

ويتم ذلك باستخدام تجويف رنيني ذي تصميم مناسب يسمى المرنان يتكون من مرآتين مستويتين توضع المادة الفعالة بينهما وتصمم المرآتان بحيث تكونان متوازيتين إحداهما عاكسة للضوء كلياً (١٠٠%) والثانية ذات انعكاسية أقل من ١٠٠% وغالباً ما تكون إحدى المرآتين أو كلاهما مقعرتين، لذا فإن الشعاع الساقط على أحدهما ينعكس موازياً لمحور الرنان، وهو المحور الأساسي للمرآتين ثم يسقط على المرآة الأخرى وينعكس عنها، وهكذا تتعاقب الانعكاسات فيزداد مسار الفوتونات الليزرية داخل المرنان وبذلك يزداد عدد الفوتونات المتولدة بالانبعاث المحفز بعدد هائل فيحصل التضخيم وتسمح المرآة ذات الانعكاس الجزئي بنفاذ نسبة معينة من الضوء الساقط عليها خارج المرنان (وهي أشعة الليزر) أما بقية الضوء فتعكسه مرة أخرى إلى داخل المرنان لأجل إدامة حالة التوزيع العكسي .

أنواع أشعة الليزر

تصنف أشعة الليزر تبعاً لنوع مادة الوسط الفعال فيها إلى :

- ١- ليزر حالة صلبة (مثل ليزر الياقوت وليزر النيدميوم) .
- ٢- ليزر الحالة الغازية (مثل ليزر الهيليوم نيون وليزر ثنائي أوكسيد الكربون) .
- ٣- ليزر الحالة السائلة (مثل ليزر الصبغة العضوية) .
- ٤- ليزر شبه الموصل (مثل ليزر وزرنيخيد الكاليوم) .
- ٥- الليزر الكيميائي (مثل ليزر فلوريد الديتريوم) .

١-ليزر الياقوت : صنع أول جهاز ليزر في عام ١٩٦٠ وهو ليزر الياقوت، استعملت فيه بلورة ياقوت ذات اللون الأحمر الفاتح وهي بلورة من أوكسيد الألمنيوم Al_2O_3 ومطعم بأيونات الكروم الثلاثية التآين Cr^{+3} وهي التي تعطي اللون الأحمر للبلورة، ويقترن إدخال أيونات الكروم بمستوياتها طاقة جديدة داخل التركيب البلوري فهي التي تكون مؤثرة في عمليات الانتقال المصحوبة بتوليد الليزر .

تصنع البلورة مختبرياً لغرض استخدامها كوسط فعال لعمل الليزر بشكل أسطواني وتقطع وتصلق نهايتها المتقابلتين لتكونا مستويتين ولكن غير متوازيتين .

ويستخدم مصباح وميض لولبي (أو عدد من المصابيح الخطية) ليحيط بالياقوت حيث يبعث عند القدح وميضاً عالي الشدة .

ويؤدي امتصاص الضوء الصادر من المصباح من قبل أيونات الكروم إلى ارتفاع طاقة عدد كبير من هذه الأيونات في مستويات التهيج العليا وعند هبوطها إلى مستوى الحالة شبه المستقرة يتحقق شرط التوزيع المعكوس ويتولد شعاع الليزر عند هبوطها إلى المستوى الأرضي .

إن أشعة ليزر الياقوت ذات لون أحمر وطولها الموجي ٦٩,٣ نانومتر ويعمل بنظام الضخ ذي المستويات الثلاثة ولكن كفاءته واطئة جداً، وقد انحسرت استخداماته في السنين الأخيرة ليحل محله ليزر آخر يتفوق عليه بكثير من المزايا ألا وهو ليزر النيدميوم - ياك .

ليزر النيدميوم - ياك

يعتبر هذا الليزر أهم الأنواع الموجودة حالياً إذ أنه يعتمد أيونات النيدميوم (Nd^{+3}) التي تحل محل بعض أيونات الأنريوم الموجودة في (لياك) الياك هو شحنة مختصرة لمادة بلورية قوامها المركب ($Y_3 Al_5 O_{12}$) بنسبة تطعيم ٢,٥% .

إن لأيونات النيدميوم مستويات طاقة تصنف ضمن نظام المستويات الأربعة .

ليزر الهيليوم - نيون

وهو من الليزرزات الغازية ويتكون الوسط الفعال لهذا الليزر من خليط من غاز النيون وغاز الهيليوم بنسبة ١٠/١، ويوضع الخليط في أنبوبة مغلقة وتحت ضغط واطئ وتتم عملية الضخ بواسطة تسليط فرق جهد عالي يقدر بعدة آلاف من الفولتات وتيار قليل (عدة ملي أمبيرات) يسלט بين الكاثود (السالب) والأنود (الموجب) لإحداث عملية التفريغ الكهربائي .

وتتم العملية بتصادم الإلكترونات الناتجة عن مرور التيار بواسطة التفريغ الكهربائي مع ذرات الهيليوم حيث تنهيج إلى مستوى الطاقة (ط) وليكون مستويات الطاقة العليا للهيليوم تجاور (تقارب) المستويات العليا للنيون، وبذلك يمكن للطاقة أن

تنتقل من ذرات الهيليوم إلى ذرات النيون نتيجة اصطدامها بها لتنتقلها من المستوى الأرضي إلى مستوى أعلى (ط_٢). وبهذا يتم تحقيق التوزيع المعكوس لذرات النيون، وعندئذ يحصل الانبعاث المحفز في المستوى (ط_٢) لذرة النيون لتنتقل الذرة إلى مستوى (ط_٢) باعثة حزمة الليزر ذات اللون الأحمر بطول موجة ٦٣٣ نانومتر، وتهبط الذرات بصورة سريعة وتلقائية إلى المستوى (ط_١) وقد تهبط الذرات إلى المستوى الأرضي عن طريق تصادمها مع جدران الأنبوبة .

وتعتبر كفاءة هذا الليزر واطئة جداً، ولا تتعدى أعلى قدرة يمكن الحصول عليها من هذا النوع من أشعة الليزر (٥٠ ملي واط) .

وعلى الرغم من أن أشعة ليزر الهيليوم - نيون قدرته واطئة وكفاءته قليلة إلا أنها ذات استخدامات كثيرة وخاصة في عملية الترسيف في الانشاءات وبناء الطائرات والسفن ومد الأنابيب النفطية وشق الطرق والجسور وذلك بسبب :

- طوله الموجي .
- انفراجيته الصغيرة .
- تشاكه العالي .

ليزر ثنائي أوكسيد الكربون (CO_٢)

يعتبر ليزر ثنائي أوكسيد الكربون وهو من الليزرز الغازية من أهم الأشعة الليزرية وذلك لكفاءته العالية والتي تبلغ ٣٠% وكبر قدرته الخارجة حيث تصل أحياناً إلى عشرات كيلوواط ولذلك تسمى أشعة الموت .

ليزر شبه الموصل

يختلف ليزر شبه الموصل عن ليزر الحالة الصلبة في طريقة تمثيل مستويات الطاقة وبالتالي ميكانيكية الضخ وعملية الانبعاث الضوئي . ويحتوي ليزر شبه الموصل على حزم عريضة من مستويات الطاقة بدلاً من المستويات المفردة التي تحدث بينها الانتقالات التي تشارك في عمليات انبعاث الليزر .

وتحتوي الحزمة الواحدة على عدد كبير من مستويات الطاقة المتقاربة والتي لا يقتزن وجودها بذرات معينة وإما تشترك فيها المادة البلورية كلها .

ويتألف ليزر شبه الموصل من وصلة ثنائية (PN) ويقع في منطقة أشعة تحت الحمراء (غير مرئي) وأكثر أنواعه زرنخيد الكاليوم (Ga As) .

كيف يتولد الليزر في شبه الموصل؟

عندما تتهيج مادة شبه موصلة بطريقة ما فهذا يعني انتقال الإلكترونات من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل مخلفاً فيها فجوات ولكن هذه العملية هي عملية التحام إلكترون مع فجوة والتي يكون نتيجتها انبعاث فوتون، ولغرض تحقيق التوزيع المعكوس في شبه الموصل يجب زيادة عدد الإلكترونات الحرة في حزمة التوصيل وزيادة عدد الفجوات في حزمة التكافؤ، ويتم ذلك بتسليط فرق جهد بالاتجاه الأمامي على الوصلة الثنائية (PN) لشبه الموصل أي بربط المنطقة (P) إلى القطب الموجب وربط المنطقة (N) إلى القطب السالب وعندها تتحرك الإلكترونات من حزمة التوصيل باتجاه العتبة (الملتقى) وتتحرك الفجوات بعكس ذلك الاتجاه ويتم الالتحام بينهما في منطقة الملتقى وينتج عن ذلك انبعاث إشعاع محفز بطاقة تساوي تقريباً طاقة الثغرة بين الحزمتين .

بعض استعمالات الليزر

١- تستعمل الليزر ذات القدرة العالية في لحم الصفائح والقطع المعدنية من غير تشويه يعيها وفي الحفر، وقطع وثثقيب عن المعادن والخزف بفضل الحرارة التي تولدها .

٢- في الطب : مثل ليزر ثنائي أكسيد الكربون وليزر النيديميوم ياك وتستخدم في :

- تستخدم في الجراحة كأداة قطع .
- تجميل الجلد وعلاج بعض أمراضه كالأورام الخبيثة .
- علاج بعض أمراض العيون .

- في طب الأنف والأذن والحنجرة .
- في معالجة بعض أمراض الأسنان .

ويتطلب استخدام أشعة الليزر في الطب منظومة بصرية تلحق بجهاز الليزر تسهل عملية التحكم في استخدام الشعاع وموقع تجمعه ونقله إلى أي نقطة من جسم المريض .

٣- يستعمل في قياس المسافات وتحديد المدى مثل :

- مسح المحيطات .
- التخطيط الزلزالي .
- المسوحات الجغرافية .
- تعيين مدارات التوابع الأرضية .

٤- في التوجيه وتحديد الاستقامة : حيث أن تركيزه حاد فإن شعاع الليزر يمكن رؤيته من خلال ما تشتته من دقائق الغبار لذلك يمكن استخدامه لتحديد الاستقامة بالعين المجردة، كما يمكن استخدامه لتوجيه المكائن بمسارات مستقيمة وقيادة الآلات التي تحفر الأنفاق والجسور .

٥- في الاتصالات البصرية : استخدمت أشعة الليزر كموجات حاملة لإنتاج قنوات اتصالات ذات سعة كبيرة إلا أن الظروف الجوية بما تحويه من غبار وبخار ماء ومطر وضباب تحول دون إمكانية البث المباشر لأشعة الليزر البصرية: استخدمت أشعة الليزر كموجات حاملة لإنتاج قنوات اتصالات ذات سعة كبيرة إلا أن الظروف الجوية بما تحويه من غبار وبخار ماء ومطر وضباب تحول دون إمكانية البث المباشر **لأشعة الليزر** إلى مسافات بعيدة، لذلك استخدمت الألياف البصرية كتطبيق حديث في الاتصالات البصرية .

لقد أصبح بالإمكان نقل (٣٥٠٠٠) مكاملة هاتفيه في آن واحد على بضعة ألياف لا يتجاوز قطر الواحد منها (٠,٣ ملم) .

٦- في الطباعة .

- ٧- تستعمل للإنارة في المسارح .
- ٨- تستعمل في التصوير المجسم للحصول على صورة ذات أبعاد ثلاثية .
- ٩- في التصوير المجسم .
- ١٠- تستعمل في إثارة بعض التفاعلات النووية
- ١١- تستعمل في فحص قلب المفاعلات النووية .

الفصل السابع عشر التذبذبات والموجات

الفصل السابع عشر

التذبذبات والموجات

الحركة الموجية

الحركة الدائرية: هي حركة الجسم حول مسار دائري أو على منحنى .

الحركة الدائرية المنتظمة: هي حركة الجسم حول مسار دائري معين تتكرر في فترات زمنية منتظمة حيث يعيد الجسم نفسه إلى وضعه الأصلي بصورة منتظمة كدوران الأرض حول الشمس ودوران القمر حول الأرض وحركة البندول (الرقاص) بعد سحب كرتة جانباً ثم تركها وشأنها ، وحركة ثقل معلق بنابض حلزوني إذا سحب قليلاً بصورة عمودية ثم ترك .

الحركة الدورية: هي حركة دائرية وأشباهاها يعود الجسم فيها إلى وضعه الأصلي بنفس الاتجاه وبفترات زمنية ثابتة .

الحركة الاهتزازية: هي حركة دورية ينعكس خلالها اتجاه حركة الجسم المتحرك بفترات زمنية منتظمة كحركة البندول المهتز أو الحركة على خط مستقيم مثل حركة الجسم المهتز المعلق بنابض عمودي أو حركة الشوكة الرنانة بعد طرقها .

بعض المصطلحات في الحركة الاهتزازية :

الذبذبة الكاملة : هي حركة جسم مهتز من نقطة وعودته مباشرة إلى النقطة ذاتها بالاتجاه ذاته .

أو هي حركة الجسم المهتز عند مروره بنقطة ما من مساره مرتين متتاليتين وباتجاه واحد .

مدة الذبذبة (ن) : الزمن الذي يستغرقه جسم مهتز لإكمال ذبذبة واحدة .

$$n = \frac{1}{\Delta}$$

التردد (د) : عدد الذبذبات التي يولدها الجسم المهتز في الثانية الواحدة .

$$\text{التردد} = \frac{\text{عدد الذبذبات}}{\text{الزمن}}$$

وحدة التردد هي الهيرتز = ذبذبة/ثانية

$$\begin{aligned} \text{الكيلو هيرتز} &= 1000 \text{ هيرتز} , \text{ ميكا هيرتز} = 1000 \text{ كيلو هيرتز} \\ &= 1000000 \text{ هيرتز} \end{aligned}$$

مثال :

جد تردد بندول مهتز زمن ذبذبه (٠,٠٤ ثانية) ؟ .

الحل :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,04} = 25 \text{ هيرتز}$$

تعيين مدة الذبذبة للبندول

نزيع كرة البندول عن موضع استقرارها إزاحة صغيرة وندها تهتز ثم نحسب الزمن الذي تستغرقه حركة البندول لعدد معين من الذبذبات ونقسم الزمن المستغرق على عدد الذبذبات فنحصل على مدة الذبذبة الواحدة .

وعندما يهتز جسم حول موضع استقراره فإن :

الإزاحة : هي بعد الجسم المهتز عن موضع استقراره في أي لحظة .

سعة الاهتزاز : هي أقصى إزاحة يصلها الجسم المهتز عن موضع استقراره .

الحركة الموجية : اضطراب ناتج عن مصدر طاقة يكون على هيئة حركة اهتزازية ينتقل بالتتابع إلى دقائق الوسط الأخرى دون أن تنتقل دقائق الوسط نفسها .

الموجة : اضطراب على هيئة حركة اهتزازية في وسط يقوم بنقل طاقة الاهتزاز .

طول الموجة (λ): هو أقصر بعد بين نقطتين متتاليتين مهترتين بكيفية واحدة .

مدة الذبذبة (T): هي الزمن الذي تستغرقه الموجة لتقطع إزاحة طولها موجة واحدة .

مدة الذبذبة للموجة = مدة ذبذبة الجسم المهتز في الوسط نفسه .

تردد الموجة (ت): عدد الموجات التي يولدها الجسم المهتز في الثانية الواحدة.

ويتوقف تردد الموجة على تردد المصدر .

$$T = \frac{1}{f}$$

سرعة انتشار الموجة (ع) : هي الإزاحة التي تقطعها الموجة مبتعدة عن مصدرها في الثانية الواحدة .

وتتوقف سرعة انتشار الموجة على العوامل التالية :

أ- نوع الوسط .

ب- طبيعة الموجة .

ويمكن حساب سرعة الموجة من العلاقة التالية :

$$ع = \lambda \times ت$$

حيث ع : سرعة انتشار الموجة (م/ثا)

ت : التردد (الهيرتز) ، λ : الطول الموجي (م) .

سعة الموجة : أقصى إزاحة تصلها جسيمات الوسط المهتز عن موضع استقرارها .

إن سعة الموجة هي مقياس لطاقة الموجة حيث أن زيادة سعة الموجة تعني زيادة طاقتها وتحدد

بمقدار الطاقة المزودة لتلك الجسيمات .

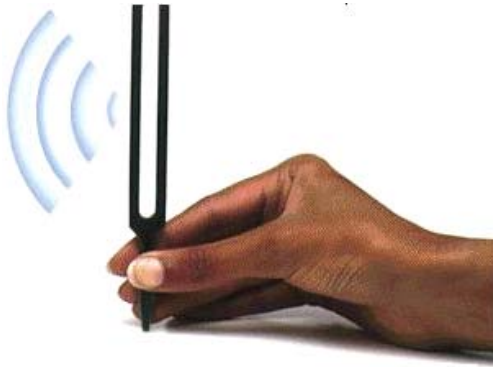
وتتناقص سعة الموجة تدريجياً كلما ابتعدت عن مصدر الاضطراب وذلك لتبدد طاقة الموجة بسبب

الاحتكاك الداخلي أو بسبب امتصاصها من قبل الوسط .

الحركة التوافقية البسيطة : هي حركة اهتزازية على خط مستقيم يتناسب فيها كل من مقدار القوة المعيدة

والتعجيل تناسباً طردياً مع الإزاحة ويتجهان نحو موضع الاستقرار مثل اهتزاز فرعي شوكة رنانة أو اهتزاز

الأوتار والأعمدة الهوائية في الآلات الموسيقية أو اهتزاز نابض حلزوني في نهايته كتلة ومثبت من الطرف الآخر .



الشوكة الرنانة

ويمكن تمثيل الحركة التوافقية البسيطة بمسقط حركة جسم يدور في مسار دائري بسرعة زاوية ثابتة

(ω) ، ويمكن التعبير عنها بالعلاقة الرياضية التالية :

$$v = A \omega \sin \theta$$

$$\text{لكن } \omega = \theta \text{ ز } \leftarrow v = A \omega \sin \theta \text{ ز (١)}$$

حيث v : الإزاحة عن موضع الاتزان .

A : أكبر إزاحة من موضع الاستقرار وتسمى الاتساع .

ω : السرعة الزاوية أو التردد الزاوي وتقاس بوحدة راد/ث .

T : الزمن بالثانية .

فإذا كان الزمن اللازم لإكمال الجسم ذبذبة واحدة بالزمن الدوري (T) فيمكن حساب السرعة الزاوية (ω) :

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ (٢)}$$

$$r = \frac{z}{n} \text{ (٣)}$$

إن العلاقة (١) ليست الصيغة العامة لمعادلة الموجة ، ويمكن تعديلها بشكل لتصبح أكثر شمولية، فلو نظرنا إلى الشكل المجاور (أ) **سلاحط** أن بدأ الحركة عند اللحظة $t = 0$ ، حيث كانت إزاحته عن موضع السكون ($v = 0$ صفرًا) ، أي أن دالة الجيب بدأت من نقطة الأصل ، كما أن إزاحته عن موضع الاتزان في وقت لاحق (t) ، هي $v = A \sin(\omega t)$ ، بينما نجد في الشكل (ب) أن الجسم بدأ حركته عند ($t = 0$ صفر ، ولكن من مكان متقدم بزاوية مقدارها (ϕ) فتكون إزاحة الجسم عن موضع الاتزان هي :

$$v = A \sin(\omega t + \phi)$$

كما نلاحظ أن $v = A \sin \phi$ عند نقطة الانطلاق.

الطور : هي الحالة الاهتزازية للجسم المهتز من حيث الموضع والاتجاه .

فرق الطور : هو تغير الحالة الحركية للجسم المهتز بين لحظتين مختلفتين أو لجسمين

مهتزين في اللحظة نفسها .

وحدات الطور :

١- الدرجات الستينية ٢- زاوية نصف قطرية .

أنواع الحركة الموجية

يمكن تقسيم الحركة الموجية من حيث أشكالها إلى نوعين هما :

١- **الحركة الموجية الميكانيكية:** وهي الموجة التي تتولد في الأوساط المادية بفعل اهتزاز بعض دقائق الوسط

وتنتقل طاقة الاهتزاز إلى الدقائق المجاورة من غير أن تنتقل دقائق الوسط نفسها مثل أمواج الصوت والوتر المهتز والأمواج الزلزالية، وقد يكون الوسط صلباً أو سائلاً أو غازياً.

٢- **الحركة الموجية الكهرومغناطيسية:** وهي الموجة التي تنتقل في الفراغ وفي الوسط المادي مثل أمواج

الضوء والحرارة والأمواج اللاسلكية.

النبضة : هي اضطراب ينتج عن اهتزاز الجسم لفترة قصيرة من الزمن كصوت الانفجار .

١- الحركة الموجية الميكانيكية :

تتولد الموجات الميكانيكية بسبب تأثير قوة تسبب إزاحة موضعية لمجموعة من جسيمات الوسط

عن مواقع استقرارها وتكون حركتها اهتزازية ذات أطوار مختلفة، وتنتقل هذه الموجات نتيجة لخواص الوسط من حيث المرونة وتأثير الاستمرارية فتتحرك جسيمات الوسط حركة اهتزازية صغيرة في مسارات محدودة وبجميع الاتجاهات حول مواضع استقرارها ولكن بأطوار مختلفة من غير أن يرافقها انتقال جسيمات الوسط .

إن عدم ابتعاد جسيمات الوسط المهتز عن مواضع استقرارها كثيراً يعود إلى وجود قوة التماسك

فيما بينها ووجود الجسيمات الأخرى المحيطة بها .

٢- الحركة الموجية الكهرومغناطيسية :

وهي موجات لا تحتاج بالضرورة إلى وسط مادي لانتقالها حيث تنتقل في الفراغ وفي

بعض الأوساط المادية التي تسمح بمرورها، وتنتقل جميعها في الفراغ بسرعة واحدة ولكنها تختلف من وسط إلى آخر كالأمواج الضوئية والحرارية والأمواج الراديوية والموجات الدقيقة .

انتقال موجات الطاقة

١- **الطريقة الأولى:** تتم بانتقال الجسيمات المادية من مكان إلى آخر كانتقال الطاقة الحرارية بواسطة تيارات الحمل المتولدة عن حركة جزيئات المائع وانتقال الطاقة بحركة كتل مادية كبيرة كالرياح والأعاصير والمياه الجارية.

٢- **الطريقة الثانية:** تنتقل الطاقة بالحركة الموجية كما في الموجات الميكانيكية من غير أن يرافقها انتقال في دقائق الوسط الذي تمر فيه .

أما بالنسبة للموجات الكهرومغناطيسية التي تنتقل عبر الفضاء كالموجات الضوئية ومثل هذا النوع من الموجات تنتقل في الفراغ من غير أن تبدد طاقتها ولكن تبدد طاقتها أثناء انتقالها في وسط مادي وذلك بسبب الاحتكاك الداخلي .

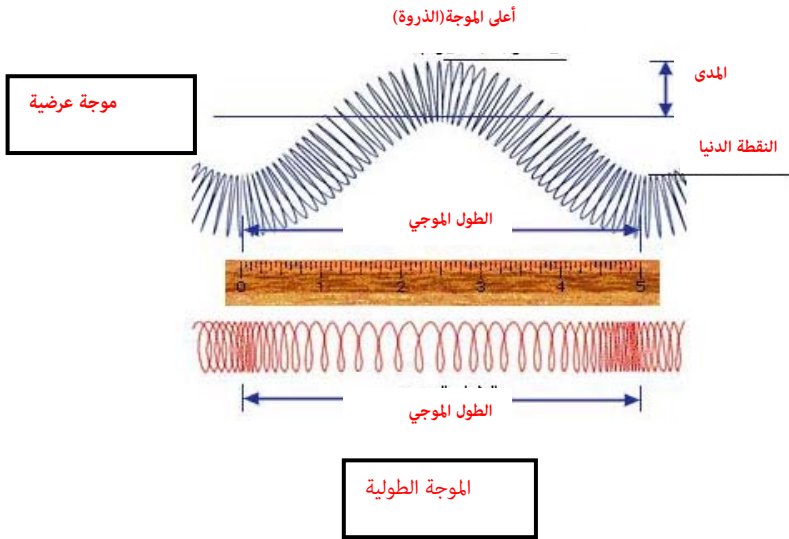
أنواع الموجات

قد تنتقل الموجات لمسافات كبيرة إلا أن جسيمات الوسط الناقل تتذبذب فقط في منطقة محدودة الحيز ، وبناءً على كيفية حركة جسيمات الوسط الناقل بالنسبة لحركة الموجات يمكن تقسيم الموجات إلى نوعين :

١- **الحركة الموجية المستعرضة:** حركة اهتزازية تهتز فيها دقائق الوسط باتجاه عمودي على اتجاه انتشار الموجة ، كما في الموجات التي تشاهد على سطح بركة ماء .

وقد ثبت أيضاً أن الموجات الكهرومغناطيسية كما في أمواج الضوء والحرارة والأمواج الراديوية تنتمي لهذا النوع من الموجات وتنتقل هذه الموجات في الفراغ وفي جميع الأوساط .

٢- **الحركة الموجية الطولية :** حركة اهتزازية تهتز فيها جسيمات الوسط باتجاه مواز لاتجاه انتشار الموجة وتنتقل هذه الموجات في المواد الصلبة والسائلة والغازية مثل موجات الصوت .



وتمثل الموجات الطولية بالرسم بخطوط مستقيمة متقاربة تمثل مناطق التضاغط وخطوط متباعدة تمثل مناطق التخلخل :



تخلخل تضاغط تخلخل تضاغط

أو تمثل بيانياً بمنحنى الجيب ويسمى منحنى الإزاحة للموجة الطولية حيث يمثل الإحداثي السيني له مواقع الاستقرار لجسيمات الوسط المهتز والجزء الموجب من الإحداثي الصادي يمثل إزاحات الجسيمات المهتزة. انتشار الموجة λ - λ السالب منه فيمثل إزاحات الجسيمات بعكس انتشار الموجة أي:

$$s = \frac{v}{\lambda} \quad \text{لكن} \quad n = \frac{1}{\lambda} \quad \text{س} = v \times n$$

انطلاق الموجة : هي المسافة التي تبعد بها قمة موجة أو قعرها أو مركز تضاغطها أو مركز تخلخلها عن مركز التمرج في الثانية الواحدة .

ويتوقف مقدار انطلاق الموجة على :

١- نوع الموجة .

٢- طبيعة الوسط الناقل من حيث المرونة والكثافة .

وتختلف سرعة انتقال الموجات بنوعيتها (الطولية والمستعرضة) ويعتمد هذا الاختلاف على خصائص الوسط الناقل التي تتمثل في مقاومة المادة للانهاء في حالة الموجة المستعرضة ومقاومتها للانضغاط في حالة الموجات الطولية ، أي أنها تعتمد على معامل مرونة الوسط وكثافة الوسط في الأجسام الصلبة أما في الغازات فإنها تعتمد على درجة الحرارة المطلقة للغاز ونوع الغاز .

وتهتز جزيئات الوسط في الموجة المستعرضة بسعات متساوية أثناء انتشارها واهتزازها حول مواضع استقرارها والتي تساوي سعة الموجة وكل ذلك بتردد يساوي تردد المصدر نفسه من غير أن تنتقل مع الموجة .

خصائص الموجات

للموجات خصائص وقد تطرقنا سابقاً إلى خاصيتين من خصائص الموجات هما:

أولاً- الطبيعة الدورية .

ثانياً- انتقال الاضطراب دون الحاجة لانتقال جسيمات الوسط الناقل .

ويمكن التعرف على خصائص أخرى للموجات بالاستعانة بموجات الماء في حوض يدعى حوض الموجات وهو حوض دائري أو مستطيل الشكل شفاف يوضع فوقه مصدر ضوئي قوي ، وتحتة طبقة من الورق الأبيض ويملأ الحوض بالماء بعمق (٢ - ٣) سم، وتوضع فوقه كرات صغيرة تغمس كمصدر للموجات فإذا حدث اضطراب في الحوض ستتكون أخيلة موجات الماء في الحوض على طبقة الورق الموضوعة أسفل الحوض، إذ أن سطح الماء يعمل كعمل مجموعة من العدسات اللامة والمفرقة .

موجات الماء

يمكننا رسم مقدمة لموجة دائرية إذا لمسنا سطح الماء بطرف مدبب حيث تتكون موجة دائرية، وبنفس الطريقة يمكننا رسم مقدمة موجة مستقيمة إذا أحدثنا

اضطراباً بحافة مسطرة مثلاً .

إن هذه الطريقة في رسم مقدمات الموجات مبنية على مبدأ مهم جداً في دراسة خصائص الأمواج يعرف بمبدأ هويكنز وينص على ما يأتي :

"يمكن أن تكون كل نقطة على مقدمة الموجة مصدراً جديداً للموجات التي تنتشر نحو الأمام بسرعة الموجة نفسه ومقدمة الموجة الجديدة هي الغلاف لكل هذه الموجات (المماس لها) "، وتظهر أهمية هذا المبدأ عند سقوط الأمواج على حاجز مثلاً .

ثالثاً- انعكاس الموجات :

لو وضعنا حاجزاً أمام موجات الماء فإنها ترتد عنه بحيث تتحرك باتجاه آخر وهذا ما يعرف بانعكاس الموجات .

أي هو ارتداد الموجات الساقطة عن الحاجز فتسير في الوسط نفسه باتجاه مختلف، ويعتمد اتجاه ارتداد الموجات المنعكسة على الزاوية بين اتجاه حركة الموجات الساقطة والعمودي على سطح الحاجز التي تعرف بزاوية السقوط وقد علمنا سابقاً بأن زاوية الانعكاس تساوي زاوية السقوط، وينطبق القانون نفسه على السطح المستوي وعلى السطوح المقوسة، والأجزاء الصغيرة من السطح المقوس تعتبر سطوح صغيرة مستوية .

رابعاً- انكسار الموجات :

إن اختلاف سرعة حركة الموجات عند انتقالها من وسط لآخر يسبب تغير في اتجاه حركة الموجات وهذا ما يسمى انكسار الموجات، وهذه الظاهرة عامة في الأنواع المختلفة للموجات مثل موجات الماء والضوء والموجات الصوتية والموجات الكهرومغناطيسية وغيرها.

ولإثبات قانون الانكسار اعتماداً على مبدأ هويكنز حيث أن :

(أ ج) مقدمة الموجة الساقطة عند لحظة ما ، (ب د) مقدمة الموجة المنعكسة بعد مرور زمن ما .

$$\frac{\text{ج ب}}{\text{أ ب}} = \frac{\text{ج أ}}{\text{أ د}} = \frac{\text{ج أ}}{\text{أ د}}$$

$$\frac{ج ب}{أ د} = \frac{١ ف}{٢ ف} = \frac{١ ع \times ز}{٢ ع \times ز}$$

$$\frac{ج ا > ١}{ج ا > ٢} = \frac{١ ع}{٢ ع}$$

$$\frac{ج ا > ١}{ج ا > ٢} = \text{مقدار ثابت } (٤) \dots\dots\dots$$

(وهذا ما يعرف بقانون سنل)

إن المقدار الثابت في العلاقة (٤) يسمى **معامل الانكسار النسبي** للموجات العابرة من الوسط الأول إلى الوسط الثاني فتكون العلاقة السابقة بالصيغة التالية :

$$٢١ م = \frac{٢ م}{٢ م} = \frac{ج ا > ١}{ج ا > ٢} = \frac{١ ع}{٢ ع} \dots\dots\dots (٥)$$

حيث : م_{٢١} : معامل الانكسار النسبي من الوسط الأول إلى الوسط الثاني .

م_١ : معامل الانكسار المطلق للوسط الأول ، أو معامل انكسار الوسط الأول .

م_٢ : معامل الانكسار المطلق للوسط الثاني ، أو معامل انكسار الوسط الثاني .

الزاوية (١) : زاوية السقوط والزاوية (٢) : زاوية الانكسار .

ويحدث **الانكسار** عندما تنتقل الموجة من الوسط الأول إلى الوسط الثاني فتختلف سرعتها لأن سرعة

الموجات في سطوح السوائل (كالماء) تعتمد بشكل كبير على عمق هذه السوائل ، لذلك فإن موجات الماء في حوض الموجات تنتقل أبطأ في الماء الضحل منه في الماء العميق ، مما يسبب انكسارها فوق لوح الزجاج المغمور في الحوض ، إذ يحدث نقص في طول الموجة في الماء الضحل وكذلك نقص في سرعة الموجة (يبقى التردد ثابتاً) بالإضافة إلى تغير اتجاه الحركة العمودي على مقدمات الموجة .

تداخل الموجات

تعتبر الموجات بعضها بعضاً دون أن تؤثر في خصائصها إذ يمكننا سماع شخص يتكلم بالرغم من وجود موجات صوتية أخرى تتقاطع مع موجات صوت المتكلم كما يمكننا الرؤية عبر خط نظرنا رغم تقاطعه مع خط نظر شخص آخر .

خامساً- تراكب الموجات :

هو تأثير مشترك من موجتين أو أكثر في نفس الوسط ، فإذا انتقلت موجتان مستعرضتان مختلفتان في السعة والتردد في وتر مشدود في آن واحد

فإن إزاحة أي نقطة من نقاط الوتر تكون مساوية للمجموع الجبري للإزاحتين .

أي أن النبضات والموجات (تختلف عن الجسيمات) تعبر خلال بعضها دون تتأثر ، وعندما تلتقي ، فإن الإزاحة الكلية هي المجموع الاتجاهي للإزاحات المختلفة الناتجة من كل نبضة على انفراد عند تلك النقطة .

وتسمى هذه العبارة (**مبدأ التراكب الخطي**) ويستعمل هذا المبدأ في تفسير الكثير من الظواهر الموجية، وفي هذا المبدأ تكون المعادلة الموجية الممثلة للموجة من الدرجة الأولى أي خطية .

ويكون انطلاق الموجات المستعرضة المتراكبة مساوياً لانطلاق كل من الموجات الأصلية لأن انطلاق هذه الموجات يعتمد على طبيعة الوسط الناقل لها، ولا يعتمد على سعة الاهتزاز أو تردد الموجة .

أنواع التراكب الموجي

هنالك نوعان من التراكب (التداخل) في الموجات المستعرضة :

- ١- **التداخل البناء:** إذا كانت الموجتان المستعرضتان متساويتين في التردد والطور وتنتشران باتجاه واحد فإن الموجة الناتجة من تراكبهما سوف تنتشر بنفس الاتجاه ويكون لها نفس التردد ولكن سعتها تساوي مجموع سعتي الموجتين.
- ٢- **تداخل إتلافي (هدام):** إذا كانت الموجتان المستعرضتان متساويتين بالتردد وتسيران باتجاه واحد وكان بينهما فرق طور (نصف) موجة فأن الإزاحة التي تحدثها إحدى الموجتين في أي نقطة في الوسط ستكون بعكس اتجاه الإزاحة التي تحدثها الموجة الثانية وإذا تساوت الموجتان المتداخلتان في سعة الاهتزاز سيكون التداخل إتلافي كلي .
- ٣- **تداخل إضعاف :** إذا كانت الموجتان المستعرضتان متساويتان بالتردد ويسيران باتجاه واحد وكان فرق الطور بينهما (نصف) موجة ولكن سعة الموجتان مختلفتان

فإن محصلة الموجتين يولد تداخل إضعاف .

أي أنه في النقطة التي تلتقي فيها قمة الموجة الأولى مع قمة الموجة الثانية ، أو قاع مع قاع فإننا نحصل على تداخل بناء، وإذا التقت قمة من الموجة الأولى مع قاع من الموجة الثانية أو قاع من الأولى مع قمة من الثانية فإن تداخلًا هداماً سوف يحصل حيث تلغي إحدى الموجتين الأخرى لذلك تبدو النقطة عندها ساكنة (إذا كان المقصود سطح الماء أو وترًا مهتزاً أو ما شابه) ويقال عندها إن عقدة قد تكونت ويسمى الخط الواصل بين مجموعة من هذه العقد **الخط العقدي** .

وإذا التقت دائرة متقطعة مع أخرى كاملة فإننا نحصل على عقدة، والخط الذي يمر في العقد المرتبة بالترتيب نفسه بالنسبة للخط المركزي (العمودي على الخط الواصل بين المصدرين) يسمى **خطاً عقدياً** .

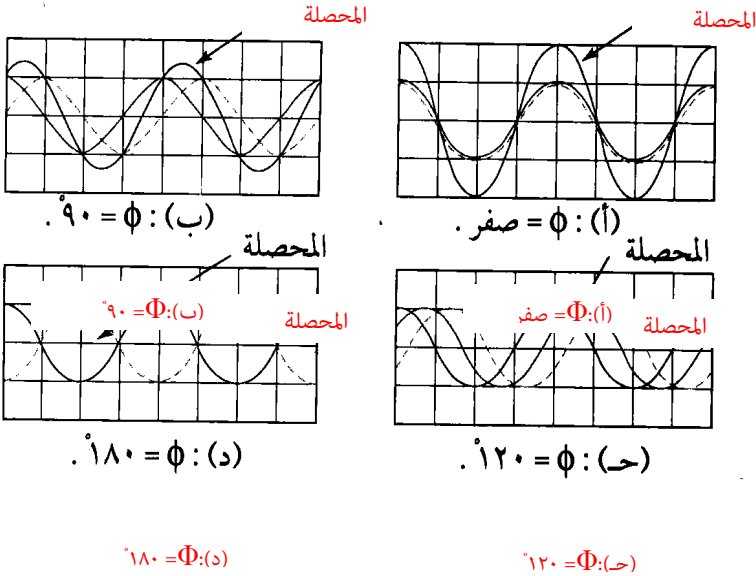
إن العامل الذي يلعب دوراً مهماً في نتيجة تداخل الموجات هو وجود فرق في الطور (Φ) بينها

حسب المعادلة :

$$ص = أجا (\omega ز + \Phi)$$

ويبين الشكل (أ) موجتان جيبيتان لهما نفس الطور، أي أن فرق الطور بينهما يساوي صفر، لذلك

فإن الموجتان تسيران بنفس الكيفية .



ونلاحظ أن المحصلة هي موجة جيبية جديدة لها تردد وطور الموجتين الأصليتين غير أن اتساعها يساوي مثلي اتساع كل منهما وبالتالي فإننا نحصل على تداخل بناء .

وبين الشكل (ب) أن فرق الطور بين الموجتين يساوي (٩٠) وأن للموجة المحصلة تردد الموجتين الأصليتين نفسه والاتساع أكبر من اتساع كل منهما ، ولكنه أقل من مجموع الاتساعين .

أما في الشكل (ج) فإننا نجد الموجة المحصلة لموجتين فرق الطور بينهما (١٢٠) والمحصلة لها تردد واتساع الموجتين المتداخلتين، بالرغم من أن لها طوراً مختلفاً ، بينما يبين الشكل (د) أنه عند التقاء موجتين فرق الطور بينهما (١٨٠) (وهو ما يكافئ نصف طول موجة) وهما تلغيان بعضهما البعض وبذلك يكونان قد تداخلا تداخلاً هداماً ، ويحدث هذا النوع من التداخل عندما تلتقي موجات فرق الطور بينهما (١٨٠) أو المضاعفات الفردية لذلك مثل ٥٤٠°، ٩٠٠° أي (π ، π^3 ، π^5 ، وهكذا) .

ويعبر عن ذلك بما يسمى **فرق المسار** ، إذ أن كل (٣٦٠) (أي دورة كاملة) تكافئ مساراً طوله موجة كاملة λ حيث $\frac{\lambda}{2}$ تكافئ ١٨٠ ، $\frac{\lambda}{2}$ تكافئ ٥٤٠، وهكذا، $\frac{\lambda^3}{2}$ ويمكن تلخيص ذلك بشكل أوضح **حيث أن :**

يتم التداخل البناء عندما يكون :

فرق الطور : صفر ، π^2 ، π^4 ، ن (٢ π)

فرق المسار : صفر ، λ ، λ^2 ، ن λ

بينما يتم التداخل الهدام عندما يكون :

فرق الطور : π ، π^3 ، π^5 ، أي (٢ + ١) π

فرق المسار : $\frac{\lambda}{2}$ ، $\frac{\lambda^3}{2}$ ، $\frac{\lambda^5}{2}$ ، (ن + ١) $\frac{\lambda}{2}$

حيث أن ن : عدد الموجات وهو عدد صحيح : ٠ ، ١ ، ٢ ،

الموجات المستقرة (الواقفة)

هي الموجات الناتجة من تراكب سلسلتين من الموجات متساوية بالتردد

والسعة والطول الموجي ويسيران في وسط واحد محدود ولكن باتجاهين متعاكسين وليس لهذه الموجات صفة الانتشار .

وللتعرف على مفهوم الموجة المستقرة (الواقفة) نجري التجربة التالية:

نثبت أحد طرفي سلك بأحد فرعي شوكة رنانة ونجعل طرفه الآخر يمر حول بكرة ويتدلى منه ثقلاً، فعند اهتزاز الشوكة الرنانة يتغير طول السلك أو قوة الشد أو كليهما لجعل تردد السلك مساوياً لتردد الشوكة الرنانة (للحصول على حالة الرنين بين السلك والشوكة) وستتولد في السلك موجات واقفة ، فيكون تردد الوتر (السلك) مساوياً إلى تردد الشوكة المهتزة .

ويعود تكوين مثل هذا النمط من الموجات إلى تداخل سلسلتين من الموجات التي تتحرك نحو الطرف المثبت للحبل أو الوتر، ثم تنعكس عنه لتتحرك في الاتجاه المعاكس بنفس الاتساع والتردد ، ولكن بفارق في الطور مقداره (١٨٠°)، عندها ينقسم الجسم المهتز بين طرفيه المثبتين إلى مجموعة من العروات والعقد، ويكون هذا النوع من الموجات مستقراً، وتسمى العروة عادة **البطن** والنقطة الثابتة التي تفصل بين عروتين **العقدة** ، وقد يكون الوتر المهتز بطناً واحدة بين عقدتين وقد ينقسم الوتر إلى قسمين متساويين مكوناً عروتين ويختلف طول الوتر فقد يكافئ طول موجة واحدة، أو يكافئ طول موجة ونصف أو موجتين ونصف وهكذا.

مميزات الموجة المستقرة (الواقفة)

- ١- تحدث الموجة المستقرة نتيجة اضطراب في وسط واحد محدود بين نقطتين ثابتتين فلا يحصل نقل طاقة كما في الموجة المنتشرة ، ويفسر هذا بأن الموجات الساقطة والموجات المنعكسة تنقل الطاقة في اتجاهين متعاكسين .
- ٢- تهتز جسيمات الوسط بين عقدتين في طور واحد وفي آن واحد وتهتز الجسيمات خلال بطن واحد بطور معاكس لاهتزاز الجسيمات في البطن المجاور .
- ٣- تنعدم سعة الاهتزاز وسعة حركة الجسيمات عند العقد بينما تزداد كل من سعة الاهتزاز وسعة حركة الجسيمات تدريجياً بين كل عقدتين إذ تبلغ أعظم سعة وأعظم سرعة عند البطن فتكون سعة اهتزاز الوتر عند البطن تساوي ضعف

سعة اهتزاز المصدر.

٤- تردد الجسيم المهتز في الموجة الواقفة هو تردد الجسيم المهتز في الموجة المنتقلة ويساوي تردد الشوكة وهذا يعني أن الوتر يهتز في حالة رنين مع الشوكة .

٥- إن سعة اهتزاز الوتر في البطون هي ضعف سعة اهتزاز المصدر (الشوكة الرنانة) فالموجة المنعكسة من البكرة تصل إلى الشوكة الرنانة في الوقت المناسب تماماً لتقويتها وفي لحظة انعكاسها من الشوكة فإن كليهما يكونان بطور واحد مما يؤدي إلى تقوية النبضة، فالشوكة تستمر في إضافة الطاقة إلى النبضات المتولدة في السلك .

وفي الموجة المستقرة لا يحدث نقل للطاقة وذلك لأن الطاقة لا تستطيع أن تنساب عبر العقد فتبقى محصورة في أجزاء الوتر المهتز حيث تتعاقب في تحولها من طاقة كامنة إلى طاقة حركية .

ويمكن الحصول على أطول موجة في موجة مستقرة (واقفة) عندما يهتز الوتر بنغم واحد .

ملاحظات :

البعد بين عقدتين متتاليتين = نصف طول موجة .

البعد بين بطنين متتاليتين = نصف طول موجة .

البعد بين ثلاث عقد متتالية = طول موجة واحدة .

البعد بين ثلاث بطون متتالية = طول موجة واحدة .

البعد بين عقدة و بطن متتالية = ربع طول موجة .

طول الموجة

لقد توصلنا إلى أن طول الجزء من الوتر بين كل عقدتين متتاليتين يساوي نصف طول موجة (أي

$\frac{\lambda}{2}$) ، لذلك فإن تردد التذبذبات يختلف بسبب اختلاف أنماط الموجات الواقعة في الوتر المهتز ، ويكون هذا الاختلاف تبعاً لكيفية انقسام الوتر إلى جزء واحد متذبذب أو جزأين أو ثلاثة وهكذا ، ويتميز تكون الموجات الواقفة عن

الموجات المتحركة بإمكانية التوصل إلى طول الموجة من خلال قياس طول العروة الواحدة والتي تكافئ $(\frac{\lambda}{2})$ أي نصف طول موجة، وإذا كانت لدينا قيمة التردد للذبذبة أمكننا حساب سرعة الموجات في الوتر المهتز (المتذبذب) .

ويمكن حساب ذلك بالعلاقة الرياضية التالية التي تربط بين طول الوتر المتذبذب وطول الموجة :

$$L = n \left(\frac{\lambda}{2} \right) \dots\dots\dots (٦)$$

حيث L : طول الوتر المهتز ، n : عدد البطون = (١ ، ٢ ، ٣ ،)

ومن العلاقة $\lambda = \frac{v}{f}$ فإن :

$$L = n \left(\frac{v}{2f} \right) \dots\dots\dots (٧)$$

وإذا كانت n = ١ ، فإننا نحصل على أدنى قيمة للتردد .

أي أن :

$$f_1 = \frac{v}{2L}$$

حيث f_1 : التردد الأساسي أو ما يعرف بالنغمة التوافقية الأولى ، ويمكن الحصول على النغمة التوافقية الثانية والثالثة وهكذا باختلاف القيم ل (n) والتي تكون عادة مضاعفات النغمة التوافقية الأولى .

إن اهتزاز أو تذبذب الجسم يمثل هذه الترددات تسمى الرنين ، والرنين يحدث في كل ظواهر الاهتزاز مثل الأغشية الرقيقة (كالطبلة) والأوتار المهتزة (كالعود)، والجسور المعلقة والأعمدة الهوائية (كالناي) وغيرها .

مثال :

وتر طوله (٨) م وسرعة الموجات فيه (٣٢)م/ثا ، فما مقدار تردداته التوافقية ؟ وما الأطوال الموجية المرافقة لها ؟ .

الحل :

أ- الترددات التوافقية :

$$f_n = \frac{v}{2L}$$

$$ت_{١٥} = \frac{٣٢ \times ١}{٨ \times ٢} = ٢ \text{ هيرتز.}$$

$$ت_{٢٥} = \frac{٣٢ \times ١}{١٦} = ٢ \text{ هيرتز}$$

إذن الترددات التوافقية هي : ٢ ، ٤ ، ٦ ، هيرتز

ب- الأطوال الموجية :

$$\Lambda_{١٥} = \frac{٣٢}{٢} = ١٦ \text{ م } (\lambda_{١٥} = ١٦)$$

$$\lambda_{٢٥} = \frac{٣٢}{٤} = ٨ \text{ م } (\lambda_{٢٥} = ٨)$$

إذن أطوال الموجات المرافقة للترددات التوافقية هي : ١٦ ، ٨ ، ٤ ، (م)

الموجات المنتشرة : تراكب موجتان في وسط واحد وفي آن واحد وكانتا متساويتان بالسعة والتردد وتنتشران

باتجاه واحد تنتج موجة تنتشر وتتوقف سعتها على فرق الطور بين الموجتين .

مقارنة بين الموجة الواقفة والموجة المنتشرة من حيث :

١- سبب تولدها .

٢- نقل الطاقة .

٣- طول نقاط الوتر المهتز .

٤- سعة اهتزاز نقاط الوتر المهتز .

الموجة المنتشرة	الموجة الواقفة
١-تتولد من اهتزاز جسم كاهتزاز شوكة رنانة أو تذبذب شحنة في هوائي الإرسال وتنتشر في جميع الاتجاهات في وسط غير محدود كالموجات الميكانيكية أو في الفراغ وبعض الأوساط كالموجات	١-تتولد من تراكب سلسلتين من الموجات ساقطة ومنعكسة تكونان متساويتان في الطول الموجي والتردد والسعة في وسط محدود باتجاهين متعاكسين بين نقطتين محدودتين

(ثابتين) .	الكهرومغناطيسية .
٢- لا تعتبر وسيلة لنقل الطاقة من نقطة إلى أخرى من الوسط فالطاقة لا تنساب من العقد لكونها في حالة سكون .	٢- تعتبر وسيلة لنقل الطاقة من نقطة إلى أخرى كالطاقة الشمسية التي تنقلها الموجات الكهرومغناطيسية والطاقة الصوتية التي تنقلها الموجات الصوتية .
٣- تهتز جميع نقاط الوسط بين عقدتين متتاليتين بطور واحد على الرغم من امتلاكها سرعاً وسعات مختلفة ، كما أن الجسيمات الواقعة في بطن معينة تهتز بطور معاكس لاهتزاز الجسيمات في بطن مجاورة لها .	٣- تتحرك الجسيمات المهتزة في مختلف أجزاء الوسط حركة اهتزازية متشابهة من حيث التردد والسعة وتختلف من حيث الطور .
٤- إن سعة اهتزاز الوتر عند البطن مساوي لضعف سعة اهتزاز المصدر.	٤- إن سعة اهتزاز الجسيمات في الموجة المنتشرة يساوي سعة اهتزاز المصدر .

تداخل موجات الضوء

تعتمد ظاهرة تداخل موجات الضوء على تراكيب موجتين أو أكثر تحت شروط معينة وتعتبر هذه الظاهرة من مميزات الحركة الموجية، إذ أن الدقائق لا تتداخل في حين تتداخل الموجات، وقد يحدث بسبب هذا التداخل تقوية للموجات في مناطق معينة وضعف في مناطق أخرى، مكوناً ما يعرف بهذب التداخل، وقد تحص التقوية في موجة معينة بينما تضعف الموجات الأخرى، وفي هذه الحالة تظهر الألوان التي حصل لها تقوية كما في حالة ألوان فقاعة الصابون وذلك بسبب التداخل في الأغشية الرقيقة .

إن التفسير لهذه الظاهرة هو معاملة الضوء كظاهرة موجية ، ويعتمد ذلك على مبدأ التراكب عند التقاء مجموعة من الحركات الموجية .

بعض مفاهيم الموجات الضوئية

١- **انطلاق طور الموجة** : هو انطلاق سلسلة من الموجات المتساوية بالتردد والسعة كما يحصل عند طرق شوكة رنانة أو اهتزاز إلكتروني في بث لاسلكي .

$$s = t \lambda$$

حيث s : انطلاق الطور ، λ : الطول الموجي ، t : التردد

ويتوقف انطلاق الطور لموجة معينة على خواص الوسط الذي تنتقل فيه الموجة .

٢- **معامل الانكسار النسبي** : هو النسبة بين انطلاق الطور للضوء في الفراغ إلى انطلاق الطور للضوء في الوسط :

$$n = \frac{\text{سض فراغ}}{\text{سض وسط}} = \frac{\text{سض فراغ}}{\text{سض وسط}} = \frac{\lambda_{\text{فراغ}}}{\lambda_{\text{وسط}}} = \frac{t \lambda_{\text{فراغ}}}{t \lambda_{\text{وسط}}}$$

حيث (t) ثابت لعدم وجود حركة نسبية بين المصدر والمستلم .

٣- **الوسط المشتت** : هو الوسط الذي لو انتقلت خلاله الموجة الضوئية فإنها تعاني تغيراً في انطلاق طورها وطولها الموجي كانتقال الضوء خلال الزجاج أو الماء .

٤- **الوسط غير المشتت** : هو الوسط الذي إذا انتقلت خلاله لا يحصل تغير في انطلاق طورها أو طولها الموجي كالفراغ .

٥- **طول المسار البصري** : الإزاحة التي يقطعها الضوء في الفراغ بنفس الزمن للإزاحة التي يقطعها الضوء في الوسط .

طول المسار البصري = معامل انكسار الوسط × طول المسار الحقيقي في الوسط للوسط

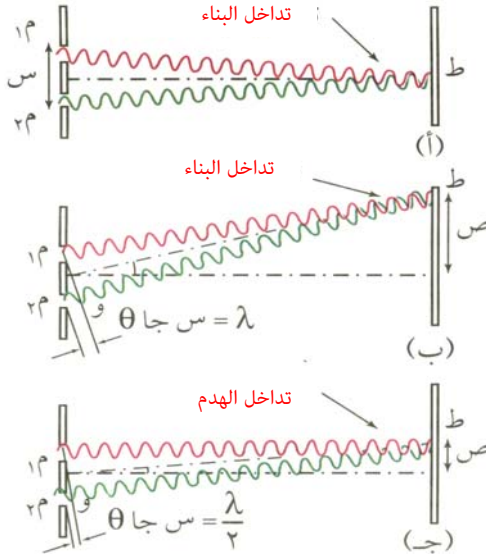
ويعتمد طول المسار البصري على :

- معامل انكسار الوسط .
- طول المسار الحقيقي في الوسط (سمك الوسط) .

٦- الموجات المتشاكهة : هما موجتان متساويتان بالتردد ومتساويتان بالسعة ويكون فرق الطور بينهما ثابتاً .

تجربة يونك

تمكن العالم الإنكليزي توماس يونك من إجراء تجربة أكدت على أن للضوء طبيعة موجية ، فقد استعمل يونك في تجربته حاجزاً ذا شق ضيق ووضع أمامه حاجزاً ذا شقين ضيقين متوازيين (م، م) البعد بينهما بضع مليمترات ويقعان على بعدين متساويين من شق الحاجز الأول، ثم وضع على بعد بضعة أمتار منهما شاشة، فعندما يضاء الشق في الحاجز الأول بضوء أحادي اللون (م) يشاهد على الشاشة مناطق مضيئة (تداخل بناء) ومناطق معتمة (تداخل إتلافي) على التعاقب والتي تعرف بهذب التداخل، وأن المناطق المضيئة منها وهي صور شق للحاجز الأول، ويسمى الهذب المضيء الأوسط المقابل لمنصف البعد بين الشقين بالهذب المركزي، والهذب المضيئة التي تقع على جانبي الهذب المركزي تسمى هذب المرتبة الأولى، الثانية، الثالثة، وهكذا بالنسبة للمناطق المظلمة. وقد عزا يونك ذلك إلى التداخل بين سلسلتين من



تداخل موجات الضوء

الموجات الصادرة من المصدرين (م_١، م_٢)، كتداخل الموجات الناتجة في حوض الموجات عن حركة مصدرين صغيرين فيه .

ولكي نفهم طريق الحصول على نمط التداخل على شاشة يمكننا الاستعانة بالرسم التوضيحي التالي وتظهر فيه موجات ضوئية طولها (λ) تدخل الشقين (م_١، م_٢) اللذين يبعد أحدهما عن الآخر مسافة (س) وتنتشر الموجات في جميع الاتجاهات بعد مرورها في الشقين ولكن في الشكل اقتصر بيانه لثلاث حالات فقط للزاوية (θ) حيث تصل الموجات إلى منتصف الشاشة (أي أن $\theta = 0$) وتسير الموجات من المصدرين (م_١، م_٢) نفس المسافة لكي تصل إلى منتصف الشاشة ، ولذلك تكون متفقة في الطور، لأن فرق المسار بينهما يساوي (صفر) وفي هذه الحالة يحصل تداخل بناء فتظهر في المنتصف هدبة مضيئة .

ويحدث التداخل البناء إذا كان الفرق في المسار بين الموجات القادمة من أحد الشقين والموجات القادمة من الشق الثاني مكافئاً لطول موجة واحدة (λ) أو موجتين أو ثلاث موجات أو أي عدد صحيح (ن) من **الطول الموجي**، أي ($n\lambda$) كما هو موضح في الرسم (ب)، أما إذا سارت الموجات الضوئية من أحد الشقين مسافة مقدارها

$$\left(\frac{\lambda}{2} \right) \text{ أو } \left(\frac{\lambda_3}{2} \right) \text{ (وهكذا) أكثر من الموجات القادمة من الشق الثاني، فإنها}$$

ستلتقي وتكون قمة إحداها معاكسة لقمة الأخرى، فيحصل في هذه الحالة تداخلاً هداماً، فتظهر على الشاشة هدبة معتممة، كما في الشكل (ج)، وهكذا ستظهر على الشاشة سلسلة من الهدب المضيئة والمعتممة كما يحدث في شبكية العين .

ولتحديد مواقع الهدب المضيئة والمعتممة على الشاشة يجب أن نتذكر أن المسافة بين الشقين صغيرة إذ تبلغ أجزاءً من المليمتر بينما تصل المسافة بين الشاشة والشقين إلى مسافة متر أو أكثر .

وتعتبر الأشعة القادمة من الشقين إلى الشاشة متوازية تقريباً، وفي هذه الحالة يمكننا ملاحظة أن

الفرق في المسار (م_٢) وبين الشعاعين (م_١ط، م_٢ط) يرتبط بقيمة الزاوية (θ) والمسافة بين الشقين (س) حيث أن :

$$م و = س جا \theta$$

فيكون شرط التداخل هو :

$$س جا \theta = ن \lambda \dots\dots\dots (٨)$$

وهو شرط للحصول على الهدب المضئية ، فمثلاً يمكننا الحصول على

الهدب المضئية المركزية في منتصف الشاشة عند ($\theta = ٠$ صفر) وإذا كانت :

$$س جا \theta = ن + \frac{١}{٢} \lambda \dots\dots\dots (٩)$$

فأننا سنحصل على هدب معتمة .

ملاحظة: أن (ن) هو عدد صحيح ويأخذ القيم : ن = (صفر، ١ ± ، ٢ ± ، ٣ ±).

وبما أن الزاوية (θ) صغيرة فإن :
ص

$$جا \theta \approx \theta \text{ ظا } = \frac{\theta}{ف} ، \theta \text{ بالراد}$$

ومن العلاقتين (٨) و (٩) نستنتج :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ص}_ن = ن \quad \frac{\lambda}{س} \text{ ف للهدب المضئية} \\ \text{ص}_ن = ن + \frac{١}{٢} \quad \frac{\lambda}{س} \text{ ف للهدب المعتمة} \end{array} \right. \dots\dots\dots (١٠)$$

حيث (ن) : رتبة الهدبة ، (ص_ن) : بعد الهدبة (ن) عن المركز .

ومن العلاقة (١٠) يمكننا معرفة المسافة بين هدبتين مضيئتين متجاورتين أو هدبتين معتمتين متجاورتين (عرض

الهدب)، ويساوي ($\frac{\lambda}{س}$) حيث أن (λ ، س) حيث أن مقدار ثابت، ويتناسب عرض الهدبة

تناسباً طردياً مع (ف)، وكلما بعدت الشاشة عن الشقين ظهر الهدب أكثر عرضاً، كما يمكننا من خلال تطبيق

العلاقة (١٠) قياس عرض الهدبة وحساب طول موجة الضوء المستخدم بقياس كل من (س ، ف) . ويعمل

الشقان (م،م)، كمصدرين للإشعاع الضوئي، ويقال في هذه الحالة أن المصدرين مترابطان، وذلك لأن فرق

الطور بين الموجات الصادرة عنهما يبقى ثابتاً في جميع الأحوال وتسمى هذه الموجات **الموجات المتشابهة** .

وتأتي الموجات الساقطة على المصدرين من المصدر (م) الذي يبعد عنهما بنفس البعد ، أي أن (م) $m = m_1$ ، ولهذا فإن أي تغيير يحدث في المصدر (م) يرافقه تغير في المصدرين (م₁ ، م₂) في نفس الوقت، ولهذا السبب لابد أن يكون المصدران (م₁، م₂) مترابطين للحصول على تداخل، فلو استبدل الشقين بلمبتين صغيرتين متجاورتين، فإن هدب التداخل لن يظهر بل تظهر نقطة مضيئة منتظمة، لأن العلاقة في الطور بين المصدرين ستكون عشوائية لكون المصدرين غير مترابطين، إذ يحصل تداخل بناء وإتلافي بصورة متعاقبة وبسرعة كبيرة جداً لا تدركها العين لأن كل من المصدرين يبث موجاته بأطوار عشوائية متغيرة بسرعة فائقة جداً فلا يمكن الحصول على فرق ثابت للموجات المتداخلة ولهذا تشاهد العين إضاءة مستمرة بسبب صفة دوام الإبصار .

التداخل في الأغشية الرقيقة

لو قلبنا قديحاً زجاجياً في صحن يحتوي على محلول صابون ثم نرفعه سنجد تكون غشاء من الصابون على فوهته، ثم نضيء الغشاء بلون أبيض سنشاهد أن الغشاء يتلون بحزم متوازية ملونة بألوان الطيف الشمسي وإذا وضعنا صفيحة شفافة حمراء اللون في طريق الضوء الساقط على الغشاء ستلاحظ الغشاء بحزم متوازية حمراء ومظلمة على التعاقب .

إن سبب ذلك هو حصول التداخل بين الموجات المنعكسة عن السطح الأمامي للغشاء مع الموجات المنعكسة عن السطح الخلفي له .

ويعتمد نوعا التداخل في الأغشية الرقيقة على :

١- انقلاب في الطور: الذي يحصل للموجات المنعكسة عن السطح الأمامي للغشاء ومقداره π أي (١٨٠°)،

لأن كل موجة تنعكس عن سطح وسط له معامل انكسار أكبر من معامل انكسار الوسط الأول الذي

أتت منه الموجة، فتعاني انقلاب في الطور مقداره (π) أي (١٨٠°) نسبة للموجة الساقطة .

٢- **سمك الغشاء :** إن الموجة المنعكسة عن السطح الخلفي للغشاء لا تعاني من انقلاب طور لكنها تقطع

مساراً إضافياً يعادل ضعف سمك الغشاء .

ويكون التداخل في المنطقة التي يكون فيها السمك البصري للغشاء أعداداً فردية من أرباع أطوال

الموجة بناءً إذا كان فرق المسار البصري بين الموجتين المنعكستين عن سطحي الغشاء أعداداً فردية من أنصاف أطوال الموجة () أو $\frac{\lambda}{2}$

(وهكذا) ، وهما أن انعكاس الموجات عن السطح الأمامي قد رافقه انقلاب $\frac{\lambda}{2}$

رافقه انقلاب طور مقداره (π) أي (180°) عندئذ يصبح فرق الطور بين الموجتين المنعكستين عن السطح الأمامي والخلفي في هذه المناطق $(\pi/2, \pi, 3\pi/2)$ لذا فالتداخل يكون بناء وتظهر المناطق بشكل هدب مضئية .

أما التداخل الذي يحصل في المناطق التي يكون فيها السمك البصري للغشاء أعداداً زوجية من أرباع

طول الموجة $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots)$ فإنه يكون هدمياً (إتلافي) لأن فرق المسار البصري بين الموجتين المنعكستين

عن سطحي الغشاء أعداداً صحيحة للأطوال الموجية وهما أن انعكاس الموجات عن السطح الأمامي قد رافقه

انقلاب طور مقداره (π) عندئذ يصبح فرق الطور بين الموجتين المنعكستين عن سطحي الغشاء الأمامي

والخلفي $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots)$ فيكون التداخل إتلافياً لذا تظهر تلك المناطق بشكل هدب مظلمة .

حيود (حيد) الموجات

الحيود :

هي ظاهرة انتشار الموجات وانسائها على المنطقة التي تقع خلف العائق بسبب مرورها من

خلال شق أو جسماً ذا حافة حادة ضيقاً أو سلكاً رقيقاً. أي انحراف الموجات عن مسارها الأصلي .

ويحدث ذلك في جميع أنواع الموجات وتبدو بشكل واضح في موجات الماء والموجات الصوتية ولكنه

أقل وضوحاً في موجات الضوء وذلك لقصر الطول الموجي لهذه الموجات بالنسبة لأبعاد الأجسام التي تعترض

مسارها .

لقد لاحظ العالم **جريمالدي** أنه " عند مرور حزمة ضوئية ذات طول موجي أحادي اللون صادر من مصدر نقطي خلال فتحة ضيقة جداً فإن المنطقة المضاءة من خلال هذه الفتحة تكون أكبر من مساحة الفتحة وتكون شدتها ضعيفة قرب حوافها مع وجود خطوط مضيئة ومظلمة قرب الحافة مما يثبت انحناء الضوء عند حافة الفتحة " .

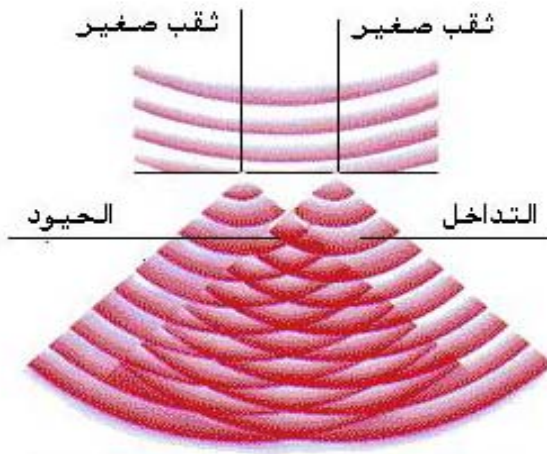
وكان **نيوتن** قد فسر ظاهرة الحيود على أن دقائق الضوء تنحرف عند مرورها بجوار حافة حادة ، ثم فسر العالم فرتل هذه الظاهرة فقد أعتبر " أن الضوء ذو طبيعة موجية حيث أن كل نقطة تقع على جبهة الموجة تعتبر مصدراً جديداً لموجات ثانوية تنتشر خلف الحاجز وتداخلها تظهر المنطق المضيئة والمعتمة والتي تسمى هدب الحيود " .

إن الشرط اللازم للحصول على هدبة معتمدة على الشاشة هو :

$$ل \text{ جا } \theta = n \lambda , (n = 1 \pm , 2 \pm , 3 \pm , \dots)$$

والشرط اللازم للحصول على هدبة مضيئة هو :

$$ل \text{ جا } \theta \cong n \left(\frac{\lambda}{p} \right) , (n = 1 \pm , 2 \pm , 3 \pm , \dots)$$



التداخل والحيود للموجات

الموجات المستقطبة

لو أخذنا نابضاً طويلاً وثبتنا أحد طرفيه وممرنا الطرف الآخر عبر شق مستطيل وحركنا الطرف الحر للنابض إلى الأعلى والأسفل مرات متتالية، سنلاحظ أن سلسلة من الموجات ينتقل في النابض نحو الطرف المثبت ويمر عبر الشق دون عناء ، أما إذا حركنا النابض أفقياً أي في مستوى عمودي على الشق فإننا نلاحظ أن الموجات لا تعبر إلى الجهة الأخرى خلف الشق .

نستنتج من ذلك أن الموجات الموازية للشق تمر من خلاله بينما تتوقف الموجات المتعامدة مع مستوى الشق ، أي أن الموجات المستعرضة هي التي تمر فقط في الشق إذا كان اتساعها موازياً للشق في المستوى نفسه وهذا يدل على أن الموجات المستعرضة لها خصائص مختلفة بالنسبة للمستوى العمودي على اتجاه حركتها .

يسمى هذا النوع من الموجات بالموجات المستقطبة ، وتساعد الموجات المستقطبة في التمييز بين الموجات الطولية والموجات المستعرضة .

الضوء موجة مستعرضة

عند إسقاط حزمة ضيقة من ضوء أحادي اللون على بلورة كالسايت (CaCO_3) تنشطر الحزمة داخل البلورة إلى حزمتين ولا تتداخل هاتان الحزمتان على الرغم من أنهما متشاكهتان، وهذا يعني أن الضوء هو موجة مستعرضة .

الضوء المستقطب : هو الضوء الذي يهتز مجاله الكهربائي بمستوى واحد فقط ويكون عمودياً على خط انتشاره (اتجاه انتقاله).

الضوء غير المستقطب : هو الضوء الذي يهتز مجاله الكهربائي في مستويات ذات اتجاهات مختلفة وتكون عمودية على خط انتشاره .

الضوء المستقطب جزئياً : هو ضوء مستقطب في بعض اتجاهات اهتزاز مستوياته الكهربائية أكثر منه في الاتجاهات الأخرى .

مستوى الاستقطاب : هو المستوى الذي يجمع اتجاه الذبذبات واتجاه انتقال الموجات .

أو : هو المستوى الذي يهتز فيه المجال الكهربائي داخل البلورة .

وتنتقل الحزمة الضوئية العادية في مستوى الصفحة نحو اليمين ثم تنشط إلى مجموعتين متذبذبتين من الموجات في اتجاهين متعامدين، تكون المجموعة الأولى في **مستوى الصفحة** ، والمجموعة الثانية تكون **عمودية عليها**، وعند إسقاط حزمة ضوئية طبيعية (غير مستقطبة) على بلورة تورمالين فإن البلورة تمتص إحدى المجموعتين السابقتين وتسمح بمرور المجموعة الأخرى لذلك فإن الموجات المارة يكون لها مستوى استقطاب واحد وتسمى موجات مستقطبة استوائياً وتسمى أيضاً الموجات المستقطبة خطياً وذلك لأن ذبذباتها تكون موازية لخط واحد وهو الخط العمودي على اتجاه انتقال الموجات في مستوى الاستقطاب.

وتطبق هذه الظاهرة في النظارات الشمسية إذ يكون مستوى استقطابها عمودياً.

اللوح القطب : هو اللوح الذي يستقطب الضوء المار من خلاله .

اللوح المستقطب : هو اللوح الذي يستقطب الضوء المار من خلاله ويوضع قرب مصدر الضوء .

المحلل : وهو لوح قطب يستعمل لمعرفة درجة استقطاب الضوء المار من خلاله ويوضع قرب العين .

والألواح المذكورة تكون متماثلة ولكن الاختلاف في التسمية يعود إلى ترتيبها في طريق الحزمة الضوئية .

وتصنع الألواح أو الرقائق القطبية من بلورات صغيرة من يود وكبريتات الكتين مرتبة في طبقة من النايتروسليلوز باتجاه واحد بالنسبة إلى مستويات استقطابها.

معرفة درجة استقطاب الضوء بواسطة الألواح المستقطبة

تجربة :

نثبت لوحان قطبيين (مستقطب ومحلل) بشكل يكونان فيه متوازيان ثم نسقط ضوءاً اعتيادياً (غير مستقطب) عمودياً على اللوح المستقطب:

- ١- دور اللوح المحلل وعند وضعية معينة نجد أن الضوء النافذ منه يكون بأكبر شدة ثم تقل في أوضاع أخرى أي أن الضوء مستقطب جزئياً .
- ٢- دور اللوح المحلل مرة أخرى حتى يحجب الضوء النافذ منه فيكون الضوء مستقطب كلياً .
- ٣- نضع بين اللوحين (المستقطب والمحلل) لوحاً قطبياً ثالثاً ثم دور اللوح الثالث حتى ينفذ الضوء من المحلل فيكون الضوء غير مستقطب .

وتستعمل الألواح القطبية في :

- المحافظة على العيون باستعمال النظارات القطبية لتخفيف شدة الضوء النافذ منها إلى عين الناظر .
- الحصول على ضوء مستقطب كلياً .
- التمييز بين الضوء غير المستقطب والضوء المستقطب استقطاباً كلياً أو جزئياً .

وللتمييز عملياً بين الضوء المستقطب والضوء غير المستقطب والضوء المستقطب جزئياً نجري

التجربة التالية :

- نضع لوحاً قطبياً في طريق كل من حزم الضوء الثلاث وعمودياً عليها وندوره عليها دورة كاملة باعتبار الحزمة محور الدوران ونلاحظ شدة الضوء النافذ للوح فإذا :
- أ- إنعدم وحجب الضوء النافذ من اللوح في وضعية معينة في أثناء التدوير فالضوء مستقطب كلياً .
 - ب- قلت شدة الضوء النافذ من اللوح في أثناء التدوير ولن تتغير فالضوء غير مستقطب .
 - ج- قلت شدة الضوء النافذ في وضع معين للوح في أثناء تدويره ثم ازدادت في أوضاع أخرى فالضوء مستقطب جزئياً .

طرق استقطاب الضوء

- ١- الاستقطاب بالامتصاص الانتقائي .
- ٢- الاستقطاب بالانعكاس .

٣- الاستقطاب بالانكسار المضاعف .

١- الاستقطاب بالامتصاص التلقائي

هنالك بعض المواد مثل التورمالين (خضراء اللون) لها خاصية الامتصاص الانتقائي لإحدى المركبتين المتعامدتين لاهتزاز الضوء الاعتيادي أي أنها تمتص طاقة الضوء الذي يقع اهتزازاه باتجاه إحدى المركبتين (المجموعتين) أكثر من امتصاصه لطاقة الضوء الذي يقع اهتزازاه باتجاه المركبة (المجموعة) الأخرى وتسمى هذه الظاهرة (الامتصاص الانتقائي) أو اللونية المزدوجة فيكون الضوء النافذ مستقطب استوائياً (كلياً) .

ويحدد مقدار امتصاص المادة للضوء في طريقة استقطاب الضوء بالامتصاص الانتقائي بسمك المادة ونوعها .

٢- الاستقطاب بالانعكاس

عند سقوط الضوء بزوايا مختلفة على سطح مصقول لمادة عازلة للكهرباء يكون الضوء المنعكس مستقطباً بصورة جزئية في مستوى موازٍ لمستوى السطح العاكس كالمرايا و سطح الماء العاكس، وقد اكتشف هذه الحقيقة العالم الفرنسي مالوس ، وتعتمد درجة الاستقطاب على زاوية السقوط ، وتتراوح بين ضوء غير مستقطب إذا كان الشعاع الساقط عمودياً (أي زاوية السقوط = صفر) إلى استقطاب كامل عند زاوية سقوط معينة تعرف بزاوية الاستقطاب أو زاوية بروستر θ .

لقد توصل العالم بروستر إلى أن الشعاع المنعكس يكون عمودياً على الشعاع المنكسر عند هذه الزاوية ، حيث يكون مجموع زاويتي السقوط والانكسار (٩٠) .

زاوية الاستقطاب : هي زاوية سقوط الضوء غير المستقطب على سطح بحيث يكون الشعاع المنعكس مستقطب استوائياً بينما يكون الشعاع المنكسر مستقطب جزئياً وتكون الزاوية بين الشعاع المنعكس والشعاع المنكسر قائمة .

$$م = ظا \theta$$

حيث : م : معامل انكسار الوسط، θ زاوية الاستقطاب والفائدة العملية من معرفة زاوية الاستقطاب هي تحديد معامل الانكسار للمادة وبالتالي لمعرفة نوع المادة .

ملاحظة: إن الضوء المنعكس من المعادن والمواد الموصلة كهربائياً يكون غير مستقطب .
ويمكن تلخيص الاستقطاب بالانعكاس بالنقاط التالية :

١- إذا سقطت حزمة ضوئية غير مستقطبة بصورة عمودية على سطح صقيل مثل الزجاج أو الماء أو المايكا فالضوء المنعكس عنه يكون غير مستقطب .

٢- إذا سقطت حزمة ضوئية غير مستقطبة بصورة مائلة يكون الضوء المنعكس مستقطب جزئياً أو معظم اهتزازاته موازية للسطح العاكس بينما الضوء المنكسر في الوسط الثاني تكون معظم اهتزازاته متعامدة من السطح العاكس .

٣- إذا سقطت حزمة ضوئية غير مستقطبة بصورة مائلة بزواوية معينة تسمى زاوية الاستقطاب يكون الشعاع المنعكس مستقطب استوائياً (كلياً) أما الشعاع المنكسر فيكون مستقطب جزئياً وتكون الزاوية بين الشعاع المنعكس والشعاع المنكسر في هذه الحالة (٩٠) .

٣- الاستقطاب بالانكسار المضاعف

عند سقوط ضوء أحادي اللون غير مستقطب على بلورة كالسايت (CaCO_3) تنشطر الحزمة داخل البلورة إلى مجموعتين كل منهما مستقطبة استوائياً ومستوى اهتزازها متعامد، وأن أحد هذين الشطرين (المجموعتين) يخضع لقانون سنل ويسمى **بالشعاع الاعتيادي** حيث تكون سرعته داخل البلورة متساوية في جميع الاتجاهات، أما الشعاع الآخر فيسمى الشعاع غير الاعتيادي ولا يخضع لقانون سنل حيث تكون سرعته داخل البلورة متغيرة بتغير اتجاهه .

وهذان الشعاعان (**الاعتيادي وغير الاعتيادي**) لا يتداخلان بالرغم من تشاكهما لأن مستوى اهتزازهما متعامد .

ولا تحصل ظاهرة الانكسار المضاعف (المزدوج) إذا سقط الضوء غير المستقطب على طول المحور البصري للبلورة وذلك لتساوي سرعة الشعاعين الاعتيادي وغير الاعتيادي .

موشور نيكول

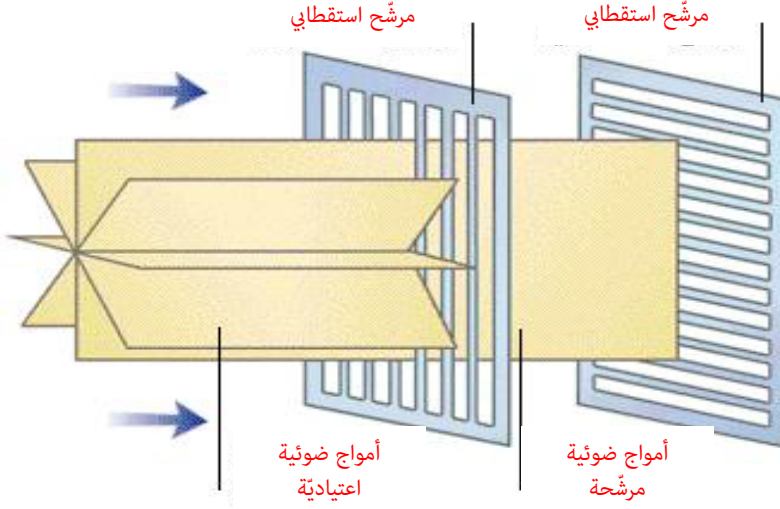
يتألف موشور نيكول من بلورة كالكسايت معينة لمقطع ذات أوجه صقيلة تقطع البلورة عند قطرها الصغير إلى جزئين ويعاد صقلها بمادة شفافة معامل انكسارها أصغر من معامل انكسار بلورة كالكسايت للشعاع الاعتيادي وأكبر منه للشعاع غير الاعتيادي ويستعمل صمغ (كندا بلسم) كمادة لاصقة معامل انكسارها (1,00) فينعكس الشعاع الاعتيادي عند سطح المادة اللاصقة ويسقط على طبقة سوداء فتمتنعه ، أما الشعاع غير الاعتيادي فينفذ من الموشور.

ويستخدم **موشور نيكول** للأغراض التالية :

- أ- للحصول على حزمة ضوء مستقطب كلياً .
- ب- للحصول على حزمة ضوئية واحدة مستقطبة كلياً نتيجة فصل الحزمتين المستقطبتين كلياً ولاسيما الحزمة الاعتيادية .

التطبيقات العملية للضوء المستقطب (فوائد الاستقطاب)

- ١- التعرف على نوع البلورة : من خلال فحص قابليتها على استقطاب الضوء .
- ٢- في صناعة المرشحات الضوئية وصفائح السيطرة على شدة الضوء كما في زجاج نوافذ البيوت والسيارات والنظارات الشمسية المصنوعة من الألواح القطبية .
- ٣- الكشف عن تأثير الإجهاد الميكانيكي (الي أو التسخين أو الكبس المتوازن أو السحب) في المواد التي تتأثر به في مواقع التأثيرات وذلك بصنع نموذج من مادة شفافة مرنة ضوئياً مماثلة لشكل الجسم المراد فحصه وتعيين مواقع الإجهاد .
- ٤- لقياس تركيز بعض المحاليل بمقاييس الاستقطاب التي تعتمد في عملها بمعرفة زاوية الدوران البصري لمستوى استقطاب الضوء لتلك المواد وذلك بوضع المحلول في أنبوبة مسدودة الطرفين وبين مستقطب ومحلل وقياس زاوية الدوران البصري لمستوى استقطاب الضوء النافذ ومنها يمكن معرفة تركيز المحلول مثل معرفة تركيز السكر في البول .
- ٥- لصنع العوائق في آلات التصوير باستعمال مادة النايتروبنزين وكذلك استعمال البلورات السائلة في الساعات الرقمية والعدادات الإلكترونية وكلاهما يعمل حسب خاصية الدوران البصري.



إن المرشح الأول يدع الأمواج الضوئية التي تهتز باتجاه خاص واحد للعبور من خلاله ، بعدها بحجز المرشح الثاني مرور هذه الأمواج.

الاستطارة : هي ظاهرة حيود الضوء بواسطة جسيمات أقطارها تقارب معدل الطول الموجي للضوء المرئي . إذا مرنا حزمة من الضوء الأبيض خلال وعاء يحتوي على محلول غروي (مثل محلول الصابون أو الهايو الذي يضاف إليه قليل من حامض الكبريتيك المخفف) ونحركه، فبعد مرور دقيقة تقريباً تتولد دقائق الكبريت المجهرية العالقة في الماء فتجعل الضوء المستطار عمودياً على مسار ضوء أزرق اللون، بينما الضوء النافذ باتجاه مساره الأصلي يكون أصفر اللون ثم يتحول تدريجياً إلى أحمر، وذلك مع زيادة عدد دقائق الكبريت المتولدة في المحلول ، وبعدئذ ومع كبر دقائق الكبريت يعود المحلول أبيض اللون من جميع الاتجاهات.

ظاهرة الاستطارة : هي حالة خاصة من الحيود تحدث إذا أمرت حزمة من الضوء الأبيض خلال وسط يحوي جسيمات أقطارها تقارب معدل الطول الموجي للضوء الأبيض حيث تسبب

جسيمات الوسط استطارة كبيرة للموجات القصيرة من الضوء المرئي ، فينبعث ضوء لونه مائل للزرقة بالاتجاه العمودي على اتجاه مسار الحزمة الساقطة ، أما الأشعة النافذة باتجاه الحزمة الساقطة فتكون بلون مائل للحمرة .
إن الضوء المستطار هو ضوء مستقطب فلو قمنا بتدوير لوح مستقطب في طريق الحزمة الضوئية المستطارة للاحظنا تغير شدة استضاءة الضوء النافذ حيث أن الضوء ينفذ عند وضعية معينة للوح ويختفي بعد تدويره بزاوية (٩٠) ثم ينفذ ثانية أثناء الدوران .

تفسير ظاهرة الاستطارة

تمتص جسيمات الوسط جزءاً كبيراً من طاقة الضوء الساقط عليها وتبعثه فوراً باتجاهات مختلفة ولما كان التردد الطبيعي للإلكترون داخل الجزيئة يقع في منطقة ترددات الأشعة فوق البنفسجية أو ترددات الأشعة البنفسجية، وتأثير المجال الكهربائي للموجات الكهرومغناطيسية الساقطة على هذه الإلكترونات يجعلها تهتز اهتزازاً اضطرارياً إذ يكون على أشده بالنسبة للموجات القصيرة مما يجعل جسيمات الوسط تهتز اهتزازاً اضطرارياً بتردد مماثل لتردد الحزمة الضوئية الساقطة لأن ترددها يقارب التردد الطبيعي للإلكترون في الذرة داخل الجزيئة وأطوالها الموجية تقارب قطر الجسيمات المسببة للاستطارة .

ملاحظة: إن الضوء البنفسجي يستطار (١٠) مرات مما يستطار به الضوء الأحمر .

بنفسجي	أزرق	أخضر	أصفر	برتقالي	أحمر
١٠	٦	٣	٢,٥	٢	١

وتكون الموجات القصيرة أكثر استطارة من الموجات الطويلة لأن :

$$\frac{1}{\lambda} = \alpha \text{ شدة الضوء المستطار}$$

وتفسر ظاهرة الاستطارة السبب في زرقة السماء وحمرة الغروب والشروق، والسبب في رؤية قرص الشمس أثناء النهار أبيض والسماء زرقاء بينما عند الغروب يكون أحمر لأن أشعة الشمس أثناء الغروب تعاني من عدة انكسارات تقطع مساراً أطول خلال طبقة الهواء وبذلك يزداد مقدار الضوء الأزرق المستطار فيها وفيه نسبة عالية من الضوء الأزرق لذا يصل الضوء غير المستطار إلى العين أحمر بينما نرى السماء زرقاء .
ولهذا السبب أيضاً يستعمل اللون الأحمر (ضوء أحمر) كإشارة تنبيه بسبب قلة استطارته حيث يرى من مسافات بعيدة لأنه أطول موجة وأقل استطارة (تشتت) .

أسئلة

- س١ : ما الذي يسبب الحركة الاهتزازية (الحركة الموجية) لدقائق الماء الساكن عند إلقاء حجر فيه ؟ .
- س٢ : ما الذي يسبب انتقال الحركة الاهتزازية لدقائق الماء الساكن عند إلقاء حجر فيه ؟ .
- س٣ : ما سبب عدم ابتعاد الطيور أو الأجسام الطافية فوق سطح الماء أثناء الحركة الاهتزازية عن مواضعها الأصلية ؟ .
- س٤ : لماذا تتناقص سعة الموجة تدريجياً كلما ابتعدت الموجة عن مصدر الاضطراب؟
- س٥ : هل يمكن أن تنتقل الموجات المستعرضة بالهواء ؟ ولماذا ؟ .
- س٦ : هل تنتقل الموجة الطولية الميكانيكية على سطح السائل ؟ ولماذا ؟ .
- س٧ : هل تنتقل الموجة المستعرضة الميكانيكية خلال الغاز أو داخل السائل؟ ولماذا ؟ .
- س٨ : لماذا يمكن للموجات الطولية أن تنتقل خلال الأوساط المختلفة ؟ .
- س٩ : علام يعتمد كل من: ١- تردد الموجة ٢- انطلاقها ٣- طول الموجة هل يعتمد على مصدر التمدد أم الوسط أم كليهما معاً ؟ .
- س١٠ : لماذا نستطيع تمييز الأصوات المختلفة الصادرة في وقت واحد عندما نسمعها ؟
- س١١ : لماذا يكون انطلاق الموجات المستعرضة المتراكبة مساوياً لانطلاق كل من الموجات الأصلية ؟
- س١٢ : قارن بين الموجة الميكانيكية والموجة الكهرومغناطيسية.
- س١٣ : ما الفرق بين داخل الإتلاف وداخل الأضعاف؟
- س١٤ : ما هي الخواص العامة للحركة الموجية ؟
- س١٥ : قارن بين الموجات المستعرضة والموجات الطولية.
- س١٦ : لماذا تكون سعة اهتزاز الوتر في البطون ضعف سعة اهتزاز المصدر؟
- س١٧ : في الموجة الواقفة، ما علاقة سعة اهتزاز الوتر في البطون بسعة اهتزاز المصدر؟ وضح ذلك؟

س١٨ : لماذا تسمى الموجات بالموجات الواقفة؟

س١٩ : لماذا يختلف الوسط اللازم لنقل الموجات المستعرضة عن الوسط اللازم لنقل الموجات الطولية؟

س٢٠ : سقط ضوء على سطح ماء هادئ معامل انكساره $(\frac{3}{4})$ بزاوية معينة ، فوجد أن الشعاع المنعكس عنه مستقطباً كلياً ، جد قياس زاوية :

أ-سقوط الشعاع ب- انعكاس الشعاع ج- انكسار الشعاع

الأجوبة

- ج ١ : اكتساب جزيئات الماء طاقة حركية من الحجر هو الذي يسبب تلك الحركة.
- ج ٢ : انتقال الحركة الاهتزازية إلى الجزيئات المجاورة يأتي بفعل قوى التماسك بين هذه الجزيئات التي تهتز بدورها لتنتقل الحركة في الماء بعيداً عن المصدر من غير أن تنتقل جزيئات الماء .
- ج ٣ : بسبب عدم انتقال جزيئات الماء أثناء الحركة الاهتزازية حيث أن طاقة الاهتزاز هي فقط التي تنتقل .
- ج ٤ : وذلك لتبدد طاقة الموجة بسبب الاحتكاك أو بسبب امتصاصها من قبل الوسط .
- ج ٥ : نعم ، إذا كانت موجات كهرومغناطيسية لأنها لا تحتاج بالضرورة إلى وسط مادي لانتقالها .
- أو : كلا ، إذا كانت موجات ميكانيكية لأنه لا تتوفر بين جزيئات الهواء قوة تماسك كافية ليتمكن الجزيء المهتز من تحريك الجزيئات باتجاه عمودي على اتجاه انتشار الموجة .
- ج ٦ : كلا ، لعدم توفر قوة موازية لسطح السائل .
- ج ٧ : كلا ، لعدم وجود قوة تماسك كافية بين الجزيئات ليتمكن الجزيء المهتز من تحريك الجزيئات باتجاه عمودي على اتجاه انتشار الموجة .
- ج ٨ : لأنه يكفي لانتشارها أن يصطدم الجزيء المجاور له ليحركه بشكل مماثل لحركته بتأثير القوى الجزيئية .
- ج ٩ : ١- تردد الموجة يعتمد على مصدر التمدد .
- ٢- الانطلاق يعتمد على الوسط الناقل .
- ٣- طول الموجة يعتمد على مصدر التمدد والوسط الناقل.
- ج ١٠ : وذلك لعدم تأثر الموجات الصوتية إحداها بالأخرى .
- ج ١١ : لأن انطلاق الموجة المستعرضة يعتمد على طبيعة الوسط الناقل لها ، ولا يعتمد على سعة الاهتزاز أو تردد الموجة .

ج ١٢ : مقارنة بين الموجة الميكانيكية والموجة الكهرومغناطيسية :

الموجة الميكانيكية	الموجة الكهرومغناطيسية
١- تحتاج بالضرورة إلى وسط مادي.	١- لا تحتاج بالضرورة إلى وسط مادي لانتقالها إذ أنها تنتقل حتى في الفراغ .
٢- يولدها جسم مهتز في وسط.	٢- تولدها شحنة مهتزة أو شحنة معجلة.
٣- قد تكون طولية أو تكون مستعرضة.	٣- تكون مستعرضة فقط.
٤- انبعاثها قليل نسبياً مثل الصوت.	٤- انبعاثها كبير مثل الضوء.

ج ١٣ : تداخل الإثلاف تكون فيه سعة الموجتين المتداخلتين متساوية ، أما تداخل الإضعاف فتكون سعة الموجتين المتداخلتين مختلفة .

ج ١٤ :

- ١- الانتشار : تنتشر الموجات بخطوط مستقيمة في الوسط المتجانس .
- ٢- الانعكاس : هو ارتداد الموجات بعد اصطدامها بسطح يفصل بين وسطين مختلفين كانعكاس الأمواج المائية عندما تصطدم بالشاطئ وصدى الصوت .
- ٣- الانكسار : هو تغير في مسار الموجة إذا سقطت بصورة مائلة على حد فاصل بين وسطين مختلفين مثل انكسار الأشعة الموجية بسبب اختلاف سرعة الموجة في الوسطين أما الضوء الساقط بصورة عمودية فلا ينكسر بالرغم من اختلاف سرعة الموجة في الوسطين لأن جبهات الموجة تنفذ موازية وكلاهما موازية للسطح الفاصل .
- ٤- التداخل هو تراكم سلسلتين من الموجات أو أكثر عند انتشارهما في وسط واحد ومستوى واحد ولا يحصل التداخل بين الموجات إذا انتشرت في مستويين مختلفين، والتداخل أما أن يكون تداخلاً بناءً أو تداخلاً إتلافياً .

ج ١٥ : مقارنة بين الموجات المستعرضة والموجات الطولية :

الموجة الطولية	الأمواج المستعرضة
١- حركة موجية تنتقل في الوسط دون أن تنتقل دقائق الوسط .	١- حركة موجية تنتقل في الوسط دون أن تنتقل دقائق الوسط .
٢- تهتز جسيمات الوسط باتجاه موازي لاتجاه انتشار كانتقال الموجات الصوتية في الهواء .	٢- تهتز جسيمات الوسط باتجاه عمودي على اتجاه انتشار الموجة .
٣- تتكون مناطق تضغط وتخلخل عند الانتشار .	٣- تتكون قمم وقيعان عند الانتقال .
٤- موجة ميكانيكية يمكنها الانتقال داخل السائل بانطلاق أكبر.	٤- موجة ميكانيكية أو كهرومغناطيسية مثل موجة الضوء أو الحرارة .
٥- تستقطب .	٥- لا تستقطب .

ج ١٦: لأن الموجة المنعكسة من البكرة تصل إلى الشوكة الرنانة في الوقت المناسب تماماً لتقويتها وفي لحظة انعكاسها من الشوكة فيكون كليهما في طور واحد مما يؤدي إلى تقوية النبضة.

ج ١٧: سعة اهتزاز الوتر عند البطون تساوي ضعف سعة اهتزاز المصدر لأن الموجة المنعكسة من البكرة تصل إلى الشوكة الرنانة في الوقت المناسب تماماً لتقويتها وفي لحظة انعكاسها من الشوكة فيكون كليهما في طور واحد مما يؤدي إلى تقوية النبضة .

ج ١٨: لأنها تولد تغيراً دورياً في الشكل بتردد عالٍ يبقى في مكانه ولا ينتشر إلى نقاط الوسط الأخرى كما هي الحالة في الموجات المنتشرة ، وأن العين لا تستطيع متابعة حركة الوتر هذه ، لذا يبدو الوتر المهتز مقسماً إلى عدد من القطع الساكنة .

ج ١٩: إن الوسط اللازم لنقل الموجات المستعرضة يكون وسطاً مرناً تتوافر بين جزيئاته قوة تماسك كافية لتحريك الجزيئات عمودياً على خط انتشار الموجة وتحصل في الأجسام الصلبة والسطوح الحرة في السوائل، بينما الوسط اللازم لنقل الموجات الطولية لا تحتاج إلى قوة تماسك حيث أن مرونة الوسط تكفي لإعادة الجزيئات إلى

مواضع استقرارها بعد كل تضاعف أو تخلخل، وتنتشر في الأوساط الصلبة أو السائلة أو الغازية

الحل :

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{m}{\rho} \\ \theta &= \frac{4}{3} \end{aligned}$$

$$\theta = 35^\circ \text{ زاوية الاستقطاب} = \text{زاوية السقوط}$$

$$\text{زاوية الانعكاس} = \text{زاوية السقوط} = 53^\circ$$

$$90 - 53 = 37^\circ \text{ زاوية الانكسار}$$

الفصل الثامن عشر الصوت

الفصل الثامن عشر

الصوت

الموجات الصوتية :

هي موجات ميكانيكية طولية لا يمكنها الانتقال في الفراغ تتولد من اهتزاز في وسط مادي ويتراوح مدى تردداتها المسموعة بين (٢٠ - ٢٠٠٠٠) هيرتز .

الصوت :

هو موجات طولية ميكانيكية تنتج عن اهتزاز الأجسام وتدرّك بحاسة السمع ولا يمكن أن تحدث إلا بوجود وسط مادي ناقل .

خصائص الموجات الصوتية

الصوت شكل من أشكال الطاقة مرتبط بتذبذب المادة فالطاقة تنتقل من جزيء إلى الجزيء المجاور ، أي أن طاقة الصوت تنتقل في الوسط على هيئة موجة .
وتتعلق دراسة الصوت بدراسة الحركة الموجية حيث أن الحركات الموجية تختلف بوضوح عن حركة الجزيئات المنفصلة.

ولتوليد الصوت يجب توفر الشروط التالية :

- توفر مصدر يولد اضطراباً (جسم مهتز) .
- وسط مادي ناقل للاضطراب .
- حاسة تدرك الصوت وهي الأذن .

أولاً- شدة الصوت

هي مقدار الطاقة الصوتية التي تعبر وحدة المساحات عمودياً حول نقطة ما في زمن مقداره ثانية .

العوامل المؤثرة في شدة الصوت عند نقطة ما :

أ- المسافة بين مصدر الصوت والنقطة (الأذن) :

تنتشر الطاقة الصوتية على هيئة موجات فكلما ابتعد مصدر الصوت توزعت

الطاقة الصوتية على مساحة أكبر، أي أن شدة الصوت تتناسب تناسباً عكسياً مع مربع البعد عن مصدره باعتبار أن المساحة هي مساحة سطح كروي، أي أن :

$$\text{شدة الصوت } \alpha = \frac{1}{r^2}$$

حيث أن الموجات الصوتية تنتشر من المصدر المهتز في جميع الاتجاهات (على فرض أن الوسط متجانس والمصدر نقطي) فيكون الانتشار بشكل جبهات كروية مركزها مصدر الصوت وبما أن المساحة السطحية للكرة تتناسب طردياً مع مربع نصف القطر وأن قدرة الموجة الصوتية ثابتة المقدار وتتوزع بالتساوي على مساحة السطح الكروي لذا فإن قدرة الموجة تتوزع على مساحة أكبر كلما ابتعدت جبهة الموجة عن مصدر الصوت مما يسبب خفوت شدة الصوت تدريجياً كلما زادت المسافة بين مصدر الصوت والأذن .

ب- كثافة الوسط الناقل وحركة جزيئاته :

تزداد شدة الصوت كلما زادت كثافة الوسط الناقل، وتقل بنقصانها، كما تؤثر حركة جزيئات الوسط الناقل للصوت (كالهواء) في شدته فعندما يكون اتجاه حركة الرياح باتجاه انتشار الصوت يكون الصوت مسموعاً بوضوح بينما تخفت شدته إذا كانت حركة الموجات الصوتية بعكس اتجاه حركة الرياح .
ملاحظة: إن الهواء يعمل كوسط ناقل للصوت لأن الأذن توجد عادة في حالة تلامس مع الهواء وكلما تخلخل الهواء أصبح أقل نقلاً للصوت .

ج - سعة اهتزاز المصدر :

تزداد شدة الصوت كلما زادت سعة اهتزاز المصدر أي أن :

$$\text{شدة الصوت } \alpha \propto \text{سعة اهتزاز المصدر}^2$$

د- المساحة السطحية للمتذبذب :

تزداد شدة الصوت كلما زادت مساحة السطح المتذبذب كما في اتساع سطح الطبل مثلاً يولد صوتاً عالي الشدة أي أنها تتناسب تناسباً طردياً مع مساحة الجسم المهتز .

ثانياً- درجة الصوت

- هو ذلك الإحساس الذي يتوقف على شدة الصوت المسموع وتردده فكلما ازدادت درجة الصوت (علوه) بثبوت تردده تزداد شدته وكلما قل الصوت بثبوت تردده قلت شدته ، والعلاقة بينهما ليست علاقة طردية بل علاقة لوغاريتمية .
- وتعتمد درجة الصوت على :
- شدة الصوت المسموع .
 - تردد الموجة الصوتية إذ تقل حساسية الأذن البشرية للموجات قليلة التردد (أقل من ١٠٠٠ هيرتز) وكذلك مع الموجات عالية التردد أكبر من (١٠٠٠٠ هيرتز) ولا تسمع إذا كانت أكثر من (٢٠٠٠٠ هيرتز) .

العلاقة بين شدة الصوت ودرجته

إن شدة الصوت عند نقطة معينة تعتبر المعدل الزمني لمقدار الطاقة الصوتية الساقطة على وحدة المساحة من جبهة الموجة والتي تكون تلك النقطة مركز لها وتقاس بوحدة (واط/م^٢)، أما درجة الصوت فهي ذلك الإحساس الذي يتوقف على شدة الصوت المسموع وتردده إذ تزداد درجة الصوت بازدياد شدة الصوت عند ثبوت التردد وتكون العلاقة بينهما لوغاريتمية وليست طردية .

وتختلف درجة الصوت باختلاف مصدره فإذا زاد توتر وتر مشدود زاد تردده وبالتالي تزداد درجة صوته.

تجربة توضح أن درجة الصوت تعتمد على تردده :

يستعمل قرص دوار يحتوي على أربع دوائر مثقبة متحدة المركز ، وعدد الثقوب في كل منها (٢٤ ، ٣٠ ، ٣٦ ، ٤٨) مرتبة من الداخل نحو الخارج والبعد بين ثقوب الصف الواحد متساوية، فإذا دور القرص بسرعة زاوية ثابتة ووجه تيار هوائي من أنبوب على إحدى هذه الدوائر في أثناء دوران القرص يسمع صوت ذو درجة معينة أما إذا زادت سرعة الدوران أو وجه التيار الهوائي على الدائرة الأكثر ثقوباً يصبح الصوت المسموع أعلى درجة مما يدل أن درجة الصوت تعتمد على التردد وتزداد بزيادة التردد وتقل بنقصانه .

التردد = عدد الثقوب $\times$ السرعة الزاوية للقرص (دورة/ثا) .

إن درجة الصوت هي خاصية الصوت التي تعتمد على تردد الموجات الواصلة للأذن فتميز الأصوات الرقيقة (الحادة) من الأصوات الغليظة (الأجشة) حيث أن درجة صوت المرأة أعلى من درجة صوت الرجل .

ثالثاً- نوعية الصوت (جرس الصوت)

هي خاصية تمكنا من التمييز بين صوتين متساويين بالشدة والدرجة ولكنهما صادرين من مصدرين مختلفين، حيث تختلف الآلات الموسيقية في نوعية الصوت الصادر منها فإن الأذن البشرية تستطيع أن تميز بين صوت الكمان وصوت العود حتى عند تساويهما في التردد (الدرجة) وشدة الصوت (علوه) . ويتحدد نوع الصوت بالعوامل التالية :

- نوع مادة المصدر .
- طريقة توليد الصوت .

النغمة الأساسية والنغمات التوافقية

من المعلوم أن مصدر الصوت يولد توافقيات هي مضاعفات للنغمة الأساسية .

النغمة الأساسية (النغمة التوافقية الأولى) :

هو الصوت الصادر من جسم مهتز عندما يكون تردده طبيعياً مثل: عند طرق شوكة رنانة تتذبذب بتردد طبيعي فالصوت الصادر منها يمثل النغمة الأساسية (نغمة توافقية أولى)، والوتر المشدود من طرفيه إذا حرك بالإصبع من منتصفه يهتز كقطعة واحدة فيعطي النغمة الأساسية (نغمة توافقية أولى) .

النغمات التوافقية :

هي النغمات التي تكون نسبة ترددها إلى تردد النغمة الأساسية (نغمة توافقية أولى) كنسبة الأعداد البسيطة (٢، ٣، ٤،) مثلاً : إذا لمس الوتر المشدود من منتصفه أو وضعت تحت منتصفه قنطرة خشبية فعند تحريكه من منتصف أحد نصفيه يعطي النغمة التوافقية الثانية ويكون ترددها ضعف تردد النغمة الأساسية وهي تحصل عندما يهتز الوتر كقطعتين .

أما إذا اهتز الوتر بثلاث قطع فإنه يعطي النغمة التوافقية الثالثة وترددتها يساوي ثلاثة أمثال تردد النغمة الأساسية .

إن سبب تباين (اختلاف) التوافقات المرافقة للنغمة الأساسية هي سبب إحساسنا باختلاف نوع الصوت الصادر عن الآلات الموسيقية المختلفة مثل العود والكمان والبيانو المتساوية بالنغمة الأساسية .

تجربة

تبين هذه التجربة اختلاف نوع الصوت باختلاف التوافقيات المرافقة للنغمة الأساسية :
إذا جعلنا وترين متماثلين تماماً يهتزان بنغمتهما الأساسية ولمسنا أحدهما من منتصفه والآخر من ثلثه في أثناء اهتزازهما فإن الوتر الأول سوف يعطي نغمته التوافقية الثانية إضافة إلى النغمة الأساسية ويعطي الوتر الثاني نغمته التوافقية الثالثة إضافة إلى نغمته الأساسية وعندئذ يتميز صوت الوتر الأول عن صوت الوتر الثاني لاختلافهما بالتوافقيات المرافقة لنغمتهما الأساسية وهذا ما يعبر عنه بنوع الصوت .

استجابة الأذن البشرية للصوت

تعتبر أذن الإنسان من أدق الأجهزة الفائقة الحساسية للصوت ، ومع ذلك فإن هناك حدوداً لحساسية الصوت من حيث الشدة والتردد، فالحد الأدنى لشدة الصوت المسموع تكون في حدود (١٠^{-١٢}) واط/م^٢ وتسمى عتبة السمع (وهي أقل شدة للصوت يمكن أن تتحسس بها الأذن البشرية)، مقابل حد أدنى من الضغط مقداره في حدود (٢٠×١٠^{-٢}) باسكال، وعلى الرغم من هذه الحساسية المفرطة فإنها تتحمل ضغطاً يصل إلى (٢٠) باسكال، وإذا زاد الضغط عن ذلك سبب ألماً للأذن، أما إذا قل الضغط عن هذا المعدل فإن الصوت لا يسمع ولا تتحسس به الأذن .

وتستطيع أذن الإنسان التقاط الأصوات التي تنحصر تردداتها بين (٢٠ - ٢٠٠٠٠) هيرتز، ولا يمكن للأذن أن تسمع الأصوات التي تحدث خارج نطاق هذا التردد ، وتسمى الترددات الأقل من (٢٠) هيرتز الترددات تحت السمعية بينما تسمى

الترددات الأكثر من (٢٠٠٠٠) هيرتز بالترددات فوق السمعية .

وتكون حساسية الأذن للأصوات أكبر ما يمكن عندما تقع الترددات ضمن المدى المحصور بين (٦٠٠ إلى ٧٠٠) هيرتز، وعندها تكون شدة الصوت المسموع أقل ما يمكن في حدود (١٠) ديسي بيل (الديسي بيل ١٠/١ وحدة قياس علو الصوت نسبة إلى للعالم غراهام بيل)، ويكون أقل ضغط صوتي مسموع في هذه الحالة في حدود (١٠×٢) نيوتن/م^٢، كما أن شدة الصوت التي تسبب الألم للأذن تكون ثابتة تقريباً مع التردد .

مستوى شدة الصوت (ζ) : هو العلاقة بين الإحساس بعلو الصوت وشدته عند أي تردد .

ويتغير منسوب شدة الصوت (ζ) لوغاريتمياً مع شدة الصوت (ش) على النحو التالي :

$$\zeta = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (1)$$

وتسمى هذه العلاقة بقانون **ويبر - فيختر** حيث ث : ثابت.

ومن العلاقة يمكننا التوصل إلى أن :

$$\frac{\Delta \zeta}{\Delta I} = \frac{1}{I} \quad (2)$$

ولا تنطبق العلاقة (١) بدقة قرب عتبي السمع والألم ولكنها تنطبق على المناطق الأخرى، ويلاحظ من العلاقة (٢) أن حساسية الأذن ($\frac{\Delta \zeta}{\Delta I}$) تتناسب تناسباً

عكسياً مع شدة الصوت، ويقاس مستوى شدة الصوت عن طريق نسبتها إلى القيمة المعيارية (ش_ع) (وهي مقدار معياري ١٠^{-١٢} واط/م^٢) .

ويمكن اعتبار الثابت (١) لاعتماده على الوحدات المستخدمة في القياس فيحسب التغير في شدة الصوت بالعلاقة الآتية:

$$\zeta = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad \text{في نظام الـ (ديسي بيل)}$$

$$\zeta_1 - \zeta_2 = 10 \log \frac{I_1}{I_2} \quad \text{ديسي بيل حيث : } \zeta_1 - \zeta_2$$

حيث : ζ : مستوى الشدة ويقاس بالـ (بيل أو ديسي بيل).

ش : شدة الصوت المطلوبة.

ش_ع : عتبة السمع = $(10^{-12} \text{ واط/م}^2)$.

$$\frac{\text{ش}}{\text{ش}_\text{ع}} = \zeta \quad \text{لو} \quad \text{في نظام الـ (بيل)}$$

١- شدة الصوت عند عتبة السمع :

$$\frac{\text{ش}}{\text{ش}_\text{ع}} \leftarrow \zeta = \text{لو} \frac{\text{ش}}{\text{ش}_\text{ع}} = \zeta \frac{10^{-12}}{10^{-12}} = 10 \text{ لو}$$

$$10 \text{ لو} = 10 \times \text{صفر} = \text{صفر ديسي بيل}$$

٢- أعظم شدة للصوت تستطيع الأذن البشرية سماعها (١ واط/م^٢) :

$$\zeta = \frac{\text{ش}}{\text{ش}_\text{ع}} \text{ لو} \frac{\text{ش}}{\text{ش}_\text{ع}} \leftarrow \zeta = \frac{1}{10^{-12}} = 10^{12} \text{ لو}$$

$$120 \text{ لو} = 120 \text{ ديسي بيل}$$

تطبيقات

تنشأ الأصوات تحت الصوتية (تحت المدى المسموع) (ت > ٢٠ هيرتز) عن الهزات الأرضية والأعاصير في حين يتم توليد الموجات الصوتية فوق الصوتية (فوق المدى المسموع) بعدة طرق منها إحداث اهتزازات لبلورة كوارتز تتجاوب مع مجال كهربائي متناوب .

ومن أبرز التطبيقات العملية للموجات تحت الصوتية استخدامها في :

- قياس سرعة موجات الصوت في السوائل والغازات .
- دراسة التركيب الكيميائي للمواد وتحديد معامل امتصاصها وحرارتها النوعية وقابليتها للانضغاط .
- الكشف عن الشقوق التي تحدث في المعادن وتحديد مستوى السوائل في الخزانات مثل سائل الهليوم .
- كما تستخدم في صناعة الأفلام التصوير وإزالة الضباب في المطارات وطرده الماء من الورق أثناء التصنيع وتنظيف الملابس الحريرية .

- تهدئة آلام المفاصل والعضلات، والأمراض النفسية وفي تحديد أماكن الأورام الخبيثة في العين وفي عمليات فحص القلب والأجنة أثناء الحمل وكذلك في تفتيت الحصى في المرارة والكلى ولقتل بعض الكائنات الصغيرة ووقف نمو بعض الخلايا مثل خلايا الخميرة . وغيرها من الاستعمالات الأخرى .

سرعة الموجات الصوتية

سرعة الصوت : هي الإزاحة التي يقطعها الصوت في الثانية الواحدة عند انتقاله في وسط معين .

كيف يتم انتقال الصوت

عندما يهتز الجسم فإنه ينجز شغلاً على الجسيمات المجاورة له والواقعة باتجاه حركته، فيكسبها طاقة مولداً فيها تضاعفاً وعند انعكاس اتجاه حركة الجسم المهتز يتمدد الهواء ليشغل الفراغ الذي تركه الجسم عند عودته مولداً تخلخلاً، وبسبب استمرار حركة الجسم الاهتزازية في الهواء يستمر تعاقب موجات من التضغط والتخلخل ناقلة الطاقة الصوتية معها في ذلك الوسط حتى تصل الأذن فيسمع الصوت .

أي أن الموجات الصوتية تنتشر في جميع الاتجاهات من مصادرها على هيئة سلسلة من التضغوط والتخلخلات التي تستمر إلى أن يتوقف مصدر الصوت، وتختلف سرعة الصوت (انطلاقه) حسب الأوساط ففي الصلب مثل الحديد تكون سرعة الصوت (٥١٠٠ م/ثا) أما في الماء فتكون (١٥٤٠ م/ثا) وفي الهواء (٣٣٢ م/ثا)، وتعتمد سرعة الصوت في المواد المختلفة على خصائص المواد نفسها ومن هذه الخصائص :

١- مرونة الوسط الناقل لموجات الصوت :

عند تعريض مجموعة من الجسيمات إلى الإزاحة عن مواضع اتزانها ، تنشأ قوى تعيد هذه الجسيمات إلى وضعها الأصلي .

٢- كثافة الوسط الناقل لموجات الصوت :

لقد توصل العالم نيوتن إلى علاقة سرعة الصوت بكثافة الوسط الناقل ووضعها بالعلاقة الرياضية

التالية :

$$c = \sqrt{\frac{B}{P}} \quad (3) \dots\dots\dots$$

حيث : B : معايير المرونة الجرمية للوسط ووحدته باسكال .

P : كثافة الوسط ووحدته (كغم/م^٣)

والعلاقة (٣) تنطبق على الأوساط المرنة المتجانسة كالموائع (الغازات والسوائل) أما الأوساط الصلبة

فإن العلاقة تكون بالشكل التالي :

$$c = \sqrt{\frac{Y}{P}} \quad (4) \dots\dots\dots$$

حيث : Y : معامل يونغ ووحدته باسكال ويساوي معايير المرونة الجرمية (B) عددياً ضغط الغاز (ض) وذلك

في الأوساط الغازية بشكل خاص فتصبح العلاقة (٣) بالشكل التالي :

$$c = \sqrt{\frac{\text{ض}}{P}} \quad (5) \dots\dots\dots$$

وتعتمد سرعة الصوت في الغازات على نوع الغاز ودرجة حرارته المطلقة .

ولقد وجد أن مقدار السرعة المستخدمة عملياً للصوت تحت ظروف خاصة تكون تقريبية ، مما

يعني أن هنالك فرقاً مقداره (٥٢) م/ثا ، وقد تمكن العالم لابلاس من تصحيح العلاقة التي وضعها العالم نيوتن

فأصبحت بالشكل التالي :

$$c = \sqrt{\frac{\text{لاض}}{P}} \quad (6) \dots\dots\dots \text{ (حيث لا: ثابت التناسب للغاز = ١,٤٢) } \dots\dots\dots$$

ثابت التناسب للغاز (لا) : هو النسبة بين السعة الحرارية النوعية تحت ضغط ثابت إلى السعة الحرارية

النوعية للغاز نفسه تحت حجم ثابت وهي للغاز أحادي الذرات لا = ١,٤٢ وللغاز الثنائي الذرات لا = ١,٦٧ .

العوامل المؤثرة في سرعة الصوت في الهواء

أ- كثافة الهواء :

تتغير سرعة الموجات الصوتية في الهواء مع كثافتها وفق العلاقة الآتية:

$$\frac{c_1}{c_2} = \sqrt{\frac{P_1}{P_2}}$$

أي أن سرعة الصوت في الهواء تتناسب تناسباً عكسياً مع الجذر التربيعي للكثافة ، عند ثبوت الضغط .

ب- درجة الحرارة :

تتغير سرعة الموجات الصوتية مع تغير درجة الحرارة وفق المعادلة الرياضية التالية :

$$v_2 = \sqrt{\frac{273 + t_2}{273 + t_1}} \cdot v_1 \quad (v) \dots\dots\dots$$

حيث v_2 : سرعة الموجات الصوتية عند درجة الحرارة (t_2) س.

v_1 : سرعة الموجات الصوتية عند درجة الحرارة (t_1) س.

وعندما تكون ($t_1 = 0^\circ$ س) ، ($t_2 = 0^\circ$ س) فإن :

$$1,00183 = \sqrt{\frac{274}{273}} = \frac{v_2}{v_1}$$

← $v_2 = 1,00183 \cdot v_1$. (باعتبار أن سرعة الموجات الصوتية في الهواء عند درجة (صفر) س = 332 م/ثا) .

$$= 332 \times 1,00183 \cong 332,61 \text{ م/ثا} .$$

أي أن $v_2 - v_1 \cong 0,61$ م/ثا .

وهذا يعني أنه إذا ارتفعت درجة الحرارة بمقدار (Δt) تزداد سرعة موجات الصوت في الهواء

بمقدار $0,61$ م/ثا .

ج- رطوبة الجو :

تزداد سرعة الموجات الصوتية في الهواء الرطب عنها في الهواء الجاف لأن كثافة الهواء الرطب تكون

أقل من كثافة الهواء الجاف .

د- سرعة الرياح واتجاهها :

تزداد سرعة الموجات الصوتية عندما تنتقل باتجاه الرياح وتقل عندما تنتقل بعكس اتجاه الرياح .

هـ- الضغط :

عندما يحدث أي تغير في ضغط الغاز فإن كثافته تتغير بنفس المقدار ، وعندئذ تبقى النسبة $\left(\frac{\text{ض}}{P}\right)$ ثابتة عند ثبوت درجة الحرارة تطبيقاً للمعادلة التالية :

$$\frac{\text{لا ض}}{P} = \epsilon$$

انعكاس الموجات الصوتية :

لقد تعلمنا من مبدأ انعكاس الموجات الصوتية ، أن موجات الصوت المتولدة إذا اصطدمت بحاجز فإنها ترتد في الاتجاه المعاكس مكونة تضاعفات وتدخلات .

انعكاس الصوت : يرتد الصوت الصادر من مصدر مهتز وينتقل في الهواء بشكل موجات متى ما سقط على حاجز كبير وصلد ويخضع انعكاس الصوت لقانوني الانعكاس في الضوء .

ويمكننا تحديد خيال مصدر الصوت من قوانين انعكاس الموجات الصوتية .

إن أجود الأجسام العاكسة للموجات الصوتية هو ما كان منه صلباً كالمعادن أما الأجسام الرخوة والمسامية كالرمل والستائر والفرش والفلين فإنها جيدة الامتصاص للموجات الصوتية .

ومن التطبيقات المهمة على انعكاس الموجات الصوتية الصدى الذي يحدث نتيجة لاصطدام

الموجات الصوتية بحاجز يعمل على عكسها ، فالصدى هو صوت منعكس مسموع .

ويكون الصدى أخفض من الصوت الأصلي، نتيجة لنقصان الطاقة لأن

موجات الصوت الأصلي تفقد جزءاً من طاقتها عند انتقالها ذهاباً وإياباً من مصدرها إلى الحاجز ويكون الفرق الزمني بين حدوث الصوت وسماع الصدى، هو الزمن الذي تستغرقه الموجات الصوتية للانتقال من مصدر الصوت إلى الحاجز ذهاباً وإياباً .

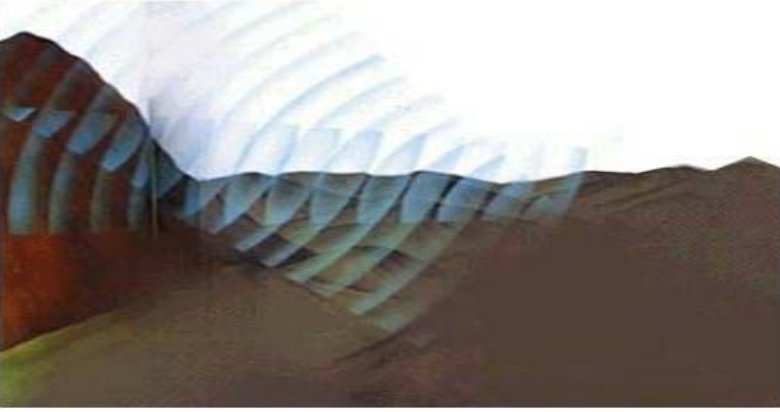
وفي الظروف الاعتيادية لا يسمع الصدى إذا وقفنا على بعد أقل من (١٧) م عن السطح العاكس

وذلك لأن الأذن البشرية لا تستطيع أن تميز بين صوتين متتاليين إذا قلت الفترة الزمنية بينهما عن (٠,١ ثا) ولما كان الصوت يقطع مسافة (٣٤ م)

تقريباً خلال (٠,١ ثا) في الذهاب ثم العودة إلى المصدر ثانية لذا يجب أن يكون السطح العاكس على بعد لا يقل عن (١٧م) .

إن أقل بعد بين مصدر الصوت والسطح العاكس يسمع عنده الصدى يعتمد على سرعة الصوت حيث أن سرعة الصوت تتغير بتغير الظروف .

ويحدث الصدى المتكرر بسبب تتكرر انعكاس الصوت عدة مرات عندما تتعدد السطوح العاكسة والواقعة على أبعاد مختلفة من مصدر الصوت ، كما في هدير الرعد إذ تسببه الانعكاسات المتعاقبة للصوت بين الغيوم والسطوح الأخرى التي تختلف أبعادها عن السامع .



موجات الصدى والصدى المتكرر

ولتقليل الصدى في المسارح والقاعات الكبيرة تغطي جدران وأرضية القاعات بمادة لها القابلية على امتصاص الطاقة الصوتية الساقطة عليها فلا تنعكس مسببة الضوضاء كالستائر والفرش والسجاد والفلين (أجسام رخوة) .

ومن فوائد الصدى استخدامه في معرفة مواضع الصدوع والشقوق في الأجسام الصلبة وكذلك يستثمر الصدى لقياس البعد أو العمق (أعماق البحار والمحيطات) وذلك بتطبيق الصيغة الرياضية التالية :

$$\text{البعد} = \text{سرعة الصوت} \times \text{نصف الزمن المقاس}$$

حيث أن الزمن المقاس يمثل الزمن الذي استغرقه الصوت في الذهاب والإياب. ومن أضراره أنه يسبب الضوضاء بفعل الانعكاس المتعدد للصوت.

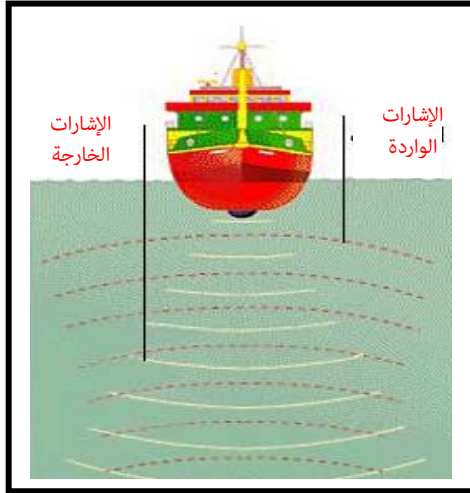
مثال :

مدفع يبعد (٦٨٠ م) عن جبل، أطلق إطلاقاً فسمع لها الجندي صوتين، فإذا كانت الفترة الزمنية بينهما (٤) ثانية، جد سرعة الصوت في الهواء ؟

الحل :

البعد = سرعة الصوت × نصف الزمن المقاس

$$\frac{٤ \times}{٢} \times ع = ٦٨٠$$
$$ع = \frac{٦٨٠}{٢} = ٣٤٠ \text{ م/ثا}$$



حساب عمق حطام السفينة بالزمن المحسوب لإثارات الصوت المنعكس المسموع.

انكسار الموجات الصوتية :

عندما تنتقل الموجات الصوتية من وسط لآخر مختلف الكثافة تتغير سرعة انتشارها بسبب اعتماد

السرعة على كثافة الوسط، وهذا يؤدي إلى اختلاف اتجاه حركة

الموجات الصوتية كما يحدث في الضوء أي أن اختلاف السرعة يؤدي إلى انحناء الموجات أي انكسارها .

ولأن سرعة الموجات الصوتية تتأثر بسرعة الرياح ، إذ تكون السرعة أكبر ما يمكن عندما تنتقل الموجات باتجاه الرياح، وأقل ما يمكن عندما تنتقل بعكسها ، ولأن سرعة الرياح تكبر أيضاً كلما اتجهت من سطح الأرض إلى الأعلى، فإن سرعة الجزء العلوي لمقدمة الموجة الصوتية التي تتحرك بعكس الرياح، تكون أقل من سرعة الجزء السفلي وهذا ما يجعل الموجة الصوتية تتحرك تدريجياً للأعلى أي تنكسر للأعلى، ويحدث العكس تماماً عندما تنتقل الموجات الصوتية باتجاه الرياح إذ تكون سرعة الجزء العلوي لمقدمة الموجة أكبر من سرعة الجزء السفلي، وهذا ما يجعل الموجات الصوتية تتجه نحو سطح الأرض فتتكسر باتجاه سطح الأرض مما يجعل الصوت أكثر وضوحاً .

ولأن سرعة الموجات الصوتية تغير بتغير درجة الحرارة (تتغير السرعة طردياً مع الجذر التربيعي لدرجة حرارة الوسط) فإن اتجاه انتقال موجات الصوت بين وسطين مختلفين في درجة الحرارة سوف يتغير مما يؤدي إلى جعل سرعة الصوت في الطبقات القريبة من سطح الأرض في الأيام الدافئة أكبر منها في الطبقات الأعلى لأن سرعة الموجات الصوتية في الوسط الدافئ تكون أكبر منها في الوسط البارد، فتتكسر موجات الصوت للأعلى تدريجياً، ولذلك تقل إمكانية سماع الصوت نتيجة اتجاه الموجات الصوتية بعيداً عن سطح الأرض . ويحدث العكس تماماً في الأيام الباردة عندما يكون الصوت أكثر وضوحاً، وهذا هو السبب في سماع صوت المؤذن عند الفجر أسهل وأوضح من سماعه في النهار إذ تبرد الطبقات الهوائية كلما اقتربت من سطح الأرض فجراً فيحدث من ذلك انكسارات متتالية وانحناء مسار الموجة إلى الأسفل وعندئذ يصل أذن السامع صوت ذو شدة مناسبة ووضوح أكثر عند الفجر .

تداخل الموجات الصوتية :

تتداخل الموجات الصوتية اعتماداً على مبدأ التراكب الذي يحدث في تداخل

الموجات الضوئية، وتطبق نفس المفاهيم السابقة على تداخل الموجات الصوتية.

ولتوضيح تداخل الموجات الصوتية، نفرض وجود مصدرين يصدران صوتين بالتردد نفسه، شوكتين

رنانتين أو سماعتين متجاورتين $\left(\frac{1}{P}\right)$ من بعضهما

مرتبطتين بمصدر الإشارة الكهربائية نفسه، مع افتراض أن هناك سامعاً على بعد معين عن كل منهما .

فإذا كان الفرق بين بعدي السامع عن كل منهما يساوي عدداً صحيحاً من أطوال الموجات الصوتية

فإن تداخلاً بناء سيحدث ونتيجة لذلك يسمع السامع الصوت الصادر بشدة ويسمع الشخص صوتاً ضعيفاً أو

معدوماً نتيجة أن تداخلاً هداماً قد حدث إذا كان الفرق بين بعدي السامع عن المصدرين مساوياً مضاعفات

فردية لنصف طول الموجة.

إن ظاهرة الرنين في الأعمدة الهوائية والأوتار المهتزة هي نتيجة لتداخل موجتين متعاكستين في

الاتجاه (إحداهما صادرة من المصدر والأخرى منعكسة عند نهاية الأنبوب أو الوتر)، ولظاهرة الضربات أيضاً

دور في تداخل الموجات الصوتية .

١- ظاهرة الضربات :

إذا استمعت إلى مصدرين صوتيين متقاربين في التردد فإننا نلاحظ أن هناك انخفاضاً وارتفاعاً في شدة

الصوت بشكل متوالٍ ويطلق على هذه الظاهرة (الضربات).

ظاهرة الضربات : هي العلو المفاجئ بالصوت المتبوع بفترة من الخفوت النسبي وتحدث هذه الظاهرة بسبب

وجود فرق صغير في تردد الموجات المتداخلة والذي يسبب حدوث تغير تدريجي في فرق الطور بين الموجتين

المتداخلتين .

تردد الضربات : هو عدد الضربات الحادثة خلال ثانية واحدة .

وقد وجد أن تردد الضربات يساوي الفرق بين تردد الموجتين المتداخلتين أي أن:

عدد الضربات (في الثانية) = $|f_2 - f_1|$ ، حيث : f_2 : تردد الموجة الأولى ، f_1 : تردد

الموجة الثانية .

ويجب أن يكون مصدرا الصوت اللذان يحدثان الضربات متماثلين تماماً عدا

أن تردد أحدهما يختلف قليلاً عن تردد الآخر .

وتستثمر ظاهرة الضربات لتعيين تردد وتر ما في آلة موسيقية وترية (لتنغيم وتر) وكذلك تستثمر في

تعيين تردد مجهول لشوكة رنانة وذلك بواسطة شوكة رنانة معلومة التردد .

مثال :

شوكة رنانة ترددتها (٥٢٠ هيرتز) استعملت لتعيين تردد وتر في آلة موسيقية فسمعت أربع ضربات

في الثانية عندما نقر الوتر في أثناء اهتزاز الشوكة الرنانة، احسب تردد الوتر .

الحل :

عدد الضربات في الثانية = ت د - ت د_١

تردد الوتر يكون أما ٥١٦ هيرتز أو ٥٢٤ هيرتز ولمعرفة التردد الصحيح نقلل قوة الشد في الوتر حيث أن :

تردد الوتر $\propto$ قوة الشد فيه فإن قل تردد الضربات فإن تردد الوتر ٥٢٤ هيرتز ، وإن ازداد تردد الضربات فإن

تردد الوتر هو ٥١٦ هيرتز .

٢- ظاهرة دوبلر: إذا كان هناك حركة نسبية بين المصدر والسماع أو الوسط فإن التردد المسموع يختلف عن

تردد المصدر، فعندما يحصل اقتراب بين المصدر والسماع إذا كان الوسط ساكن تزداد درجة الصوت (تردد

ظاهري) أي يزداد تردد الصوت الواصل للسماع عن تردد المصدر، أما في حالة ابتعادهما يقل تردد الصوت

الواصل للسماع عن تردد المصدر.

ملاحظة: هذه الظاهرة ليست مقصورة على الموجات الصوتية والضوئية بل هي سمة من سمات الحركة

الموجية بصورة عامة .

لو فرضنا أن مصدر الصوت (م) قد تحرك نحو سماع (ع) ساكن بسرعة منتظمة مقدارها (س م)

وكان تردد المصدر (د) فإن (ن د) من الموجات سوف تحتشد في إزاحة قدرها (س - س م) × ن في الوسط

الناقل لها هذا على فرض أن (س)

تمثل سرعة الصوت في ذلك الوسط فإذا كانت (ل) تمثل طول موجة الصوت المسموع، (د) تمثل تردد المصدر المسموع فإن :

أولاً- في حالة الاقتراب بين المصدر والسامع (الوسط الساكن) :

$$\begin{aligned} \bar{L} &= \frac{S - S_M}{D} \quad \text{حيث: } \bar{L}: \text{طول موجة الصوت المسموع، } D: \text{تردد الصوت.} \\ \bar{D} &= \frac{S}{L} = \bar{L} \quad \leftarrow \frac{S}{D} \quad \text{تردد الصوت المسموع.} \\ \bar{D} &= \frac{S - S_M}{D} \quad \leftarrow \frac{S}{D} \times \frac{S}{S - S_M} \end{aligned}$$

ثانياً- في حالة ابتعاد المصدر عن السامع :

$$\bar{D} = \frac{S}{S + S_M}$$

وبصورة عامة إذا كان المصدر يتحرك بسرعة (س_م) والسامع يتحرك بسرعة (س_ع) وسرعهما على

استقامة واحدة فإن :

$$\bar{D} = \frac{S - S_E}{S + S_M}$$

- إذا اقترب المصدر من سامع ساكن فإن سرعة المصدر (+).
- إذا ابتعد المصدر عن السامع الساكن فإن سرعة المصدر (-).
- إذا اقترب السامع من مصدر ساكن فإن سرعة السامع (-).
- إذا ابتعد السامع من مصدر ساكن فإن سرعة السامع (+).
- إذا كان المصدر ساكناً فإن (س_م = صفر)، وإذا كان السامع ساكناً فإن (س_ع = صفر).

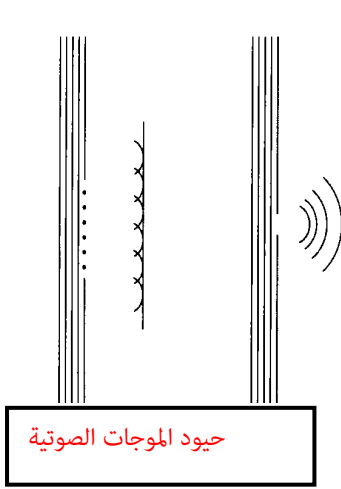
حيود الموجات الصوتية :

تحدث ظاهرة الحيود للموجات الصوتية أيضاً إذ نسمع أحياناً أصواتاً لمصادر خارج غرفة ونحن في

داخلها، ويطلق على انحناء الموجات الصوتية من فتحة صغيرة

حول حاجز بالحيود، ويتوقف حيود الموجات الصوتية عبر حاجز ما على علاقة الطول الموجي للصوت بعرض الفتحة التي يحدث فيها الحيود .

وعند مقارنة ما يحدث في موجات الصوت بما يحدث في موجات الضوء ، سنلاحظ أن طول موجة الضوء تعتبر صغيرة جداً مقارنة بطول موجة الصوت ، وهذا يتطلب أن تكون الفتحة صغيرة جداً في حالة الضوء ، حتى يمكن مشاهدة أثر الحيود ، ويمكن تفسير حيود موجات الصوت بالاعتماد على مبدأ هويكنز باعتبار كل نقطة على مقدمة الموجة هي مصدراً ثانوياً للموجات الصوتية.



وكلما كانت الفتحة أقل اتساعاً أدى ذلك إلى انتشار الموجات في منطقة أوسع خلف الحاجز، وعلى العكس فإن الفتحة الواسعة تجعل الموجات على شكلها، كما يبينها الشكل المجاور أثر تغير الطول الموجي في حيود الموجات الصوتية إذ يشاهد تغير نمط الحيود باختلاف الطول الموجي.

التردد (الاهتزاز) الطبيعي والتردد الاضطرابي والرنين

١- مفهوم التردد الطبيعي (التذبذب الحر) :

يحصل عندما يزاح الجسم عن موضع استقراره ثم يترك حراً ليهتز بحيث لا تؤثر عليه قوى معرقلة لاهتزازة .

فلو علقنا كرة فلزية لها خطاف مثبت فيه خيط غير قابل للمط (التواتر) طوله (٤٠ سم) في حامل وعملنا إزاحة جانبية بالكرة عن طريق سحبها عن موضع

استقرارها وراقبنا حركتها، سنلاحظ أن حركة الكرة تتم في جهتين يميناً ويساراً، وتمر في أثناء حركتها في موضع الاتزان، ولو أننا قمنا بقياس زمن الذبذبة الكاملة (زمن انتقالها من الموقع النهائي الذي تصله والعودة إليه مرة أخرى) أي الزمن الدوري للحركة فإننا نجد أن الزمن ثابت إلى حد كبير .

إن الكرة ستستمر في الحركة مدة من الزمن إلى أن تتوقف نهائياً ولو فرضنا أن حركتها تتم في الفراغ فإن زمن استمرارها بالحركة سيكون كبيراً.

ويسمى هذا النوع من الحركة الاهتزازية التي تحدث في غياب أي مقاومة للحركة في حالة التذبذب التردد غير المتلاشي (أو التذبذب الحر غير الخامد) إذ يبقى اتساع الاهتزاز ثابتاً .

وإذا تصورنا أن الوضع مثالي بغياب كافة معوقات الحركة فإن الكرة تستمر بالاهتزاز إلى مالا نهاية وبما أن الأوضاع المثالية صعبة المنال، إذ أن هناك قوة الاحتكاك عند نقطة التعليق وتتم حركة الكرة في مائع لزج (الهواء) والأجسام المتحركة في الظروف العادية يتضاءل اتساع ذبذباتها تدريجياً حتى أن تعود إلى وضع الاتزان وهذا ما يسمى بالتردد المتلاشي (أو التذبذب الحر الخامد) .

وتكون الطاقة الميكانيكية محفوظة في أثناء التذبذب الحر غير الخامد بالإضافة إلى ثبوت الزمن الدوري للذبذبة وترددتها بينما تتناقص هذه الطاقة في التذبذب الحر الخامد فالطاقة الميكانيكية هنا لا تحفظ لأن جزءاً منها يتحول إلى طاقة حرارية نتيجة الاحتكاك .

ويتوقف التردد الطبيعي لجسم مهتز على :

- ١- أبعاد الجسم المهتز .
- ٢- شكل الجسم المهتز .
- ٣- طبيعة مادة الجسم المهتز .
- ٤- طريقة هزه .

والاهتزاز الطبيعي لشوكة رنانة يتحدد بـ :

- ١- طول الشوكة .

٢- سمك الشوكة .

٣- نوع المادة المصنوعة منها الشوكة .

٢- مفهوم التردد الاضطرابي (التذبذب القسري) :

يحصل عندما يقع الجسم المهتز تحت تأثير قوة خارجية ذات تردد معين مثل اهتزاز الأسلاك والأشجار بفعل قوة حركة الرياح والاهتزازات الأرضية مثل الانفجارات .

فلو علقنا كرة فلزية بأحد طرفي نابض وثبتنا الطرف الآخر بحامل وسحبنا الكرة رأسياً إلى أسفل مسافة ما وتركناها تتحرك ولاحظنا اهتزازها، ولو جعلنا الكرة تهتز داخل كأس مملوء بزيت إلى حد مناسب فإننا نلاحظ أن الاهتزازات بدأت تتناقص تدريجياً حتى تتلاشى، وذلك بسبب مقاومة المائع لحركتها وإذا أعدنا التجربة وسحبنا الكرة إلى الأسفل مسافة أكبر فإن الاهتزاز يستمر لمدة أطول .

ويتوقف الزمن الدوري للجسم المتذبذب على أبعاد الجسم وخواصه المرئية، حيث أن تضائل الحركة هو نتيجة حتمية لفقدان الطاقة بسبب وجود قوى الاحتكاك، ولكي يبقى الجسم متذبذباً لفترة طويلة لابد أن يزود بالطاقة باستمرار، ففي حالة الأرجوحة مثلاً لا بد من تزويدها بالطاقة من خلال دفعها بين وقت وآخر ولتعويضها عن الطاقة الضائعة التي استخدمت للتغلب على قوى الاحتكاك .

إن هذه الحقيقة العلمية صحيحة في جميع الأنظمة المتذبذبة تحت تأثير قوى وبمعنى آخر فإنه لابد من وسيلة من أجل إمداد النظام بالطاقة تكفي لاستمراره بالاهتزاز دون خمود، ويطلق على اهتزاز جسم تحت تأثير قوى خارجية اسم الاهتزاز الاضطرابي أو التذبذب القسري (الإجباري) .

وإذا كانت قوة الدفع تتكرر بصورة دورية فإن فعاليتها تصل إلى أكبر قيمة لها عندما يتساوى ترددها مع التردد الطبيعي للجسم المهتز (كما في الأرجوحة) وهذه الحقيقة تنطبق على جميع الأجسام التي تهتز اهتزازاً اضطرابياً .

ويكون تأثير القوة أقل فاعلية في إمداد النظام بالطاقة عند جميع الترددات الأخرى سواء أكانت أعلى أم أقل من التردد الطبيعي للنظام .

وعندما يتساوى تردد القوة مع التردد الطبيعي للنظام يصل اتساع ذبذبة النظام إلى أكبر قيمة لها عند موضع السكون، وهنا يقال إن القوة أصبحت في حالة رنين مع النظام ويطلق على التردد الطبيعي للنظام الممتدذب : تردد الرنين.

الرنين في الصوت

هي ظاهرة تحصل عندما تؤثر على جسم قابل للاهتزاز سلسلة من الموجات الدورية والتي يكون ترددها مساوي للتردد الطبيعي للجسم المهتز ولهذا يهتز الجسم القابل للاهتزاز بسعة كبيرة نسبياً ، وقد تؤدي هذه الظاهرة إلى إحداث أضرار كتحطم الجسور .

تجربة توضح الرنين في الصوت :

نأخذ شوكتين متماثلتين في التردد وكل منهما مثبتة على صندوق من الخشب مجوف إحدى نهايتيه مفتوحة، ووضعناهما متباعدتين وفوهة كل صندوق تقابل الأخرى، فإذا طرقت إحدى الشوكتين نسمع صوت الشوكة الثانية حتى بعد مسك الشوكة الأولى وهذا يعني أن الشوكة الثانية قد اهتزت بتأثير الشوكة الأولى المساوية لها بالتردد وهذا ما يدعى بالرنين .

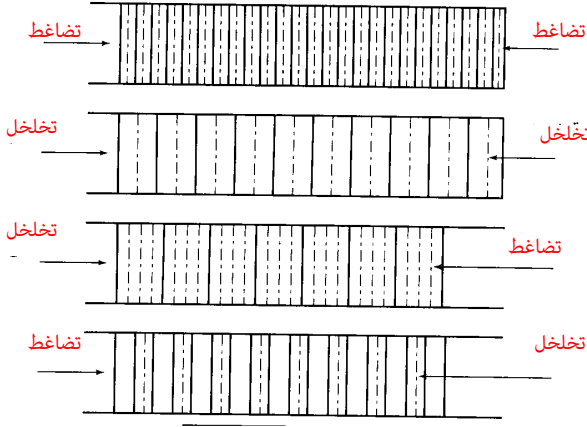
الرنين في الأعمدة الهوائية

عندما تنتشر الموجات الصوتية داخل الأعمدة الهوائية فإنها تنعكس عند نهاياتها المغلقة (من نهاية واحدة) والمفتوحة (من النهايتين).

فإذا دخلت نبضة تضغط أنوباً وواجهت نهاية مغلقة فسوف تنعكس عنها على هيئة تضغط وإذا كانت النبضة الداخلة تخلق فسوف تنعكس عنها على هيئة تخلخل أيضاً .

أما إذا واجهت نبضة تخلخل نهاية مفتوحة فإن الهواء المحيط بالعمود سوف يندفع نحو تلك النهاية ، مكوناً تضاعفاً عائداً نحو الأنبوب .

أما إذا كانت نبضة تضاعف فعندما تصل إلى نهاية الأنبوب سوف تتحد مع الهواء المندفع نحو النهاية (وهو في حالة تضاعف) فيتمدد الهواء مكوناً منطقة تخلخل، أي أن التضاعف سوف ينعكس على هيئة تخلخل عند نهاية مفتوحة . لاحظ الشكل .



فلو كان هناك مصدراً دورياً للموجات الصوتية (كالسماعة) موضوعاً عند نهاية مفتوحة لأنبوب وكان الزمن اللازم لنبضة ما لكي تنعكس وتعود مساوياً لمضاعفات مناسبة للزمن الدوري للمصدر، ففي هذه الحالة تحدث موجة رنين مستقرة (واقفة) .

ومن أبسط الطرق المستعملة لتوليد موجات رنين مستقرة ، هو استخدام شوكة رنانة أو سماعة متصلة بمولد ذبذبات كهربائي .

١- الأعمدة الهوائية المغلقة :

لو فرضنا أن عموداً هوائياً في أنبوب مغلق الطرف وطوله (L) فإن جزيئات الهواء الموجودة فيه لا تستطيع الحركة عند النهاية المغلقة وتكون الإزاحة معدومة فتمثل النهاية في مثل هذه الحالة (عقدة إزاحة)، بينما في النهاية المفتوحة فإن جزيئات

الهواء تستطيع الحركة وتكون إزاحتها أكبر ما يمكن وتشكل النهاية في هذه الحالة منطقة (بطن إزاحة).

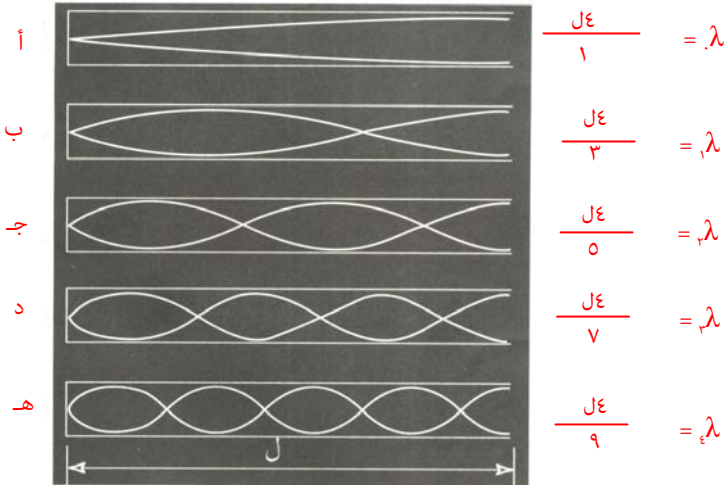
إن الموجات الواقفة التي تحقق هذه الشروط يتم تحديد طولها الموجي من العلاقة الآتية :

$$\lambda = 2L, \text{ وتردداتها } f = \frac{v}{\lambda} \quad (\text{حيث : } v \text{ سرعة الموجات}).$$

والموجات الأقصر التي تحقق شرط حدوث الرنين يجب أن تزيد على الموجات الأولى بعدد صحيح من أنصاف أطوال الموجات بين النهاية المفتوحة والنهاية المغلقة ، أي أن شرط حدوث الرنين في الأعمدة الهوائية المغلقة يتمثل بالعلاقة التالية :

$$L = n \frac{\lambda}{2} \quad \text{ومنه فإن :}$$

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \quad , \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (9)$$



ويحدد التردد المرافق f_n من العلاقة التالية :

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{v}{\frac{2L}{n}} = \frac{n v}{2L} \quad (10)$$

ت_۱ = ۳ ت_۲ = ۲ ت_۳ = ۵ ت_۴ = ۷ ت_۵ = ... وهكذا.

طول الموجهة فإن :

$$\frac{\varepsilon}{\mu} - \frac{\varepsilon}{\lambda} =$$
 وبالتالي فإن : ت =

أي أن تردد النعمة الأساسية : ت = $\frac{ع}{ج}$ =

أما ترددات النغمات الأخرى التي تحقق شرط الرنين (التوافقيات) فهي من مضاعفات تردد النغمة الأساسية وتكون أطوال الموجات التي تحقق شرط الرنين تزيد

تزيد بمعدل λ_n على طول الموجة الأولى، ولذلك فإن :

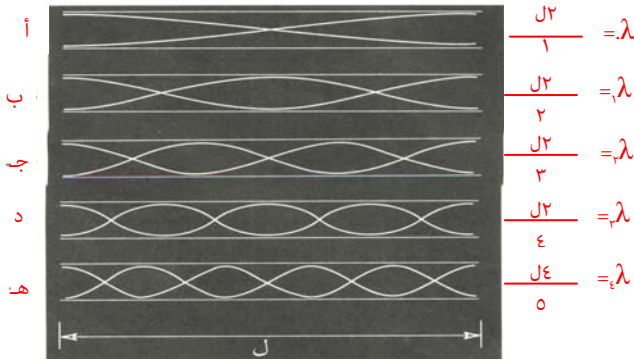
$$(11) \dots\dots\dots (1, 2 = 0), \quad \frac{12}{1+0} = 1, \quad \frac{\lambda(1+0)}{2} = 1$$

ومنه يكون :

$$(12) \dots\dots\dots (1+n) \quad \frac{\varepsilon}{J_2} =_{J_2} \text{ت} \quad \leftarrow \quad \frac{\varepsilon}{J_2} \quad \frac{\varepsilon}{\lambda} =_{J_2} \text{ت}$$

ومن هذه العلاقة فإن تردد النغمات الأساسية للأنابيب المفتوحة هي :

ت_٣، ت_٢، ت_١،، لاحظ (الشكل ب، ج).



تذبذب الأوتار :

تعتمد سرعة الموجات الصوتية المنتشرة في وسط ما على خصائص المرونة لذلك الوسط، وعلى كثافة الوسط، وفي الموجات المستعرضة التي تنشأ من أوتار مشدودة، فإن سرعة الموجات تعتمد على قوة الشد (التوتر) في الوتر، وعلى كتلة وحدة الأطوال (الكثافة الطولية).

ويستخدم جهاز المصوات (الصونومتر) لدراسة هذه العوامل وهو جهاز يتركب من سلك رفيع مشدود على صندوق خشبي مجوف بطول متر تقريباً، ويثبت طرف السلك بمسامير مثبتة على الصندوق الخشبي، ويمر الطرف الثاني فوق السلك بحامل لحمل أوزان .

ويتصل هذا الطرف بميزان له خطاف للتعليق من أجل معرفة قوة الشد المؤثرة في السلك، ويتم تغيير طول السلك المتذبذب بالاستعانة بجسرين من الخشب يوضعان على سطح الصندوق الخشبي كي يتركز عليهما السلك، كما يحتوي الصونومتر على سلك آخر يستخدم لأغراض المقارنة فمثلاً يستخدم لدراسة تردد الأوتار ولدراسة العوامل المؤثرة في تردد الوتر .

ويعتمد تردد الوتر على العوامل الآتية :

- ١- طول الوتر المتذبذب (ل) حيث : $T \propto \frac{1}{L}$
- ٢- قوة الشد (ق) حيث : $T \propto \sqrt{Q}$
- ٣- كتلته وحدة الأطوال (ك) حيث : $T \propto \frac{1}{\sqrt{K}}$

وتعطى الترددات المختلفة لوتر مشدود من العلاقة الرياضية التالية :

$$f_n = \frac{v}{2L} \sqrt{\frac{Q}{K}} \quad \text{هيرتز، } (n = 1, 2, 3, \dots)$$

حيث : ل : طول الوتر (م) ، ق : قوة الشد (نيوتن) .

ك : كتلة وحدة الأطوال (كغم/م).

وعندما تكون $n = 1$ فإننا نحصل على النغمة الأساسية و $n = 2, 3, 4, \dots$ نحصل على أجوبة النغمة الأساسية،

حيث تردد النغمة الأساسية (f_1).

$$f_2 = \frac{v}{2L} \sqrt{\frac{Q}{K}} \quad \text{حيث : } f_2 \text{ الجواب الأول للنغمة الأساسية .}$$

حيث : f_3 : الجواب الثاني وهكذا.

وتسمى الترددات $f_1, f_2, f_3, \dots$ توافقيات الوتر المتذبذب .

ومن الأمثلة على الآلات الموسيقية الوترية: الربابة والعود، ويتمكن العازف فيها من التحكم بطول

الوتر وقوة الشد (التوتر) للحصول على النغمة المناسبة .

الآلات الموسيقية :

إن مصادر النغمات الموسيقية هي الآلات الموسيقية وهي على ثلاثة أنواع :

١- **الآلات الوترية:** ويكون مصدر الصوت فيها هو الوتر المهتز ويمكن السيطرة على النغمة الصادرة عن وتر

آلة موسيقية بـ :

- تغيير قوة شد الوتر بواسطة المفاتيح كما في آلة القانون .
 - استعمال أسلاك مختلفة المواد والمقاطع .
 - تغيير طول الوتر المهتز وذلك بتغيير موضع الأصابع على الأوتار أثناء العزف كما في العود .
- إن الأوتار المهتزة لا تولد صوتاً شديداً لذلك تركب هذه الأوتار على ألواح أو صناديق مجوفة لتقوية الصوت الصادر عنها .

٢- **الآلات الموسيقية ذات الأغشية والصفائح:** ويكون مصدر الصوت فيها غشاء مهتز .

٣- الآلات الموسيقية الهوائية ويكون مصدر الصوت هو دفع هوائي متذبذب، ويمكن السيطرة على النغمة الصادرة عن الآلات الموسيقية الهوائية عن طريق :

- تغيير طول العمود الهوائي المهتز .
 - أسلوب دفع الهواء في الفتحة الموجودة في الآلة الموسيقية .
- إن معظم آلات النفخ الموسيقية لها عمود هوائي على شكل أنبوب يعرف بالعمود الهوائي الرنان ، وتنتج الحركة الدورية في الآلة الموسيقية بواسطة أداة تدعى المزمار، والمزمار يقوم بدور المولد في الآلة الموسيقية إذ أنه يزود العمود الهوائي بالطاقة اللازمة لتذبذبه ويختلف تركيبه حسب الآلة الموسيقية، وتصمم هذه الآلات بحيث تكون طويلة مقارنة بقطرها، وتكون ذات جدران صلبة، مثل أنابيب الأورغ، وتكون هذه الأنابيب مفتوحة الطرف أو مغلقة وعند نفخ الهواء فيها من الفتحة يندفع عبر مسار معين ليصطدم بحافة مولداً ذبذبات في الحيز الموجود فيها، محدثاً بذلك صوتاً يعتمد تردده على أبعاد الأنبوب، وسرعة الصوت في الهواء، ويغلق الطرف العلوي للأنبوب بواسطة مكبس، وقد يكون مفتوحاً في حالة الأنبوب المفتوح، ويتم تغير النغمة الصادرة في الأنبوب المغلق عن طريق تغيير طول عمود الهواء فيه بالمكبس .

أما في الأنبوب المفتوح فتوجد داخله قطعة قابلة للانزلاق للداخل أو الخارج، وتعمل على زيادة عمود الهواء أو إنقاصه، وعند النفخ فيه تتولد سلسلة من الموجات التي تنتقل للنهاية الثانية فتنعكس عنها، فيحدث تداخلاً بين الموجات الصادرة من الطرف والمنعكسة عن الآخر مما يكون موجات واقفة ويعتمد تردد الموجات الواقفة على :

- طول العمود .
 - سرعة الصوت .
 - كون النهاية مفتوحة أو مغلقة .
- وكمثال آخر على آلات النفخ الموسيقية الشبابة .
- الشبابة :** هي أنبوب أسطواني مصنوع من الحديد أو النحاس أو القصب أو البلاستيك طولها تقريباً (٤٠سم) وقطرها (٢سم) ويوجد فيها (٦) ثقب على خط مستقيم واحد،

باتجاه طولها، وتكون الثقوب على أبعاد متساوية وأقرب إلى إحدى النهايتين من الأخرى .
تتولد الذبذبات في الشّبابة عن طريق شفّتي العازف ولسانه فتتسل الذبذبات عبر الأنبوب من
الطرف الأول إلى الطرف الثاني فتنعكس الموجات الصوتية عن
الطرف المفتوح مولدة موجات مستقرة .

ويخلق العازف ثقب الشّبابة بأصابعه عند النفخ فيها مما يجعل طول الشّبابة مساوياً لطول
العمود الهوائي في أنبوب مفتوح، كما يتم تغيير تردد النغمة الصادرة عن طريق فتح الفتحات برفع الأصابع عن
الثقوب فيتغير طول العمود الهوائي وتتوقف هذه العملية على مهارة العازف .

موجة الرجة وجدار الصوت

إن الجسم المتحرك في وسط ما يولد حوله موجات ضغطية تنتشر في جميع الاتجاهات كما في حركة
جسم في الهواء (كالطائرات) أو حتى وإن لم يكن مصدراً صوتياً (كالإطلاقات) وتتركز التضاغطات أمام الجسم،
حيث يحدد انطلاق الجسم تركيز هذه التضاغطات المتولدة من حركة الجسم في الهواء .
فإذا كان انطلاق الجسم في الهواء أقل من انطلاق الموجة المتولدة في الوسط نفسه ستتولد تغيرات
في الضغط تؤدي إلى تغيرات فيزيائية بسيطة في الوسط الذي يتحرك فيه الجسم، أما إذا كان انطلاق الجسم
مساوياً أو أكبر من انطلاق الموجة المتولدة في الوسط نفسه فتتولد تغيرات كبيرة في الضغط تؤدي إلى زيادة
كثافة ودرجة حرارة الوسط .

موجة الرجة (موجة الصدم) :

هو السطح الذي يضم الموجات الضغطية ويتولد عندما يكون انطلاق الطائرة مساوياً لانطلاق
الصوت في الوسط نفسه .

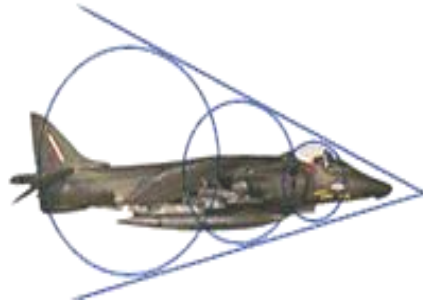
ويكون شكل جبهة موجة الرجة عمودياً على اتجاه سرعة الطائرة، ولموجة الرجة المستوية الجبهة
تأثير تدميري يحدده شدة الموجة، ولكي يتفادى الطيارون الأضرار الناتجة يعملون على تجاوز سرعة الصوت
فيؤول شكل جبهة موجة الرجة

إلى سطح مخروطي، ويكون عبارة عن غلاف للجبهات الكروية المتولدة بصورة متعاقبة، ويكون موقع الطائرة عند رأس المخروط ويبقى المخروط ملاصقاً لها ويسمع دويه الهائل من قبل أي راصد يصادفه وقد يكون له أثر ضار مدمر .

وعندما يكون انطلاق الطائرة مساوياً لانطلاق الصوت في الوسط نفسه يتولد جدار الصوت (الموجات الصوتية المتقدمة) فإذا فاقت سرعة الطائرة سرعة الصوت في الوسط نفسه حصل ما يسمى اختراق لجدار الصوت محدثة موجة اصطدامية مما ينتج عنها ضجة عالية أو دوي صوتي .



الاقتراب من حاجز الصوت



اجتياز حاجز الصوت

الموجات فوق الصوتية

هي موجات ميكانيكية ترددها أكثر من (٢٠٠٠٠ هيرتز) ولا تستطيع أذن الإنسان سماعها وتنتقل في الأوساط المادية بسرعة الصوت .

خصائص الموجات فوق الصوتية

تمتاز الموجات فوق الصوتية بكون ترددها عالياً ولهذا يقصر طول موجتها فتنتشر بشكل حزم ضيقة ويمكن توجيهها في اتجاهات معينة وتركيز طاقتها في تلك الحزمة وبذلك تكون شدتها عالية وتسير بسرعة الصوت .

ويمكن الحصول على الموجات فوق الصوتية من اهتزاز أجسام ذات أبعاد مناسبة يكون ترددها أكثر

من (٢٠٠٠٠ هيرتز) ويتم ذلك بطرق تقنية خاصة لقصر

طول الموجات فوق الصوتية بواسطة الاهتزازات المرنة لبلورة الكوارتز التي تتجاوب مع اهتزازات المجال الكهربائي المتناوب أي في حالة الرنين .

وتنتقل الموجات فوق الصوتية بنفس انطلاق الموجات الصوتية في الأوساط المختلفة .

ويتمكن الخفاش من تجنب العوائق في أثناء طيرانه حيث يطلق الخفاش موجات فوق الصوتية وعند اصطدامها بعائق معين وانعكاسها عنه يتم استلامها مرة أخرى من قبل الخفاش فيقوم بتجنبها .

تطبيقات عملية للموجات فوق الصوتية

١- حساب أعماق البحار والكشف عن أسراب الأسماك :

ويتم ذلك بإرسال إشارة من الموجات فوق الصوتية لفترة قصيرة من الزمن نحو قاع البحر وتستقبل الإشارة المنعكسة عنه بمستقبل خاص وبحساب زمن ذهاب وإياب الموجة ومعرفة سرعة الموجات فوق الصوتية في ماء البحر يمكن تحديد مقدار العمق وكذلك الكشف عن أسراب الأسماك .

٢- الكشف عن مواضع الصدوع والشقوق والفقاعات في المعادن :

يتم ذلك بوضع مصدر الموجات فوق الصوتية ملاصقاً لسطح المعدن المراد فحصه وتستقبل الحزم المارة خلال المعدن من الجهة الأخرى المقابلة للمصدر وقياس مقدار الامتصاص الحاصل للموجات فوق الصوتية يدل على وجود ثقب أو صدع يمكن تحديد مكانه .

٣- في التعقيم والتفتيت والصقل :

عند مرور الموجات فوق الصوتية في سائل تزداد سرعة وتعجيل جسيمات الوسط المتذبذبة ونتيجة لذلك تحدث انقطاعات في اتصالات السائل تظهر وتختفي باستمرار، وهذه الانقطاعات تمثل فقاعات بالغة الدقة وعند اختفاء الانقطاع يحدث ارتفاع لحظي في الضغط يصل إلى آلاف المرات بقدر الضغط الجوي لذا تقوم بتفتيت

ما يوجد في السائل من أجسام صلبة أو كائنات حية أو جزيئات، وبهذه الطريقة يتم أيضاً إزالة الدهون وطبقات الأكاسيد من سطوح الأجسام وتخريم الزجاج والسيراميك .

٤- في الطب :

تستعمل الأمواج فوق الصوتية للتدليك بإمرارها على الجلد فتسبب اهتزازاتها السريعة تدليك العضلات، كما تستعمل في علاج الخلايا السرطانية وتحطيم الحصى في الكلى، وإن جهاز السونار يعتبر وسيلة فعالة لاستعمال الموجات فوق الصوتية للكشف عن موضع الجنين داخل الرحم وفي تشخيص أمراض القلب وغيرها .

٥- تستخدم في تفكيك الجزيئات العضوية .

مثال :

أريد قياس عمق قاع المحيط عند نقطة معينة باستعمال الأمواج فوق الصوتية ذات التردد ٥٠٠ كيلو هيرتز فتم تسلم الإشارة المرسله من باخرة بعد مرور ٥ ثوان فإذا علم أن سرعة الصوت في الماء (١٥٠٠ م/ثا) فكم هو العمق ؟ .

الحل :

$$\text{العمق} = \text{ع} \times \frac{1}{2} \times \text{العمق} = 1500 \times 5 \times \frac{1}{2}$$

$$= 3750 \text{ م عمق المحيط} = 3,75 \text{ كم عمق المحيط}$$

إنتاج الصوت واستقباله :

من الأدوات المستخدمة في استقبال الصوت وإنتاجه وتضخيمه: السماعة والميكروفون والبوق .

١- السماعة :

تعمل السماعة على مبدأ تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة صوتية، حيث تقوم بتحويل التيارات الكهربائية المتناوبة إلى حركة ميكانيكية ثم إلى موجات صوتية ، وتتكون السماعة من مغناطيس دائم يلف حول قطبية ملف من السلك .

فعندما يمر التيار الكهربائي المعبر عن الموجات الصوتية في الملف يتغير

التيار تبعاً لتغير الصوت، وتوجد صفيحة رقيقة من الحديد المطاوع موضوعة أمام مغناطيس وتبعاً لاتجاه التيار الكهربائي ومقداره، تتحرك الصفيحة الرقيقة مقتربة ومبتعدة عن المغناطيس بقوة يعتمد مقدارها على مقدار التيار المار، أي أن الصفيحة الرقيقة ترتبط حركتها للداخل والخارج بتردد الموجة الصوتية وشكلها.

وتكون شدة الصوت في سماعة الهاتف مناسبة كي يسمعها الشخص في حالة تقريبها من أذنه، أما إذا كان شدة الصوت عالية فيستخدم نوع آخر من السماعات ذات ملف متحرك كما هو الحال في الراديو، ولا يتغير مبدأ العمل في سماعة الراديو عنه في سماعة الهاتف .

٢- الميكروفون :

يعمل الميكروفون على توليد تيار كهربائي يتغير مع الزمن بنفس الطريقة التي يتغير فيها الضغط أو الإزاحة التي تحدث للموجة الصوتية الساقطة عليه ، وتستخدم في الميكروفون عادة دقائق الكربون المستخدمة في الهاتف، حيث توضع بين قطعة كربون وغشاء من الكربون أيضاً .

وعندما تصطدم الموجات الصوتية بغشاء الكربون الرقيق فإنه يهتز مولداً ضغطاً متغيراً وذلك تبعاً لشدة الصوت الذي يصل إلى الغشاء ، و يؤدي هذا إلى تغير المقاومة بين الغشاء وقطعة الكربون .

ويوصل الميكروفون عادة إلى دائرة كهربائية مع بطارية ويوصل طرفي الملف الابتدائي إلى محول كهربائي، ويؤدي تغير مقاومة الكربون إلى تغير مقدار التيار المار في الدارة الكهربائية مما يولد تياراً محتثاً في الملف الثانوي للمحول حاملاً صفات الموجات الصوتية .

وهناك أنواعاً عديدة من الميكروفونات كالميكروفون ذي الملف المتحرك والبلوري والميكروفون ذي المواسع الكهربائي.

٣- البوق :

عندما تركز الطاقة الصوتية باتجاه معين بدلاً من انتشارها وتشتتها في كافة

الاتجاهات فإن الصوت يتضخم في ذلك الاتجاه، ويستخدم لهذا الغرض البوق الذي يتكون من وعاء فلزي مخروطي الشكل فعندما يتكلم شخص من الطرف الضيق للبوق فإن الموجات الصوتية الصادرة عنه تنعكس على جوانب البوق باتجاه مواز لمحوره مما يؤدي إلى زيادة شدة الصوت في اتجاه معين وتركيز الطاقة الصوتية نحو الاتجاه المطلوب .

الضجيج

يُعتبر الضجيج من فئة الأصوات المسموعة التي تصنف إلى أصوات موسيقية وأصوات غير موسيقية وهذا ما يدعى بالضجيج، إذ تعتبر الأصوات الموسيقية ذات إيقاع خاص وتكرر بشكل دوري، مثل أصوات بعض الآلات الموسيقية الهادئة كالناي والكمّان، فبعض هذه الأصوات يستريح الإنسان لسماعها لكونها تولد رنيناً ساراً سلساً بخلاف الأصوات التي تترك تأثيراً غير مرغوب فيه وهي ما يسمى بالضجيج .

ويتميز الضجيج بأنه عشوائي الإيقاع وغير منتظم التذبذب وبشكل عام لا يوجد عامة تعريف مناسب للضجيج فقد يكون رد فعل السامع لصوت ما إيجابياً وقد يكون سلبياً لآخر .

التحكم بالضجيج

- للتحكم بالضجيج يجب التحكم في **مصدر الصوت** إذ يتم تقليل الضجيج من خلال تثبيت الجسم المتذبذب على قوائم عازلة ونظام يعمل على خمود الذبذبات.
- يتم التحكم في الضجيج عن طريق **عزل المصدر الصوتي** عزلاً كاملاً داخل مستودع محكم الإغلاق ومزود بوسائل لخمود الذبذبات مثل تغطية أرضية وجدران القاعات بأجسام رخوة ومسامية كالستائر والسجاد والفلين لأنها جيدة الامتصاص للطاقة الصوتية الساقطة عليها فتقلل من انعكاس الصوت والصدى،

وبالتحكم في مسار الصوت، والعمل على إطلاته، وعمل حواجز ماصة وعاكسة كتلك التي يؤخذ بها عند تصميم الطرق والمباني .

- يتعلق التحكم بالضجيج بالسامع نفسه فيكون ذلك باستخدام واقيات على الأذن للتخفيف من أثر الضجيج .

مسائل

١: جد النسبة بين شدي صوتين يختلفان في مستوى شدتهما بمقدار (٤٠ دسي بيل)؟

الحل :

$$م ش_١ - م ش_٢ = ٤٠$$

$$١٠ لو_١ \times \frac{ش_١}{ش_ع} - ١٠ لو_٢ \times \frac{ش_٢}{ش_ع} = ٤٠ \text{ بالقسمة على } ١٠$$

$$لو_١ \times \frac{ش_١}{ش_ع} - ١٠ لو_٢ \times \frac{ش_٢}{ش_ع} = ٤٠$$

$$إذن ١٠ = \frac{ش_١ ش_٢}{ش_٢}$$

٢: إذا كان مستوى الشدة للصوت الصادر عن تحليق طائرة نفائة (١٢٠ دسي بيل) ومستوى الشدة للتخاطب الاعتيادي (٦٠ دسي بيل) جد النسبة بين شدي الصوتين؟

الحل :

$$م ش_١ - م ش_٢ = ٦٠ - ١٢٠ = ٦٠ \text{ دسي بيل.}$$

$$١٠ لو_١ \times \frac{ش_١}{ش_ع} - ١٠ لو_٢ \times \frac{ش_٢}{ش_ع} = ٦٠ \text{ بالقسمة على } ١٠$$

$$لو_١ \times \frac{ش_١}{ش_ع} - ١٠ لو_٢ \times \frac{ش_٢}{ش_ع} = ٦٠$$

$$إذن ١٠ = \frac{ش_١ ش_٢}{ش_٢}$$

٣: صوتان شدة الأول (١٠ واط/م^٢) وشدة الثاني (١٠^{-٩} واط/م^٢) بأي عدد من

المرات تعتبر الأذن الصوت الأول أشد من الصوت الثاني؟

الحل :

$$\begin{aligned} \text{م ش}_1 &= \frac{10 \text{ لو ش}}{\text{ش ع}} \\ \text{م ش}_1 &= \frac{10 \text{ لو } 10^{-6}}{10^{-12}} = 60 \text{ دسي بيل} \\ \text{م ش}_2 &= \frac{10 \text{ لو } 10^{-9}}{10^{-12}} = 30 \text{ دسي بيل} \\ \text{إذن} \\ \text{م ش}_2 / \text{م ش}_1 &= \frac{60}{30} = 2 \text{ مرة.} \end{aligned}$$

٤: إذا كان مستوى الشدة لمصدر مصوت (٤٠ دسي بيل) على بعد (٥٠م) عنه:

١. ما مقدار مستوى الشدة لهذا المصدر على بعد (٥ أمتار).
٢. احسب النسبة المئوية للتغير في مستوى الشدة.

الحل : ١-

$$\begin{aligned} \text{م ش} &= 10 \text{ لو } 10^{-12} \\ \text{ش ع} &= 10^{-12} \\ \text{ش}_1 &= 10^{-12} \\ \text{ش}_2 &= 10^{-12} \\ \text{ش}_1 &= 10^{-12} \\ \text{ش}_2 &= 10^{-12} \end{aligned}$$

$$\text{ع} = 10 \times 10^{-12}$$

$$\text{ش} = 10^{-12} \text{ واط/م}^2$$

$$\text{ش} = 10^{-12} \times 10^4 = 10^{-8}$$

$$\begin{aligned} \text{ش}_1 &= 10^{-12} \\ \text{ش}_2 &= 10^{-8} \\ \text{ش}_1 &= 10^{-12} \\ \text{ش}_2 &= 10^{-8} \\ \text{ش}_1 &= 10^{-12} \\ \text{ش}_2 &= 10^{-8} \end{aligned}$$

$$\text{ش } ٢ = ١٠^{-٦} \text{ واط/م}^٢ \quad \leftarrow \quad \text{ش } ٢ = ١٠^{-٨} \times ١٠٠$$

$$\begin{array}{r} \text{ش } ٢ \\ \hline \text{ش } ٤ \\ \hline \text{ش } ٢ = ١٠ \text{ لو } ١٠ \\ \hline \text{ش } ٢ = ١٠ \text{ لو } ١٠^{-٦} \\ \hline \text{ش } ٢ = ١٠^{-٦} \text{ لو } ١٠ \end{array}$$

$$\text{م ش } ٢ = ٦٠ \text{ دسي بيل.}$$

-٢

٦٠ - ٤٠ = ٢٠ دسي بيل التغير في مستوى الشدة.

$$\frac{٢٠}{٤٠} \times ١٠٠\% = ٥٠\%$$

٥: برهن أنه عندما يبتعد مصدر مهتز عن راصد ساكن بسرعة تساوي سرعة الصوت في الهواء فإن:

أ. التردد الظاهري للاهتزاز يصبح نصف التردد الحقيقي للمصدر.

الحل :

$$\text{د } ١ = \frac{\text{س} - \text{س ع}}{\text{د} \times}$$

$$\text{د } ١ = \frac{\text{س} - \text{س م}}{\text{د} \times} \quad \text{د } ١ = \frac{\text{س} - \text{صفر}}{\text{د} \times} \quad \text{د } ١ = \frac{\text{س} - (-\text{س})}{\text{د} \times}$$

$$\text{د } ١ = \frac{\text{س} \times \text{د}}{\text{س} ٢} \quad \leftarrow \quad \text{د } ١ = \frac{١}{٢} \times \text{د}$$

33

5

.....

علماً أن انطلاق الصوت في الهواء (٣٤٠ م/ثا).

الحل :

نفرض التردد الحقيقي للمصدر = د

$$\text{إذن } د_1 = د - ٠,٠٦ = د - ٠,٩٤$$

$$د_1 = \frac{س - س_ع}{س - س_م} \times د$$

$$د_1 = د - ٠,٩٤ = \frac{٣٤٠ - صفر}{٣٤٠ - (س_م)} \times د$$

$$٠,٩٤ = \frac{٣٤٠}{(س_م + ٣٤٠)}$$

$$٠,٩٤ \times (س_م + ٣٤٠) = ٣٤٠$$

$$٠,٩٤ \times س_م + ٣٢٠,٤ = ٣٤٠$$

$$٣٢٠,٤ - ٣٤٠ = -١٩,٦ = س_م \times ٠,٩٤$$

$$س_م = \frac{٣٢٠,٤ - ٣٤٠}{٠,٩٤} = -٢٠,٤$$

$$س_م = \frac{٢٠,٤}{٠,٩٤} = ٢١,٧ \text{ م/ثا}$$

٨: قطار يتحرك بسرعة منتظمة تصدر صافرته صوتاً بتردد معين فإذا تغير تردد الصوت الذي يسمعه رجل يقف في المحطة من (٥٤٠٠ هرتز) إلى (٤٥٠٠ هرتز) وكان انطلاق الصوت في الهواء آنذاك (٣٣٠ م/ثا) احسب مقدار:

أ. سرعة القطار.

الحل :

$$د = \frac{س - س_ع}{س - س_م} \times د_1$$

$$\frac{330 - \text{صفر}}{(س_+ - 30)} \times \text{د} \dots\dots\dots (1) \text{ اقتراب} = 0400$$

$$\frac{330 - \text{صفر}}{(س_- - 30)} \times \text{د} \dots\dots\dots (2) \text{ ابتعاد} = 4000$$

بالقسمة :

$$\frac{1}{\frac{330 - س_+}{1}} = \frac{0400}{4000}$$

$$\frac{330 + س_+}{330 - س_+} = \frac{6}{0} \quad \leftarrow (330 + س_+) \times 0 = (330 - س_+) \times 6$$

$$1980 - س_6 = 4 س_4$$

$$1980 - 11 س_6 = 1650$$

$$330 = 11 س_6$$

$$س_6 = 30 \text{ م/ثا}$$

ب. التردد الحقيقي للمصدر.

الحل :

$$\frac{330 - \text{صفر}}{(30 +) - 330} \times \text{د} \dots\dots\dots (1) \text{ اقتراب} = 0400$$

$$\frac{330}{300} \times 0400 = 0400$$

$$\frac{330}{11} \times 0400 = 330 \times 0400 \quad \leftarrow \text{د} = 11 \text{ هيرتز}$$

٩: احسب تردد الضربات المسموعة من قبل شخص واقف عندما يتحرك مصدر ذو تردد (١٧٤ هرتز) بعيداً عنه بسرعة (٤ م/ثا) باتجاه جدار شاقولي عاكس للصوت إذا كان انطلاق الصوت في الهواء آنذاك (٣٤٤ م/ثا).

الحل :

$$د_1 = \frac{س - س_ع}{س - س_م} \times د$$

$$د_1 = \frac{٣٤٤ - صفر}{٣٤٤ - (٤-)} \times ١٧٤$$

$$د_1 = \frac{٣٤٤}{٣٤٨} \times ١٧٤ = ١٧٢ \text{ هيرتز}$$

$$د_2 = \frac{٣٤٤ - صفر}{٣٤٤ - (٤+)} \times ١٧٤$$

$$د_2 = \frac{٣٤٤}{٣٤٠} \times ١٧٤ = ١٧٦ \text{ هيرتز}$$

عدد الضربات في الثانية = $د_2 - د_1 = ١٧٦ - ١٧٢ = ٤$ ضربة /ثا.

الفصل التاسع عشر الفيزياء الحديثة

الفصل التاسع عشر

الفيزياء الحديثة

تقدم علم الفيزياء تقدماً هائلاً أبان الثورة العلمية التي شهدها القرن السابع عشر ووضعه العلماء عدداً كبيراً من النظريات التي استطاعت تفسير الظواهر الطبيعية المعروفة آنذاك بكفاءة عالية، وقد أطلق على هذا العدد من النظريات اسم الفيزياء الكلاسيكية لتمييزها عن الفيزياء التي انبثقت مع بدايات القرن العشرين والتي أطلق عليها اسم الفيزياء الحديثة.

لقد عجزت الفيزياء الكلاسيكية عن تفسير بعض الظواهر مثل :

أولاً- ظاهرة طيف الامتصاص (طيف متصل تتخلله خطوط سوداء معتمة) :

لقد كان نيوتن أول من أثبت أن ضوء الشمس يتكون من مزيج من الألوان بشكل طيف متصل تتغير فيه الألوان تدريجياً من اللون الأحمر إلى اللون البنفسجي وهو ما يسمى بالطيف المرئي للأشعة الشمس بالإضافة إلى الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية.

وعندما درس هذا الطيف بالتفصيل في بدايات القرن التاسع عشر لوحظ وجود خطوط معتمة في أماكن محددة لم يعرف سببها آنذاك إلى عام ١٨٥٩ عندما قدم العالم الألماني غوستاف كيرتشف تفسيراً لهذه الظاهرة وهو أن بعض الذرات في طبقات الغلاف الجوي تمتص ألواناً محددة من ضوء الشمس مما يؤدي إلى ظهور الخطوط المعتمة في الطيف المرئي لأشعة الشمس.

وقد دعم **كيرتشف** تفسيره بتجارب عديدة توصل فيها أن لكل عنصر من العناصر الكيميائية لوناً خاصاً يمتصه وقد استخدمت هذه الخاصية فيما بعد للتمييز بين العناصر الكيميائية المختلفة كما توصل إلى أن هذه العناصر تشع نفس الألوان التي تمتصها عند تسخينها بدرجات حرارة عالية.

ثانياً- ظاهرة استقرار الذرات :

لم يكن للعلماء تصور واضح فيما يتعلق ببنية الذرة حتى بدايات القرن

العشرين حيث كان يعتقد سابقاً بأن الذرة أصغر جزء في المادة غير قابل للانقسام، غير أن اكتشاف ظاهرة الإشعاع الطبيعي أثار تساؤلات كبيرة حول هذا التصور، كما لوحظ أيضاً بأن شحنات سالبة وأخرى موجبة تثبت عن ذرات العناصر المشعة وهذا يعني أن الذرة تتكون من مزيج من الشحنات الموجبة والسالبة.

وضع العالم الإنكليزي جوزيف طومسون (مكتشف الإلكترون عام ١٨٩٧) نموذجاً للذرة عام ١٨٩٨ افترض فيه أن الذرة عبارة عن كرة مصمتة ذات شحنات موجبة متجانسة تتخللها الإلكترونات سالبة الشحنة وإن الذرة متعادلة أي أن مجموع الشحنة السالبة مساوياً للشحنة الموجبة، لكن نموذج الذرة هذا عجز عن الإجابة عن السؤال : **" ما الذي يجعل الذرات مستقرة؟ "** حيث أن الإلكترونات في نموذج الذرة هذا لا تكون في حالة اتزان كما عجز عن تفسير بعض الخصائص الكيميائية للذرة .

قام العالم البريطاني **إرنست رذرفورد** في عام ١٩١٠ بتجربة مهدت الطريق لفهم بنية الذرة بشكل أفضل حيث قذف رذرفورد صفائح رقيقة جداً من فلزات مختلفة مثل الذهب بجسيمات ألفا المنطلقة من مصدر مشع مثل الراديوم ثم كشف عن الجسيمات التي تخترق هذه الصفائح فوجد أن معظم هذه الجسيمات قد اخترقت الصفائح دون أن يحدث تغير على مسارها بينما انحرف جزء منها بزوايا متفاوتة، كان بعضها أكبر من ٩٠°، كما لاحظ أيضاً أن بعض هذه الجسيمات قد ارتدت تماماً عن الصفائح الرقيقة . أدت نتائج هذه التجربة إلى فشل نموذج الذرة الذي وضعه **طومسون** لأن جسيمات ألفا هي عبارة

عن نوى هليوم مشحونة بشحنة موجبة مقدارها يساوي

مثلي شحنة البروتون وتنطلق من المصدر المشع بسرعة تبلغ نحو 2×10^8 م/ثا .

وحسب نموذج طومسون لا يتوقع لمثل هذه الجسيمات أن تنحرف لزوايا كثيرة، **وقد استنتج**

رذرفورد من التجربة ما يأتي :

١- إن معظم حجم الذرة عبارة عن فراغ بدليل اختراق معظم جسيمات ألفا للصفائح الرقيقة بدون أن

يحدث انحراف في مساراتها .

٢- إن كتلة الذرة تتركز في حيز صغير جداً يدعى النواة بدليل ارتداد بعض الجسيمات ارتداداً تاماً .

٣- إن شحنة النواة موجبة بدليل انحراف بعض الجسيمات عن مسارها بزوايا مختلفة .

وحيث أن القوى الكهربائية المتبادلة بين إلكترونات الذرة تتناسب عكسياً مع مربع المسافة بينها

(قانون كولوم) حيث إنها تشابه قوى الجاذبية بين الكتل المادية حيث تتناسب عكسياً مع مربع المسافة بينها

(قانون نيوتن للجذب العام) فقد كان نموذج رذرفورد للذرة مماثلاً لنموذج نيوتن للمجموعة الشمسية فكان

نموذج رذرفورد لبنية الذرة يتلخص بما يأتي :

١- تشغل الذرة حيزاً كروياً يبلغ نصف قطره نحو 10^{-10} م (٠,١ نانومتر (نم)).

٢- تتكون الذرة من :

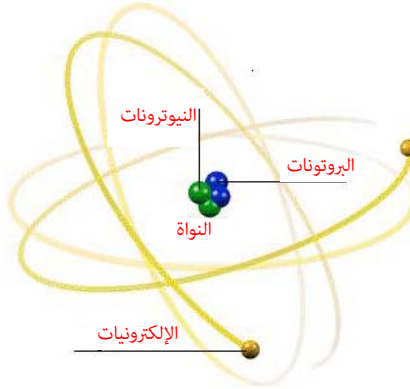
أ- النواة : وهي الجزء المركزي الذي تتركز فيه كتلة الذرة، يبلغ نصف قطرها نحو 10^{-15} م (١ فيرمي)

وهي موجبة الشحنة .

ب- الإلكترونات : وهي جسيمات صغيرة جداً ذات كتلة ضئيلة جداً يمكن إهمالها بالنسبة لكتلة النواة،

وتدور هذه الإلكترونات حول النواة في مدارات تشبه مدارات الكواكب حول الشمس، وهي سالبة

الشحنة وتكون مساوية لشحنة النواة مما يجعل الذرة متعادلة كهربائياً .



وقد فسرت الميكانيكا الكلاسيكية والكهرومغناطيسية استقرار الذرة على النحو الذي وصفه نموذج رذرفورد، فطرح السؤال آنذاك كيف تتحرك الإلكترونات حول النواة بحيث تحافظ على مساراتها ثابتة، وما الذي يجعل الذرات مستقرة؟، وكيف يمكن لقوى التجاذب وقوى التنافر بين إلكترونات الذرة ونواتها أن تتوازن بحيث تبقى الإلكترونات ثابتة في مداراتها، كما أن الإلكترونات بدورانها حول النواة تتسارع تسارعاً مركزياً، ومن المعلوم أن الإلكترونات المتسارعة تشع طاقة باستمرار حسب النظرية الكهرومغناطيسية أي أن طاقة الإلكترونات ستتناقص تدريجياً، مما يعني أن تناقصاً تدريجياً في نصف قطر مساراتها حول النواة سيحدث وذلك يؤدي إلى دوران الإلكترون بمسار حلزوني مقترباً من النواة شيئاً فشيئاً إلى أن تسقط فيها مما يعني انهيار النموذج الذري الذي وصفه رذرفورد وهذا خلاف الواقع، أي أن نموذج رذرفورد للذرة حسب الفيزياء الكلاسيكية لا يمكن أن يكون مستقراً.

كما أن الإلكترون يشع كل الترددات بسبب مساره الحلزوني جاعلاً طيف الذرة مستمراً بينما أثبتت التجارب أنه طيف خطي براق حسب نموذج الذرة لذلك فشل نموذج رذرفورد للذرة .

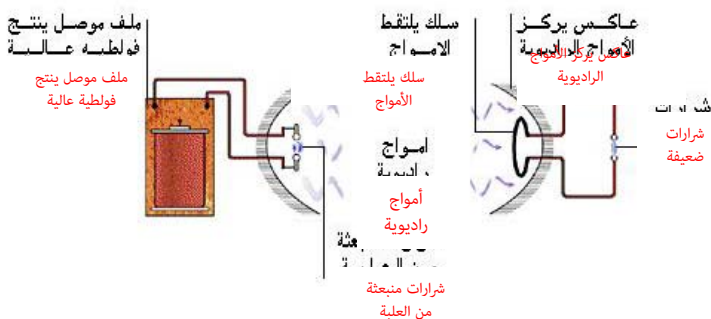
ثالثاً- الظاهرة الكهروضوئية :

لقد عجزت الفيزياء الكلاسيكية عن تفسير هذه الظاهرة التي اكتشفها العالم هنريش هيرتز عام ١٨٨٧، حيث اكتشف أن الأشعة فوق البنفسجية تُسرّع عملية إحداث شرارة كهربائية بين قطبين كهربائيين . فعند وضع قطبين في أنبوب مفرغ من الهواء، ووصل أحدهما (المهبط) بالقطب السالب لبطارية، ووصل الآخر (المصعد) بقطبها الموجب فإن إسقاط ضوء على المهبط يؤدي إلى مرور تيار كهربائي في الدائرة الكهربائية، مما يدل على انبعاث إلكترونات من المهبط بفعل الضوء الساقط عليه وهذه الإلكترونات تتحرك نحو المصعد موجب الشحنة، وقد لوحظ ما يأتي :

١- لكي تنبعث الإلكترونات من سطح فلز يجب أن يكون تردد الضوء الساقط

أكبر من تردد معين يطلق عليه اسم تردد العتبة ويختلف هذا التردد من فلز إلى آخر.

٢- طاقة حركة الإلكترونات المنبعثة تتناسب تناسباً طردياً مع تردد الضوء الساقط.



وقد عجزت الفيزياء الكلاسيكية في تفسير هاتين الخاصيتين من خصائص الظاهرة الكهروضوئية إذ إن طاقة الموجة (الموجة الضوئية في هذه الحالة) حسب الفيزياء الكلاسيكية تعتمد على اتساعها وليس على ترددها، إذن لماذا تزداد طاقة الإلكترونات المنبعثة بازدياد تردد موجة الضوء الساقط (مع بقاء اتساعها ثابتاً)؟ بل أن التجارب قد أثبتت أن ازدياد اتساع الموجة لا يزيد في الطاقة الحركية للإلكترونات المنبعثة . ولماذا يجب أن يكون تردد الضوء الساقط أكبر من تردد معين (تردد العتبة) لكي تنبعث الإلكترونات من سطح الفلز ؟

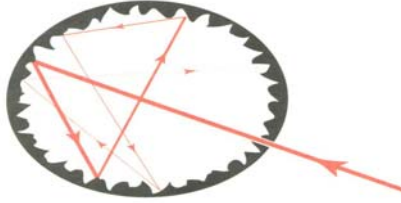
إن تحرير إلكترون من سطح فلز ما يعني إعطائه طاقة تكفي للتغلب على قوة ارتباطه بسطح الفلز، والضوء أيّاً كان تردده يمتلك طاقة، فلماذا لا يأخذ الإلكترون ما يكفيه من الطاقة المتراكمة للضوء الساقط ليتحرر من سطح الفلز ؟

وقد أدى فشل الفيزياء الكلاسيكية في تفسير تلك الظواهر إضافة إلى تفسير ظاهرة إشعاع الجسم الأسود كان السبب في انبثاق ميكانيكا الكم .

إشعاع الجسم الأسود

تنبعث من الأجسام الساخنة إشعاعات كهرومغناطيسية بأطوال مختلفة ويطلق على الإشعاعات الصادرة عن الأجسام بفعل حرارتها اسم **الإشعاع الحراري** .

وفي الشكل البياني المجاور يوضح تأثير تغير طول موجة الضوء على الضوء المرئي، فقد وجد أن شدة الإشعاع المنبعث من جسم أسود عند درجات حرارة مختلفة تعطي طيفاً مستمراً ويشمل مدى واسع من الترددات ولا يعتمد هذا الطيف على طبيعة السطح المشع بل على درجة حرارته وأن الطاقة التي يشعها الجسم في وحدة الزمن من وحدة المساحة له تتناسب تناسباً طردياً مع المساحة تحت المنحنى.



نموذج الجسم الأسود

ولقد وجد العالم ستيفان أن هذه المساحة تتناسب طردياً مع الأس الرابع لدرجة الحرارة المطلقة عدا الصفير المطلق للجسم المشع، ومن المنحني نلاحظ بأن ذروة المنحني تنزاح نحو الأطوال الموجية القصيرة مع ارتفاع درجة حرارة المشع المثالي أي أن لون المشع يتغير من اللون الأحمر إلى اللون الأزرق بزيادة تسخينه .

فلو نظرنا إلى قطعة من الحديد موضوعة فوق لهب فإننا سراها معتمة اللون بادئ الأمر ثم يظهر وهج أحمر سرعان ما يميل إلى البرتقالي فالأصفر، وأخيراً ينبعث وهج أبيض من قطعة الحديد وإذا استمر التسخين يتحول اللون إلى الأزرق ثم يختفي .

ويتألف الإشعاع المنبعث من الجسم الساخن في جميع درجات الحرارة من طيف متصل من الموجات ذات الأطوال المختلفة، وتختلف شدة هذه الموجات باختلاف درجة حرارة الجسم، فعند درجات الحرارة المنخفضة تكون معظم موجات الإشعاع الحراري ذات طول موجي يقع في منطقة الأشعة تحت الحمراء التي لا ترى بالعين،

وبارتفاع درجة حرارة الجسم تصبح موجات الإشعاع الأكثر انبعاثاً من الجسم هي موجات اللون الأحمر، وهكذا إلى أن تصل درجة الحرارة إلى حد معين تكون عندها موجات الضوء المرئي هي الأكثر انبعاثاً فيظهر الجسم توهجاً أبيض اللون .

وتعتمد كمية الإشعاعات المنبعثة من الجسم الساخن في وحدة الزمن على طبيعة مادة الجسم، بالإضافة إلى درجة حرارته .

وتختلف المواد من حيث درجة امتصاصها للإشعاعات الساقطة عليها وكذلك من حيث درجوتختلف المواد من حيث درجة امتصاصها للإشعاعات الساقطة عليها، إذ أن الفلز المصقول يعكس معظم الإشعاعات الساقطة عليه وتسخن الأجسام السوداء الخشنة بدرجة أكبر من أي جسم آخر عند تعرضها للإشعاعات الحرارية لأنها تمتص هذه الإشعاعات وبالتالي تكون درجة إشعاعها للطاقة الحرارية أكبر .

كما تختلف المواد في قابليتها للسماح بنفوذ طاقة الإشعاع فأوكسيد النيكل مثلاً يعتبر معتم بالنسبة للضوء المرئي ولكنه شفاف جيد بالنسبة للإشعاع الحراري .

ويكون معدل فقدان الجسم لطاقة الإشعاع أكبر من معدل امتصاصه لها عندما تكون درجة حرارة الجسم أكثر من درجة حرارة المحيط ولكن عندما تكون درجة حرارة الجسم أقل من درجة حرارة المحيط فإن معدل امتصاص الجسم للطاقة يكون أكبر من معدل إشعاعه لها .

تجربة :

لكي نثبت عملياً أن الجسم الذي له قابلية امتصاص كبيرة تكون له قابلية إشعاع كبيرة نقوم

بالتجربة التالية :

- ١- نأخذ زجاجة شفافة تحتوي على جزء ملون، نلاحظ أن الجزء الملون قائماً بالنسبة للزجاج الشفاف لأنه يمتص الضوء بينما الزجاج ينفذه، ولكن عند التسخين داخل فرن مثلاً وبعد الاتزان الحراري نلاحظ أن الجزء الملون يبدو أكثر سطوعاً .
- ٢- نأخذ جسمين أحدهما أسود (**مطلبي بالسناج** **سخام اللهب**) والآخر لماعاً ونسخنهما داخل فرن نلاحظ عند تساوي درجة الحرارة أن الجسم الأسود

أكثرت طوعاً لأنه امتص حرارة بمقدار أكبر .

ولدراسة ظاهرة الإشعاع الحراري اختار العلماء ما يعرف **بالجسم الأسود (المثالي)** .

الجسم الأسود (المثالي) : هو الجسم الذي يمتص جميع طاقة الإشعاع الحراري الساقط عليه، كما أنه يُشع طاقة حرارية بدرجة أكبر من الأجسام الأخرى عند درجة الحرارة نفسها، ويمتاز بأن له طيفاً مميزاً عند درجات الحرارة المختلفة كافة .

وتزداد الطاقة التي يشعها الجسم الأسود بارتفاع الحرارة حيث تتناسب **(مع القوة الرابعة لدرجة**

الحرارة المطلقة) وأن القيمة العظمى لطاقة الإشعاع تزداد باتجاه النقصان في الطول الموجي .

وخير مثال على الجسم الأسود فجوة ذات فتحة ضيقة نسبياً، فالشعاع الداخل إلى الفجوة ينعكس عن جدرانها انعكاسات متتالية إلى أن يتم امتصاصه كلياً **(أي يتم امتصاص كامل طاقته)** وعند تسخين جدران هذه الفجوة تنبعث منها إشعاعات حرارية تعتمد فقط على درجة حرارة الجدران وعليه تكون الفجوة مشعاً حرارياً مثالياً .

وقد أثبتت التجارب الكثيرة التي أجريت على الجسم الأسود ما يأتي:

١- تتناسب الطاقة الكلية المنبعثة من الجسم الأسود تناسباً طردياً مع القوة الرابعة لدرجة حرارته أي أن :

ط $\propto$ د^٤ ، حيث ط : الطاقة الكلية لطيف الإشعاع المنبعث من الجسم بوحدة جول، د : درجة الحرارة بوحدة كلفن .

٢- تحدث القيمة العظمى للطاقة المنبعثة عند طول موجي $(\lambda ع)$ يتناسب عكسياً مع درجة الحرارة المطلقة للجسم الأسود **(قانون فين للإزاحة)** أي أن :

$$\lambda ع = د \text{ مقدار ثابتاً}$$

حيث $\lambda ع$: الطول الموجي الذي تكون عنده طاقة الإشعاع أكبر ما يمكن .

لقد فشلت المحاولات العديدة لإيجاد تفسير نظري لهذه النتائج التجريبية وكانت أول هذه المحاولات ما قام به العالمان الإنكليزيان رايلي وجينز اللذان توصلا إلى علاقة رياضية عرفت بقانون رايلي وجينز .

وينص هذا القانون على أن : شدة الإشعاع (الطاقة المنبعثة لكل وحدة طول موجي) تتناسب طردياً مع درجة الحرارة بوحدة كلفن وعكسياً مع القوة الرابعة للطول الموجي أي أن :

$$ش\text{ ع} = ث \times \frac{د}{\lambda^4}$$

، حيث ش_ع: شدة الإشعاع، ث : ثابت .

وقد أظهر هذا النموذج المستند إلى الفيزياء الكلاسيكية تطابقاً إلى حد ما مع الواقع التجريبي للجزء الأيمن من طيف إشعاع الجسم الأسود (في منطقة الطيف الأحمر وما بعدها أي الأطوال الموجية الكبيرة)، غير أنه في منطقة الموجات القصيرة (في منطقة الأشعة فوق البنفسجية) يقود هذا النموذج إلى أن شدة الإشعاع إلى تؤول للانهاية، وقد عرف هذا في تاريخ الفيزياء باسم كارثة الأشعة فوق البنفسجية وعند التدقيق في القانون الذي وضعه رايلي وجينز نلاحظ أن شدة الإشعاع تزداد بنقصان الطول الموجي ويعني ذلك أنه مع اقتراب الطول الموجي من الصفر فإن شدة الإشعاع تقترب من اللانهاية، وهذا لا يتفق مع النتائج التجريبية بل يعاكسها ويعتبر أمراً مستحيلاً في النظرية الكهرومغناطيسية الكلاسيكية .

ماكس بلانك ومبدأ تكمية الطاقة :

في عام ١٩٠٠ قام العالم الفيزيائي الألماني **ماكس بلانك** بإجراء التعديلات على النموذج النظري الذي وضعه العالمان رايلي وجينز بالشكل الذي تتطابق تنبؤاته مع الواقع التجريبي لظاهرة إشعاع الجسم الأسود، فافترض بلانك أن الإشعاع لا ينبعث انبعثاً مستمراً بل أنه ينبعث على شكل نبضات أو دفقات منفصلة، وأطلق على كل منها اسم (كم) وتعتمد طاقة كل منها على التردد، لذلك فإن طاقة الكمات تختلف باختلاف اللون حيث أن كمية الأشعة تحت الحمراء ذات طاقة صغيرة نسبياً وكمية اللون الأخضر ذات طاقة أكبر وطاقة كمية الأشعة فوق البنفسجية أكبر، وقد تم صياغة فرضية بلانك التي تعرف بمبدأ تكمية الطاقة على النحو الآتي :

" إن ذرات المواد تشع الطاقة الكهرومغناطيسية أو تمتصها بشكل كميات محددة من الطاقة منفصلة بعضها عن بعض لكل منها تردد محدد، وسمي كل منها

(كم)، وأن طاقة كل كم تساوي هـ ت، أي أن طاقة الفوتون تساوي هـ ت، وتعتمد طاقة الكم (الفوتون) الواحدة مع تردد الإشعاع حيث تتناسب معه طردياً أي أن :

$$ط = هـ ت د، (١-٧).$$

حيث ط : طاقة الكم (الفوتون)، ت : تردد الإشعاع، هـ : ثابت يدعى ثابت بلانك ويساوي $٦,٦٢٥ \times ١٠^{-٣٤}$ جول.ثا .

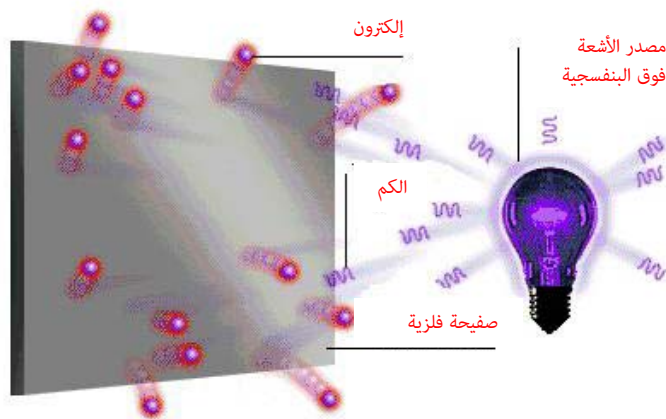
لقد فسر **بلانك** إشعاع الطاقة وامتصاصها في الجسم الأسود باستخدام مبدأ تكمية الإشعاع بالشكل التالي :

ينبعث الإشعاع من الجسم الأسود الساخن نتيجة لاهتزاز جزيئاته أو ذراته وحسب مبدأ تكمية الطاقة، فإن هذه الجزيئات والذرات لا تُشع إشعاعاً بمقادير مستمرة بل بشكل حزم محددة متتالية من الطاقة تسمى كمات (فوتونات) من الطاقة، تعتمد مقدار طاقة كل منها على تردد الجزيء أو الذرة .

إن الذرات والجزيئات عند درجة حرارة معينة لا تهتز بتردد واحد، وإنما بترددات مختلفة ووفق توزيع يمثل الترددات كلها فقليل من الذرات يهتز بترددات عالية، وقليل منها يهتز بترددات منخفضة ومعظمها يهتز بترددات متوسطة، وهذا ما يفسر نقصان الطاقة في الجزء الأيسر والأيمن من منحنى إشعاع الجسم الأسود، ويكون عدد الجزيئات ذات الترددات المتوسطة وهذا ما يفسر ارتفاع شدة الطاقة عند هذه الترددات .

وقد تمكن **بلانك** من تخطي كارثة الأشعة فوق البنفسجية المذكورة سابقاً بهذا التفسير، كما أن تنبؤاته تطابقت مع النتائج التجريبية لإشعاع الجسم الأسود.

وقد قبلت نظرية الكم لبلانك من المجتمع العلمي آنذاك بحذر وتحفظ شديدين وبقي الحال كذلك حتى عام ١٩٠٥ عندما استخدم **إينشتاين** مبدأ تكمية الطاقة في تفسير الظاهرة الكهروضوئية ثم تلاه العالم بور في عام ١٩١٣ عندما استخدم نفس المبدأ في وضع نموذج مستقر للذرة عرف باسمه ، وبعد ذلك توالى التطبيقات إلى درجة إحداث ثورة في علم الفيزياء .



الظاهرة الكهروضوئية :

لقد فشلت الفيزياء الكلاسيكية في تفسير الظاهرة الكهروضوئية وخاصة الحالات التالية :

١- يجب أن يكون تردد الضوء الساقط على سطح الفلز أكبر من تردد معين (**تردد العتبة**) لكي تنطلق منه الإلكترونات مهما كانت شدة الضوء الساقط .

٢- تزداد طاقة حركة الإلكترونات المنبعثة من سطح الفلز بازدياد تردد الضوء الساقط وليس بازدياد شدة الضوء الساقط .

في عام ١٩٠٥ قدم العالم **ألبرت أينشتاين** تفسيراً لهذه الظاهرة وقد حصل على جائزة نوبل في الفيزياء في عام ١٩٢١ فقد عمم مبدأ كمية الطاقة لبلانك ليشمل جميع الموجات الكهرومغناطيسية وقد افترض أن الضوء ذو التردد (ν) يتكون من سيل من الكمات أطلق على كل منها اسم فوتون وتوصل إلى أن طاقة الفوتون تعطى بالعلاقة التالية :

$$E = h \nu \quad (٧-٢) .$$

وقد بين أينشتاين أنه عند سقوط الضوء على سطح فلز فإن كل فوتون يعطي كل طاقته لإلكترون واحد من إلكترونات الفلز ويستغل الإلكترون هذه الطاقة للتحرك من سطح الفلز، وما تبقى منها يحتفظ بها على شكل طاقة حركية وبذلك تكون الطاقة

الحركية العظمى (ط_ع) التي يمتلكها الإلكترون المنطلق من سطح الفلز مساوية لـ :

$$(ط\text{ع}) = ه\text{ت}_\gamma - \Phi ; \dots\dots\dots (3-7)$$

حيث (ط_ع): **الطاقة الحركية العظمى للإلكترون**، هـ: ثابت بلانك، ت_د: تردد الفوتون الساقط، Φ : أقل طاقة لازمة لتحرير الإلكترون من سطح الفلز (دون إعطائه طاقة حركية) **وتسمى اقتران الشغل للفلز**، وتختلف (Φ) باختلاف الفلز إذ أن لكل فلز اقتران شغل خاصاً به، ويعتمد مقدار اقتران الشغل للفلز على تردد العتبة له، (ت_د) : هو تردد الفوتون الذي يطلق إلكترون من سطح الفلز دون طاقة حركية، ومن العلاقة (3-7) يتبين لنا أن :

$$\Phi = ه\text{ت}_\gamma$$

ومن المعادلة (3-7) أيضاً يتبين لنا أنه إذا كانت طاقة الفوتون (هـ ت_د) أقل من اقتران الشغل (Φ) فإنه لا يتمكن من تحرير أي إلكترون من سطح الفلز، مهما كان عدد الفوتونات الساقطة (**شدة الضوء الساقط**)، أما إذا كانت طاقة الفوتون مساوية لاقتران الشغل فإنه يتمكن من تحرير إلكترون من سطح الفلز دون أن يكسبه طاقة حركية (**حتى لو كانت شدة الضوء الساقط ضعيفة**) وبازدياد تردد الضوء الساقط تزداد الطاقة الحركية للإلكترونات المنبعثة من سطح الفلز .

وقد كان العالم **ميليكان** أول من تحقق من صحة معادلة **إينشتاين** (3-7) تجريبياً حيث استخدم دائرة كهربائية لقياس الطاقة الحركية للإلكترونات المنبعثة بفعل الضوء، وتتكون هذه الدائرة من خلية كهروضوئية ومايكروأميتر، وفولتميتر، وموزع جهد كهربائي ومفتاح عاكس ومصدر للتيار، وعند جعل المصعد موجباً بالنسبة للمهبط فإن تياراً كهربائياً ينشأ في الدائرة عند إسقاط شعاع ضوئي بتردد أعلى من تردد العتبة لمادة المهبط .

أما عند جعل المصعد سالباً بالنسبة للمهبط (**بتغيير وضع المفتاح العاكس**) فإن الإلكترونات المنبعثة من المهبط تتعرض لمجال كهربائي يعمل على تقليل سرعتها فلا يصل إلى المصعد إلا أسرعها وأعظمها طاقة حركية، ويقل بذلك التيار الكهربائي المار في الدائرة الكهربائية.

وباستمرار زيادة الجهد السالب للمصعد توصل إلى نقطة يصبح فيها التيار الكهربائي في الدائرة صفراً

ويسمى فرق الجهد الكهربائي بين المصعد والمهبط الذي ينعدم عنده التيار الكهربائي في الدائرة :

فرق جهد القطع (الإيقاف).

فرق جهد القطع (الإيقاف): هو أقل جهد سالب يعطي للوح الجامع والذي يجعل التيار الكهروضوئي صفراً

ويعتبر مقياس الطاقة الحركية العظمى لأسرع الإلكترونات الضوئية المنبعثة ويقاس بالفولت ويعتمد على :

- تردد الضوء الساقط .

- نوع مادة سطح الفلز الباعث .

ويمكن معرفة قيمة فرق جهد القطع (الإيقاف) من العلاقة التالية :

طاقة الحركية العظمى للإلكترون الضوئي

جهد الإيقاف =

شحنة الإلكترون

(ط ع)

ج =

س

حيث س : شحنة الإلكترون = $1,6 \times 10^{-19}$ كولوم .

ج : فرق جهد القطع .

وعند معرفة مقدار فرق جهد القطع يمكن حساب الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المنبعثة

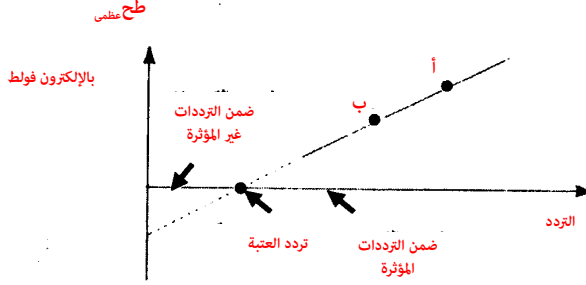
بفعل ضوء ذي تردد معين من العلاقة التالية :

(ط ع) = س ج (٤-٧) .

ملاحظة: تقاس الطاقة الحركية للإلكترون بوحدة تسمى إلكترون فولت والتي تساوي $(1,6 \times 10^{-19}$ جول)

وقد حصل ميليكان على نتائج تجريبية، وعند رسم العلاقة بين تردد الضوء الساقط والطاقة

الحركية العظمى للإلكترونات المنبعثة، نجد أنها علاقة خطية، ومثل هذا الخط يساوي ثابت بلانك (هـ) .



إن تقاطع أنسب خط مستقيم يمر بنقاط البيانات مع المحور الأفقي يمثل تردد العتبة (ت.) كما أن تقاطع امتداده مع المحور الرأسي الذي يمثل الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات يساوي عددياً اقتران الشغل (Φ) مادة المهبط في الخلية الكهروضوئية .

تردد العتبة (ت.): هو أقل تردد يحصل فيه الانبعاث الكهروضوئي لفلز معين ويقاس بالهيرتز ويعتمد على نوع مادة سطح الفلز الباعث .

اقتران الشغل (Φ): هو أقل طاقة يحتاجه الإلكترون لفك ارتباطه من سطح الفلز وتقاس بالجول وتعتمد على نوع مادة السطح الباعث .

حقائق الظاهرة الكهروضوئية (استنتاجاتها) :

- ١- يكون الانبعاث الكهروضوئي آنياً فإما أن تنبعث إلكترونات بسقوط أشعة ذات تردد مؤثر لحظة سقوط الأشعة أو لا ينبعث مطلقاً إذا كان تردد الأشعة الساقطة غير مؤثر .
- ٢- تنبعث الإلكترونات الضوئية بسرعة مختلفة بسبب اختلاف أعماق الإلكترونات عن سطح الفلز وتتراوح قيمتها بين (صفر والقيمة العظمى).
- ٣- يتناسب عدد الإلكترونات الضوئية المنبعثة في الثانية الواحدة طردياً مع شدة الضوء الساقط عند ثبوت تردده .
- ٤- تتناسب الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية المنبعثة في الثانية الواحدة طردياً مع تردد الضوء الساقط ضمن حدود منطقة الترددات المؤثرة ولا تعتمد هذه الطاقة على شدة الضوء الساقط عند ثبوت تردده .

نموذج بور للذرة:

وفي عام ١٨٨٥ استطاع العالم السويسري يوهان بالمر من إيجاد صيغة رياضية تتنبأ بدقة بأطوال أربعة خطوط من طيف ذرة الهيدروجين المرئي هي : الأحمر والأخضر والأزرق والبنفسجي، وقد أطلق على هذه الخطوط اسم : **سلسلة بالمر لطيف ذرة الهيدروجين**، وقد وضعت معادلة بالمر التجريبية التي تعطي أطوال طيف ذرة الهيدروجين في المنطقة المرئية من الطيف الكهرومغناطيسي بالصيغة الرياضية التالية :

حيث λ : الطول الموجي، R_H : ثابت يسمى ثابت ريديرغ، وقيمته للهيدروجين العادي (H^1) تساوي $1.0973732 \times 10^7 \text{ م}^{-1}$ ، ن: عدداً صحيحاً موجباً يساوي ٣ و ٤ و ٥.....

وينظر الخط الأول من سلسلة بالمر (ن = 3) في المعادلة (0-7) بينما يناظر الخط الثاني (ن=4) وهكذا ..

ثم وجدت بعد ذلك سلاسل أخرى لأطياف ذرة الهيدروجين سميت بأسماء مكتشفها وهي سلسلة ليمان وسلسلة باشن وسلسلة براكيت وسلسلة بفوند وتبين المعادلات: (6-7)، (7-7)، (8-7)، (9-8) العلاقات التجريبية التي تعطي أطوال خطوط طيف الهيدروجين في كل سلسلة من هذه السلاسل :

١- **سلسلة ليمان** : عندما ينتقل إلكترون ذرة الهيدروجين المتهيجة من مستوى الطاقة (٢، ٣، ٤، ...) إلى مستوى الطاقة الأول تتولد سلسلة ليمان وتقع هذه السلسلة في منطقة الأشعة فوق البنفسجية .

$$R_H = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \quad ; \quad n=2, 3, 4, \dots \quad \text{سلسلة ليمان} \dots (7-6)$$

٢- **سلسلة بالمر** : عندما ينتقل إلكترون ذرة الهيدروجين المتهيجة من مستوى (٣، ٤، ٥، ...) إلى مستوى الطاقة الثاني تتولد سلسلة بالمر، وتقع هذه السلسلة في منطقة الضوء المرئي وتمتد حتى منطقة فوق البنفسجية .

$$R_H = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \quad ; \quad n=3, 4, 5, \dots \quad \text{سلسلة بالمر} \dots (7-5)$$

٣- **سلسلة باشن** : عندما ينتقل إلكترون ذرة الهيدروجين المتهيجة من مستوى (٤، ٥، ٦، ...) إلى مستوى الطاقة الثالث تتولد سلسلة باشن وتقع هذه السلسلة في منطقة الأشعة تحت الحمراء.

$$R_H = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \quad ; \quad n=4, 5, 6, \dots \quad \text{سلسلة باشن} \dots (7-6)$$

٤- **سلسلة براكيت**: عندما ينتقل إلكترون ذرة الهيدروجين المتهيجة من مستوى (٥، ٦، ٧، ...) إلى مستوى الطاقة الثالث تتولد سلسلة براكيت .

$$R_H = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \quad ; \quad n=5, 6, 7, \dots \quad \text{سلسلة براكيت} \dots (7-8)$$

٥- سلسلة بفوند : عندما ينتقل إلكترون ذرة الهيدروجين المتهيجة من مستوى (٦، ٧، ٨، ...) إلى مستوى الطاقة الثالث تتولد سلسلة بفوند .

$$R_H = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad ; n=6, 7, 8, \dots \text{سلسلة بفوند } \dots (9-7).$$

وبقيت هذه المشاهدات بدون تفسير نظري إلى أن استطاع العالم الدانماركي **نيلز بور** أن يقدم نظريته في تفسير الأطياف الذرية وقد كانت هذه النظرية مزيجاً معدلاً من النظرية الكمية لبلانك ونظرية الفوتونان لإينشتاين، ونموذج رذرفورد للذرة، فقدم بور نموذجاً للذرة فسر فيه بنجاح أطياف ذرة الهيدروجين والذرات البسيطة المماثلة لها (أحادية التكافؤ) غير أن هذا النموذج لم يستطع تفسير أطياف الذرات والأيونات الأكثر تعقيداً وبتلخيص نموذج بور لذرة الهيدروجين في الافتراضات الآتية:

١. يدور الإلكترون حول النواة (**البروتون**) في مدارات دائرية بتأثير قوة الجذب الكهربائية (قانون كولوم)، فالإلكترون لا يتحرك إلا في مدارات محددة (ذات أنصاف أقطار محددة)، وتكون طاقة الإلكترون في أي من هذه المدارات ثابتة لا تتغير، وبقاء الإلكترون في مستوى معين يستوجب امتلاكه الزخم والطاقة المناسبين لهذا المستوى، حيث يمتلك الإلكترون أقل طاقة عند وجوده في المستويات القريبة من النواة وأصغرها تسلسلاً هي المستويات (١، ٢، ٣) .

٢. لا يُشع الإلكترون طاقة طالما بقي في مستوى طاقته (**في أحد المدارات**) ولكنه يُشع كمية محددة من الطاقة عندما ينتقل من مستوى طاقة عالٍ إلى مستوى طاقة أخفض، بينما يمتص كمية محددة من الطاقة إذا انتقل من مستوى طاقة منخفض إلى مستوى طاقة أعلى وكمية الطاقة التي يمتصها أو يُشعها الإلكترون تساوي الفرق بين طاقتي المستويين أي أن :

$$\Delta E = E_f - E_i \dots\dots\dots (7-10).$$

حيث ΔE : الطاقة التي يمتصها أو يُشعها الإلكترون عند انتقاله من مدار إلى آخر.

E_i : طاقة الإلكترون في المستوى الابتدائي، E_f : طاقة الإلكترون في المستوى النهائي .

٣. المدارات المسموح للإلكترون بالتحرك فيها هي تلك التي يكون فيها الزخم الزاوي للإلكترون مساوياً لعدد صحيح (ن) مضروباً في ثابت بلانك مقسوماً على (2π) أي أن:

$$\text{خ ز} = \frac{\text{ن هـ}}{2\pi} \dots\dots\dots (٧-١١)$$

حيث خ ز: الزخم الزاوي للإلكترون ؛ ن = ١، ٢، ٣.....
 وبما أن: خ ز = ك ع ن نق ن، حيث ك: كتلة الإلكترون ؛ ع ن: سرعة الإلكترون في المدار (ن) ؛ نق ن: نصف قطر المدار (ن) الذي يتحرك فيه الإلكترون فإن:

$$\text{ك ع ن نق ن} = \frac{\text{ن هـ}}{2\pi} \dots\dots\dots (٧-١٢)$$

وبالاعتماد على هذه الفرضيات يمكننا حساب مستويات الطاقة المسموح للإلكترون بالحركة فيها، وكذلك معرفة أطوال موجات الطيف الخطي لذرة الهيدروجين:

الطاقة الكلية للإلكترون في = طاقته الحركية + طاقة وضعه الكهربائية
 مستوى ما (المدار رقم ن)

$$\text{الطاقة الحركية} = \frac{١}{٢} \text{ك ع ن}^٢ - \frac{٢}{\text{أ س ن}} \text{نق ن}$$

طاقة وضعه الكهربائية فتساوي

حيث : س: شحنة الإلكترون ؛ أ : ثابتاً = 9×10^9 نيوتن.م^٢/كولوم^٢ ؛ نق ن: المسافة بين الإلكترون والنواة ؛ أي أن :

$$\text{ط ن} = \frac{١}{٢} \text{ك ع ن}^٢ - \frac{٢}{\text{أ س ن}} \text{نق ن} \dots\dots\dots (٧-١٣)$$

وبما أن قوة الجذب الكهربائية هي القوة المركزية (ك) (أي أن ع ن :
 $\frac{\text{ع ن}^٢}{\text{نق ن}} = \frac{\text{أ س ن}}{\text{نق ن}^٣} \dots\dots\dots (٧-١٤)$

$$\text{ك ع ن}^2 = \text{أ س}^2 \dots\dots\dots (١٥-٧)$$

$$\text{نق ن}^2$$

وبتعويض المعادلة (١٥-٧) في المعادلة (١٣-٧) نجد أن:

$$\text{ط ن} = - \dots\dots\dots \frac{\text{أ س}^2}{\text{نق ن}^2} \dots\dots\dots (١٦-٧)$$

وهما أن الطاقة الكلية للإلكترون سالبة وهذا يعني أنه يجب إعطاء الإلكترون طاقة تساوي (.....) ^{أس} لتحريره ^٢ نقن تماماً من الذرة بدون إعطائه أي طاقة حركية.

وبتعويض قيمة (ع ن^٢) من المعادلة (١٥-٧) في المعادلة (١٢-٧) نجد أن:

$$\text{نق ن}^2 = \dots\dots\dots \frac{\text{ن هـ}^2}{\pi \epsilon \text{ ك س أ}^2} \dots\dots\dots \text{ن} = ١, ٢, ٣, \dots\dots\dots (١٧-٧) \text{ حيث نقن:}$$

نصف قطر المدار رقم (ن).

ويسمى نصف قطر أقرب مدار للنواة (ن=١)، **نصف قطر** بور (نق ب) أي أن:

$$\text{نق ب} = \dots\dots\dots \frac{\text{ن هـ}^2}{\dots\dots\dots} = ٥,٢٩ \times ١٠^{-١١} \text{ م} \dots\dots\dots (١٨-٧)$$

ومن هذا نستنتج أن ك س

$$\text{نق ن} = ٥,٢٩ \times ١٠^{-١١} \text{ ن}^2 \text{ متراً.}$$

وبصورة عامة فإن: نقن = ن^٢ نق ب، أي أن نصف قطر المدار المسموح للإلكترون يساوي مربع رقم المدار .

ومن المعادلتين: (١٧-٧) و (١٦-٧) نجد أن :

$$\text{ط ن} = - \dots\dots\dots \frac{\text{أ س}^2}{\text{ن}^2} \dots\dots\dots \text{ن} = ١, ٢, ٣, \dots\dots\dots (١٩-٧)$$

وبالتعويض عن قيم ^٢ نقب، ^٢ س، نق ب، وقسمة الناتج على ١,٦ × ١٠^{-١٩} نحصل على الطاقة الكلية للإلكترون بوحدة الإلكترون فولت أي أن:

$$\text{ط ن} = \dots\dots\dots \frac{١٣,٦}{\text{ن}^2} \dots\dots\dots \text{إلكترون فولت، حيث أن ن} = ١, ٢, ٣, \dots\dots\dots (٢٠-٧)$$

ومن المعادلة (٧-٢٠) نتوصل إلى أن أدنى مستوى للطاقة يمكن أن يكون فيه الإلكترون هو عندما تكون $n=1$ ، وطاقة الإلكترون عندئذ (١٣,٦ -) إلكترون فولت وطاقة المستوى الثاني ($n=2$) تساوي (٣,٤ -) إلكترون فولت وهكذا .

وقد استطاع نموذج **بور الذري** حساب نصف قطر ذرة الهيدروجين بدقة إضافة إلى تحديده لمستويات الطاقة الممكنة للإلكترون فيها وتفسيره لسلاسل أطيف ذرة الهيدروجين وهذا إنجاز كبير عزز ثقة العلماء بهذا النموذج آنذاك.

$$\Delta E = E_f - E_i$$

$$\Delta E = E_f - E_i = \frac{-13,6}{n_f^2} - \frac{-13,6}{n_i^2}$$

$$\Delta E = 13,6 \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \quad (\text{بوحدة إلكترون فولت}) \dots\dots\dots (٧-٢١)$$

يكون التغير في الطاقة موجباً عندما يرتفع الإلكترون من مدار منخفض إلى مدار أعلى، أي أن الذرة تمتص طاقة، ويكون التغير في الطاقة سالباً عندما يهبط الإلكترون من مدار مرتفع إلى مدار منخفض أي أن الذرة تشع طاقة.

وفي كلا الحالتين يحسب تردد الإشعاع الذي تشعه الذرة أو تمتصه من العلاقة: $\Delta E = h \cdot \nu$ أي أن :

$$\begin{aligned} \nu &= \frac{\Delta E}{h} , \text{ وهما أن : } \nu = \frac{1}{\lambda} \cdot c \\ \frac{1}{\lambda} &= \frac{\Delta E}{h \cdot c} = \frac{13,6}{h \cdot c} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \end{aligned}$$

حيث أن المقدار $\frac{13,6}{h \cdot c} = 1,0973732 \times 10^{-7} \text{ م}^{-1}$ وهذه هي القيمة **التجريبية** لثابت ريدبرغ في المعادلات التي تعطي الأطوال الموجية لأطياف ذرة الهيدروجين، وبالتالي تكون صيغة المعادلة (٧-٢٢) بالشكل التالي :

$$(٢٣-٧) \dots\dots\dots \left| \frac{-\frac{1}{\lambda_i}}{R_i} \frac{1}{\lambda_i} \right| \frac{1}{\lambda}$$

ولقد تمكن العلماء من الحصول على معلومات متعددة وواسعة عن طبيعة المادة مثل التكوين والنجوم البعيدة وبنية الذرات والجزيئات عن طريق تحليل الضوء الصادر من الأجسام ودراسة أطيافها واستعمل لدراسة الأطياف جهاز يدعى **المطياف** ويتألف من مشور ثلاثي مثبت على قاعدة مدرجة ومسدد وتلسكوب واستخدمت أنواع **من المصادر الضوئية في دراسة الأطياف منها :**

- مصادر حرارية يكون إشعاعها بسبب التسخين أي ارتفاع درجة حرارتها مثل الشمس والمصابيح والأقواس الكهربائية واللهب .
- مصادر تعتمد في إشعاعها للضوء على التفريغ الكهربائي خلال غازات ومنها أنابيب التفريغ الكهربائي تحت ضغط منخفض وشرارة الجهد العالي .

أنواع الأطياف

أولاً : طيف الإنبعاث :

وهي أطياف المواد المتوهجة وتكون على ثلاثة أنواع :

أ- الطيف المستمر : وهو طيف يحتوي على مدى واسع من الأطوال الموجية المتصلة والمتدرجة ويعتمد توزيع الطاقة على الأطوال الموجية فيه على درجة حرارة مصدر الضوء ونحصل عليه من الأجسام الصلبة المتوهجة أو السوائل المتوهجة أو الغازات المتوهجة تحت ضغط كبير جداً .

ب- الطيف الخطي البراق : هو طيف يحتوي مجموعة من الخطوط الملونة البراقة على خلفية سوداء ويكون لكل خط منها طول موجي معين ونحصل عليه من الغازات والأبخرة ذرية التركيب المتوهجة تحت ضغط اعتيادي أو أقل منه .

ج- الطيف الحزمي البراق : وهو طيف يحتوي حزمة أو عدد من الحزم الملونة على أرضية سوداء وهو صفة مميزة للجزيئة، وتتكون كل حزمة من عدد كبير جداً من الخطوط المتقاربة .

الحصول على طيف خطي براق في المختبر

تجربة :

عند حرق كمية من كلوريد الصوديوم في لهب بنزين يتلون اللهب بلون أصفر ويكون لون اللهب وطيفه مميزين لعنصر الصوديوم ولا يتوقفان على نوع الملح المستعمل وعند النظر إلى اللهب من خلال جهاز المطياف يشاهد الطيف الخطي البراق للصوديوم ويتكون من خطين أصفرين يحتلان مكاناً في المنطقة الصفراء من الطيف المرئي يبلغ الطول الموجي لأحدهما $A (5896)$ والطول الموجي للآخر $A (5890)$ ويظهر خيطان أصفران (براق وباهت) إذا كانت القدرة التحليلية للمطياف عالية .

ويعتبر الطيف الخطي البراق صفة مميزة للذرات غير المتحدة مع غيرها .
وتختلف أطيايف الذرات المختلفة عن بعضها في الطيف الخطي البراق في لون الخطوط الباقة، وفي مواقع تلك الخطوط الباقة، ويتوقف عدد هذه الخطوط الباقة للذرات المختلفة على نوع المادة أما شدة بريقتها فيتوقف على كمية الطاقة المزدودة للذرات المثارة .

استعمالات الطيف الخطي البراق (فوائده العملية)

١- لمعرفة مكونات سبيكة ما بطريقة ضوئية :

تؤخذ عينة من السبيكة وتبخّر في قوس كاربوني تحت ضغط اعتيادي وتقاس الأطوال الموجية لخطوط الطيف الصادر عن تلك الذرات المثارة، وبذلك تعرف المكونات الذرية لتلك السبيكة بمقارنة طيفها بمصورات قياسية أعدت لهذا الغرض .

١- لمعرفة مدى اقتراب أو ابتعاد الأجرام السماوية وقياس سرعتها النسبية حسب ظاهرة دوبلر :

عند تصوير طيف الجسم المتوهج ومقارنته بمصدر قياسي فإذا كان الجسم يقترب من الأرض في الخطوط الباقة في طيفه الخطي والحاصلة عن تشتت الضوء بالمطياف فإنها ستظهر مَزَاحَة عن موقعها نحو الطيف البنفسجي أي قد حصل لها نقص في الطول الموجي، أما إذا كان الجسم المتوهج يبتعد عن الأرض فإن الخطوط

البراقة في طيفه المضيء ستظهر مزاحة عن مواقعها نحو الطيف الأحمر أي قد حصل زيادة في الطول الموجي، ومن معرفة مقدار هذه الإزاحة لهذه الخطوط يمكن حساب سرعة اقتراب الجسم المتوهج نحو الأرض أو ابتعاده عنها .

الحصول على طيف حزمي براق في المختبر

يمكن الحصول على طيف حزمي براق في المختبر من مواد متوهجة جزيئية التركيب كغاز ثاني أكسيد الكربون المتوهج في أنبوبة تفريغ أو أملاح الباريوم أو أملاح الكالسيوم المعبأة بقوس كاربوني متوهج .

ثانياً : طيف الامتصاص :

وهو طيف مستمر تتخلله خطوط أو حزم معتمة بسبب مرور الطيف بغازات أبخرة غير متوهجة .

الحصول على طيف امتصاص عملياً

يمكن الحصول على طيف امتصاص عند إمرار الضوء المنبعث من مصدر طيفه مستمر خلال مادة تمتص من الأطوال الموجية في طيف إنبعاتها :

- إذا أُمُرَّت الأشعة المنبعثة من مصباح تنكستن المتوهج خلال فتحة المطياف شوهد طيفه المستمر من خلال عدسة المطياف، وعند وضع زجاجة حمراء في طريق الضوء الداخل إلى المطياف يصبح الطيف طيف امتصاص حزمي لأن الزجاجة الحمراء تنفذ اللون الأحمر وتمتص بقية الألوان لذلك يظهر في الطيف شريط أسود يشمل الأطوال الموجية التي امتصتها الزجاجة من الطيف المستمر.
- عند إمرار الضوء الصادر عن مصباح كهربائي في خويط التنكستن المتوهج إلى درجة البياض (أي أن طيفه مستمر) في البخار غير المتوهج للصوديوم قبل سقوطه على المؤشور يشاهد على الشاشة طيف امتصاص خطي لأنه سيكون طيفاً مستمراً فيه خطان أسودان فقط عند الطولين الموجيين لطيف الإنبعاث الخطي البراق للصوديوم .

ويمكن الحصول على طيف امتصاص خطي من غازات تكون ذراتها غير متحدة مع غيرها وهي

متوهجة .

كما يمكن الحصول على طيف امتصاص حزمي من الغازات جزيئية التركيب مثل O_2 والنتروجين N_2 وثنائي أكسيد الكربون (CO_2) إذا كانت غير متوهجة وأمرر خلالها ضوء طيفه مستمر قبل سقوطها على الموشور .

ملاحظة : يعتبر الطيف الشمسي طيف امتصاص خطي .

خطوط فرانوفر

هي خطوط سوداء تظهر في الطيف الشمسي يقارب عددها ٦٠٠ خط .
وسبب تولدها هو أن في باطن الشمس غازات متوهجة بدرجة حرارة وضغط عاليين جداً فهي تعطي طيفاً مستمراً ولكن غازات الشمس الأقل توهجاً من غازات باطن الشمس وغازات جو الأرض غير المتوهجة تمتص من الطيف المستمر الأطوال الموجية التي تبعثها هذه الغازات فيما لو كانت متوهجة لذا يكون طيف الشمس طيف امتصاص خطي .

الأشعة السينية X-Ray :

هي موجات كهرومغناطيسية ذات طاقة عالية ترددها يفوق تردد الأشعة فوق البنفسجية وأطوالها الموجية قصيرة جداً يتراوح بين (١٠^{-٤} - ١٠^{-٨}م) اكتشفها العالم **رونتنكن** عام ١٨٩٥ بطريق الصدفة.
يتألف جهاز توليد الأشعة السينية من أنبوبة زجاجية مفرغة تفريغاً عالياً تحتوي قطبين أحدهما سالب (**كاثود**) وهو فتيل من عنصر فلزي تنبعث منه الإلكترونات عند تسخينه يدعى (المهبط) والآخر قطب موجب (**أنود**) وهو هدف فلزي تصطدم به الإلكترونات السريعة جداً وينتج عن ذلك انبعاث فوتونات ذات طاقة عالية هي الأشعة السينية ويكون سطح الهدف مائلاً بزاوية معينة على محور القطب السالب .
ويصنع الهدف في توليد الأشعة السينية من التنكستن والمولبدينيوم لأن درجة انصهاره عالية جداً وعددها الذري كبير (لزيادة كفاءة الأشعة السينية لأن شدة الأشعة السينية تتناسب طردياً مع العدد الذري لمادة الهدف) .

توليد الأشعة السينية:

يفسر انبعاث الأشعة السينية بالاعتماد على نموذج بور الذري على النحو التالي:

عندما تعجل الإلكترونات المنبعثة من الفتيل بتطبيق فرق جهد عال جداً بين قطبي الأنبوبة والذي قد يصل (٥٠ كيلو واط) أو أكثر :

١- الطيف الخطي للأشعة السينية :

إن بعض الإلكترونات المتسارعة تصطدم بالإلكترونات الموجودة في مستويات الطاقة الداخلية لذرات الهدف (وهذه الإلكترونات تمتلك طاقة ربط عالية بالنواة) فتحررها من الذرة جاعلة ذرة الهدف في حالة تهيج ، وتتخلص الذرة من حالة التهيج هذه عندما تتحرك الإلكترونات من مستويات الطاقة الخارجية (العليا) لذرات الهدف إلى المستويات الواطئة لتحل محل الإلكترونات المتحررة ونتيجة لهذا الهبوط تنبعث فوتونات (أشعة سينية) ذات طاقة محددة تساوي فرق الطاقة بين المستويين :

- مستوى الطاقة الذي تحركت منه الإلكترونات.

- مستوى الطاقة الذي انتقلت إليه.

والأشعة السينية المتولدة في هذه الحالة تكون ذات أطوال موجية محددة وتختلف باختلاف مادة الهدف لأن لكل عنصر مستوى من الطاقة خاصاً به وهذا ما يفسر ظهور طيف خطي (منفصل) للأشعة السينية.

٢- الطيف المستمر للأشعة السينية :

لا تصطدم بعض الإلكترونات المتسارعة بالإلكترونات الهدف ولكنها تتأثر بالمجال الكهربائي لذرات الهدف بمعدل كبير فتقل طاقتها الحركية بسبب تنافرها مع إلكترونات الهدف ونتيجة لسلسلة من التصادمات ستفقد الإلكترونات جميع طاقتها وتنبعث هذه الطاقة على شكل فوتونات ذات ترددات كبيرة تعتمد على فرق الجهد بين المهبط والهدف وهذا ما يفسر ظهور الطيف المستمر للأشعة السينية (ويطلق عليها أسم أشعة التوقف "الكبح")، وتناسب شدة الأشعة مع عدد الفوتونات المنبعثة عند طول موجي معين .

وتعتبر ظاهر توليد الأشعة السينية ظاهرة كهروضوئية عكسية لأن في ظاهرة إنتاج الأشعة السينية تنبعث فوتونات من مادة معينة عندما تصطدم بها إلكترونات سريعة بينما في الظاهرة الكهروضوئية تنبعث الإلكترونات من مادة معينة عند إضاءتها

بفوتونات ترددها مؤثر .

مثال :

برهن على أن أقصر موجة لأشعة سينية تنبعث من هدف فلزي يساوي :

$$\frac{\text{هـ سض}}{\text{ف ش}} = \text{حيث هـ} = \text{ثابت بلانك}$$

الحل :

$$\text{طح ع} = \text{ف} \times \text{ش} \times \text{هـ}$$

$$\text{طاقة فوتون أشعة سينية} = \text{هـ} \times \text{ت} \times \text{ش}$$

$$\text{ت} = \text{أعظم تردد} .$$

$$\text{إذن ف} \times \text{ش} \times \text{هـ} = \text{هـ} \times \text{ت} \times \text{ش}$$

$$\text{سض} = \lambda \times \text{ت} \times \text{ش} \quad \leftarrow$$

$$\text{إذن ف} \times \text{ش} \times \text{هـ} = \text{هـ} \times \text{ت} \times \text{ش} \times \frac{\text{سض}}{\lambda} = \text{أقصر} \lambda$$

تطبيقات

من خصائص الأشعة السينية بالإضافة إلى كونها موجات كهرومغناطيسية ذات تردد عالي فإنها تمتاز

بنفاذيتها العالية وتستخدم هذه الخاصية :-

- **في الطب :** تستخدم للكشف عن الكسور في العظام وعن وجود الحصى في المرارة والكلى والكشف عن

قروح المعدة والأمعاء .

- **في مجال الصناعة :** تستخدم لدراسة البناء البلوري للعناصر والكشف عن أي شقوق تحدث داخل

الفلزات مثل أجسام الطائرات والأنابيب الفلزية.

- **في المطارات :** تستخدم في الكشف عن محتويات حقائب المسافرين إن كانت تحتوي على أجسام فلزية

دون فتح الحقائب .

السلوك الدقائقي للأشعة الكهرومغناطيسية

لقد لاحظ العالم كومبتن أنه عند سقوط حزمة من الأشعة السينية (فوتونات) ذات طول موجي معلوم (λ) على هدف من الكرافيت النقي فإن الأشعة تستطار (تشتت) بزوايا مختلفة، فوجد أن الأشعة المستطارة ذات طول موجي (λ_1) أطول بقليل من الطول الموجي (λ) لحزمة الأشعة الساقطة وفي نفس الوقت تخرج بعض الإلكترونات من الجانب الآخر للهدف، ويزداد مقدار التغير في الطول الموجي للفوتون المستطار بزيادة زاوية الاستطارة .

تفسير ظاهرة كومبتن :

إن الفوتون الساقط يعطي قدرًا من طاقة إلى إلكترون حر من إلكترونات ذرة الهدف الذي يتصادم معه ويكتسب هذا الإلكترون بعد التصادم قدرًا من الطاقة بشكل طاقة حركية تمكنه من ترك سطح الهدف .
وكان كومبتن قد افترض حصول تصادم مرن بين الفوتون والإلكترون ويخضع هذا التصادم لقانوني حفظ الزخم وحفظ الطاقة .
وقد توصل كومبتن إلى أن :

$$\lambda - \lambda_1 = \frac{h}{m_e v} \quad (1 - \text{جتا } \theta)$$

حيث : λ_1 : طول موجة الفوتون المستطار .

λ = طول موجة الفوتون الساقط .

m_e : كتلة الإلكترون .

θ : زاوية الاستطارة .

$$\text{حيث} \quad \frac{h}{m_e v} = \text{مقدار ثابت} = 0.024 \text{ نانوميتر}$$

لقد عجزت النظرية الكهرومغناطيسية عن تفسير ظاهرة الانبعاث الكهروضوئي وظاهرة كومبتن لأنها أهملت التردد واعتمدت شدة الضوء والزمن كما أنها تجاهلت السلوك الدقائقي للإشعاع (الفوتون) .

نظرية الكم الحديثة :

لقد استطاع نموذج **بور الذري** تفسير أطيف ذرة الهيدروجين وأطيف ذرات قريبة منها مثل الهليوم (He) والأيونات أحادية التكافؤ مثل الليثيوم (Li^+) ولكنه لم يستطع تفسير أطيف الذرات عديدة الإلكترونات، ولا تفسير اختلاف الشدة النسبية لخطوط طيف ذرة الهيدروجين وغيره من الأطيف .

لقد افترض **إينشتاين** في تفسيره للظاهرة الكهروضوئية بأن الضوء هو سيل من الفوتونات ذات الطاقة المحددة وأن طاقة الفوتون الواحد تساوي حاصل ضرب تردده في ثابت بلانك، أي أن للإشعاع طبيعة جسيمية فهل يعني ذلك أن النموذج الجسيمي أنسب للإشعاع من النموذج الموجي؟ حيث أن النموذج الجسيمي للضوء كان قد فشل في تفسير ظاهرتي التداخل والحيود بينما نجح النموذج الموجي في تفسيرهما .

وللتوفيق بين النموذجين اقترح العلماء نموذجاً للإشعاع أفترض فيه أن للإشعاع ثنائي الصفات (**طبيعة مزدوجة**) أي طبيعة موجية وأخرى جسيمية أي أن الإشعاع حسب هذا النموذج يسلك سلوك الموجات في بعض الحالات مثل سقوط الأشعة الضوئية على سطح شفاف، ويسلك سلوك الجسيمات في حالات أخرى، مثل تفاعل الأشعة الضوئية مع المادة، ولكن هل للجسيمات المادية طبيعة موجية كما أن للموجات طبيعة جسيمية ؟

لقد تمكن العالم دي **برولي** عام ١٩٢٤ من تفسير طيف الذرات حسب علم الميكانيكا الموجي بافتراضه أن للجسيمات المتحركة خصائص موجية تعتمد على زخمها .

كان فرض دي **برولي** هذا نتيجة دراسة نظرية بحتة، ثم أثبتت التجارب العملية بعد سنين صحة هذا الافتراض، ولوحظ بأن للإلكترونات خصائص موجية إذ أنها تعاني حيوداً عند سقوط حزمة منها على بلورة من مادة صلبة، وينص فرض دي برولي على أنه : "في كل نظام ميكانيكي لابد من وجود موجات تصاحب حركة الجسيمات المادية".

ويطلق على الموجات التي ترافق الجسيمات في حركتها اسم: **موجات دي برولي**، وقد توصل دي برولي إلى حساب الطول الموجي لهذه الموجات (λ) بدلالة زخمها (χ) وهي على النحو الآتي:

$$\lambda = \frac{h}{\chi}$$

.....معادلة دي برولي..... (٧-٢٤).

حيث λ : طول الموجة المرافقة لحركة الجسيم (موجة دي برولي) .

هـ: ثابت بلانك $6,625 \times 10^{-34}$ جول.ث.

ك: كتلة الجسيم المتحرك .

ع: سرعة الجسيم وتكون أقل من سرعة الضوء .

وتربط هذه المعادلة بين صفات الجسيمات المادية (**الزخم**) و**صفات الموجات (الطول الموجي)** وتعتمد العلاقة بينهما على ثابت بلانك (هـ) .

مبدأ اللاتحديد :

من المستحيل قياس موضع جسيم وسرعته في آن معاً بدقة متناهية وذلك حسب نظرية الكم، وأول من ذكر هذا المبدأ العالم الألماني فيرنر هايزنبرغ في عام ١٩٢٧ فعرف هذا المبدأ باسم مبدأ هايزنبرغ أو اللاتحديد وينص على ما يأتي :

"إذا تم قياس موضع جسيم بخطأ يساوي (Δ ف)، وفي الوقت نفسه تم قياس زخمه بخطأ يساوي (Δ خ) فإن حاصل ضرب (Δ ف) في (Δ خ) لا يمكن أن يقل عن عدد من رتبة ؛ أي أن:

$$\Delta \text{ ف } \Delta \text{ خ} \geq \frac{h}{4\pi}$$

..... (٧-٢٥)

حيث Δ ف : الخطأ (**أو اللاتحديد**) في قياس موضع الجسيم ؛ Δ خ : الخطأ (**أو اللاتحديد**) في قياس زخم الجسيم ؛ هـ : ثابت بلانك.

فإذا كان الخطأ في قياس الموضع (Δ ف) صغيراً، أي أن الدقة في قياس

الموضع كانت عالية فإن الخطأ في قياس الزخم (Δx) سيكون كبيراً، والعكس صحيح.

وقد أوضح هايزنبرغ بأن اللاتحديد في كل من الموضع والزخم لا يعود إلى دقة أجهزة القياس وإنما يعود إلى الطبيعة الكمية للمادة نفسها .

إن زخم الفوتون يساوي ($\frac{h}{\lambda}$)، ونتيجة للتصادم فإن الفوتون ينقل كلاً أو

جزءاً من زخمه إلى الإلكترون، وعليه فإن اللاتحديد في زخم الإلكترون بعد التصادم يمكن أن يكون مساوياً لزخم الفوتون الساقط أي أن :

$$\Delta x = \frac{h}{\lambda}$$

وبما أن الضوء موجات فيمكننا تحديد موضع الإلكترون ضمن مسافة تساوي طول موجة الضوء

المستخدم لرؤيته، أي أن اللاتحديد في قياس موضع الإلكترون:

$$\Delta \lambda = \lambda$$

$$\Delta \lambda = \lambda \times \frac{h}{h\lambda} = \frac{h}{\lambda}$$

وتمثل هذه المعادلة الحد الأدنى من اللاتحديد، إذ، $\Delta \lambda \times \Delta x$ يجب أن يكون

$$\frac{h}{\pi^2} \text{ أكبر أو يساوي}$$

ويمكننا مبدأ اللاتحديد من فهم أفضل للطبيعة الثنائية للضوء والمادة إذ أن التفسير الذي يقدمه

النموذج الموجي مختلف تماماً عن التفسير الذي يقدمه النموذج الجسيمي لظاهرة ما، فإذا أريد تصميم تجربة

للكشف عن الخصائص الجسيمية للإلكترون (مثل الظاهرة الكهروضوئية)، فإن خصائصه الموجية في هذه الحالة

تكاثر تكون معدومة، ويحدث العكس إذا ما أريد تصميم تجربة للكشف عن الخصائص الموجية للإلكترون (مثل

تجربة حيود الإلكترونات في البلورات) فإن خصائصه الجسيمية تكون أقل ظهوراً (أو تكاد تكون معدومة) .

وهناك صيغة أخرى ينطبق عليها مبدأ اللاتحديد هي في قياس طاقة جسيم في الفترة الزمنية المتاحة

لهذا القياس أي أن :

$$\Delta \text{ ط } \Delta \leq \frac{\hbar}{\pi^2} \dots\dots\dots (٧-٢٦)$$

حيث ط : الخطأ (أو اللاتحديد) في طاقة الجسيم.

Δ ز : الخطأ (أو اللاتحديد) في زمن القياس .

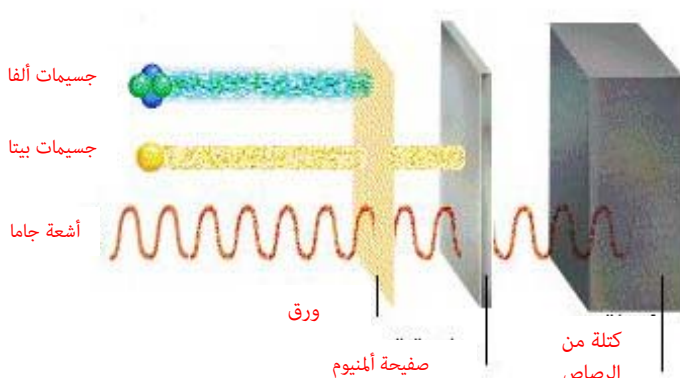
الفصل العشرون الفيزياء النووية

الفصل العشرون

الفيزياء النووية

بنية النواة وحجمها

لقد ظهرت بدايات الفيزياء النووية في عام ١٨٩٦ عندما اكتشف العالم الفرنسي **هنري بكريل** ظاهرة النشاط الإشعاعي، ثم توالى الدراسات للتعرف على ماهية النواة، وكان من أبرز هذه الدراسات ما قام به العالم رذرفورد عندما بين أن الإشعاعات المنبعثة تتكون من ثلاثة أنواع أطلق عليها اسم : **ألفا، بيتا، غاما**، وقد تم تصنيفها في ضوء شحنة وكتلة مكونات كل منها .



لقد كانت النظرية السائدة لدى العلماء حول الذرة حتى عام ١٩٣٢ هي نظرية البروتون - الإلكترون، حيث تفترض أن الذرة تتألف من عدد من البروتونات يساوي العدد الكتلي للنواة، ومن عدد من الإلكترونات يساوي الفرق بين العدد الكتلي والعدد الذري، مثلاً تتكون نواة الصوديوم $^{23}_{11}\text{Na}$ (حيث: **يشير الرقم السفلي (١١) إلى العدد الذري، ويشير الرقم العلوي (٢٣) إلى العدد الكتلي للعنصر**) من ٢٣ بروتوناً حسب هذه النظرية، وعلى عدد من الإلكترونات يساوي $23 - 11 = 12$.

وقد تمكن هذا النموذج من تفسير ظاهرة انبعاث **جسيمات ألفا وجسيمات بيتا**

من داخل النواة ولكنه في ضوء ميكانيكا الكم لا يمكن أن يوجد الإلكترون داخل النواة

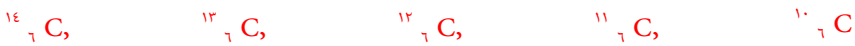
فكان لابد من البحث عن نموذج آخر .

وفي عام ١٩٣٢ اكتشف العالم **جيمس شادويك** النيوترون عندما توصل إلى أن قذف البريليوم بجسيمات ألفا، يؤدي إلى انبعاث إشعاع عالي النفاذية، وقد افترض أول الأمر أن هذا الإشعاع هو نوع من إشعاعات غاما ذات الطاقة العالية، وعندما وضع شمع البرافين (أو الماء) في طريق هذا الإشعاع، وجد إن بروتونات سريعة تنطلق من البرافين، وفي ضوء قانوني حفظ الطاقة وحفظ الزخم، وجد أن هذا الإشعاع لابد أن يتألف من جسيمات مادية لا من موجات كهرومغناطيسية كما كان يعتقد وأطلق شادويك على هذه الجسيمات اسم النيوترونات، وافترض أن تفاعل البريليوم مع جسيمات ألفا يتم حسب المعادلة التالية :



فوضع نموذجاً جديداً للنواة هو نموذج البروتون - النيوترون، وفي ضوء هذا النموذج فإن النواة تتكون من بروتونات ونيوترونات ويطلق على عدد البروتونات في نواة ذرة ما اسم **العدد الذري** لتلك الذرة ويسمى مجموع عدد البروتونات والنيوترونات **العدد الكتلي** للذرة وأطلق على البروتونات والنيوترونات في النواة اسم : النيوكليونات، ذلك أن البروتون والنيوترون متماثلان في صفاتهما إلى حد بعيد ما عدا أن النيوترون متعادل الشحنة، والبروتون موجب الشحنة .

وقد نجح هذا النموذج في تفسير العديد من الظواهر المتعلقة بنوى العناصر مثل : النشاط الإشعاعي، والتفاعلات النووية، ووجود نظائر العناصر (**النظائر هي ذرات للعنصر نفسه، تتفق في عددها الذري وتختلف في عددها الكتلي**) وتشابه النظائر في الخصائص الكيميائية، وتختلف في درجة شيوعها في الطبيعة، فعلى سبيل المثال، للكربون خمس نظائر هي :



إن نسبة شيوع الكربون (C^{12}_6) في الطبيعة تبلغ ٩٨,٩% في حين تبلغ للكربون (C^{13}_6) ١,١% وبعض النظائر لا يوجد في الطبيعة بل ينتج في المختبر فقط .

وتقاس كتل الجسيمات النووية بوحدة تسمى **وحدة كتلة ذرية** (و. ك. ذ) وهي تساوي ١٢/١ من كتلة ذرة نظير الكربون C^{12}_6 ($= 1.660559 \times 10^{-27}$ كغم) وعليه فإن كتلة ذرة نظير الكربون C^{13}_6 = ١٢ و. ك. ذ.

إن وحدة كتلة ذرية واحدة حسب معادلة أينشتاين في تكافؤ الكتلة والطاقة (ط = ك س^٢) تكافئ طاقة مقدارها :

$$ط = 1.66 \times 10^{-27} \times (3 \times 10^8)^2$$

$$= 14.94 \times 10^{-11} \text{ جول} \approx 931 \text{ مليون إلكترون فولت.}$$

وغالباً ما يعبر علماء الفيزياء النووية عن (و. ك. ذ) بما يكافئها من الطاقة بدلالة وحدة مليون إلكترون فولت .

وأول من أشار إلى حجم النواة هو **رذرفورد** في تجربته التي قام فيها بقذف صفائح فلزية رقيقة بجسيمات ألفا، فاستنتج منها أن معظم حجم الذرة فراغ، وأن كتلة الذرة مركزة في جزء صغير كروي الشكل هو النواة، والتي لا يتجاوز نصف قطرها (10^{-14} م)، ولقد أثبت التجارب اللاحقة أن النواة كروية الشكل تقريباً ويعطى نصف قطرها بالعلاقة :

$$نق = نق. ع^{2/3} \dots\dots\dots (٨-١)$$

حيث نق : نصف قطر النواة .

$$نق.: ثابتاً يساوي ١,٢ \times 10^{-15} \text{ م.}$$

ع : العدد الكتلي.

وحسب **قانون الحجم** فإن حجم الكرة يتناسب طردياً مع مكعب نصف قطرها، أي أن حجم النواة يتناسب طردياً مع العدد الكتلي (**عدد النيوكليونات**) ومن ذلك نستنتج أن كثافة النواة ثابتة لجميع نوى العناصر .

طاقة الربط النووية

تتكون النواة من بروتونات موجبة الشحنة، ونيوترونات متعادلة فما الذي يربط بين هذه المكونات حتى تبقى متماسكة ؟ إذ لا يمكن أن تكون قوى كهربائية لأن البروتونات موجبة الشحنة وعليه فإنها تتنافر مع بعضها البعض بفعل القوى الكهربائية.

ولنقارن بين كتلة نواة ما، كوحدة واحدة وبين مجموع كتل مكونات هذه النواة فمثلاً : تتضمن نواة نظير الهيدروجين الديتريوم (^2H) بروتوناً واحداً ونيوتروناً واحداً، ويسمى الهيدروجين الثقيل، وقد دلت التجارب العملية على أن كتلة نواة الديتريوم $2,014123$ و . ك . ذ، أما مجموع كتلتي البروتون الحر والنيوترون الحر المكونين لنواة الديتريوم فيساوي :

$1,007276 + 1,008665 = 2,015941$ و . ك . ذ أي أن مجموع كتلتي البروتون والنيوترون المكونان لنواة الديتريوم أكبر من كتلة نواة الديتريوم نفسها، ونجد أن مجموع كتل مكونات النواة من البروتونات والنيوترونات أكبر من كتلة النواة المكونة منها بفارق (ك) حيث:

$$\Delta K = K_{\text{ن}} + K_{\text{ن}} - K_{\text{نواة}} \dots\dots\dots (2-8)$$

حيث : $K_{\text{نواة}}$: كتلة النواة.

$K_{\text{ن}}$: كتلة البروتون .

$N_{\text{ن}}$: عدد البروتونات .

$K_{\text{ن}}$: كتلة النيوترون .

$N_{\text{ن}}$: عدد النيوترونات .

إن طاقة مكونات النواة (وهي متباعدة عن بعضها) تكون أكبر من طاقتها وهي مرتبطة معاً لتشكيل النواة وذلك وحسب معادلة أينشتاين في تكافؤ الكتلة والطاقة، ويدعى الفرق بين هاتين الطاقتين **طاقة الربط النووية**، وعليه فإن :

$$\text{طاقة الربط النووية} = \Delta K \text{ س}^2$$

$$\Delta = 931 \times \text{مليون إلكترون فولت/وحدة كتلة ذرية}.$$

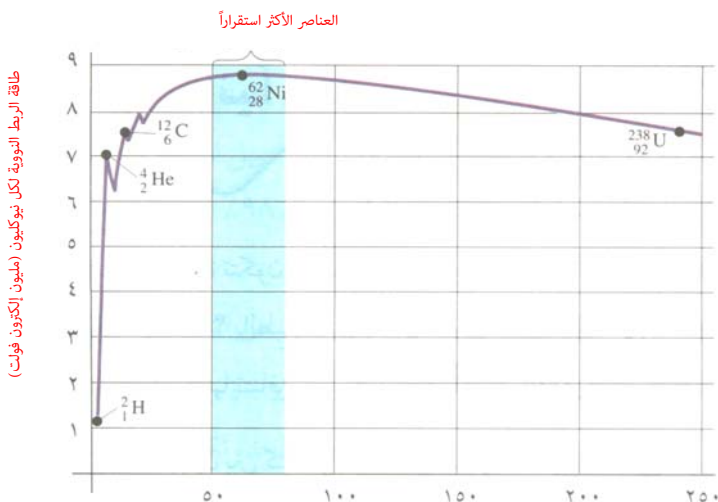
وقد أطلق على القوة التي تربط بين النيوكليونات في النواة أسم **القوة النووية**، وتمتاز هذه القوة بكبر مقدارها ومدaha القصير جداً إذ أن تأثيرها بين نيوكليونين لا يبدأ إلا إذا كانت المسافة بينهما من رتبة 10^{-10} م، كما تمتاز بأنها لا تعتمد على ماهية النيوكليونين المتجاذبين، سواء أكانا بروتونين أم نيوترونين أم بروتوناً ونيوترونًا.

وإذا مثلنا العلاقة الرياضية بين العدد الكتلي ومعدل طاقة الربط النووية لكل

(طاقة الربط)

نيوكليون فإننا نحصل على المنحنى المبين في الشكل

عدد النيوكليونات



ونلاحظ أن لهذا المنحنى نهاية عظمى قرب العدد الكتلي (٦٠) وهذا يعني أن النواة التي لها عدد كتلي أكثر أو أقل كثيراً عن (٦٠) يكون أقل ترابطاً، أما النواة التي لها عدد كتلي قريب من الرقم (٦٠) فهي العناصر الأكثر استقراراً من غيرها، وتعتبر هذه النتيجة مهمة في الانشطار والاندماج النوويين .

النشاط الإشعاعي الطبيعي :

لقد اكتشف العالم بكريل ظاهرة النشاط الإشعاعي الطبيعي عام ١٨٩٦ وأعلن عنها بعد إعلان رونتغن عن اكتشافه للأشعة السينية، وكان بكريل يجري التجارب على أملاح اليورانيوم ذات الخاصية الفلورية (المواد التي تشع بعد تعرضها للضوء، إذ

تمتص الضوء الساقط عليها ثم تعيد إشعاعه فكان يعرض هذه الأملاح لضوء الشمس ثم يضعها بالقرب من لوح فوتوغرافي ملفوف بورق أسود ليرى أثرها فيه، فوجد أن أملاح اليورانيوم تؤثر في اللوح الفوتوغرافي سواء أعرضت هذه الأملاح للضوء أم لم تعرّض، وقد أطلق على هذه الظاهرة اسم النشاط الإشعاعي الطبيعي ووجد بعد ذلك أن هناك عناصر أخرى غير عنصر اليورانيوم يبدي مثل هذا النشاط الإشعاعي الطبيعي مثل عنصري الراديوم والبولونيوم .

وقد أثبتت العديد من التجارب التي أجريت على النشاط الإشعاعي أن هذا الإشعاع يصدر من نوى العناصر المشعة أي إن الإشعاع الطبيعي هو نتاج عملية اضمحلال لنوى عناصر غير مستقرة. وقد دلت التجارب أيضاً على أن النواة يمكن أن تضمحل مصدرة إشعاعات بإحدى طرق ثلاث وهي :

- اضمحلال ألفا (α) : أثبتت التجارب أن الإشعاع في هذه الحالة يتكون من نوى الهليوم (${}^4_2\text{He}$) .

- اضمحلال بيتا (β) : وفي هذه العملية تشع النواة إما إلكترونات (β^-) أو بوزيترونات (β^+) .

البوزيترون: هو جسيم مشابه للإلكترون في جميع خصائصه إلا أنه موجب الشحنة.

- اضمحلال غاما (γ) : يتكون الإشعاع في هذه العملية من موجات كهرومغناطيسية عالية التردد أو من فوتونات ذات طاقة عالية جداً .

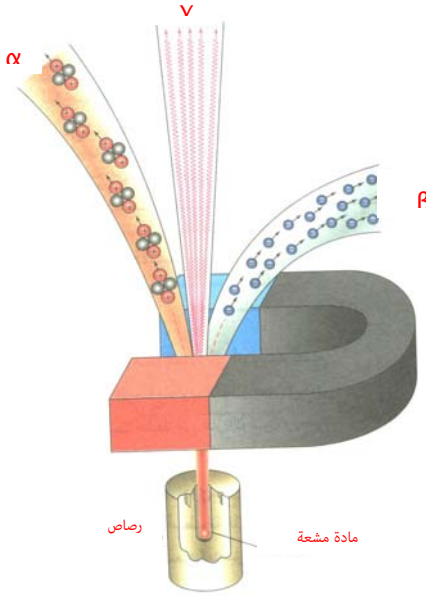
ومن الممكن التمييز بين هذه الأنواع الثلاثة كما هو مبين في الشكل حيث تمرر هذه الأشعة في مجال مغناطيسي فتتجزأ الأشعة إلى ثلاثة أجزاء : ينحرف اثنان منها باتجاهين متعاكسين، ولا ينحرف الثالث، ويمكن الاستنتاج أن الأشعة التي لا تنحرف هي أشعة غير مشحونة (**أشعة غاما**) أما الأشعة التي تنحرف إلى اليسار فهي أشعة موجبة الشحنة (**ألفا**) والأشعة التي تنحرف إلى اليمين هي أشعة سالبة الشحنة (**بيتا**)، كما يدل نصف قطر مدار الانحراف الصغير لدقائق بيتا، مقارنة بنصف قطر

مدار الانحراف الكبير لدقائق ألفا على أن ألفا (α) تتكون من جسيمات أكبر كتلة من

بيتا .

وتتميز هذه الإشعاعات بالخصائص التالية :

- لها القدرة على تأيين جزيئات الوسط
- المارة فيه .
- لها قوة نفاذ .



وتتفاوت الإشعاعات الثلاثة

بالخصائص السابقة، فقد دلت

التجارب العملية على أن

جسيمات ألفا هي أكبر هذه

الإشعاعات قدرة على تأيين

جزيئات الوسط الذي تمر فيه،

ويرجع سبب ذلك إلى كبر كتلتها

وكبر شحنتها مقارنة مع جسيمات بيتا، وهذا ما يجعل احتمال تصادمها مع جزيئات الوسط عالياً.

وتفقد جسيمات ألفا طاقتها بسرعة بسبب قدرتها العالية على التأيين لذلك تكون قدرتها على النفاذ

منخفضة إذ أن مداها لا يزيد على بضعة سنتيمترات في الهواء، كما أن صفيحة رقيقة من الألمنيوم لا يتجاوز سمكها ٠,٠٠١ سم تتمكن من إيقافها .

أما جسيمات بيتا فإن كتلتها صغيرة جداً بالمقارنة مع جسيمات ألفا وبالتالي تكون سرعتها أكبر من

سرعة جسيمات ألفا التي تساويها في الطاقة لذلك فإن احتمال تصادم جسيمات بيتا بجزيئات الوسط الذي تمر

فيه يكون أقل كما أن قدرتها على التأيين تكون أقل، أما قدرتها على النفاذ فهي أكبر من جسيمات ألفا .

أما أشعة غاما، فهي أكثر هذه الإشعاعات قدرة على النفاذ وأقلها قدرة على التأيين .

إن الإشعاعات ذات الطاقة العالية تضر بالأنسجة الحية لأنها تعمل على تدمير هذه الخلايا وتختلف

درجة خطورتها باختلاف نوع الإشعاع وطاقته وشدته ومدة

تعرض الأنسجة الحية له، وأكثر أنواعها خطراً : أشعة غاما، بسبب قدرتها العالية على النفاذ، فقد تؤدي إلى الإصابة بأمراض مختلفة للإنسان إذا تعرض لها لهذا يجب الابتعاد عن مصادر إشعاع غاما وعدم التعرض لها، ويستفاد من قدرتها على قتل الخلايا الحية في القضاء على الخلايا السرطانية في الجسم .

باعثات ألفا :

ينتج الإشعاع من اضمحلال نوى العناصر المشعة وتسمى النوى التي تنبعث منها جسيمات ألفا اسم باعثات ألفا، فماذا يحدث لنوى العناصر التي تشع جسيمات ألفا؟
يتكون جسيم ألفا من بروتونين ونيوترونين والنواة التي تشع جسيم ألفا لابد أن ينقص عدد البروتونات فيها (العدد الذري) بمقدار ٢ وينقص عددها الكتلي بمقدار ٤، فمثلاً :

عندما تشع نواة اليورانيوم $^{238}_{92}\text{U}$ جسيم (α) فإنها تتحول إلى نواة عنصر آخر عدده الذري ٩٢

- ٢ = ٩٠، وعدده الكتلي ٢٣٨-٤ = ٢٣٤، ويعبر عن اضمحلال نواة اليورانيوم بمعادلة نووية بالشكل الآتي:



وكذلك اضمحلال نواة الراديوم:



وتتراوح طاقة الحركة لجسيمات ألفا المنبعثة من العناصر المشعة بين ١ مليون

إلكترون فولت و ١٥ مليون إلكترون فولت .

باعثات بيتا :

عندما تشع نواة عنصر ما جسيم بيتا، يزداد عددها الذري بمقدار ١ بينما لا يتأثر عددها الكتلي

والسبب في ذلك هو أن انبعاث جسيم بيتا ناجم عن تحلل النيوترون داخل النواة إلى بروتون موجب الشحنة

وإلكترون سالب الشحنة وفقاً للمعادلة النووية

الآتية :



وعند انبعاث بوزيترون من النواة فإن ذلك ينتج من تحلل بروتون داخل النواة إلى نيوترون وبوزيترون (إلكترون موجب) بالشكل الآتي:



وقد وجد عند دراسة الطاقة لنوى العناصر من باعثات بيتا قبل التحلل وبعده، بالإضافة إلى عوامل أخرى، أنه لابد أن يصاحب تحلل البروتون إلى نيوترون وبوزيترون داخل النواة إنتاج جسيم آخر يكون متعادل كهربائياً وكتلته صغيرة جداً أصغر من كتلة الإلكترون (ويمكن اعتبارها صفراً) وقد أطلق عليها اسم نيوترينو (ν)، وبالتالي فإن المعادلة السابقة تعدل بالشكل الآتي:



أما تحلل النيوترون داخل النواة فيكون على النحو الآتي:



وقد تم اكتشاف ضديد النيوترينو مختبرياً من قبل رينز وكوان عام ١٩٥٦، وذلك عند تفاعل ضديد النيوترينو مع البروتون وفق المعادلة الآتية:



نستنتج مما سبق أن تحلل النيوترون يصاحبه ضديد النيوترينو أما تحلل البروتون فيصاحبه انبعاث

النيوترينو، ومن الأمثلة على اضمحلال بيتا تحلل ${}^{14}_6\text{C}$ ، ${}^{14}_7\text{N}$ حسب المعادلتان النوويتان التاليتان :





ملاحظة :

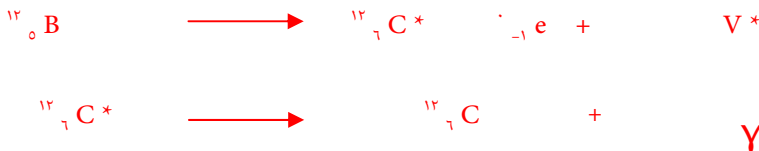
- أن طاقة جسيم بيتا لا تقل عن ١ مليون إلكترون فولت .
- لا تشع نواة عنصر ما جسيم ألفا وجسيم بيتا في آن معاً على الإطلاق .

باعثات غاما :

أن أشعة غاما هي عبارة عن موجات كهرومغناطيسية عالية التردد أو فوتونات ذات طاقة عالية جداً ليس لها كتلة لها أو شحنة وبالتالي فإن انبعاثها من نواة العنصر المشع، لا يحدث أي تغيير في العدد الكتلي أو العدد الذري لذلك العنصر، وتنبعث أشعة غاما من نواة العنصر عندما تكون في حالة عدم استقرار (أي أن طاقتها تكون زائدة عما هي عليه في حالة الاستقرار) فتتخلص هذه النواة من الطاقة الزائدة على شكل انبعاث لإشعاعات غاما، ويكون انبعاثها مصاحباً لانبعاث جسيمات ألفا أو جسيمات بيتا، فعندما تبعث نواة عنصر ما جسيم بيتا مثلاً فقد يسبب ذلك تهيج للنواة بسبب زيادة الطاقة، فتتخلص من الطاقة الزائدة بإطلاق أشعة غاما، فمثلاً يمكن لنواة عنصر البورون أن تبعث جسيم بيتا بإحدى طريقتين :

الطريقة الأولى: أن تبعث جسيم بيتا بطاقة تساوي ١٣,٤ مليون إلكترون فولت، وتكون نواة العنصر الجديد (وهو الكربون) في حالة استقرار .

والطريقة الثانية: أن تبعث جسيم بيتا بطاقة ٩ مليون إلكترون فولت، وتكون نواة كربون متهيجة (في مستوى طاقة عالٍ) ثم تطلق نواة الكربون أشعة غاما بطاقة ٤,٤ مليون إلكترون فولت فتنتقل بذلك إلى حالة الاستقرار أي أن :



سلاسل التحلل (الاضمحلال) الإشعاعي الطبيعي :

عندما يتحلل (يضمحل) العنصر المشع فإنه يتحول إلى عنصر آخر وإذا كان هذا العنصر الأخير مشعاً فإنه يتحلل (يضمحل) أيضاً مكوناً عنصراً آخر وهكذا إلى أن يصل إلى عنصر غير مشع (مستقر) وتسمى مجموعة العناصر المشعة التي يضمحل أحدها ليعطي العنصر الآخر بحيث تنتهي المجموعة بعنصر غير مشع سلسلة الاضمحلال الإشعاعي .

وسلاسل الاضمحلال الإشعاعي الطبيعي المشهورة ثلاث سلاسل هي :

- سلسلة اليورانيوم .
- سلسلة الثوريوم .
- سلسلة الأكتينيوم .

وتبدأ السلسلة بعنصر طويل عمر النصف، ثم تنتهي بأحد نظائر الرصاص غير المشع .
فعلى سبيل المثال تبدأ سلسلة اليورانيوم بنظير اليورانيوم ($^{238}_{92}\text{U}$) الذي يبلغ عمر النصف له ٤,٤٧ × ١٠^٩ سنة فيمر بسلسلة من التحولات التي يحدث فيها انبعاث لجسيمات ألفا وبيتا وأشعة غاما، وكذلك تبدأ سلسلة الثوريوم بنظير الثوريوم ($^{232}_{90}\text{Th}$) الذي يبلغ عمر النصف له ١,٤ × ١٠^{١٠} سنة، أما سلسلة الأكتينيوم فإنها تبدأ بنظير اليورانيوم ($^{230}_{92}\text{U}$) الذي يبلغ عمر النصف له ٧,٠٤ × ١٠^٥ سنة.

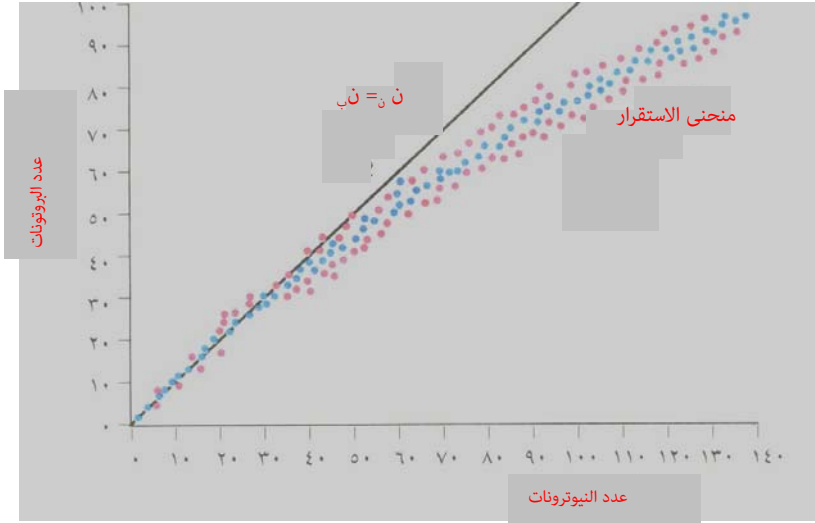
النشاط الإشعاعي الصناعي :

تعتمد الخصائص الكيميائية للعناصر على العدد الذري لها وخاصة على عدد الإلكترونات في مستويات الطاقة الخارجية، بينما تعتمد الخصائص النووية للعناصر على عدد البروتونات وعدد النيوترونات فيها، فمثلاً تتمتع نظائر الكربون بخصائص كيميائية واحدة ولكنها تختلف من حيث الخصائص النووية .

إن نظيري الكربون $^{12}_6\text{C}$ ، $^{13}_6\text{C}$ مستقران بينما نظائر الكربون $^{11}_6\text{C}$ ،

$^{14}_6\text{C}$ ، $^{15}_6\text{C}$ مشعة، فلو فحصنا مكونات النوى المعروفة لوجدنا أن هناك علاقة بين نسبة عدد البروتونات إلى عدد النيوترونات داخل النواة وبين استقرار النواة أو

عدمه، ويبين الشكل التالي العلاقة بين عدد النيوترونات وعدد البروتونات لنوى مختلفة (يسمى منحنى الاستقرار).
منحنى الاستقرار



وتمثل كل نقطة على هذا المنحنى نواة لعنصر ما أو لنظير هذا العنصر وتمثل النقاط الزرقاء النوى المستقرة، ويلاحظ من الشكل أن النوى المستقرة (بالنسبة للنوى الخفيفة) تتجمع على طول مسار الخط الذي يتساوى فيه عدد البروتونات وعدد النيوترونات بينما يميل هذا الخط قليلاً (في حالة النوى الثقيلة) إلى أن يصبح ميله أقل من واحد، أي أن النوى المستقرة في النوى الثقيلة يكون فيها عدد النيوترونات أكبر من عدد البروتونات .

أي أن استقرار النواة أو عدم استقرارها يعتمدان على النسبة بين عدد النيوترونات وعدد البروتونات فيها .

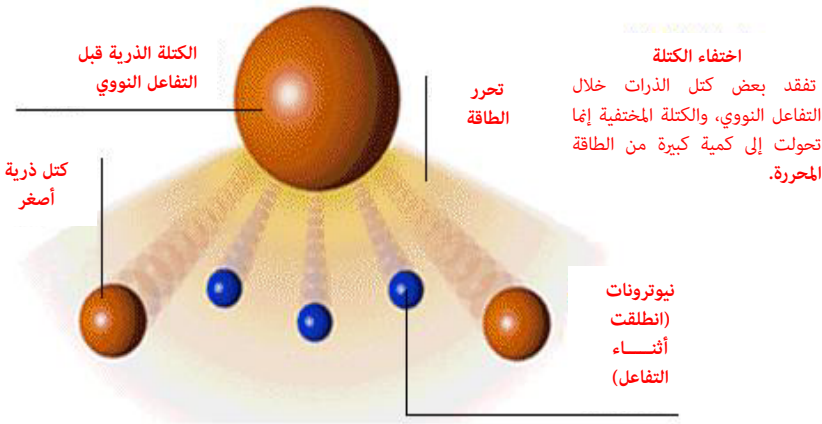
ومما سبق نستنتج أنه لتحويل نواة مستقرة إلى نواة غير مستقرة لابد من إحداث تغيير في نسبة عدد نيوترونها إلى عدد بروتونها .

وتسمى عملية إحداث التغيير في مكونات نواة ما **بالتفاعل النووي**، وعند إحداث تفاعل نووي بين نواتين يجب تقريبهما من بعضهما إلى مسافة يبدأ عندها تأثير القوى النووية ويتم ذلك بتسريع إحداهما لإكسابها طاقة حركية كافية تمكنه من الاقتراب

من النواة الأخرى والتغلب على قوى التنافر الكهرسكونية وتسمى مثل هذه النواة القاذفة أو الجسيم القاذف ويستخدم لتسريعها أجهزة خاصة تعرف باسم **المسارعات النووية** .

وعندما تقذف نواة عنصر مستقرة بجسيم ما (**بروتون أو نيوترون أو جسيم ألفا**) يتغير عدد النيوكليونات في النواة المقذوفة فتتحول بذلك إلى نواة عنصر آخر، وإذا كانت النواة الجديدة غير مستقرة فإنها ستشع ويسمى النشاط الإشعاعي في هذه الحالة **النشاط الإشعاعي الصناعي** .

وتفقد بعض كتل الذرات خلال التفاعل النووي، وتكون الكتلة المخفية قد تحولت إلى كمية كبيرة من الطاقة المحررة .



لقد استطاع العالم رذرفورد في عام ١٩١٩ تحويل عنصر إلى آخر عندما أجرى أول تفاعل نووي صناعي حيث قذف نوى النتروجين ${}^{14}_7\text{N}$ بجسيمات ألفا فنتج من هذا التفاعل النووي نوى أوكسجين ${}^{17}_8\text{O}$ وبروتونات وتوضح المعادلة الآتية هذا التفاعل النووي :



وتصطدم جسيمات ألفا التي تنبعث من المصدر المشع بنوى النتروجين وتستقر داخلها مكونة نواة جديدة هي نواة عنصر الفلور (${}^{19}_9\text{F}$) غير المستقرة وذات الطاقة العالية ولكي تعود إلى حالة الاستقرار فإنها تشع بسرعة بروتونات فتتحول النواة إلى

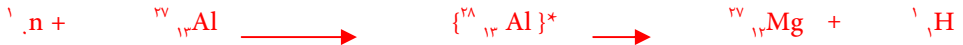
عنصر آخر هو الأوكسجين .

وتتم هذه العملية في فترة زمنية قصيرة تقرب من 10^{-9} ثا، وتوضح المعادلتان الآتيتان خطوات هذا

التفاعل :



وهذه بعض الأمثلة على التفاعلات النووية الصناعية :



إن جميع التفاعلات النووية تخضع لمبادئ حفظ الكميات، وهي :

- مبدأ حفظ الشحنة : يقتضي أن يكون المجموع الجبري لشحنات النوى الداخلة في التفاعل يساوي المجموع الجبري لشحنات النوى الناتجة من التفاعل .
- مبدأ حفظ العدد الكتلي : مجموع الأعداد الكتلية للنوى المتفاعلة يساوي مجموع الأعداد الكتلية للنوى الناتجة من التفاعل .
- مبدأ حفظ الزخم : مجموع الأعداد الذرية للنوى المتفاعلة يساوي مجموع الأعداد الذرية للنوى الناتجة من التفاعل .
- مبدأ حفظ (الطاقة - الكتلة) : فيما يتعلق بموازنة الطاقة في التفاعلات النووية نأخذ في الاعتبار الطاقة الحركية للنوى المتفاعلة والناتجة بالإضافة إلى كتل النوى المتفاعلة والناتجة، فمثلاً في تفاعل رذرفورد المذكور سابقاً كانت الطاقة الحركية لجسيمات ألفا 0.0083 و . ك . ذ، فيمكن حساب الطاقة الناتجة من التفاعل النووي بتطبيق مبدأ حفظ (الطاقة - الكتلة) على التفاعل مع توحيد الوحدات المستخدمة (استخدام و . ك. ذ) ففي تفاعل رذرفورد :



يكون مجموع (الطاقة - الكتلة) للمواد الداخلة في التفاعل مساوياً لمجموع (الطاقة - الكتلة)

للمواد الناتجة من التفاعل :

أي أن :

$$\text{طاقة}({}^4_2\text{He}) + \text{كتلة}({}^{14}_7\text{N}) = \text{كتلة}({}^{17}_8\text{O}) + \text{كتلة}({}^1_1\text{H}) + \text{ط ح}$$

$$4,0039 + 14,0045 = 17,0075 + 1,0083 + \text{ط ح}$$

$$\text{ط ح} = 0,0071 \text{ و.ك.ذ.، وهي الطاقة الحركية للمواد الناتجة .}$$

وهذه الطاقة تكافئ ٦,٦ مليون إلكترون فولت تتوزع بين نواة الأوكسجين والبروتون وتكون حصة

البروتون من الطاقة أكبر ما يمكن .

وهذا النوع من التفاعلات التي تكون فيه الطاقة الحركية للنوى الناتجة أقل من الطاقة الحركية للنوى

المتفاعلة تسمى: تفاعلات ماصة للطاقة (إندوثيرميك)، وتسمى التفاعلات النووية التي تكون فيها الطاقة الحركية

لنوى الناتجة أكبر من الطاقة الحركية للنوى المتفاعلة : تفاعلات منتجة للطاقة (إكسوثيرميك) .

والتفاعل النووي الآتي هو مثال على التفاعلات النووية المنتجة للطاقة :



في هذا التفاعل تقذف نوى البريليوم بجسيمات ألفا، طاقتها الحركية ٥,٣ مليون إلكترون فولت(وهذه تكافئ

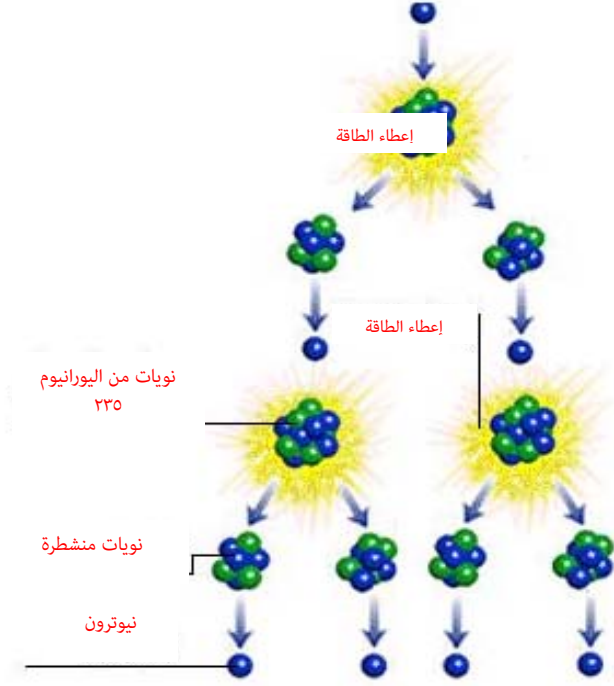
٥٧,٠٠٥٧ و.ك.ذ.) فينتج نوى كربون ونيوترونات وكمية من الطاقة.

وبتطبيق مبدأ حفظ (الطاقة - الكتلة) على هذا التفاعل نجد أن :

$$\text{طاقة}({}^4_2\text{He}) + \text{كتلة}({}^9_4\text{Be}) = \text{كتلة}({}^{12}_6\text{C}) + \text{كتلة}({}^1_0\text{n}) + \text{ط ح}$$

$$4,0039 + 9,0039 = 12,0150 + 1,0089 + \text{ط ح}$$

$$\text{إذن ط ح} = 0,0118 \text{ و.ك.ذ.، وهذه تكافئ ١١ مليون إلكترون فولت.}$$



النظائر المشعة :

النظائر : وهي ذرات عنصر واحد تختلف عن بعضها البعض في العدد الكتلي (في عدد النيوترونات

فقط) .

لقد أمكن إنتاج نظائر مشعة بتحويل نواة مستقرة إلى نواة غير مستقرة (مشعة) باستخدام المفاعلات النووية .

وتستخدم النظائر المشعة بشكل واسع في ميادين في الطب والزراعة والبحوث العلمية والصناعة، فيستخدم نظير الكوبالت المشع مثلاً في علاج مرض السرطان، كما يستخدم نظير اليود المشع في تشخيص أمراض الغدة الدرقية، ويستخدم نظير الفوسفور المشع في علاج سرطان الدم وكذلك في الزراعة .

وتستخدم النظائر المشعة أيضاً في تحديد الكيفية التي تمتص بها النباتات الأسمدة وتحديد الفترة المناسبة لتزويد النباتات بها، وذلك عن طريق مزج السماد بنظائر مشعة للعنصر المراد الكشف عنه، ثم الكشف عنه في النبات لبيان تركيزه

وفترة امتصاصه، بالإضافة إلى استخدامها في تسريع عملية إنتاج الثمار وتحسين نوعيته .
أن الاستخدامات النافعة للإشعاعات تتم باستخدام النظائر المشعة بنسب قليلة وحسب الحاجة،
لأن هذه الإشعاعات تسبب أضراراً كثيرة للإنسان .

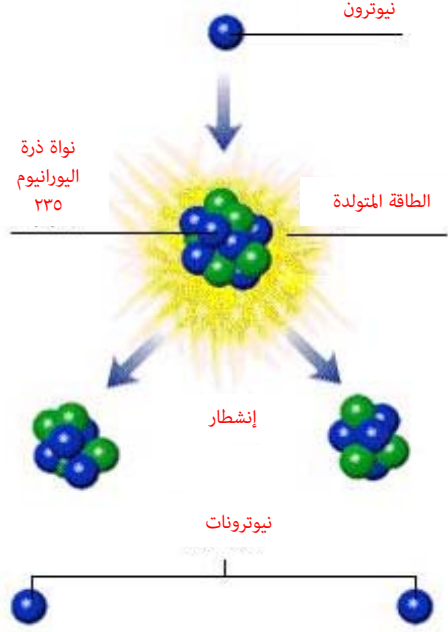
الانشطار النووي :

يعتمد إنتاج الطاقة أو امتصاصها في أي تفاعل نووي على طاقة الربط النووية بين نيوكلونات النوى المتفاعلة معاً، وبين نيوكلونات النوى الناتجة، وتزداد هذه الطاقة بازدياد العدد الكلي للنيوكلونات إلى أن تصل إلى حددها الأعلى في المدى الواقع بين العدد الكتلي ٤٠ والعدد الكتلي ٨٠ ثم تتناقص بعد ذلك، وهذا يعني أن دمج نوى متوسطة لتكوين نوى ثقيلة أو تفكيكها لتكوين نوى خفيفة لا يولد طاقة بل يحتاج إلى طاقة هائلة، أما دمج نواتين خفيفتين لتكوين نواة متوسطة، أو شطر نواة ثقيلة لتكوين نواتين متوسطتين فيؤدي إلى توليد طاقة لأن طاقة الربط النووية في كلا الحالتين ستزداد إثر التفاعل، ونتوقع مما سبق إمكانية الحصول على الطاقة النووية بإحدى طريقتين هما :

- الانشطار النووي .

- الاندماج النووي .

الانشطار النووي : هو تفاعل نووي يحدث فيه انقسام نواة ثقيلة إلى نواتين متوسطتين متقاربتين في الكتلة، إضافة إلى طاقة عالية جداً، فلكي تنشطر نواة ثقيلة لابد من قذفها بنواة خفيفة نسبياً (أو جسيم نووي) وهذا يؤدي إلى حدوث عدم استقرار للنواة فتتخلص من طاقتها الزائدة عن طريق الانشطار .



وأول من أجرى مثل هذا النوع من التفاعلات العالم الإيطالي **أنريكو فيرمي**، تبعه العالم الألماني **أوتوهان** بتكرار تجارب فيرمي، وتوصل إلى أن قذف نواة اليورانيوم ($^{235}_{92}\text{U}$) بالنيوترونات البطيئة يسبب انقسامها إلى نواتين هما نواة الكربتون ($^{92}_{36}\text{Kr}$) ونواة الباريوم ($^{141}_{56}\text{Ba}$).

ويوجد اليورانيوم في الطبيعة على هيئة نظائر ثلاثة هي :

$^{238}_{92}\text{U}$: ويوجد بنسبة ٩٩,٢٨% من مجموع اليورانيوم في الطبيعة.

$^{235}_{92}\text{U}$: ويوجد بنسبة ٠,٧١٤% من مجموع اليورانيوم في الطبيعة.

$^{234}_{92}\text{U}$: ويوجد بنسبة ٠,٠٠٦% من مجموع اليورانيوم في الطبيعة.

ولهذه النظائر نفس الخصائص الكيميائية إلا أنها تختلف في الخصائص النووية فقد ثبت أن ($^{235}_{92}\text{U}$)

هو النظير القابل للانشطار عندما يقذف بالنيوترونات البطيئة .

ويوضح هذا التفاعل بالمعادلة النووية الآتية:



وتكون الطاقة المنطلقة من هذا التفاعل هائلة جداً، وتحسب الطاقة الناتجة من انشطار نواة (^{235}U)

(^{235}U) واحدة بفعل نيوترون بطيء (بإهمال طاقة حركة النيوترون) بالخطوات التالية :

مقدار الطاقة في الطرف الأيسر من هذا التفاعل تساوي :

$$235,0439 + 1,0087 = 236,0526 \text{ و.ك. ذ.}$$

مقدار الطاقة في الطرف الأيمن من التفاعل يساوي :

$$140,9139 + 91,8973 + 3,0261 = 235,8373 \text{ و.ك. ذ.}$$

الفرق بين مجموع (طاقة - كتلة) النوى المتفاعلة، ومجموع (طاقة - كتلة) النوى الناتجة = $236,0526 - 235,8373 = 0,2153$ و.ك. ذ. وهذه تكافئ 201 مليون إلكترون فولت، وهذه الطاقة تظهر على شكل طاقة حرارية وطاقة حركية لشظايا الانشطار، وهي طاقة هائلة مقارنة بالطاقة الناتجة من احتراق الوقود العادي، وعلى سبيل المقارنة فإن انشطار 1 غم من (^{235}U) يولد طاقة حرارية تعادل ما ينتج من احتراق ألفي طن من الفحم .

التفاعل المتسلسل :

يصاحب انشطار نواة اليورانيوم ^{235}U إنتاج مجموعة من النيوترونات (ثلاثة في المتوسط) بالإضافة إلى نواتج الباريوم والكريبتون، وبإمكان أي من هذه النيوترونات الثلاثة أن يحدث انشطاراً لنواة (^{235}U) جديدة (إذا كانت سرعته مناسبة)، وكل انشطار من هذه الانشطارات ينتج نيوترونات جديدة يمكنها أن تحدث بدورها انشطاراً في نوى أخرى وهكذا، ويطلق على هذا التفاعل اسم **التفاعل المتسلسل**.

ويتولد عن هذا التفاعل طاقة حرارية هائلة تتزايد باستمرار التفاعل، إذا أمكن الاستفادة من أكبر عدد ممكن من النيوترونات الناتجة وهذا هو مبدأ عمل القنبلة النووية (الانشطارية) وإذا تم التحكم بعدد النيوترونات الداخلة في التفاعلات النووية فإنه يمكن بذلك التحكم في سرعة التفاعل النووي والسيطرة عليه وهذا هو مبدأ عمل **المفاعلات النووية** .

ولكي يحدث التفاعل المتسلسل لابد أن يكون حجم اليورانيوم (الوقود النووي)

مساوياً لحجم معين يعرف بـ **الحجم الحرج**، فإذا قل عن هذا الحجم فسيؤدي إلى تسرب النيوترونات إلى الخارج (**بفعل سرعتها العالية**) إذ أن حجم اليورانيوم عندئذ لا يكفي لتهديتها لتقوم بدورها في انشطار نوى جديدة ونتيجة لذلك يصبح عدد النيوترونات الموجودة غير كاف لاستمرار التفاعل .

وفي القنبلة النووية (**الانشطارية**) لا يتم التحكم في النيوترونات المنطلقة فيتم التفاعل المتسلسل بسرعة كبيرة وينتج طاقة هائلة مولدة انفجاراً عنيفاً جداً.

الاندماج النووي :

الاندماج النووي : هو تفاعل نووي يتم فيه اندماج نواتين خفيفتين لتكوين نواة كتلتها أقل من مجموع كتلتيهما، وفي تفاعل الاندماج النووي يمكن الحصول على طاقة أكبر من تلك الحاصلة في حالة الانشطار النووي فعند اندماج نواتي ديتريوم معاً ينتج نواة هليوم ونيوترون .

ويكون مجموع (**الكتلة - الطاقة**) للمواد الناتجة من التفاعل في هذه الحالة أقل بمقدار ٣,٢٧ مليون إلكترون فولت عن مجموع (**الكتلة - الطاقة**) للمواد الداخلة في التفاعل أي أن طاقة مقدارها ٣,٢٧ مليون إلكترون فولت تنتج من اندماج نواتي الديتريوم كما يبين التفاعل النووي الآتي :

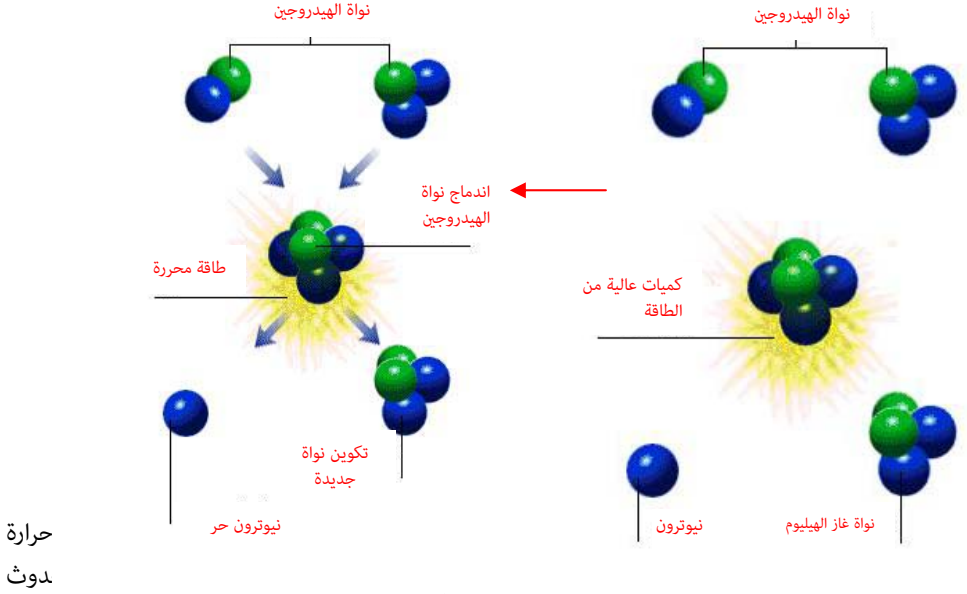


والديتريوم موجود في الطبيعة ويمكن الحصول عليه بكميات وافرة إلا أن الحال ليس كذلك فعند اقتراب النواتين من بعضهما البعض يزداد المجال الكهركسكوني بشكل كبير جداً وتحول قوى التنافر الكهربائية دون الاندماج ما لم تمتلك كل من النواتين طاقة حركية لا تقل عن ٠,١ مليون إلكترون فولت وهذا يتطلب رفع درجة الحرارة للمواد الداخلة إلى 10×10^6 كلفن فكيف توفر درجة الحرارة تلك ؟ .

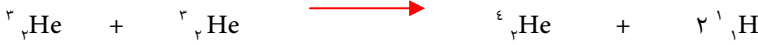
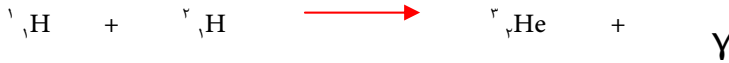
لقد توصل العلماء إلى أن تفجير قنبلة نووية (**انشطارية**) يوفر مثل هذه الدرجة ويمكن لتفاعل الاندماج النووي من الحدوث، وهذا ما تم عمله في القنبلة الهيدروجينية حيث تتكون من غلاف قوي جداً يضم في داخله قنبلة نووية انشطارية، ووعاء فيه

كميات من الهيدروجين الثقيل .

ولتفجير القنبلة الهيدروجينية يتم أولاً تفجير القنبلة النووية الانشطارية فترتفع درجة حرارة الديتريوم ارتفاعاً هائلاً مما يمكن نواه من الاندماج وتوليد طاقة حرارية هائلة.



التفاعلات الآتية داخل الشمس:



وتسمى التفاعلات الثلاث السابقة : دورة البروتون - بروتون، وتتم في الشمس بخطوات بطيئة ينتج

عنها ما مجموعه ٢٤,٧ مليون إلكترون فولت.

المفاعلات النووية :

يقوم مبدأ عمل المفاعل النووي على التحكم في التفاعل المتسلسل حيث أن عملية الانشطار ينتج منها عدد من النيوترونات السريعة ولكي تعمل هذه النيوترونات على شطر نوى أخرى لابد من زيادة تركيزها في قلب المفاعل لذلك تستخدم فيه مواد عاكسة للنيوترونات .

وكذلك لابد من تبطئة سرعتها بعملية تدعى التهدئة، وتتم هذه العملية عن طريق اعتراضها بنوى خفيفة مثل نوى الماء الثقيل أو بطمر قطع اليورانيوم في الكرافيت (الكاربون) .

ويوضع في قلب المفاعل قضبان ضبط من مادة الكادميوم لها قدرة كبيرة على امتصاص النيوترونات كوسيلة لتجنب حدوث تفاعل ينطلق بسرعة كبيرة، فعند إدخال هذه القضبان كاملة في المفاعل فإنها تعمل على توقف عمليات التفاعل المتسلسل، وعندما تسحب شيئاً فشيئاً تزداد سرعة التفاعل المتسلسل وبهذه الطريقة يمكن التحكم في سرعة التفاعل .

وتعتمد الطاقة الحرارية الناتجة في التفاعل المتسلسل على عدد الانشطارات التي تحدث لذلك فإن التحكم في عددها هو تحكم في الطاقة الناتجة. إن العمليات التي تتم في المفاعل النووي هي :

١. عمليات انشطار نووي .
 ٢. عملية تهدئة النيوترونات الناتجة من الانشطار (في المفاعلات التي تستخدم النيوترونات البطيئة)
 ٣. عملية تركيز النيوترونات في قلب المفاعل النووي .
 ٤. عملية التحكم في التفاعل المتسلسل وفي قدرة المفاعل النووي .
 ٥. عملية نقل الحرارة الناتجة من عمليات الانشطار النووي والاستفادة منها .
- ويجب أن تتم جميع العمليات السابقة في حيز مغلق وآمن، حفاظاً على نظافة البيئة وعلى سلامة العاملين في المفاعلات النووية، لذلك تحاط المفاعل بمواد حماية كافية تعرف بـ **درع المفاعلة**

وتستخدم المفاعلات النووية في مجالات عديدة منها :

- إنتاج النظائر المشعة .
- إنتاج الطاقة الكهربائية .
- تحلية مياه البحر .

المصادر والمراجع

* المصادر الأجنبية:

١. Davis, Mackenzie and Cornwell David, Environmental Engineering, ٣nd Ed. Mc Graw- Hill, Inc ١٩٩١.
٢. Dewitt, p.David & Incoperea, P.Frank, Heat and Mass Transfer, John wiley & Sons. ٣nd Ed. NewYork ١٩٨٥.
٣. Duncan, Tom, GCSE Physics, ٣rd ed, ١٩٩٥, John Murry Ltd.
٤. Hutchings, Rebert. Thomas Nelson and Sons Ltd, ١٩٩٢.
٥. Keller, Fredert. Physics, ٣nd ed, ١٩٩٣, Mcgraw Hill incorporation.
٦. Young, R.A, Freedman, University Physics ٩th . Ed. Addison-wesley Publishing Company, ١ns, NewYork ١٩٩٦.

* المصادر العربية:

- ١- ف.بوش، أساسيات الفيزياء ، ترجمة د.سعيد الجزيري و د.محمد أمين سليمان، الطبعة الخامسة ١٩٩٠، الدار الدولية للنشر والتوزيع / القاهرة.
- ٢- كينيث و.فورد، الفيزياء الكلاسيكية والحديثة مجمع اللغة العربية الأردني، عمان ١٩٨١، المجلد الأول ترجمة همام غصيب وعيسى شاهين.

- ٣- كينيث و.فورد، الفيزياء الكلاسيكية والحديثة مجمع اللغة العربية الأردني، عمان ١٩٨١، المجلد الثاني ترجمة عمر الشيخ ومحمود الكوفحي وعبد الجواد.
- ٤- أبو الهيجاء، مجمع اللغة العربية الأردني، عمان ١٩٨٧
- ٥- أبو الهيجاء، مجمع اللغة العربية الأردني، عمان ١٩٨٧، المجلد الثالث ترجمة عمر الشيخ وعيسى شاهين.
- ٦- هشام غصيب ، ظاهرقي القوة النووية وطاقة الانشطار النووي ، الجمعية العلمية الملكية ، عمان ١٩٨٣.
- ٧- د. ليث صبري ، الميكانيكا الموجية، كلية بغداد، بغداد ٢٠٠٢ .
- ٨- د. سمير عزيز، الفيزياء العامة، بغداد، دار المتنبى الطبعة الثالثة ٢٠٠٠.
- ٩- أحمد عبد السلام، ميكانيكا الكم، جامعة الموصل، دار السلام، الطبعة الأولى ٢٠٠١.
- ١٠- د. ليث صبري النظرية الحديثة وتطورها، كلية بغداد، بغداد، الطبعة الثانية ١٩٩٩.
- ١١- د. محمود عويضة وآخرون ، الفيزياء للصف التاسع، عمان، وزارة التربية والتعليم - الأردن ٢٠٠٢م
- ١٢- د. محمود عويضة وآخرون ، الفيزياء للصف العاشر، عمان، وزارة التربية والتعليم - الأردن ٢٠٠٣م.
- ١٣- محمد محمود وصوص وآخرون، الفيزياء للصف الأول الثانوي العلمي، عمان، وزارة التربية والتعليم، الأردن ١٩٩٩.
- ١٤- د. محمود عويضة وآخرون، الصف الثاني الثانوي العلمي، عمان، وزارة التربية والتعليم - الأردن ٢٠٠٢.

فهرس

٣	المقدمة.....
٥	الفصل الأول : المادة.....
٩	تركيب الذرة
٩	الخواص العامة للمادة
١٠	الخواص الجزيئية للمادة
١١	تغير حالات المادة
١٤	أنواع الانصهار
١٨	قوة التماسك وقوة التلاصق
٢٠	التوتر السطحي
٢٢	الخاصية الشعرية
٢٤	الخاصية الشعرية ونوع السائل
٢٦	أسئلة
٢٩	الأجوبة
٣١	الفصل الثاني : الكثافة
٣٥	مسائل
٣٧	الفصل الثالث : الضغط
٣٨	مفهوم الضغط
٤١	ضغط السوائل
٤٢	خصائص ضغط السوائل الساكنة
٤٥	انتقال الضغط في السائل الساكن
٤٩	ضغط الغاز
٤٩	صفات الغاز
٥٠	النظرية الحركية للغازات
٥١	ضغط الغاز المحصور
٥٢	المضغوط المعدني
٥٣	الضغط الجوي
٥٤	للواء ضغط من جميع الاتجاهات
٥٤	قياس الضغط الجوي
٥٩	قانون بويل
٦١	أسئلة وأجوبة.....

٦٣	مسائل وأجوبة.....
٦٧	الفصل الرابع : الضغط وقاعدة أرخميدس في اتزان جسم صلب في المائع
٦٩	قاعدة أرخميدس.....
٧٧	الكثافة النسبية باستخدام قاعدة أرخميدس
٧٩	حركة الموائع.....
٨٠	معادلة برنولي لجريان الموائع.....
٨١	مقياس جريان السوائل (مقياس فنتوري).....
٨٣	الفصل الخامس : الكهرباء الساكنة
٨٤	التكهرب
٨٨	المواد الموصلة والمواد العازلة للكهرباء.....
٨٩	الكشاف الكهربائي.....
٩١	البرق
٩٤	أسئلة
٩٧	الأجوبة
١٠١	الفصل السادس : المغناطيسية
١٠٣	خصائص المغناطيس
١٠٣	طرق التمغنط.....
١٠٦	المجال المغناطيسي
١٠٧	المواد التي يؤثر من خلالها المجال المغناطيسي
١٠٧	المغناطيسية الأرضية
١١١	أسئلة
١١٣	الأجوبة
١١٥	الفصل السابع : الحرارة والاتزان الحراري
١١٧	التأثيرات الحرارية
١٢٥	أسئلة
١٢٦	الأجوبة
١٢٧	مسائل وأجوبة.....
١٣١	الفصل الثامن : تمدد السوائل
١٣٩	أسئلة
١٤١	الأجوبة
١٤٢	مسائل وأجوبة.....
١٤٥	الفصل التاسع : تمدد الغازات
١٤٦	قانون شارل
١٤٩	علاقة الكثافة بدرجة الحرارة

٢٠٩	 الفصل الثالث عشر: انكسار الضوء
٢١٠	 خصائص الكثافة الضوئية
٢١٢	 قانون سنل
٢١٤	 العمق الحقيقي والعمق الظاهري
٢١٦	 الزاوية الحرجة والانعكاس الكلي
٢٢١	 الموشور (المنشور).....
٢٢٣	 انكسار الضوء في الجو.....
٢٢٦	 أسئلة
٢٢٧	 الأجوبة
٢٢٩	 مسائل وأجوبة.....
٢٣١	 الفصل الرابع عشر : الألوان.....
٢٣٣	 الألوان الأساسية.....
٢٣٤	 العين البشرية وحساسيتها للون.....
٢٣٦	 العلاقة بين الألوان الأساسية والصبغات الأساسية.....
٢٣٦	 ظواهر طبيعية في الضوء.....
٢٣٨	 أسئلة
٢٣٩	 الأجوبة
٢٤١	 الفصل الخامس عشر: العدسات
٢٤٢	 العدسة اللامعة (المحدبة).....
٢٤٣	 العدسة المفرفة (المقعرة).....
٢٤٨	 تكون الصور في العدسة المفرفة (المقعرة).....
٢٤٨	 صفات الأخيلة المتكونة لجسم في العدسات.....
٢٥٤	 العدسات المتباعدة.....
٢٥٤	 البعد البؤري لنظام مكون من عدستين رقيقتين.....
٢٥٦	 عيوب الأخيلة المتكونة في العدسات.....
٢٥٧	 الزاوية البصرية وقوة التكبير.....
٢٥٨	 المجهر البسيط.....
٢٦٠	 المجهر المركب.....
٢٦٦	 أسئلة
٢٦٨	 الأجوبة
٢٧٣	 الفصل السادس عشر : الليزر.....
٢٧٤	 صفات الليزر.....
٢٧٦	 أسس عمل الليزر.....
٢٧٧	 مميزات الانبعاث المحفز.....

٢٧٨	طرق الضخ
٢٧٩	منظومات الضخ
٢٨٠	الشروط الأساسية لتوليد أشعة الليزر
٢٨١	أنواع أشعة الليزر
٢٨٤	كيف يتولد الليزر في شبه الموصل
٢٨٧	الفصل السابع عشر : التذبذبات والموجات
٢٨٩	تعيين مدة الذبذبة للبندول
٢٩٢	أنواع الحركة الموجية
٢٩٣	انتقال موجات الطاقة
٢٩٣	أنواع الموجات
٢٩٥	خصائص الموجات
٢٩٨	أنواع التراكب الموجي
٣٠٠	الموجات المستقرة (الواقفة)
٣٠١	مميزات الموجة المستقرة (الواقفة)
٣٠٢	طول الموجة
٣٠٥	تداخل موجات الضوء
٣١٠	التداخل في الأغشية الرقيقة
٣١١	حيود (حيد) الموجات
٣١٣	الموجات المستقطبة
٣١٤	معرفة درجة استقطاب الضوء بواسطة الألواح المستقطبة
٣١٨	موشور نيكول
٣١٩	الاستطارة في الضوء
٣٢١	أسئلة
٣٢٣	الأجوبة
٣٢٧	الفصل الثامن عشر : الصوت
٣٢٨	خصائص الموجات الصوتية
٣٣٠	العلاقة بين شدة الصوت ودرجته
٣٣١	النغمة الأساسية والنغمات التوافقية
٣٣٥	سرعة الموجات الصوتية
٣٣٨	انعكاس الموجات الصوتية
٣٤٠	انكسار الموجات الصوتية
٣٤١	تداخل الموجات الصوتية
٣٤٤	حيود الموجات الصوتية
٣٤٨	الرنين في الصوت

٣٤٨	الرنين في الأعمدة الهوائية
٣٥٢	تذبذب الأوتار
٣٥٣	الآلات الموسيقية
٣٥٥	موجة الرجة وجدار الصوت
٣٥٦	خصائص الموجات فوق الصوتية
٣٥٨	إنتاج الصوت واستقباله
٣٦١	مسائل وأجوبة
٣٦٩	الفصل التاسع عشر : الفيزياء الحديثة
٣٧٥	إشعاع الجسم الأسود
٣٨٠	الظاهرة الكهروضوئية
٣٨٤	نموذج بور للذرة
٣٩٠	أنواع الأطياف
٣٩١	الحصول على طيف خطي براق في المختبر
٣٩١	استعمالات الطيف الخطي البراق (فوائده العملية)
٣٩٣	خطوط فرانhofer
٣٩٣	الأشعة السينية X-Ray
٣٦٩	السلوك الدقاتي للأشعة الكهرومغناطيسية
٤٠١	الفصل العشرون : الفيزياء النووية
٤٠٥	طاقة الربط النووية
٤٠٦	النشاط الإشعاعي الطبيعي
٤١١	باعثات غاما
٤١٢	سلاسل التحلل (الاضمحلال) الإشعاعي الطبيعي
٤١٢	النشاط الإشعاعي الصناعي
٤١٧	النظائر المشعة
٤١٨	الانشطار النووي
٤٢٠	التفاعل المتسلسل
٤٢١	الاندماج النووي
٤٢٣	المفاعلات النووية
٤٢٥	المصادر والمراجع
٤٢٧	الفهرس