(المقدمة)

أهمية علم الفيزياء:

تعرف العلوم الطبيعية على انها جميع العلوم التي تدرس الطبيعة وما فيها من ظواهر كعلم الفيزياء، الكيمياء وعلم الحياة. ان الارض وما عليها من جماد واحياء وما فيها من هواء وماء وكل ما صنعته يد الانسان، الى جانب ما في الكون الفسيح من شموس واقمار وكواكب يطلق عليها بالاجسام الفيزيائية. وهذه الاجسام هي اجزاء محدودة من المادة التي تتكون في الاساس من جزيئات مكونة من ذرتين او اكثر متحدة مع بعظها بنسب وزنية معينة.

ان التغيرات والظواهر التي تطرأ على المادة بحيث تبقى الجزيئات او الذرات على حالها دون تغيير تعرف بالتغيرات الطبيعية او الظواهر الفيزيائية. حيث يعنى علم الفيزياء بدراسة جميع هذه الظواهر كالظواهر الميكانيكية والحرارية والصوتية والضوئية والكهربائية والمغناطيسية، كما ويهتم بدراسة خواص المادة وتركيبها الداخلي.

امثلة:

1. يمتلك الحجر المتحرك طاقة ميكانيكية ناشئة من حركته، واذا اصطدم هذا الحجر بحجر اخر حركه عن موضعه وقد ينشأ من هذا الاصطدام حرارة قد تكون مصحوبة بشرارة ضوئية، وهذ يعني ان الطاقة الميكيانيكية التي يمتلكها الحجر المتحرك قد تحول بعضها الى طاقة حرارية وطاقة ضوئية.
2. يتوهج المصباح الكهربائي عند مرور التيار الكهربائي في فتيلته، وهذا يعني تحول الطاقة الكهربائية الى طاقة حرارية وضوئية. وتتحول الطاقة الكهربائية الى طاقة حركية تحرك الرياح وتدير المكائن.
3. ان الطاقة الضوئية المستمدة من الشمس تسخن سطح الارض الذي بدوره يسخن الهواء الملامس له بدرجات مختلفة. ان عدم تساوي سخونة مناطق سطخ الارض يؤدي الى اختلاف سخونة الهواء فيها، حيث يؤدي هذا الى ظهور الريح كهواء متحرك.

ان علم الفيزياء يهتم بدراسة جميع هذه الظواهر او التغيرات ولذلك فانهه يعرف بانه العلم الذي يعنى بدراسة المادة والطاقة وتحولاتها.

أدوات علم الفيزياء:

ان دراسة المشاكل العلمية تتطلب الاستعانه بالكثير من الاجهزة والادوات، ومن اهم هذه الادوات موجودة في جم الانسان (العقل والحواس). ومن ثم اللغة التي تستخدم للتواصل مع بعضنا البعض، ثم الرياضيات التي تربط بيم الكميات المقاسة من حيث مقاديرها وكيفية تغيرها. ولكن استخدام الحواس في تقدير الزمن او المسافة او الكتلة تختلف من شخص الى اخر ولا نستطيح الحكم بالدقة الا عند استخدام الاجهزة العلمية مثل الساعة او المقياس المتري او الميزان.

لقد تطورت اجهزة علم الفيزياء من البسيط الى المعقد، فالتجارب الاولى عن التركيب الذري والنشاط الاشعاعي، على سبيل المثال، تمت باجهزة بسيطة مثل الالواح الحساسة والاملاح المشعة وبعض المواد الاولية الى ان وصلت اليوم بازدياد المعرفة العلمية والتكنلوجيا الى اجهزة غاية في التعقيد مثل المسارعات النووية الضخمة واجهزة الكشف الالكتروني المتعددة عن الجسيمات والدقائق الاولية.

القياس:

ان النظام العالمي للقياس (SI) هو نظام (متر – كيلو غرام – ثانية) ويرمز له (MKS) او (م كغم ث) ويشتق منه ايضا نظام (CGS) او (سم غم ث).

النظام المتري:

1. **المتر:** ويستخدم في قياس وحدة الطول حيث تم اقتراحه في فرنسا عام 1791 من قبل لجنة عالمية ضمت عالم الفيزياء والرياضيات لابلاس (1749–1827) وقد اخذت هذه اللجنة النقاط التالية بعين الاعتبار:

أ. ان نظام القياس يجب ان يكون مقدرا غير قابل للتغير ومأخوذ من الطبيعة.

ب. لسهولة الحساب يجب ان تكون وحداته ذات اجزاء ومضاعفات عشرية واصبح المتر كوحدة لقياس الطول بحيث يمثل واحد من اربعين مليون جزء 1/40,000,000 يقسم عليها خط الطول المار بمدينة باريس.

جدول يمثل اجزاء ومضاعفات المتر

التسمية	النسبة الى وحدة المتر	التسمية	النسبة الى وحدة المتر
المتر	$1 = 10^0$	تيرا ميتر	$1000000000000 = 10^{12}$
ديكا ميتر	$10 = 10^1$	ديسمتر	$0.1 = 10^{-1}$
هيكتو ميتر	$100 = 10^2$	سنتيمتر	$0.01 = 10^{-2}$
كيلو ميتر	$1000 = 10^3$	مليمتر	$0.001 = 10^{-3}$
ميكا ميتر	$1000000 = 10^6$	مايكروميتر	$0.000001 = 10^{-6}$
كيكا ميتر	$1000000000 = 10^9$	نانو ميتر	$0.00000001 = 10^{-9}$

ان وحدات المساحة والحجوم ممكن اشتقاقها من وحدة الطول، فوحدة المساحة هي مربع طول ضلع وحدة الطول ووحدة الحجم هي مكعب طول ضلع وحدة الطول وكمثال:

Area:

$1\ cm * 1\ cm = 1\ cm^2$

$1\ m * 1\ m = 1\ m^2 = 100\ cm * 100\ cm = 10000\ cm^2 = 10^4\ cm^4$

$1\ km * 1\ km = 1\ km^2 = 1000\ m * 1000\ m = 1000000 m^2 = 10^6\ m^2$

Volume:

$1\ cm * 1\ cm * 1\ cm = 1\ cm^3$

$1\ m * 1\ m * 1\ m = 1\ m^3 = 10^6\ cm^3$

$1\ km * 1\ km * 1\ km = 1\ km^3 = 10^9\ m^3$

2. **وحدة الكتل (كغم):** ان الوحدة الدولية لقياس (الكتلة) هي سبيكة اسطوانية مكونة من عنصري البلاتين والايريديوم وتسمى بالكيلو غرام، وهي محفوظة في المكتب الدولي للاوزان والمقاييس بالقرب من باريس.ويعرف الكيلوغرام اصلا على انه يساوي كتلة لتر (10^3 سم^3) من الماء المقطر بدرجة حارة 4°م، وهي درجة الحرارة التي تكون فيها كثافة الماء اكبر ما يمكن.

$\text{Micro gram} = 1/\ 1{,}000{,}000{,}000\ Kg = 10^{-9}\ Kg$

طرق قياس الكتلة: للمقارنة بين كتلة مجهولة والكيلو غرام العياري نستخدم

أ- استخدام الميزان ذو الكفتين، حيث نضع الكتلة المجهولة في كفة والاوزان المعيارية في كفة اخرى (الكيلو غرام اجزاءه و مضاعفاته) في الكفة الاخرى الى ان تتزن الكفتان. وتسمى الكتلة المعينة بهذه الطريقة (كتلة الجذب) واذا اتزنت الكفتان في مكان ما فانها تتزن في اي مكان اخر في هذا الكون.

ب- الطريقة الثانية تعتمد على المقارنة بين (عجلة الجسم) المجهول وعجلة كتله عيارية عندما يتعرض الاثنان لنفس القوة المؤثرة، والنسبة بين الكتلتين تتناسب عكسيا مع النسبة بين عجليتهما والكتلة التي تقاس بهذه الطريقة تسمى كتلة القصور (inertial mass) ولقد دلت التجارب على ان كتلة الجذب تساوي كتلة القصور الى درجة كبيرة جدا من الدقة اذا استخدمنا نفس الكتلة العيارية في قياسهما وفي مجال التعامل اليومي في الكتل الكبيرة نسبيا، فانه من الاسهل تعيين كتلة الجذب لهذه الاجسام.

وحيث انه لا فرق بين كتلة الجذب وكتلة القصور، شاع استعمال الميزان ذي الكفتين في تعيين الكتل الكبيرة نسبيا اما على نطاق الجسيمات الاولية والذرات فأنه من الاسهل تعين كتلة القصور باستخدام قوى المجالات الكهربائية والمغناطيسية التي تؤثر على الجيسمات المشحونة.

مقادير بعض الكتل في الكون مقدرة بالكيلو غرام

كتلة الشمس	10^{30}	كتلة قطرة الماء	10^{-5}
كتلة الارض	10^{25}	كتلة كرية الدم الحمراء	10^{-13}
كتلة القمر	10^{23}	كتلة جزئ الاوكسجين	10^{-27}
كتلة السيارة	10^{3}	كتلة الالكترون	10^{-32}
كتلة لتر من الماء	10^{0}		

3. **وحدة قياس الزمن:** إن قياس الزمن يرتكز على مبدأ الحركة الدورية المتكررة فألة التوقيت الساعة (Clock) ليست أكثر من أداة تحصي عدد المرات التي تتكرر فيها حركة دورية معينة فالقلب النابض ساعة، والبندول المهتز ساعة، والأرض الدائرة حول نفسها أو حول الشمس ساعة، وبلورة الكوارتز المهتزة ساعة والوحدة الأساسية لقياس الزمن هي الثانية Second ولقد عرفت أصلا بأنها تساوي 1/86400 من اليوم، أي إن الثانية هي زمن الذبذبة الواحدة لساعة تعمل 86406 ذبذبة بينما تتحرك الشمس من موضعها عند الظهر في أحد الأيام إلى نفس موضعها عند الظهر في اليوم التالي.

ويستطيع الفلكيون تحديد هذا الموضع بدقة كبيرة، وبما أن حركة الشمس الظاهرية هذه تتغير بعض الشيء من يوم الآخر على مدار السنة فإن الثانية حسبت على أساس القيمة المتوسطة لكل أيام السنة.

ونحن نعلم أن الأرض في تغير دائم فهنالك الزلازل والبراكين والفيضانات وتجمد المياه وذوبانها، وحركة الرياح كل ذلك يؤثر على انتظام حركة الأرض وبالتالي على قيمة وحدة القياس الزمنية (الثانية) لذلك بني الفيزيائيون ساعات ذرية Atomic Clocks تعتمد في تعيينها للزمن على الاهتزازات الذرية الدورية ويحفظ هذه الساعات في المكتب الوطني للوحدات القياسية National Bureau of Standards كما في الولايات المتحدة الأمريكية والساعة القياسية حاليا هي ذرة عنصر السيزيوم

155 Cs وتعرف الثانية بأنها تساوي (9192631770) زمن اهتزازة معينة من اهتزازات ذرة السيزيوم المذكورة وتفوق هذه الساعات بدقتها الساعة الفلكية المبنية على حركة الأرض بأكثر من 200 مرة إذ أن الخطأ في هذه الساعة الذرية لا يزيد عن ثانية واحدة لكل 30000 سنة.

جدول يبين بعض الفترات الزمنية الصغيرة الأسم

الاسم	الرمز	المقدار
بيكو ثانية Picosecond	Psec	10^{-12} ثانية
نانو ثانية Nanosecond	Nsec	10^{-9}ثانية
ميكرو ثانية Microsecond	Usec	10^{-6} ثانية
ميللي ثانية Millisecond	Msec	10^{-3} ثانية

أما على النطاق الكوني فإن الزمن يقاس بملايين السنين (البليون = 10^9) فعمر الأرض يقدر بحوالي 4 بليون سنة، وعمر الكون يقدر بحوالي 10 بليون سنة ومتوسط عمر البروتون في باطن الشمس هو 14 بليون سنة، ومن المثير أن نلاحظ أن النسبة بين طول الفترات الزمنية واقصرها لإحداث عالمنا الطبيعي هي 10^4 وهي النسبة ذاتها بين اطول مسافة وأقصرها في هذا الكون، إن ذلك ليس مصادفة فإن أطراف هذا الكون تبتعد عنا بسرعة تقترب من سرعة الضوء والجسيمات الأولية التي تسير غور عالمنا تحت المجهري تتحرك هي أيضاً بسرعة تقترب من سرعة الضوء.

أنظمة الوحدات العيارية Systems of Standard Units

تحدثنا حتى الآن عن نظام واحد من الوحدات، وهو ما يسمى بالنظام الدولي ويرمز له أحيانا بالرمز (SI :System International) ويتخذ هذا النظام المتر كوحدة عيارية للأطوال، والكيلو جرام وحدة للكتل والثانية للزمن، ودرجة الحرارة المطلقة The Kelvin وحدة لدرجة الحرارة.

ويوجد نظامان آخران يستخدمان في العلوم والهندسة هما:

1. نظام جاوسkelvin Gaussian System

او نظام (سم– جم – ثانية) وفيه يتخذ السنتيمتر وحدة للطول، والجرام وحدة للكتلة، والثانية للزمن، ودرجة الحرارة المطلقة وحدة لدرجة الحرارة.

2. **النظام البريطاني** The British system

او نظام (قدم – باوند – ثانية) وفيه يعتبر القدم وحدة للأطوال، والباوند وحدة الكتلة، والثانية وحدة للزمن ودرجة الحرارة فهرنهيت Fahrenheit degree كوحدة لدرجة الحرارة.

وظاهريا يبدو أن النظام الدولي، ونظام سم – جم – ثانية متشابهان من حيث كونهما نظامان متريان والنسبة بين وحدات الطول أو الكتلة فيهما هي عبارة عن قوى العشرة أي أن (متر\سنتيمتر = 10^2) و (و كيلو غرام\ غرام = 10^3) إلا أن الإختلاف بين وحدات النظامين هي أكبر من ذلك بالنسبة للوحدات الكهربائية والمغناطيسية.

أما النظام البريطاني فقد اختفى تقريبا من النشرات العلمية في أبحاث الفيزياء، مع أن بعض المهندسين لا يزال يستخدم وحداته، وسواء في الفيزياء أو الهندسة فإن وحدات النظام الدولية SI أصبحت هي الشائعة، وسنحاول التركيز على هذا النظام في هذا الكتاب، ومن فوائد هذا النظام، بالإضافة إلى كونه مترية، هو إنه يحتوي على الوحدات العلمية في الكهرباء الفولت Volt، الأمبير Ampere ، الأوم Ohm ، الواط Watt وغيرها.

واتماماً للموضوع يجب أن نتذكر أنه بالإضافة إلى الوحدات الأربع العيارية (متر، كيلو جرام، ثانية، درجة مطلقة)، فإن النظام الدولي SI يحتوي أيضا على الأمبير كوحدة لقياس التيار الكهربائي، والشمعة العيارية Candela كوحدة للإضاءة وهذه هي الوحدات الست في النظام الدولي. وهناك وحدات لكميات أخرى في الفيزياء تسمى بالوحدات المشتقة لأنه يمكن التعبير عنها بدلالة الوحدات الست الأساسية:

الكثافة = الكتلة \ الحجم (كغم\ $م^3$)

والسرعة المنتظمة = المسافة \ الزمن (م\ثا)

التسارع = السرعة \ الزمن (م\ثا^2)

والقوة = الكتلة × العجلة (كغم \ ثا^2) وتسمى هذه الوحدة اختصارا بالنيوتن Newton نسبة إلى العالم أسحق نيوتن.

الفصل الاول

(الحرارة)

علاقة حركة جزئيات الجسم بدرجة حرارته:

تعتبر ظاهرة الانتشار في المواد الغازية والسائلة والصلبة إحدى الدلائل على حركة جزيئات للمادة، فإذا راقبنا هذه الظاهرة في إناءين، وضع في كل منهما سائل، وكان أحد هذين الإناءين قد وضع قبل التجربة في مكان بارد، ووضع الآخر قبل التجربة على موقد نار مشتعل وجربنا عملية الانتشار في كل من هذين الإناءين، نلاحظ أن عملية الانتشار في الإناء الساخن تجري بسرعة أكبر مما عليه في الإناء البارد، إن هذا يعني أن سرعة حركة جزيئات السائل الساخن أكبر من سرعة حركة جزيئات السائل البارد، ومن هنا نلاحظ أن حركة جزيئات السائل ودرجة حرارته متلازمة مع بعضها البعض.

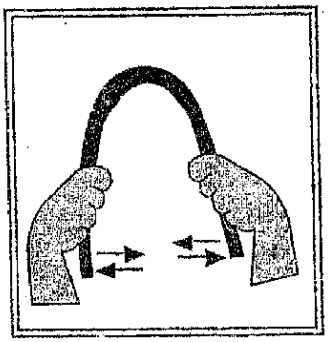
من المعروف أن حركة جزيئات المادة معقدة جداً، ويصعب إعطاء صورة كاملة عنها، خاصة إذا عرفنا أن ما يحويه 1 م^3 من أي غاز في الظروف الاعتيادية يبلغ نحو (25 10 ^{18}) جزيء وأن كل جزئ من هذه الجزيئات يتحرك حركة انتقالية في جميع الجهات وبشكل عشوائي فيصطدم خلال ذلك بالجزيئات الأخرى، ويعود بعدها لمثل هذه الحركة ليصطدم مرة أخرى وهكذا. إن حركة الجزئيات العشوائية هذه مجموعها تسمي **الحركة الحرارية للمادة**، نظرا لارتباطها بدرجة حرارة المادة نفسها.

الطاقة الداخلية للمادة وطرق تغيرها:

إن حركة جزئيات المادة المستمرة والعشوائية تجعل هذه الجزيئات تمتلك طاقة كامنة ناشئة في الأصل من تغير حركتها، وطاقة كامنة ناشئة من تغير أوضاع الجزيء نفسه خلال تلك الحركة، وأن مجموع الطاقة الحركية والطاقة الكامنة التي تمتلكها جميع جزئيات الجسم يطلق عليها اسم **الطاقة الداخلية** لذلك الجسم، لكن طاقة الجزيء الواحد قليلة جدا، فقد وجد أن الطاقة التي يمتلكها جزيء واحد من غاز الهيدروجين بدرجة حرارة الغرفة تساوي حوالي 0.5 × 10^{-20} جول، غير أن مجموع الطاقة الداخلية التي تمتلكها جميع جزئيات الهيدروجين الموجودة في متر مكعب واحد وفي نفس درجة الحرارة تعادل ما يقرب من 140000جول، وهذه كمية كبيرة.

إن الطاقة الداخلية للجسم كمية غير ثابتة، فعند رفع درجة حرارة الجسم تزداد هذه الطاقة بسبب زيادة متوسط سرعة الجزيء، والذي يؤدي بدوره إلى زيادة الطاقة الحركية والكامنة لجزئيات الجسم بمجموعها. أما إذا خفضت درجة حرارة الجسم، فإن الطاقة الداخلية له سوف تنخفض هي الأخرى، كذلك تتغير الطاقة الداخلية للجسم عند انتقاله من حالة إلى أخرى، أوعند تغير شكله، فعلى سبيل المثال، إن الطاقة الداخلية لبخار الماء تكون أكبر من الطاقة الداخلية لنفس كمية الماء التي تكون منها ذلك البخار، فخلال انتقال السائل من حالة السيولة إلى الحالة الغازية تزداد المسافة بين جزيئاته وبالتالي تزداد الطاقة الكامنة للجزيء الواحد، كذلك فإنه عند تكرار ليَ (فتل) سلك معدني

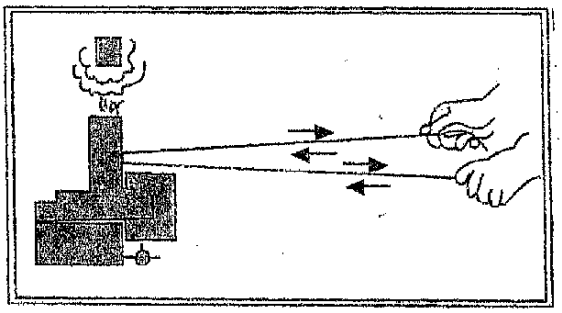
عدة مرات بهدف قطعة، كما في الشكل (1)، فإننا نلاحظ زيادة سخونة المنطقة التي يتركز عليها (اللي) في السلك وهذا يعكس دون شك، زيادة الطاقة الداخلية للسلك نتيجة محاولة تغيير شكله.



شكل (1)

و من كل ما تقدم نلاحظ:

1. أن الطاقة الداخلية للجسم تتغير بتغير سرعة حركة جزيئات الجسم، فإذا وضعنا أثيرا في أسطوانة معدنية سميكة الجدران كما في الشكل (2) وحركت الأسطوانة بواسطة حبل عدة مرات فبعد فترة من الزمن نلاحظ أن الأثير يسخن ثم يغلي، وهكذا نرى أن الأثير يسخن ثم يغلي بسبب تغير طاقتة الداخلية نتيجة للشغل الذي بذل عليه أثناء إدارة الأنبوبة بواسطة الحبل، كذلك نلاحظ أن الأجسام عند طرقها أو دلكها أو بردها، تزداد سخونتها، وهذا يعني أن الشغل المبذول في الطرق أو الدلك أو البرد، يؤدي إلى تغير الطاقة الداخلية للجسم وعلى هذا الأساس فيمكننا زيادة الطاقة الداخلية للجسم عن طريق بذل شغل عليه.



شكل (2)

2. كذلك يمكننا أن نغير العلاقة الداخلية للجسم بدون بذل شغل عليه فإبريق الشاي الذي يوضع على موقد نار مشتعل يسخن ماؤه ثم يبدأ بعد فترة بالغليان ويتحول الماء الموجود فيه إلى بخار، كما أن الملعقة المعدنية الباردة عند وضعها في الماء الساخن، تسخن هي الأخرى بعد فترة وجيزة، ويسخن سطح الأرض عندما تسقط عليه أشعة الشمس، ففي جميع هذه الحالات ترتفع درجة حرارة الجسم وهذا يعني زيادة الطاقة الداخلية له، فكيف نفسر زيادة الطاقة الداخلية للجسم في كل من هذه الأحوال؟ لنأخذ حالة الملعقة المعدنية الباردة، التي تغمر في الماء الساخن، فالطاقة الحركية لجزيئات الماء الساخن أكبر من الطاقة الحركية لجزيئات المعدن، وفي الأماكن التي تتلامس فيها المعلقة مع الماء تعطي جزيئات الماء الساخن قسما من طاقتها الحركية إلى جزيئات الملعقة الباردة ذات الطاقة الأقل، لذلك تزداد الطاقة الداخلية لأجواء الملعقة التي تلامس الماء مما يؤدي إلى زيادة درجة حرارتها بينما ينخفض معدل درجة حرارة الماء الساخن بسبب انخفاض طاقته الداخلية نتيجة هذا التلامس. وباستمرار هذا الانخفاض تتعادل بالتدريج درجة حرارة الماء الساخن مع درجة حرارة الملعقة حيث يشمل تغير الطاقة الداخلية جميع أجزاء الملعقة الأمر الذي يؤدي إلى زيادة سخونتها.

إن عملية تغير الطاقة الداخلية للأجسام، دون انجاز شغل، والتي يتم خلالها إعطاء الطاقة الداخلية من جسم إلى آخر يطلق عليه اسم **عملية انتقال الحرارة**، وأن مقياس تغير الطاقة الداخلية خلال عملية انتقال الحرارة من جسم إلى آخر هو كمية الحرارة أو الحرارة بشكل عام، وعلى هذا الأساس يمكننا تغيير الطاقة الداخلية للأجسام بطريقتين:

1. صرف شغل ميكانيكي على الجسم مثل الحركة، الطرق، الدلك، البرد.... الخ.
2. انتقال الحرارة من جسم إلى آخر، مثل تسخين الماء على موقد نار مشتعل، أو تلامس جسمين أحدهما اكثر سخونة من الآخر.

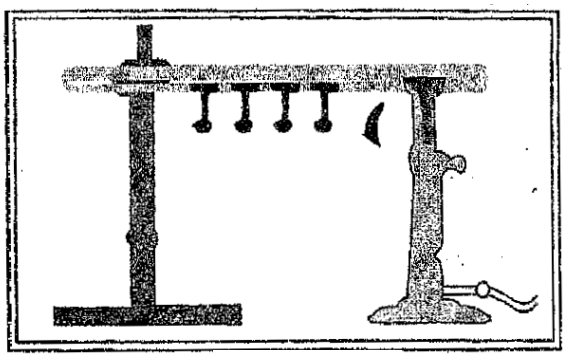
<u>طرق انتقال الحرارة:</u>

الطاقة الداخلية للجسم ككل أشكال الطاقة الأخرى، يمكن نقلها من جسم الى آخر، ومثال على ذلك هو انتقال الطاقة الداخلية من الماء الساخن إلى الملعقة المعدنية الباردة.

ومن الممكن إيراد أمثلة أخرى لانتقال الحرارة من جسم إلى آخر أو جزء من ذلك الجسم إلى باقي الأجزاء الأخرى، فعند وضع سلك نحاسي في موقد نار مشتعلة، فإن أجزاء هذا السلك الملامسة للنار سوف تسخن أولا، ومن ثم تسخن الأجزاء الأخرى، وبعد ذلك تنتقل الحرارة إلى اليد الماسكة لذلك السلك، كذلك عند تسخين الماء بواسطة إناء زجاجي يوضع على موقد النار المشتعلة، فإننا نلاحظ أن الماء يسخن من أسفل، وفيما بعد تنتقل الحرارة إلى باقي أجزائه، والشمس رغم بعدها بمقدار 150 مليون كم، تعطي حرارتها إلى الأرض.

1. انتقال الحرارة بالتوصيل

إذا لصقنا بواسطة الشمع، عددا من المسامير الصغيرة على سلك نحاسي، ثم ربطناه كما في الشكل (3) وبدانا تسخينه بواسطة مصباح كحولي، فإننا نلاحظ بعد فترة وجيزة سقوط المسمار الأقرب إلى المصباح بسبب ذوبان الشمع، ثم يليه المسمار الاخر وهكذا. إن هذا يؤكد حقيقة انتقال الحرارة بسلك النحاسي من الطرفة الملاصق للهب المصباح إلى الطرف البعيد عنه، فكيف أنتقلت الحرارة في السلك النحاسي؟

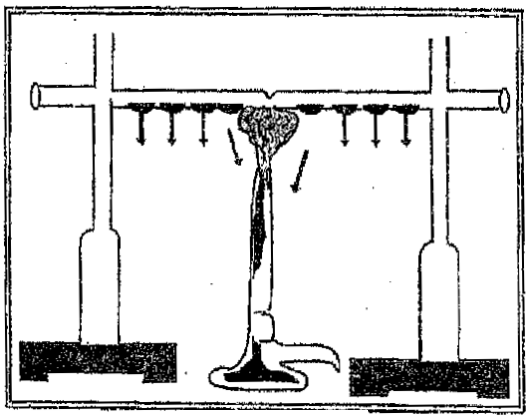


شكل (3)

في البداية تسخن الأجزاء الملامسة للهب مما يزيد طاقتها الداخلية في هذه المنطقة فتزيد درجة حرارتها، وبعد ذلك تؤثر حركة جزيئات السلك في هذا الطرف على الجزيئات المجاورة فتزيد من سرعة حركتها أيضا، وبالتالي ترتفع درجة حرارتها، وهذه الجزيئات بدورها تؤثر حركتها على الجزيئات المجاورة فتزيد من سرعة حركتها فترتفع درجة حرارتها وهكذا يؤثر كل جزيء متحرك على الجزيء القريب منه، وبذلك تعم في جميع أجزاء السلك حركة اهتزازية

من شأنها أن تزيد الطاقة الداخلية للسلك فترتفع درجة حرارته. ولكن خلال كل ذلك، من المهم جدا أن تعرف أنه خلال انتقال الحرارة في السلك النحاسي لا تنتقل مادة السلك من طرف إلى آخر، إن هذا الشكل من انتقال الحرارة يدعى **بالتوصل**.

والآن نعيد التجربة السابقة باستخدام سلك من النحاس و اخر من الفولاذ ونضع كلا من السلكين على حامل بحيث يمس الطرف السائب من كل سلك لهب المصباح الكحولي كما في الشكل (4).



شكل (4)

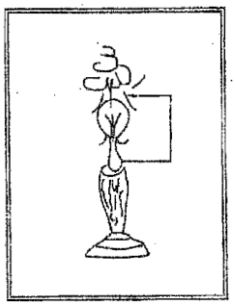
ونلاحظ بعد فترة وجيزة ذوبان الشمع وسقوط المسامير من السلك النحاسي قبل سقوطها من سلك الفولاذي، وهذا يعني أن توصيل النحاس للحرارة أجود من توصيل الفولاذ لها.

إن المواد تختلف في توصيلها للحرارة فبعضها جيد التوصيل للحرارة وبعضها رديء التوصيل لها، ويمكن الاستدلال على اختلاف المواد لتوصيل للحرارة عند لمسها إذا كانت مطروحة في الشمس، فالنحاس يكون أكثر سخونة من الحديد، والحديد أكثر سخونة من البلاستيك، رغم أن درجة الحرارة التي توجد فيها هذه المواد المختلفة واحدة، ومن هذا نستنتج أن المواد تختلف في توصيلها للحرارة، فهناك مواد جيدة التوصيل للحرارة مثل المعادن كالفضة والنحاس والحديد والزئبق وغيرها وهناك مواد رديئة التوصيل للحرارة مثل الخشب، الورق، الصوف، القطن، الهواء، الماء.. الخ.

إن القطن والصوف رديء التوصيل للحرارة بسبب وجود الهواء بين شعيراته، ولكن اردء موصل للحرارة يعتبر الفراغ بسبب عدم وجود إمكانية نقل الطاقة فيه لعدم وجود جزيئات المادة. إن أهمية المواد الرديئة التوصيل للحرارة هو استعمالها في حفظ الحرارة من التسرب، فالطوب الطيني اردء توصيلا للحرارة من الأسمنت لذلك يفضل استعماله في بناء البيوت سواء في المناطق الحارة أم المناطق الباردة. إن الأرض رديئة التوصيل للحرارة لذلك تكون مياه الآبار في المناطق العميقة باردة صيفا وتكون دافئة شتاء.

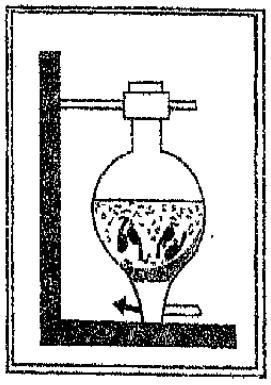
2. انتقال الحرارة بالحمل:

يسخن السائل والغاز عادة من الأسفل، فإذا وضعنا يدنا في إناء فيه ماء موضوع على موقد مشتعل، فإننا نحس بأن الماء أسفل الإناء هو الذي يبدأ بالسخونة قبل الماء في أعلاه، كذلك عند تقريب يدنا من مصباح مضيء فإننا نحس أن تيار الهواء الدافيء يتجه إلى أعلى، أن هذا التيار الهوائي يمكنه تدوير دوامة ورقية صغيرة حول المصباح،



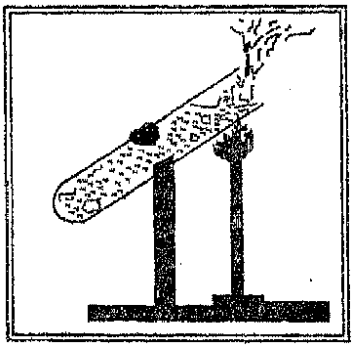
شكل (5)

كما في الشكل (5) فالهواء الساخن يتحرك إلى أعلى. إن مثل هذا الشكل من انتقال الحرارة يطلق عليه اسم **الحمل**. إن الحرارة خلال الحمل يحملها نفس التيار الغازي أو التيار المائي، فالهواء الملامس للمصباح سخن من سطح المصباح فيتمدد وتصبح كثافته أقل من كثافة الهواء البارد المحيط بالمصباح لذلك فإن طبقة الهواء الحار تعوم على الهواء البارد فترتفع بتأثير القوة الصعودية للهواء لأن هذه القوة أكبر من قوى جذب الأرض المؤثرة على الهواء الساخن، وهذا بدوره يؤدي إلى أن يحل محل الهواء الساخن هواء أبرد والذي بدوره يسخن ويبدأ بالحركة إلى أعلى وهكذا .



شكل (6)

ومثل هذا يجري في السوائل أيضاً، فإذا وضعنا في قعر الدورق الذي سخنا فيه الماء مادة صابغة بلورية مثل برمنكنات البوتاسيوم، لكي نلحظ حركة طبقات الماء الساخنة، نلاحظ بعد فترة وجيزة كيف تسخن الطبقة السفلي من الماء وتعوم على سطح الماء البارد فترتفع إلى أعلى ليحل محلها الماء الأبرد وهكذا، كما في الشكل (6).



شكل (7)

إن هذه التجارب البسيطة تفسر لنا لماذا يسخن السائل والغاز كقاعدة من الأسفل لنجرب الآن تجربة أخرى لتأكيد هذه الحقيقة وذلك بتسخين الماء في أنبوبة اختبار بحيث تعرض طبقته العليا للحرارة، كما في الشكل (7)، إننا نلاحظ في هذه الحالة غليان الطبقة العليا للماء الموجود في الأنبوبة، وعدم غليان الطبقات السفلى.

وإذا وضعنا قطعة جليد في قعر الأنبوبة التي يجري فيها التسخين، فإن الجليد لا يذوب، لأن الماء رديء التوصيل للحرارة من جهة، كما لا تنتقل الحرارة بالحمل من أعلى إلى أسفل من جهة أخرى، إن هذا يفسر أيضاً عدم إمكانية تسخين الهواء من الأعلى.

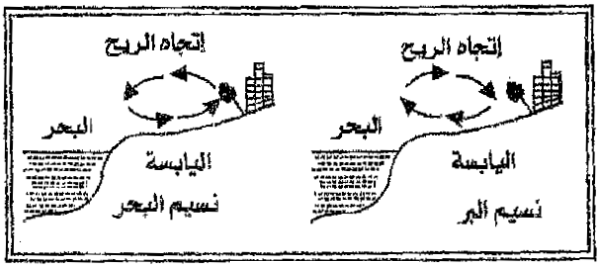
إن الحرارة لا تنتقل بالحمل في المواد الصلبة لأن جزيئات المادة الصلبة محدودة الحركة، إذ أن بلورات الجسم الصلب يتذبذب كل منها أمام نقطة معينة وتربطها مع بعضها البعض قوى جزيئية فخلال تسخين المواد الصلبة لا يمكن أن تتكون تيارات للمادة مثل تيارات الحمل.

<u>الحمل في الطبيعة:</u>

إن جميع الرياح التي تتحرك على الكرة الأرضية هي في الأصل تيارات حمل كبرى **عملاقة** وتكون الرياح التجارية مثال على ذلك، فهذه الرياح تهب من المناطق شبه المدارية إلى المناطق الاستوائية.

فالمتوسط السنوي لدرجة الحرارة في المنطقة الاستوائية أكبر من المتوسط السنوي لها في المناطق القطبية في حدود 50 مئوي، ولذلك فالرياح تسخن في المنطقة الاستوائية فتصعد إلى أعلى نتيجة قلة كثافتها ويحل محلها رياح أبرد تأتي من المناطق شبه المدارية. أما بالنسبة للرياح المحلية كنتيجة للحمل في المناطق الواقعة على سواحل البحار وهو (نسيم البر ونسيم البحر).

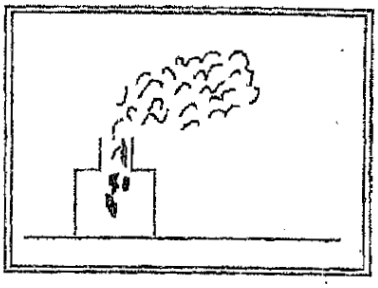
ففي منتصف النهار وفي هذه المناطق تسخن اليابسة من سخونة ماء البحر لأن الحرارة النوعية للأرض اليابسة أقل من الحرارة النوعية للماء، لذلك يسخن الهواء على اليابسة نتيجة لتماسه مع سطح الأرض، فيتمدد وتقل كثافته، ويرتفع إلى أعلى ويحل محله الهواء البارد القادم من البحر والذي يشكل **نسيم البحر**. وفي الليل تبرد اليابسة بشكل أسرع نتيجة لنفس الأسباب لذلك يكون الهواء على اليابسة أقل سخونة من الهواء على سطح البحر، فعندما يرتفع هواء البحر إلى أعلى نتيجة قلة كثافته يحل محله الهواء البارد من اليابسة والذي يشكل **نسيم البر** كما في الشكل (8).



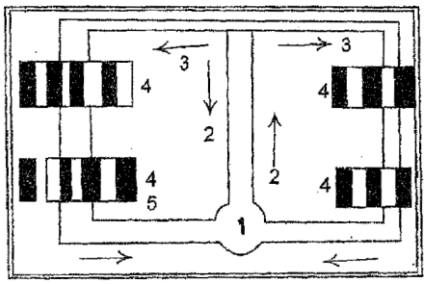
شكل (8)

<u>تطبيق ظاهرة الحمل في التكنولوجيا</u>

أ- **التهوية:** من المعروف أن الإحتراق بدون وجود الهواء المتجدد الذي يحوي على الأوكسجين (الهواء النقي) لا يمكن حدوثه، ومن أجل ضمان اشتعال النار واستمراريتها في مواقد المصانع أو المشاغل أو محطات توليد الكهرباء الحرارية لا بد من نظام للتهوية يضمن استمرار اشتعال النار في الموقد، لذلك نبني المدخنة المتصلة بالموقد، فعند اشتعال النار في الموقد يسخن الهواء الموجود في الموقد فتقل كثافته ويتصاعد عن طريق المدخنة، وبذلك يصبح ضغط عمود الهواء في المدخنة والموقد أقل من ضغط الهواء البارد الذي يدخل إلى الموقد، ليحل محل الهواء الساخن ونتيجة للفرق بين ضغط الهواء البارد القادم إلى الموقد وضغط الهواء الساخن المتصاعد عبر المدخنة تتكون التهوية التي تتضمن استمرار مرور الهواء المتجدد داخل الموقد، وهذا بدوره يؤدي إلى استمرار اشتعال النار داخل الموقد. وفي الشكل (9) تبين التجربة قاعدة عمل التهوية في المصانع.



شكل (9)



شكل (10)

ب- التدفئة: في كثير من البيوت الحديثة وبشكل خاص في المناطق الباردة، تستخدم التدفئة المركزية بواسطة الماء الساخن، على أساس ظاهرة الحمل، ففي الطابق الأسفلى يقع المرجل (1) والذي يسكن فيه ماء التدفئة كما في الشكل (10) ومن هذا المرجل يخرج أنبوب رئيسي (2) يتفرع إلى فرعين (3) تمر كل فرع في أنبوبة ملتوية (بطارية) (4) أو عدد من البطاريات التي بداخلها الماء بواسطة الأنبوب (3) وتشيَد هذه البطاريات حيث تقع كل واحدة منها تحت الشباك في كل غرفة يراد تدفئتها، فإذا سخن الماء في المرجل تقل كثافته بسبب تمدده فيرتفع إلى أعلى عائماً على الماء الأبرد.

ويمر خلال الأنبوبتين (3) (3) إلى البطاريات (4) فيسخن الهواء الملامس لسطح كل بطارية فيتمدد وتقل كثافته فيرتفع إلى أعلى عائماً على الهواء الأبرد فيحل محله هواء أبرد يلامس سطح البطاريات مما يؤدي إلى تسخينه وبالتالي إلى ارتفاعه هو الآخر ويحل محله هواء أبرد، وهكذا ينشأ تيار حمل في الهواء يسخن هواء الغرفة ويساعد على تدفئتها، لكن استمرار تماس الهواء مع سطح البطارية يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة الماء الموجود في البطارية فتزداد كثافته وينزل إلى أسفل ويصل عبر الأنبوب (5) إلى المرجل ليسخن ويعود للصعود مرة أخرى، وهكذا يسخن هواء المنزل وتم تدفئة المنزل.

3. انتقال الحرارة بالإشعاع:

إن حرارة الشمس تصل إلى الأرض رغم أن الشمس تبعد عنا 150 مليون كم، ويفصلنا عنها فضاء أو فراغ خال تقريبا من المادة (فراغ) وأن الفراغ كما اسلفنا هو أردا موصل للحرارة إذ لا يمكن خلاله أن تنتقل الحرارة بالحمل أو التوصل بسبب عدم وجود جزئيات المادة فعلى أية صورة تأتي إلينا حرارة الشمس؟

إن وصول حرارة الشمس إلينا يستلزم وجود شكل ثالث لإنتقال الحرارة، وهذا الشكل يطلق عليه اسم **الإشعاع**. إن جميع الأجسام الساخنة تعطي الأجسام المحيطة بها حرارة عن طريق الإشعاع، وإن الانتقال الحرارة بالإشعاع يختلف عن الأشكال الأخرى لإنتقال الحرارة، لأن هذا الشكل من انتقال الحرارة (الإشعاع) يمكن أن يتم بالفراغ التام أيضا.

إن جميع الأجسام سواء كانت ساخنة كثيرة أو قليلا تشع أشعة غير مرئية، فالمصباح الكهربائي وقطعة الحديد الساخنة وحتى جسم الإنسان تشع جميعها أشعة غير مرئية وكلما كانت درجة حرارة الجسم عالية، كلما كان الجسم يفقد حرارة أكثر عن طريق الإشعاع، فإذا سخنت قطعة حديد أكثر فإن لونها يتغير من السواد إلى البياض ومن ثم الاحمرار ويصبح من الصعوبة مواجهتها بسبب شدة الحرارة التي تشعها.

وعليه فإن الأجسام الساخنة إلى درجة حرارة عالية جدا، لا تشع أشعة غير مرئية فحسب، وإنما تشع أيضاً أشعة مرئية (ضوء) فقطعة الحديد الساخنة إلى حد الاحمرار وفتيل المصباح الكهربائي والشمس وجميع الأجسام المضيئة، تعطي إلى جانب الأشعة غير المرئية التي تشعها أشعة مرئية والتي ندعوها بالضوء.

إن الأشعة المرئية وغير المرئية التي يشعها الجسم الساخن لا تنعكس عند سقوطها على الأجسام الأخرى فقط وإنما تمتص جزئية من قبل تلك الأجسام، مما يؤدي إلى سخونة تلك الأجسام، ولكن هذه السخونة تكون بمستويات مختلفة، فالأجسام السوداء والداكنة تمتص كمية أكبر مما تمتصه الأجسام البيضاء والمصقولة التي يمكنها أن تعكس كمية أكبر من الضوء الساقط عليها.

ولكن الأجسام السوداء والداكنة تفقد في ذات الوقت كمية أكبر من الطاقة التي تمتصها عن طريق الإشعاع مما يؤدي إلى سرعة برودتها. مثال ذلك ما يجري في الطبيعة وفقا لهذه الظاهرة فعندما تسقط أشعة الشمس على الأرض ينعكس جزء منها، بينما يمتص سطح الأرض الجزء الأخر من الأشعة، مما يسبب ارتفاع درجة حرارته، لكن المناطق السوداء والداكنة على سطح الأرض مثل بعض جبال تمتص كمية أكبر من أشعة الشمس، لذلك تكون درجة حرارة سطحها، وخاصة في منتصف النهار، أيام الصيف، عالية جدا، وهذا يؤدي إلى سخونة الهواء الملامس لها، بطريقة الحمل، وارتفاع حرارته في المناطق القريبة منها بشكل خاص.

علاقة الحرارة بالشغل الميكانيكي

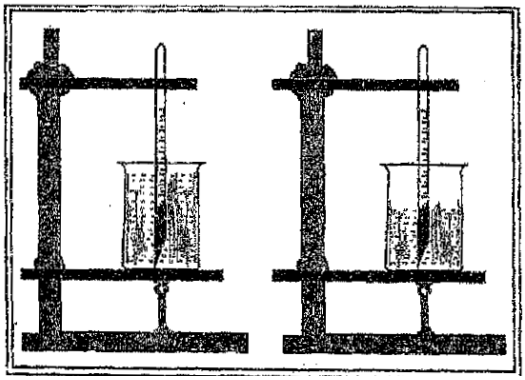
تعرف **كمية الحرارة**، بأنها مقدار الطاقة الداخلية التي يفقدها أو يكتسبها الجسم خلال عملية انتقال الحرارة. إن تسمية (كمية الحرارة) اتخذت نسبة إلى تغير الطاقة الداخلية للجسم عن طريق انتقال الحرارة فقط، ولم تتخذ بالنسبة إلى تغير الطاقة الداخلية الحاصلة على إنجاز شغل على الجسم ذلك فإن تحديد مقدار تغير الطاقة الداخلية عن طريق انتقال الحرارة يؤدي إلى تحديد أدق لكمية الحرارة.

فإذا رمزنا للطاقة الداخلية للجسم بالرمز (ط د) وللتغير الحاصل في مقدارها بالرمز (Δط د) وقلت الطاقة الداخلية للجسم خلال عملة التبادل الحراري بمقدار (Δ ط د)، فيقال عندئذ أن الجسم قد أعطى للوسط المحيط به كمية حرارة (ح) تساوي (Δ ط د)، أما إذا ازدادت الطاقة الداخلية خلال عملية التبادل الحراري بمقدار (Δ ط د) فيقال أن الجسم قد اكتسب كمية من الحرارة مقدارها (ح) التي تساوي (Δ ط د) ولهذا يجب الانتباه إلى أن العلاقة الداخلية للجسم تؤخذ أو تعطي من قبل الجسم، أما كمية الحرارة (ح) فإنها تمثل التعبير الكمي للطاقة الداخلية المأخوذة أو المعطاة أثناء عملية التبادل الحراري ولهذا فإن كمية الحرارة (ح) هي مقياس لتغير الطاقة الداخلية خلال عملية التبادل الحراري.

ومن أجل التعرف على طريقة حساب كمية الحرارة (ح) يجب أن نفهم علاقتها بالمقادير الفيزيائية الأخرى، ونورد أدناء بعض التجارب والملاحظات:

1. عندما نريد أن نسخن الماء في غلاية إلى حد يجعله دافئة فقط، فإننا نحتاج إلى وقت قصير من التسخين، أما إذا أردنا زيادة سخونة الماء فإننا سوف نحتاج إلى وقت أطول، أي اننا نحتاج إلى إعطاء الماء كمية حرارة أكبر، ولهذا فكلما سخنا الماء إلى درجة حرارة أعلى، كلما احتجنا إلى إعطائه كمية حرارة أكبر، عند ترك الماء يبرد، فإنه كلما أعطى إلى المحيط الخارجي كمية حرارة أكبر، كلما انخفضت درجة حرارته اكثر. لكن معرفة ارتفاع وانخفاض درجة حرارة الماء، غير كاف لتحديد كمية الحرارة التي حصل عليها الماء عند التسخين، أو التي فقدها عند التبريد، فقطعة الحديد لا يمكن أن تدفيء الغرفة الباردة مثلا أيام الشتاء، وخاصة في المناطق الباردة في حين يمكن تدفئة مثل تلك الغرفة كما ذكرنا بواسطة الماء الحار والذي لا تزيد درجة حرارته عن60م.
2. نحن نعرف من تجربتنا اليومية، أنه كلما زادت كتلة الماء، كلما احتجنا إلى كمية حرارة اكبر لتسخينه لذلك فالغلاية المملوءة بالماء إلى نصفها، تحتاج لتسخينها درجة حرارة معينة تساوي نصف كمية الحرارة التي تحتاجها نفس الغلاية إذا ملأت بالماء وسخنت إلى نفس تلك الدرجة. ولو سخن إناءان متماثلان بمسخن واحد، بحيث أن الإناء الأول يحتوي على كتلة 200 غم، من الماء والثاني يحتوي على كتلة 400 غم، سنلاحظ أن الماء الموجود في الإناء الأول، يغلي قبل الماء الموجود في الإناء الثاني، ومن هذا نستنتج أن كمية الحرارة المعطاة للجسم أثناء تسخينه تعتمد على كتلة ذلك الجسم وعند ترك الجسم الساخن يبرد فإنه سوف يعطي إلى المحيط الخارجي كمية حرارة أكبر كلما كانت كتلته أكبر.

3. والآن نحاول أن نجري تجربة لتسخين محتويات إنائين متشابهين، الاول يحتوي على كتلة 400 غم ماه والثاني يحتوي على كتلة 200 غم ماء مع ثقل معدني كتلته 200 غم، أي أن كلا الإناءين يحتويان على كتلة 400 غم من المواد كما في الشكل (11) وأن التشابه بين الإناءين المذكورين ليس فقط بكمية المواد الموجودة فيهما، بل وحتى في تسخينهما، وذلك باستعمال جهازي تسخين متشابهين أيضا، لكن الفرق بينهما يكمن في أنه بدلا من إضافة 200 غم ماء في الإناء الثاني وضع ثقل معدني كتلته تساوي 200 غم.



شكل (11)

لقد لوحظ عند قراءة الثرمومترين الموجودين في كل من الإنائين، بعد فترة من التسخين، أن الإناء الثاني (الحاوي على الماء والثقل المعدني) يسخن أسرع من الإناء الأول (الحاوي على الماء فقط) وأنه من أجل أن تتساوى درجة حرارة محتويات كل من الإنائين، وجب إعطاء الإناء الأول كمية حرارة أكبر من كمية الحرارة التي تعطي للإناء الثاني، لهذا فلتسخين كتل متماثلة من الماء والمعدن إلى درجة حرارة معينة تحتاج إلى كميات حرارة مختلفة، للماء كمية حرارة أكبر وللمعدن كمية حرارة أقل، وعلى هذا الأساس، فإن كمية الحرارة المعطاة إلى الجسم عند التسخين تعتمد أيضا على نوع مادته المصنوع منها. و من كل ما تقدم نستنتج أن كمية الحرارة المعطاة لجسم معين عند تسخينه تعتمد على كتلة ذلك الجسم وعلى نوع مادته وكذلك على مقدار التغير في درجة حرارته.

<u>وحدة كمية الحرارة</u>

إن كمية الحرارة تسمية تطلق على مقدار الطاقة الداخلية المعطاة أو المأخوذة من قبل الجسم، أثناء عملية التبادل الحراري وكيفية أشكال الطاقة الأخرى، فإن الطاقة الداخلية تقاس أيضاً بوحدات الجول أو بالأرك، ولكنه منذ زمن بعيد تستعمل في المختبرات وحدة خاصة لقياس كمية الحرارة تسمى السعر CALORY وهي مشتقة من الكلمة اللاتينية (كالور) التي تعني الحرارة أو السخونة.

إن **السعر** هو كمية الحرارة اللازم صرفها لتسخين 1 غم من الماء درجة مئوية واحدة وكذلك يمكن القول أن السعر هو كمية الحرارة التي يفقدها 1 غم من الماء إلى المحيط الخارجي عندما تهبط درجة حرارته درجة مئوية واحدة.

وفي التكنولوجيا تستعمل عادة وحدة أكبر من السعر لقياس كمية الحرارة وهي **الكيلو سعر** التي تساوي 1000 سعر، وأن بين وحدات قياس كمية الحرارة (الجول، السعر والكيلو سعر) توجد علاقة حسابية وهي:

1 كيلو سعر = 1000 سعر	1 سعر = 4.19 جول	1 كيلو سعر = 4190 جول

الحرارة النوعية (ح ن):

لتسخين كغم واحد من الماء درجة مئوية واحدة يستلزم صرف كمية من الحرارة قدرها 4190 جول أو ما يعادل 1000 سعر (كيلو سعر) ولكنه عند تسخين كغم من مادة أخرى مثل المعدن، درجة مئوية واحدة فيستلزم صرف كمية من الحرارة تختلف عما هي عليه بالنسبة إلى الماء.

إن كمية الحرارة اللازمة لتسخين كغم واحد من أية مادة درجة مئوية وأحدة، يمكن تعيينها في المختبر، وهي كمية فيزيائية تدعى بالحرارة النوعية التي سوف نرمز لها بالرمز (ح ن) وعليه فالحرارة النوعية تقاس بالوحدات التالية:

جول	كيلوسعر	سعر
كغم .درجة	كغم .درجة	كغم .درجة

جدول يبين الحرارة النوعية لبعض المواد (ح ن)

المادة	جول\كغم	كيلو سعر \ كغم درجة	المادة	جول\كغم	كيلو سعر ∴ كغم درجة
الرصاص	130	0.03	المنيوم	880	0.21
النحاس	380	0.09	الثلج	1800	0.43
الخارصين	380	0.09	الكيروسين	2100	0.51
الفولاذ	460	0.11	الكحول	2500	0.6
الزجاج	800	0.19	الماء	4200	1.0

فالحرارة النوعية للنحاس 380 (جول\كغم درجة) وهذا يعني أن تسخين كغم من النحاس درجة مئوية واحدة يحتاج كمية من الحرارة مقدارها 380 جول (أو عند تبريد كغم من النحاس درجة مئوية واحدة فإنه يطلق كمية من الحرارة مقدارها 380 جول).

والحرارة النوعية تبين كم من الجولات أو السعرات التي تزداد فيها الطاقة الداخلية الكيلو غرام واحد من المادة، عند تسخينها درجة مئوية واحدة، لهذا فماء البحر والمحيطات عند تستخينه في الصيف، يمتص كمية حرارة كبيرة جدا، لذلك لا يكون الجو في الصيف في المناطق الساحلية حارا بالنسبة للمناطق البعيدة عن الساحل، وفي الشتاء يبرد ماء البحر بإعطائه كمية كبيرة من الحرارة، ولذلك فالشتاء يكون الجو في المناطق الساحلية معتدلا. وبسبب كبر الحرارة النوعية للماء فإنه يعتبر من أحسن السوائل استعمالا للتدفئة المنزلية.

والحرارة النوعية للمادة الواحدة لا تعتبر مقدار ثابتا ثبوتا مطلقا، فهي تعتمد على درجة حرارة المادة، فالحرارة النوعية للمواد الصلبة تقل درجة حرارتها ولكنها في حالة ثبوت درجة الحرارة، فإنها لا تتغير تغيرا كبيرة وذلك فهي تعتبر

ثابتة، كما أن الحرارة النوعية للمادة المعينة تعتمد أيضا على حالة تلك المادة (هل هي في حالة الصلابة أم هي في حالة السيولة أم الغازية) فالحرارة النوعية للثلج مثلا أقل مرتين من الحرارة النوعية للماء.

حساب كمية الحرارة اللازمة لتسخين الجسم والتي يعطيها عند تبريده:

لقد عرفنا الكميات الفيزيائية التي تعتمد عليها كمية الحرارة وهي الكتلة، ونوع المادة وتغير درجة حرارتها، وكذلك عرفنا وحدات قياسها. أن هذه المعلومات ضرورية جدا لحساب مقدار التغير في الطاقة الداخلية للجسم، عند حصول عملية التبادل الحراري، وبكلمات أخرى أنها ضرورية لحساب كمية الحرارة، فلحساب كمية الحرارة يجب أن نعرف الحرارة النوعية لها وكتلتها بالإضافة إلى درجة حرارتها الابتدائية والنهائية.

وبما أن الحرارة النوعية (ح ن) تمثل كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة كغم واحد من المادة، درجة مئوية وأحدة، لذلك فعند تسخين جسم كتلته عدة كيلوغرامات مقدار درجة مئوية واحدة فإننا سوف نحتاج إلى كمية من الحرارة أكثر بعدة مرات مما هي عليه فيما لو كانت كتلته كيلوغراما واحدا.

وإذا رفعت درجة حرارة الجسم عدة درجات حرارة بدلا من درجة مئوية واحدة فإن كمية الحرارة الضرورية سوف تزداد بعدد أكبر من المرات عما هي عليه عند رفع درجة حرارته درجة مئوية واحدة، فلحساب كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة قطعة من الفولاذ كتلتها 5 كغم من درجة الصفر المئوي إلى °600م، نتبع الخطوات التالية:

1. لتسخين 1 كغم من الفولاذ درجة مئوية وأحمد يلزمنا 460 جول، لأن الحرارة النوعية للفولاذ 460 جول / كغم، درجة لاحظ جدول رقم (4).
2. ولتسحين 5 كغم من الفولاذ درجة مئوية واحدة يلزمنا كمية تساوي خمسة أضعاف مقدار الحرارة النوعية أي: 460 × 5 = 2300 جول.
3. ولتسخين 5 كيلو جرام من الفولاذ ورفع درجة حرارتها 600°م أكثر مما هي عليه يلزمنا كمية من الحرارة تعادل 600 ضعف المقدار 2300 جول أي أننا نحتاج 2300×600=1380000 جول.

ومعروف هنا أن 600° م تمثل درجة الحرارة التي ارتفعت إليها درجة حرارة القطعة الفولاذية عما كانت عليه (درجة الصفر المئوي) أي أنها تساوي الفرق بين درجة حرارتها الابتدائية والنهائية. ولهذا فلحساب كمية الحرارة اللازمة لتسخين جسم معين:

ح = مقدار حرارته النوعية (ح ن) · كتلته · الفرق بين درجة حرارته الابتدائية والنهائية

ح = ح ن · ك · ($د_2$–$د_1$)

حيث أن (ح) هي كمية الحرارة، (ح ن) هي الحرارة النوعية لمادة الجسم، (ك) كتلته، $د_2$، $د_1$ هما درجة حرارته الإبتدائية والنهائية على التوالي.

مثال (1): إناء حديدي كتلته 10 كغم يحتوي على كمية من الماء مقدارها 20 كغم، احسب كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الإناء ومحتوياته من 10°م إلى 100°م.

الحل

أن المادتين، الحديد والماء سوف تسخنان معا، ويحدث بينهما تبادل حراري لذلك يمكن اعتبار درجة حرارتهما متماثلة، فالإناء والماء سوف ترتفع درجة حرارتهما بمقدار 100 − 10 = °90م، ولكن كمية الحرارة التي سوف يستلمها الماء لكي ترتفع درجة حرارته إلى °100م وذلك بسبب الاختلاف في كتلتي المادتين ومقدار الحرارة النوعية لكل منهما.

كمية الحرارة التي يكتسبها الإناء ($ح_1$)= ح $ن_1$ $ك_1$ ($د_2$−$د_1$)

كمية الحرارة التي يكتسبها الإناء ($ح_1$) = 460 (جول\كغم درجة) ×10 ×90

كمية الحرارة التي يكتسبها الإناء ($ح_1$) = 400000 جولا

كمية الحرارة التي يكتسبها الماء ($ح_2$)= ح $ن_2$ $ك_2$ ($د_2$−$د_1$).

كمية الحرارة التي يكتسبها الماء ($ح_2$)= 4200 (جول\كغم درجة) ×20 ×90

كمية الحرارة التي يكتسبها الماء ($ح_2$) =7600000 جولا

كمية الحرارة اللازمة = $ح_1$ + $ح_2$

كمية الحرارة اللازمة = 400000 + 7600000 = 8000000 = 8 × 10^6جولا

كمية الحرارة اللازمة = 8 · 10^6 جول · (كيلو سعر\4190 جول)

كمية الحرارة اللازمة = 1900 كيلو سعر.

مثال (2) مزج 0.8 كغم ماء بدرجة حرارة 25 م بماء آخر كتلته 0.2 كغم ودرجة حرارته 100م فإذا كانت درجة الحرارة النهائية للخليط 40 م، قارن بين كمية الحرارة التي فقدها الماء الساخن وبين كمية الحرارة التي اكتسبها الماء البارد وناقش المسألة.

الحل:

عندما برد الماء الساخن من درجة °100م إلى °40م لهذا فإن كمية الحرارة التي فقدها الماء الساخن هي:

($ح_1$)= ح ن ك ($د_2$− $د_1$)

($ح_1$) = 4200 (كيلو سعر\ 4190 جول) ×0.2 × (40−100)

($ح_1$) = 50400 جولا وهي كمية الحرارة التي فقدها الماء الساخن

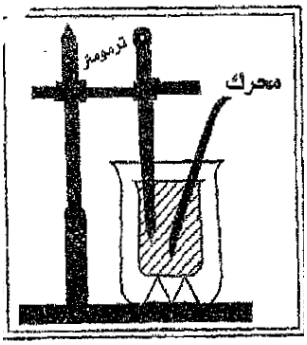
أما الماء البارد فقد سخن من 25°م إلى 40°م ولهذا فإن كمية الحرارة التي اكتسبها الماء البارد.

($ح_2$)= 4200 (جول \كغم درجة) ×0.8 × (40−25) درجة

(ح$_2$) = 50400 جولا وهي كمية الحرارة التي اكتسبها الماء البارد.

وعلى هذا الأساس فإن ح$_1$=ح$_2$ أي أن كمية الحرارة التي فقدها الماء الساخن قد امتصها كاملة البارد لرفع درجة حرارته في التجربة، ولكن يجب أن نأخذ بعين الاعتبار أن حالة تساوي الحرارة (ح$_1$) و (ح$_2$) هي حالة مثالية إذ لا يمكن الحصول على هذا التساوي إلا إذا عزل جهاز التجربة عزلا تأما فالحرارة من المخلوط سوف تنتقل إلى الهواء إذا جرت التجربة بدون العزل التام وأن الفرق بين كمية الحرارة المكتسبة (ح$_1$) وكمية الحرارة المفقودة (ح$_2$) يقل كلما ازداد عزل جهاز التجربة، أي كلما قل احتمال تسرب الحرارة إلى المحيط الخارجي ولكن يمكن أن يقال من الناحية العملية أن:

كمية الحرارة المفقودة = كمية الحرارة المكتسبة



شكل (12) يوضع ثرمومتر لقياس درجة الحرارة كما يوضع محرك لخلط المحتويات.

وفي الحالات التي يجب فيها قياس كمية الحرارة المكتسبة والمفقودة خلال عملية التبادل الحراري بشكل دقيق ومضبوط يستعمل لهذ الغرض جهاز يسمى المسعر (الكالوري ميتر) وهو كما مبين في الشكل (12) يتألف من إناءين، خارجي كبير وداخلي صغير معزولين عن بعضهما البعض من الأسفل بمادة عازلة، والإناء الداخلي مصنوع من مادة جيدة التوصيل للحرارة كالنحاس مثلا، وذلك لكي تكون درجة حرارته هي نفس درجة حرارة السائل الذي في داخل وفي الإناء الداخلي الذي يلامس

<u>السعة الحرارية سعح</u>

تعرف السعة بأنها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الجسم بأكمله درجة مئوية وأحدة، فإذا كانت كتلة الجسم تساوي (ك) وان حرارته النوعية (ح ن) فإن السعة الحرارية لذلك الجسم

سعح 2 = ح ن × ك

لكن كمية الحرارة (ح) = ح ن ك (د$_2$–د$_1$)

(ح) = سعح (د$_2$ – د$_1$)

و من ملاحظتنا للمعادلة السابقة نجد أنه إذا كان الجسم مصنوع من مواد مختلفة فإنه من الأنسب وصف التغير الحاصل في طاقته الداخلية بمساعدة السعة الحرارية .

ومن المعادلة السابقة أيضا نجد أن:

سعح = ح \ (د$_2$ – د$_1$)

ومن المعادلات السابقة نجد أن وحدة السعة الحرارية هي:

جول\ درجة، كيلو سعر\ درجة أو سعر .:.درجة.

مثال (1): أحسب السعة الحرارية لكتلة من النحاس مقدارها 20 كغم إذا علمت أن حرارتها النوعية 380 جول\(كغم درجة)

الحل:

سعح = ح ن · ك

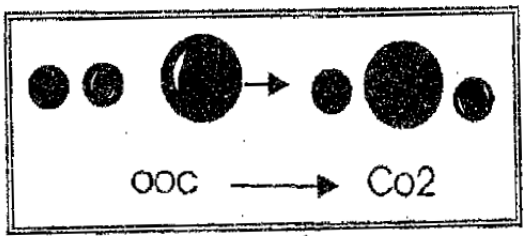
سعح = 380 جول ∴(كغم . درجة) · 20 كغم = 7600 جول\ درجة.

طاقة حرق الوقود

من المعروف أن المادة تتكون من ذرات فجزئية المادة H_2O مثلا تتكون من ذرة أوكسجين واحدة منحلة مع ذرتي هيدروجين. لقد أثبتت التجارب أن تكون الجزيء من ذرات منفصلة، مثلا ذرة أوكسجين وذرتي هيدروجين التي تكون (جزيء الماء)، يؤدي إلى إعطاء طاقة إلى الوسط الخارجي، بينما تجزئة الجزيء نفسه إلى ذراته المكونة له يتطلب صرف طاقة كافية للتغلب على قوى التجاذب بين الذرات المكونة لذلك الجزيء، ويمكن فهم عملية الارتباط بين ذرات الجزيء بالمثال التالي:

إن بين الأرض وكل الأجسام الموجودة عليها توجد قوة جذب، فإذا رفعنا جسما من سطح الأرض، تطلب ذلك صرف شغل للتغلب على جاذبية الأرض، وعلى العكس إذا ترك ذلك الجسم يسقط إلى الأرض بتأثير قوة جذب الأرض فإنه في هذه الحالة يمتلك طاقة وبإمكانه أن ينجز شغلا.

إن استعمال الوقود كالخشب والفحم والنفط وغيره أثناء الحرق يستند إلى حقيقة أن تكون الجزيء من ذراته المنفصلة، يؤدي إلى إعطاء طاقة إلى الوسط المحيط، فالأنواع التي ذكرناها من الوقود تحتوي على عنصر الكربون في تركيبها، وعند الاحتراق فإن ذرة الكربون هذه تتحد مع ذرات الأوكسجين الموجودة في الهواء، حيث أن كل ذرة كربون تتحد بذرتين من الأوكسجين، كما في الشكل (13) لتكون جزئية من غاز ثاني أوكسيد الكربون $_2CO$ ، وأن هذا الاتحاد يؤدي إلى إعطاء طاقة حرارية.



شكل (13)

توجد في الطبيعة أنواع مختلفة من الوقود منها الفحم الحجري والفحم النباتي، الخشب، النفط، الغاز القابل للاشتعال .. الخ، وعند تصميم المحركات التي تشتغل بالوقود، يجب أن نعرف بالضبط كمية الحرارة التي يعطيها ذلك الوقود عند حرقه، وهذا يستلزم معرفة كمية الحرارة التي تحصل عليها من حرق كميات متساوية من أنواع مختلفة من الوقود عن طريق التجربة.

إن كمية الحرارة الناتجة من الحرق الكامل للكيلو غرام واحد من الوقود تسمى **حرارة حرق الوقود**، والتي يمكن تحديدها في المختبر باستعمال أجهزة معقدة التركيب وهي تقاس بوحدات جول / كغم، كيلوسعر كغم أو سعر غم، وفي الجدول التالي مقادير حرارة حرق بعض أنواع الوقود.

جدول يبين حرارة حرق الوقود

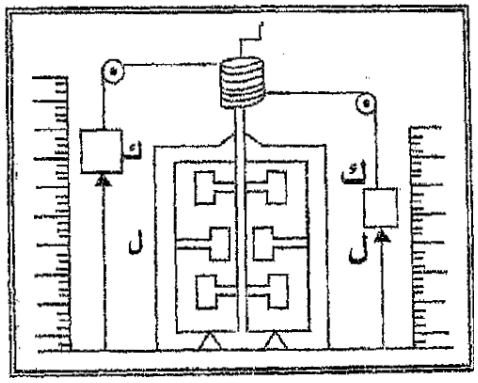
الوقود	جول\كغم	سعر\كغم	الوقود	جول\كغم	سعر\كغم
خشب جاف	$1.0 \cdot 10^{7}$	2500	غاز طبيعي	$4.4 \cdot 10^{7}$	10400
فحم نباتي	$1.4 \cdot 10^{7}$	3400	النفط	$4.4 \cdot 10^{7}$	10500
فحم حجري	$2.9 \cdot 10^{7}$	7000	البنزين	$4.6 \cdot 10^{7}$	11000
الكحول	$2.7 \cdot 10^{7}$	6500	الكيروسين	$4.6 \cdot 10^{7}$	11000
فحم الخشب	$3.1 \cdot 10^{7}$	7000	الهيدروجين	$14 \cdot 10^{7}$	34000

ومن الجدول السابق يتضح أن حرارة حرق فحم الخشب تساوي 3.1×10^{7} جول \ كغم أو ما يعادل 6500 كيلو سعر\ كغم، وهذا يعني أن الحرق الكامل لكغم واحد من فحم الخشب يؤدي إلى إعطاء 3.1×10^{7} جول ∴ كغم أو ما يعادل 6500 كيلو سعر\ كغم من الحرارة. ولحساب كمية الحرارة الناتجة من حرق أي كتلة من الوقود يجب إجراء عملية ضرب (حرارة حرق ذلك الوقود · كتلته المحترقة بشكل تام).

تغير الطاقة الداخلية في عملية إنجاز الشغل – تجربة جول:

أن الظواهر الحرارية في الأجسام مشروطة بحركة جزيئاتها وذراتها، لكن عملية تسخين الجسم لا تتم فقط بطريقة انتقال الحرارة من جسم إلى آخر **(عملية تبادل حراري)** وإنما تتم أيضاً عند إنجاز شغل على الجسم بطرقة أو تغيير شكله أو دلكه، وهنا يطرح السؤال التالي: هل أن مقادير الشغل المتساوية المنجزة على جسم تنتج كميات حرارة متساوية من كل حالة من حالات إنجاز الشغل؟

وللإجابة على هذا السؤال أجرى العالم د. جول عام 1843م تجربة مبينة في شكل (14)، فالثقلان (ك) في الجهاز المبين في الشكل معلقان بخيطين يمران حول بكرتين ويلفان على إسطوانة، يمكن تدويرها يدويا، وهذه الإسطوانة الدوارة متصلة بوتد يدخل داخل مسعر الخلط وقد ربطت صفائح دوارة (تدور مع الوتد عند دورانه). أما مسعر الخلط، فقد صمم بشكل خاص، إذ يحتوي على صفائح ثابتة، وتوجد بين صفائح المسعر الثابتة هذه وصفائح الوتد الدوارة مسافات صغيرة لغرض زيادة الاحتكاك داخل المسعر.



شكل (14)

عمل الجهاز:

ترتفع الأثقال إلى أعلى بواسطة تدوير الأسطوانة كما مبين في الشكل، ثم يثبت المقبض لمنع الإسطوانة من الدوران العكسي ونزول الأثقال بعدها يملأ المقبض لمنع الإسطوانة من الدوران العكسي ونزول الأثقال بعدها يملأ المسعر

بسائل مثل الماء وعند تحرير مقبض الإسطوانة تهبط الأثقال (ك) كل من الجهتين فتنزل بفعل جاذبية الأرض إزاحة مقدارها (ل) مؤدية بذلك إلى تدوير الأسطوانة والتي بدورها تؤدي إلى تدوير صفائح الوتد الدوارة، وعند إهمال الاحتكاك في البكرات الصغيرة فإنه يمكن القول بأن الطاقة الميكانيكية التي تعادل الشغل الذي أنجزه نزول الأثقال (ك) والذي يساوي (2 ك×ل) تتحول إلى طاقة داخلية للمسعر والماء الموجود في داخله إلى أن هذه الطاقة الميكانيكية تؤدي إلى تسخين المسعر ومحتوياته من الماء.

وعند قياس درجة حرارة المسعر بواسطة الثرمومتر، يمكن لنا تحديد العلاقة بين الشغل الميكانيكي المنجز (من نزول الأثقال ك) والزيادة الحاصلة في الطاقة الداخلية للمسعر ومحتوياته. لقد وجد باستخدام هذه التجربة أن تسخين 1 كغم من الماء من 19.5 م الى 20.5 م يستلزم صرف طاقة (شغل) مقدارها 4186.8 جولا وهذا يعني أن الحرارة النوعية للماء (ح ن) = 4186.8 جول\ كغم درجة.

لكن (ح ن) للماء = 1 كيلوسعر/ كغم، درجة (1 كيلو سعر = 4186.8 جولا)

وعند تقريب هذا المقدار نجد ان (1 كيلو سعر = 4190 جولا)

تمدد المواد بالحرارة

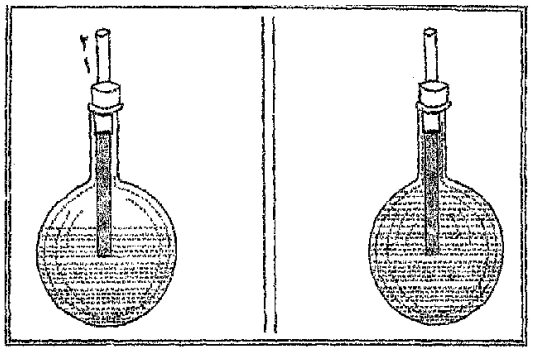
لماذا وكيف تتمدد المواد بالحرارة؟

أن للحرارة تأثيرات عددية على الأجسام من بينها أن جميع الأجسام عند تسخينها تتمدد وعند تبريدها تتقلص، ما عدا بعض المواد التي تشذ عن هذه القاعدة مثل الماء عندما يكون في حدود درجات حرارة معينة، حيث أن الزيادة في درجة حرارة الجسم يؤدي إلى زيادة متوسط الطاقة الداخلية لجزيئاته، وهذا يعني أيضا زيادة متوسط الطاقة الحركية التي تمتلكها جزيئات الجسم مما يؤدي إلى تمدد الجسم عند ارتفاع درجة حرارته، أما إذا انخفضت درجة حرارة الجسم، فإن هذا يؤدي إلى انخفاض متوسط الطاقة الحركية لجزيئاته أيضا وبالتالي يؤدي إلى تقلص الجسم.

والآن تجري التجربة التالية لإيضاح هذه الخاصية:

1. لنأخذ قطعة من أنبوب زجاجي مفتوح الطرفين وندخل فيه كمية صغيرة من الزئبق ثم ندخل الأنبوب في دورق خلال سداد فليني، يغلق الدورق بإحكام، كما في الشكل (15). ثم نسخن الهواء الموجود في الدورق (حرارة اليد كافية لتسخينه) سنلاحظ تحرك عمود الزئبق الموجود في الأنبوبة إلى الأعلى دلالة على تمدد الهواء عند التسخين.

2. لنضع في دورق ماء ملون ولنغلقه بإحكام بواسطة سداد يخترقه أنبوب زجاجي كما في الشكل (16) بحيث يرتفع الماء الملون إلى العلامة (1) على الأنبوبة الزجاجي فإذا



شكل (15-16)

سخنا الدورق سنلاحظ أن الماء الملون يرتفع إلى الأعلى حتى العلامة (2) دلالة على تمدد الماء عند تسخينه.
لقد أكدت التجارب، أن تمدد السوائل أقل من تمدد الغازات، وأن المواد الصلبة ايضا تتمدد بالحرارة ولكن تمددها أقل من تمدد السوائل، وأن هذا التمدد يمكن إظهاره بالتجربة التالية:
فإذا أخذنا كرة معدنية يمكن أن تدخل بسهولة خلال حلقة معدنية في درجة حرارة الغرفة، فعند تسخين هذه الكرة إلى درجات حرارة أعلى نلاحظ عدم إمكانية دخولها خلال الحلقة.

التمدد الطولي للمواد الصلبة

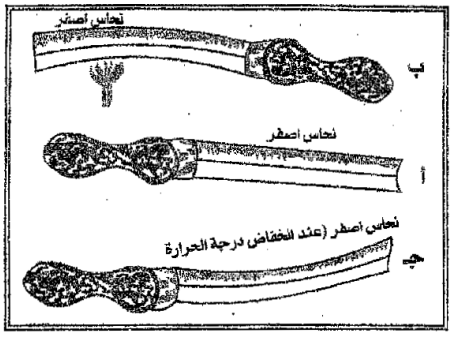
في حالات كثيرة تدعو الحاجة في التكنولوجيا إلى حساب التغير الحاصل في أبعاد المواد الصلبة في اتجاه واحد فقط، مثل حساب التغير في طول أسلاك الكهرباء بين عمود وآخر من أعمدتها وليس حساب مقدار التغير في قطر تلك الأجسام عند زيادة درجة الحرارة أيام الصيف أو انخفاضها أيام الشتاء ففي الصيف تزداد درجة الحرارة فتتمدد أسلاك الكهرباء ويزداد طولها، بينما في الشتاء تنخفض درجة الحرارة فتتقلص تلك الأسلاك ويقصر طولها.
إن التغير الحاصل في بعد واحد من أبعاد الجسم عند تغير درجة الحرارة درجة مئوية واحدة يدعى بالتمدد الطولي أو التقلص الطولي في حالة انخفاض درجة الحرارة درجة مئوية واحدة .
فإذا رمزنا إلى طول الجسم الأصلي في درجة حرارة د^0 م بالرمز (ل) ورمزمنا إلى طوله في درجة حرارة د^0 م بالرمز (ل د)، فإن التمدد الطولي للجسم Δل= ل د – ل، وقد أكدت التجربة أن التمدد الطولي للجسم عند التسخين يتناسب طرديا مع طول الجسم الأصلي ومع مقدار الزيادة في درجة الحرارة (Δد). ولهذا فإن الزيادة في طول الجسم يمكن وصفها في الصيغة الرياضية:

Δل **يتناسب طرديا** ل Δد

ومنه نجد أن

ل = م ط ×ل Δد

حيث أن (م ط) معامل التناسب هو مقدار واحد لجميع الأجسام المصنوعة من مادة واحدة كما تؤكد التجارب، ولكنه يختلف بالنسبة للأجسام المصنوعة من مواد مختلفة، ويطلق عليه اسم معامل التمدد الطولي، ويرمز له بالرمز (م ط).
لناخذ شريطا معدنيا مزدوجا وهو عبارة عن شريطين معدنيين مختلفين مثل الحديد والنحاس وقد ثبتا فوق بعضهما باللحام أو بالمسامير، كما في الشكل (17)



شكل (17)

فلو كان التسخين يؤدي إلى تمدد المعادن المختلفة بمقدار واحد، فإن الشريط المزدوج سوف يبقى على استقامته دون تقوس ولكن التجربة تثبت أن تسخين الشريط المزدوج يؤدي إلى تقوسه بحيث يكون النحاس، الشريط الخارجي من القوس لأن تمدد النحاس أكبر من تمدد الحديد، عندما يكون المعدنان في ظروف تسخين واحدة.

إن معامل التمدد الطولي (م ط) = Δ ل\ (ل Δد) .....(2)

ومن المعادلة (2) يمكن أن نعرف معامل التمدد الطولي، بأنه نسبة الزيادة الحاصلة في طول الجسم إلى طوله الأصلي، عند ارتفاع درجة الحرارة بالتسخين درجة مئوية واحدة، أما وحدة قياس (م ط) هي (درجة)$^{-1}$ كما نستنتج من المعادلة رقم (2).

نشير هنا إلى أن (م ط) يزداد بازدياد درجة الحرارة ولكن تلك الزيادة قليلة جدا إلى حد يمكن إهمالها فيه وخاصة عند عدم حدوث تغير في درجة الحرارة ولهذا يعتبر (م ط) مقدارا ثابتا لكل مادة. في الجدول التالي قيم (م ط) التي استحصلت بالتجربة.

جدول يوضح قيم معامل التمدد الطولي لبعض المواد

المادة	م ط (درجة)$^{-1}$	المادة	م ط (درجة)$^{-1}$
الالمنيوم	0.000023	النحاس	0.00017
البرونز	0.000018	الرصاص	0.000028
الفولاذ	0.000012	الزجاج	0.000009
الذهب	0.000014	الابونايت	0.000070

ملحوظة: اشتقاق وحدة قياس م ط.

م ط = Δ ل\ (ل Δد) = سم \ (سم درجة) = (درجة)$^{-1}$

وبما أن Δ ل = ل$_2$ – ل$_1$ ، Δ د = د – د$_0$.

م ط = (ل$_د$ – ل$_0$)\(ل$_0$ (د–د$_0$))

ومنه نجد ان:

ل د = [1+م ط (د–د$_0$)] (3)

اي ان الطول النهائي بعد التسخين (ل د) يساوي حاصل ضرب الطول الاصلي (ل$_0$) مضروبا في مجموع (حاصل ضرب معامل التمدد الطولي في فرق درجات الحرارة مضاف اليه واحد).

مثال (1): أحسب الطول النهائي لقضيب نحاسي طوله 100سم في درجة 20°م عند تسخينه إلى درجة 100 م، (م ط) للنحاس 0.000017 درجة $^{-1}$.

الحل

ل د = ل.[1+ م ط (د−د0)]

ل120م = 100سم [0.000017 ×100 درجة $^{-1}$ (120−10) درجة]

ل120م=100.17 سم الطول النهائي بعد التسخين.

التمدد الحجمي للأجسام (م ح)

التمدد الحجمي هو تمدد الجسم في جميع الاتجاهات، وسوف نتطرق هنا فقط إلى الأجسام التي يكون تمددها الحجمي متماثلا. فإذا رمزنا إلى حجم الجسم الأصلي (ح) وإلى حجمه في درجة د م يساوي (ح د)، فإن التغير في الحجم:

Δح = ح د −ح.

إن التغير في حجم الجسم عند التسخين (Δح) هو الآخر يتناسب طرديا مع الحجم الأصلي (ح) ومع تغير درجة الحرارة (Δد)، أي أن:

Δح = م ح Δ ·د

ومعامل التناسب (م ح) يسمى معامل التمدد الحجمي وهو كمية فيزيائية تبين علاقة التمدد الحجمي بنوع مادة الجسم، ومن المعادلة السابقة نجد أن:

م ح = Δح\(ح Δد)

ومن المعادلة السابقة واضح أن وحدة قياس معامل التمدد الحجمي (درجة)$^{-1}$ أيضا.

ولما كان Δح= ح د − ح 0، Δد = د− د0

فإن م ح = (ح د − ح0)\ [ح0(د− د0)]

ومنه نجد أن:

ح د=ح [1+م ح(د−د0)]

أي أن الحجم النهائي للجسم يساوي حاصل ضرب الحجم الأصلي ×معامل التمدد الحجمي × فرق درجات الحرارة + واحد.

علاقة كثافة المادة بدرجة حرارتها

إن مقدار كتلة الجسم لا يتغير بتغير درجة الحرارة بينما يتغير حجم الجسم عند تغير درجة الحرارة، وعلى هذا الأساس فإن كثافة مادة الجسم (ث) يجب أن تتغير بتغير درجة الحرارة. فإذا فرضنا أن الكثافة الأصلية (ث) فإن:

ث د= ك\ح0

ولكن عند تغير درجة الحرارة فتصبح مساوية إلى د^0 م مثلا، فإن:

ث د= ك\ح د ----- (أ)

لكن ح د=ح [1+م ح(د−د0)] وعلى هذا الأساس فإن:

ث $_0$ = ك \(ح [1+م ح(د– د$_0$)]) ------ (ب)

ومن قسمة طرفي المعادلة رقم (ب) على طرفي المعادلة رقم (أ) نجد أن:

ث $_د$ = ث $_0$[1+م ح(د– د$_0$)] ∴

أي أن كثافة المادة في أي درجة حرارة تساوي كثافتها في درجة الصفر المئوي، مقسومة على مجموع (1+ حاصل ضرب معامل التمدد الحجمي · فرق درجات الحرارية).

ومن المعادلة الأخيرة نجد أن كثافة المادة تقل بازدياد درجة الحرارة، ولكنها تزداد في حالة انخفاض درجة الحرارة.

<u>خصوصية تمدد المواد الصلبة بالتسخين</u>:

العلاقة بين معاملي التمدد الحجمي والطولي (م ط، م ح):

لقد جرت العادة إعطاء قيم معامل التمدد الطولي في الجداول فقط ولا ندرج فيها معامل التمدد الحجمي وذلك بسبب بساطة حساب معامل التمدد الحجمي إذا عرفنا معامل التمدد الطولي، ذلك أن معامل التمدد الحجمي يساوي تقريبا ثلاثة أمثال معامل التمدد الطولي، أي أن:

م ح = 3م ط

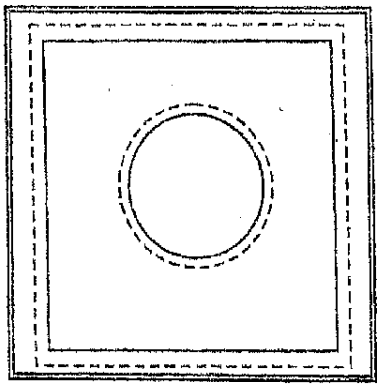
ولايجاد معامل التمدد الحجمي تجري عملية ضربة بسيطة (3· مقدار معامل التمدد الطولي).

وعلى هذا الأساس فإن معادلة الحجم النهائي ستأخذ الشكل التالي:

ح د= ح [1 + 3م ط (د–د0)]

زيادة كبر الثقوب الموجودة في الأجسام الصلبة عند تسخينها

لنفرض وجود صفيحة معدنية حاوية على ثقب كروي في وسطها كما في الشكل (18)، فالتجربة تبين لنا أن ارتفاع درجة حرارة الصفيحة يؤدي ليس فقط إلى زيادة مساحتها بل ويؤدي كذلك إلى زيادة كبر الثقب الموجودة فيها، وهذا موضح في الشكل بالخطوط المنقطة، ومثل هذه النتيجة المختبرية تبدو غريبة للوهلة الأولى، إذ لو فرضنا أن الصفيحة تتمدد خارجا وداخلا.



شكل (18)

(داخل الثقب) عند التسخين، فإن ذرات المعدن الموجودة على محيط الثقب ستقترب من بعضها البعض وسيصغر بذلك محيط الثقب، ولكننا نعرف أن التسخين يؤدي إلى زيادة المسافات بين ذرات المعدن وليس إلى نقصانها. فإذا رسمنا دائرة على صفيحة غير مثقوبة فإن تسخين الصفيحة سوف يؤدي على هذا الأساس إلى زيادة محيط الدائرة المرسومة حتى ينطبق على الخط المنقط كما مبين في الشكل (18) عند بلوغها نفس درجة حرارة الشق الأول من التجربة. لهذا فإن الثقوب والتجاويف في الجسم الصلب تزداد عند التسخين، وتقل عند التبريد (اي تتناقص).

خصوصية تمدد السوائل

في الفقرات السابقة ذكرنا أن السوائل تتمدد بالحرارة أكثر مما هو عليه في المواد الصلبة، وهذا يمكن ملاحظته عند مقارنة معاملات التمدد الحجمي للسوائل مع معاملات التمدد الحجمي للمواد الصلبة، الجدول التالي يبين قيم معامل التمدد الحجم لبعض السوائل.

جدول المعاملات التمدد الحجمي لبعض السوائل (درجة $^{-1}$)

السائل	م ح	المادة	م ح
الاسبتون	0.0014	الماء عند	
الكلسرين	0.0005	5 – 10 ^{0}م	0.00053
الكيروسين	0.0010	10 – 20 ^{0}م	0.000150
الزئبق	0.00018	20 – 40 ^{0}م	0.000302
الكحول الاثيلي	0.0010		

أن تسخين إناء يحتوي على سائل لا يؤدي إلى تمدد السائل فحسب، وإنما يؤدي أيضا إلى تمدد الإناء نفسه، ولما كان تمدد السوائل أكبر من تمدد المواد الصلبة بشكل عام فإن تمدد السوائل على الدوام أكبر من تمدد الأواني

الحاوي لها، وأن ملاحظة زيادة حجم السوائل الموجودة في الأواني أثناء التسخين دليل على ذلك. وهكذا فإن التمدد المنظور للسائل أثناء التسخين يكون دائما أقل من تمدد السائل نفسه (تمدده الحقيقي).

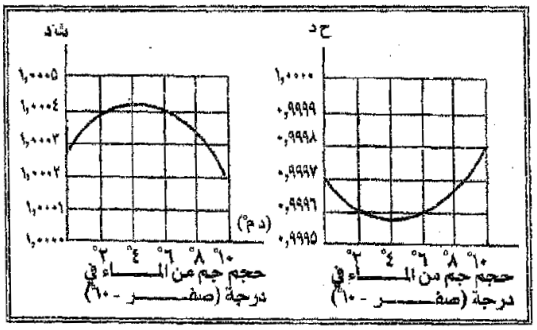
إن التمدد المنظور للسائل يطلق عليه اسم **التمدد الظاهري**، ولهذا يمكن القول بأن التمدد الحقيقي للسوائل عند التسخين يساوي التمدد الظاهري مضافا إليه تمدد الإناء الذي يحتوي على السائل، لذا:

التمدد الحقيقي = التمدد الظاهري + تمدد الإناء

<u>شذوذ تمدد الماء</u>:

ذكرنا في الفقرات السابقة أن جميع المواد تتمدد بالحرارة ما عدا بعض المواد التي تشذ عن هذه القاعدة، والماء من بين هذه المواد، فالتجربة تبين أن الماء عند ارتفاع درجة حرارته من الصفر المئوي إلى 4 ^{0}م يتقلص حجمه .

وعند انخفاض درجة حرارته من 4^{0}م إلى الصفر المئوي يتمدد فيزداد حجمه ولكن عندما تبدأ درجة حرارة الماء بالارتفاع ابتداء من 4 ^{0}م فإنه يتمدد ويزداد حجمه وعلى هذا الأساس فإن حجم كتلة من الماء يبلغ في 4^{0}م أقل ما يمكن مما يؤدي إلى أن تكون كثافته أكبر ما يمكن، كما في الشكل (19).



شكل (19)

إن هذه الظاهرة تلعب دورا كبيرا في الطبيعة حيث أنها تقي الأحياء المائية من التجمد فتساعدها على البقاء في المناطق الباردة ذلك أن مياه سطح الأنهار والبحيرات والمحيطات في هذه المناطق تنخفض درجة حرارتها إلى 4 ^{0}م تزداد كثافتها لتنزل إلى الأعماق، إذا استمرت درجة حرارة الهواء بالإنخفاض فإن مياه السطح تبدأ بالتمدد فتقل كثافتها لذلك تجمد مياه سطح الأنهار والبحيرات وحتى المحيطات، بينما تبقى درجة حرارة مياه الأعماق 4 ^{0}م مما يجنب الأحياء المائية من التجمد ويمكنها من العيش كما ذكرنا.

مثال (1):

أ. أحسبه كم يكون حجم 100 لترا من الكيروسين في درجة الصفر المئوي، عندما ترتفع درجة الحرارة إلى 2 ^{0}م علما بأن معامل التمدد الحجمي للكيروسين يساوي 0.0010 (درجة)$^{-1}$ (أحسب الحجم بالأمتار).

الحل

100 لتر = 100 لتر × 1000 سم^3 ∴ لتر

100 لتر = 10 سم^3 حجم الكيروسين عند درجة (0°م)

ح $_د$ = ح [1+م ح (د−د$_0$)]

ح$_{40}$ = 10 سم^3 [1+ 0.0010 درجة$^{-1}$ (40−0) درجة)

ح$_{40}$ = 10 سم × 1.04

ح$_{40}$ = 104000 سم^3 ×1 لتر \ (1000 سم^3)

ح$_{40}$ = 104 لتر يصبح حجم الكيروسين في درجة حرارة (40^{0}م)

ب) قنينة حجمها يساوي 400 سم^3 والكثافة الزجاجية لها بدرجة الصفر المئوي ملئت إلى حافتها بالزئبق وسخنت إلى درجة 100م، وقد خرج منها عند التسخين 6.12 سم^3 من الزئبق، أحسب معامل التمدد الحجمي للزئبق، إذا علمت أن (م ط) للزجاج = 0.000009 درجة $^{-1}$.

الحل

حجم القنينة في درجة الصفر المئوي= 400 سم^3

ح= 400 سم · ^{3}م \ 10 سم^3= 4 ×10 $^{-4}$ م^3

خرج من الزئبق عند التسخين 6.12 سم^3 فالتمدد الظاهري للزئبق

ح ظ= 6.12 سم^3

= 6.12 سم · ^{3}م\ (10 ^{6} سم^3) = 6.12 ·10^{-6} م^3

معامل التمدد الحجمي للزجاج= 3 معامل التمدد الطولي

معامل التمدد الحجمي للزجاج=0.000009 درجة $^{-1}$· 3

= 0.000027 درجة$^{-1}$ اللزجاج

م ح زئبق = Δ ح\ ج Δ د لكن Δ ح الحقيقية = Δ ح ظ + Δ ح زجاج

أي أن الزيادة الحقيقة = الزيادة الظاهرة + الزيادة في حجم الزجاج

م ط زئبق = الزيادة الحقيقية\(الحجم الأصلي · فرق درجات الحرارة)

= (الزيادة الظاهرية + زيادة حجم الزجاج)\(الحجم الأصلي · فرق درجات الحرارة)

(م ح) = (6.12×10 −6 م^3+0.000027 درجة−1 4·10·−4 م100· ^{3} درجة)\ الحجم الأصلي · فرق درجات الحرارة)

(م ح) معامل التمدد الحجمي للزئبق يساوي 0.00018 درجة $^{-1}$

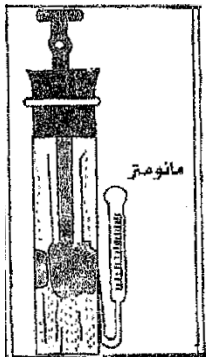
<u>تمدد الغازات</u>

عند إجراء أية عملية على غاز، فإن عوامله الثلاث (الحجم والضغط ودرجة الحرارة) سوف تتغير جميعها في آن واحد، لكن أبسط العمليات التي تجري على الغاز، هي التي تحصل نتيجة لظروف يمكن من خلالها أن يتغير

عاملان فقط من هذه العوامل الثلاث، مثل تغير الضغط والحجم، وبقاء درجة الحرارة ثابتة، أو تغير الضغط ودرجة الحرارة وبقاء الحجم ثابتا، أو تغير الحجم ودرجة الحرارة وبقاء الضغط ثابتا.

وإن مثل هذه العمليات تسمي **بعمليات التساوي**، فالعملية التي تجري بتغير الضغط والحجم والتي تبقى خلالها درجة حرارة الغاز ثابتة دون تغير تسمى عملية تساوي درجة الحرارة في **(عملية إيزوثيرمية)** والعملية التي تجري على الغاز بتغير الضغط ودرجة الحرارة وبقاء حجمه ثابتة دون تغير، تسمى عملية تساوي الحجم **(عملية أيزوكورية)** أما العملية التي يكون فيها الضغط ثابتا ويتغير الحجم ودرجة الحرارة فتسمى عملية تساوي الضغط **(عملية أيزوبارية)**.

العملية الإيزوثيرمية – قانون بويل– ماريوت



شكل (20)

كما ذكرنا في هذه العملية التي تجري على الغاز تبقي درجة الحرارة ثابتة بينما يتغير حجم الغاز وضغطه. ففي الشكل (20) جهاز لإجراء عملية إيزوثيرمية على الغاز، والجهاز محكم الإغلاق ويتكون من اسطوانة تحتوي على كمية ثابتة من الغاز، وفيها مكبس يمكن تحريكه صعودا ونزولا بحيث يمكننا من التحكم بحجم الغاز داخل الأسطوانة كما يوجد في الأسطوانة مقياس الضغط الغاز، مانوميتر (ن).

في الحالة الأولى: حجم الغاز بقدر حجم الأسطوانة لأن المكبس في أعلاها، نقرأ المانوميتر ونسجل مقدار ضغط الغاز فإذا كان حجم الغاز في هذه الحالة= ح1 فإن ضغطه= ض1

في الحالة الثانية: حجم الغاز نصف حجم الأسطوانة، وعندما نقرأ الضغط نجده ضعف مقدار الضغط الأول، أي عندما:

$ح_2 = ح_1$ ، $1\backslash ض_2 = 2\times ض_1$

في الحالة الثالثة: حجم الغاز ثلث حجمه الأصلي، وعندما نقرأ الضغط تجده يساوي ثلاثة أمثال ضغطة الأولى، أي عندما:

$ح_3 = 1\backslash 3$ $ح_1$، $ض_3 = 3ض_1$

وهكذا نلاحظ أن ضغط الغاز عندما تكون درجة الحرارة ثابتة يتغير عكسية مع الحجم، أي أن:

$ض_1 \backslash ض_2 = ح_1 \backslash ح_2$

او ان

$ض_1 \times ح_2 = ض_2 \times ح_2 =$ كمية ثابتة .

لهذا فإن الحرارة النوعية للمواد بوحدات (جول / كغم) درجة تساوي حاصل ضرب، مقدارها بوحدات كيلو سعر\(كغم.درجة) × 4190 جول\كيلو سعر

إن هذه الحقيقة تكون اساس قانون بويل– ماريوت الذي ينص على أن: (حاصل ضرب حجم كمية معينة من غاز · ضغطه عند ثبوت درجة الحرارة يساوي كمية ثابتة).

أي ان:

(ض ح = كمية ثابتة)

وفي الجدول أدناه فإن قيم الضغط والحجم لكمية معينة من غاز وجدت بالتجربة عند ثبوت درجة الحرارة وقد رسم على أساسها الخط البياني الذي يبين علاقة الضغط بالحجم عند ثبوت درجة الحرارة، كما في الشكل (21)

ح	12	6	4	3	2	1
ض	1	2	3	4	6	12

وكما ذكرنا فإن كتلة الغاز تبقى خلال العملية الأيزوثيرمية مقدرا ثابتا، ولنفرض انه يساوي (ك) فإذا كان حجم الغاز في الحالة الأولى ($ح_1$) فإن كثافة الغاز تساوي ث وعليه فإن:

$ث = ك \setminus ح_1$ (أ)

وعندها يتغير الحجم إلى $ح_2$ فإن كثافة تصبح ($ث_2$) وعليه فإن:

$ث_2 = ك \setminus ح_2$ (ب)

ومن قسمة العلاقتين (أ) و (ب) نجد:

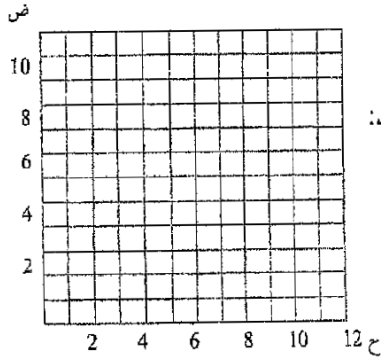
$ث_1 \setminus ث_2 = ح_2 \setminus ح_1$

لكن

$ح_2 \setminus ح_1 = ض_1 \setminus ض_2$ من قانون بويل – ماريوت

وعليه فإن

$ث_1 \setminus ث_2 = ض_2 \setminus ض_1$



شكل (21)

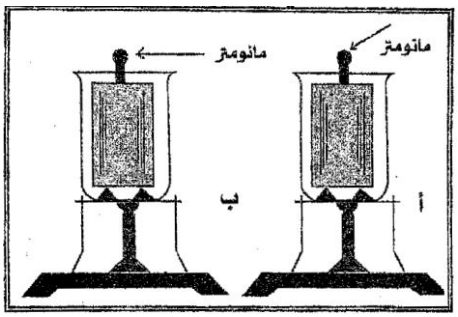
ومن المعادلة السابقة نستنتج أن كثافة الغاز تتناسب طرديا مع الضغط الواقع علية عند ثبوت درجة الحرارة.

<u>تعريف الغاز المثالي</u>

هو الغاز الذي يبقى على حالته الغازية عند أية درجة حرارة، كما انه عند أي ضغط يخضع لقانون بويل– ماريوت، أي أن حجمه يتناسب عكسيا مع ضغطه عند ثبوت درجة الحرارة. إن الغالبية العظمى من الغازات المعروفة مثل الأوكسجين، النتروجين، الهيدروجين والهليوم تعتبر غازات مثالية.

<u>العملية الأيزوكورية – قانون شارل:</u>

في هذه العملية التي تجري على الغاز، يبقى الحجم ثابتا بينما يتغير الضغط ودرجة الحرارة. ففي الشكل (22) جهاز لإجراء عملية أيزوكورية محكم الإغلاق ويتكون من اسطوانة معدنية تحتوي على غاز وفي الأسطوانة مقياس الضغط الغاز – مانوميتر (ن)، توضع هذه الأسطوانة في إناء، ويحتاج في هذه العملية إلى إناء وحامل ومسخن (مصباح بنزن) وإلى جليد وماء ولما كان تمدد أو تقلص المواد الصلبة أقل من تمدد أو تقلص الغاز فهو يمكن إهماله بالنسبة لحجم الغاز داخل الأسطوانة. فإذا أحطنا الأسطوانة المعدنية الحاوية على الغاز في بداية القياس بالثلج، لاحظ الشكل (22) فإن درجة حرارة الغاز تساوي (صفر مئوي) وعند هذه الدرجة نقيس ضغطه وليكن (ض).



شكل (22)

أي عندما تكون درجة الحرارة (د)= صفر مئوي، الضغط=ض، وبعد ذلك نبدل الجليد بالماء ونبدا بالتسخين، ونقيس ضغط الغاز بواسطة جهاز المانوميتر (ن) في كل مرة تقيس فيها درجة الحرارة

فعند درجة الحرارة ($د_1$) .....ض = $ض_1$

وعند درجة الحرارة ($د_2$) ..... ض= $ض_1$ وهكذا.

لقد وجد بواسطة هذه التجربة أن التغير في ضغط الغاز (Δض) يتناسب طردية مع ضغطة الابتدائي (ض) ومع التغير في درجة الحرارة (Δد).

أي أن: Δض يتناسب ض Δد

Δض = ثابت × ض × Δد

Δض = م ض ض Δد

حيث أن المقدار الثابت يسمى معامل الضغط الحراري ونرمز له بالرمز ($م_{ض}$) وهو معامل التناسب ويدعي بمعامل الضغط الحراري ومن المعادلة السابقة نجد أن قيمته هي:

م ض = Δض\ (ض Δد)

ومن العلاقة الأخيرة نجد أن وحدة قياس ($م_{ض}$) هي (درجة$^{-1}$) لكن:

Δض = (ض– $ض_0$) ، Δد= (د– $د_0$) وبتعويض هذه القيم في المعادلة السابقة نجد إن:

ض – $ض_0$ = $م_{ض}$ ض× د

أو أن: ض = $ض_0$ (1 + $م_{ض}$ د)

ولقد وجد ألعالم الفرنسي شارل (1746–1823) أن معامل الضغط الحراري ($م_{ض}$) هو مقدار واحد في جميع الغازات وهو يساوي (273\1) كما وجد فيما بعد أن هذا القانون الذي يعرف بقانون شارل ينطبق على الغازات المثالية ذات الكثافة القليلة إذا كلما زادت كثافة الغاز المثالي كلما زاد اختلاف مقدار ($م_{ض}$) عن(273\1).

وعلى هذا الأساس فإن الغازات المثالية التي تكون كثافتها قليلة وأن تغير درجة حرارتها ليس كبيرة هي التي تخضع لقانون شارل وبناء على ما مر أعلاه فإن الصيغة الرياضية لقانون شارل تكون كالتالي:

ض = ض (1+(1\273) د)

الصفر المطلق:

ذكر سابقا أن درجة الحرارة هي مقياس لمتوسط الطاقة الحركية لجزيئات الغاز الانتقالية وعلى هذا الأساس فإن انخفاض درجة الحرارة يعني أن الطاقة الحركية للجزيئات الانتقالية تقل بدورها أيضاً ومنه نستنتج أن الغاز يمكن تبريده حتى تتوقف جزيئاته عن الحركة الانتقالية وعلى هذا الأساس يجب أن تكون هناك حدود لانخفاض درجة الحرارة والتي تتوافق مع عدم وجود الحركة الانتقالية للجزيئات.

إن درجة الحرارة التي تتوقف عندها الحركة الانتقالية لجزيئات الغاز تسمى **بالصفر المطلق**، وعليه فإنه لا يمكن أن توجد في الطبيعة درجة حرارة أقل من درجة الصفر المطلق. وطالما كان الغاز المثالي يحتفظ بخواصه الغازية في جميع درجات الحرارة فإن المعادلة:

ض = ض (1+(1\273) د)

يجب أن تنطبق أيضا على درجة الصفر المطلق، والتي يكون عندها ضغط الغاز يساوي صفرا.

وعليه فإن:

ض= 0 وبتعويض قيمة ض من صيغة قانون شارل نجد أن:

0 = ض$_0$ (1 +(1\273) د)

لكن ض$_0$ لا يساوي 0

فإن 1+ 273 ∴1 د = 0 من العلاقة الأخيرة، نجد أن:

د = −273 °م.

أي أن درجة الصفر المطلق تساوي (−273°م) فعند هذه الدرجة توقف جزيئات الغاز المثالي عن الحركة الانتقالية، وقد وجد العالم الإنجليزي **كلفن**، أن درجات الصفر المطلق لا تخص الحركة الجزيئية في الغازات فقط، وإنما تخص الحركة الميكانيكية الانتقالية لجزئيات جميع المواد.

لقد جرى التوصل في المختبرات إلى درجة قريبة جدا من درجة الصفر المطلق حيث أن الدرجة التي تم التوصل إليها، لا تزيد إلا بمقدار 0.0044° م عن (−273°م).

قياس درجة الحرارة– التدرج المئوي والتدريج المطلق:

يستعمل الثرمومتر الزئبقي لأجل قياس درجة الحرارة، حيث يعمل على أساس التمدد المنتظم للزئبق عند تغير درجة الحرارة، في حدود واسعة، فقد وجد أن درجة تجمد الزئبق تبلغ (−39°م) وأن درجة غليانه تبلغ (357°م).

وعند تدريج الثرمومتر المئوي، وفقا للقياس العالمي، اتخذت درجة حرارة انصهار الجليد، كنقطة البداية القياس، كما اتخذت درجة حرارة غليان الماء عند الضغط الجوي الاعتيادي (760 ملمازئبق) كنقطة ثانية للقياس ثم قسمت المسافة بين هاتين النقطتين إلى 100 تقسيمة، سمي كل قسم منها (بالدرجة المئوية) وهكذا تكون درجة انصهار الجليد هي درجة الصفر المئوي، بينما تكون درجة غليان الماء في 100 درجة مئوية، وقد سمي هذا التدريج بالتدريج المئوي.

وكان العالم البريطاني كلفن قد اقترح تدريجا آخر لقياس درجة الحرارة، دعي بالتدريج المطلق، فطالما أن الصفر المطلق يتوافق مع أقل درجة حرارة ممكنة يمتلكها الجسم (−273°م) فمن المناسب أن تؤخذ هذه الدرجة كنقطة بداية لقياس درجة الحرارة، بحيث يبقى طول التدريج الواحد، كما هو عليه في التدريج المئوي (الدرجة المئوية).

ووفق هذا الإقتراح تكون درجة انصهار الجليد مساوية إلى (0+273) = 273^0 مطلقة.

وان درجة غليان الماء مساوية إلى (100 +273)= °373م (مطلقة) وبشكل عام إذا كانت درجة حرارة الجسم بالتدريج المئوي تساوي (د) فإن درجة حرارته بالتدريج نطاق تساوي (د م) وأن العلاقة بين التدريين هي كالتالي:

التدريج المطلق (د م) = د° + (273) م

قانون الغازات العام:

لنأخذ كمية معينة من غاز مثالي، ولنفرض في الحالة رقم (1) والتي تكون فيها درجة الحرارة= $د_1$، الضغط = $ض_1$، الحجم = $ح_1$ وعندما تكون درجة الحرارة $د_2$ سيكون الضغط =$ض_2$، الحجم=$ح_2$. فإذا فرضنا أيضا أن انتقال كمية الغاز المثالي هذه من الحالة رقم (1) إلى الحالة رقم (2) يتم على مرحلتين وفي المرحلة الأولى تجري عملية تحول الغاز بدون تغير الضغط (عملية إيزوبارية) إلى حالة مؤقتة (م) حيث تكون درجة الحرارة =$د_2$ والضغط = $ض_2$ (كمية ثابتة)، والحجم= ح م، وفي هذه الحالة المؤقتة تتحقق بالمعادلة التالية :

$ح_1 \backslash ح$ م = $د_1 \backslash د_2$ ..... (أ)

أي أن الحجم بتناسب طرديا مع درجة الحرارة عند ثبوت الضغط ويدعى هذا بقانون **جاي لوساك.**

في المرحلة الثانية، يجري التحول بدون تغير درجة الحرارة (عملية أيزوثيرمية) وفيها تكون درجة الحرارة = $د_2$ (كمية ثابتة)، الضغط = $ض_2$، الحجم =$ح_2$، وبموجب قانون **بويل– ماريوت** فإن:

ح م = $ح_2$ $ض_2$ (ب)

ومن المعادلة (أ) نجد ان ح م = $ح_1$ $د_2 \backslash د_1$

بتعويض قيمة (ح م) التي أوجدناها من المعادلة (أ) في المعادلة (ب) نجد أن:

$ح_1 د_2 \backslash د_1$ ومنه نجد أن:

$ح_1 ض_1 \backslash د_1$ $ح_2 ض_2 \backslash د_2$

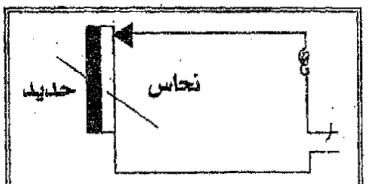
إن المعادلة السابقة تسمى **بالمعادلة العامة للغاز**، وتكون درجة الحرارة فيها بالمقياس المطلق.

<u>أهمية ظاهرة تمدد المواد بالتسخين في الطبيعة والتكنولوجيا</u>

في الطبيعة نجد أن عدم التسخين المتساوي للمياه بسبب اختلاف كثافتها من مكان إلى آخر والذي بدوره يكون أحد الأسباب في جريان مياه البحار والمحيطات، كما أن تذبذبات درجة الحرارة على مدى اليوم أو السنة، يؤدي إلى تمدد الصخور والتربة كما يؤدي إلى تقلصها الأمر الذي يسبب أحداث تشققات فيها وأحيانا يؤدي إلى تحطيم الكتل الصخرية.

وفي التكنولوجيا يحظى تمدد الأجسام بزيادة درجة الحرارة أو تقلصها عند انخفاضها بأهمية كبيرة، فعند بناء الجسور أو مد خطوط السكك الحديدية يستلزم حساب مقدار الزيادة أو النقصان المحتمل في أطوالها عند تغير درجة الحرارة على مدى اليوم أو السنة.

وفي صناعة خيوط مصابيح الإضاءة الكهربائية الذي يسخن أثناء الإضاءة إلى درجات حرارة عالية جدا فإن جزئه المار خلال الزجاج يصنع من مادة يكون تمددها مماثلا للتمدد الحجمي للزجاج، كذلك يستعمل الشريط المعدني المزدوج في الدائرة الكهربائية للثلاجة أو السيارة لتنظيم درجة حرارتها (ثرموستات) فهذا الشريط يكون عادة جزء من الدائرة الكهربائية بحيث يعمل على قطع الدائرة الكهربائية للجهاز عند زيادة درجة الحرارة عند حد معين كما في الشكل (23)، إذ أن زيادة درجة الحرارة، يؤدي إلى انحناء الشريط المزدوج فيقطع الدائرة الكهربائية، وعندما تنخفض درجة الحرارة يعود الشريط إلى حالته الأولى فينفصل التيار الكهربائي.



شكل (23)

لماذا وكيف تتمدد المواد بالحرارة؟

<u>تغير حالة المادة</u>

أن المادة يمكن أن تكون في حالة الصلابة أو السيولة أو الغازية، اعتمادا على كيفية انتظام وحركة جزيئاتها فالجليد يمكن تحويله بالتسخين إلى ماء، والماء يمكن تحويله بالتسخين أيضا إلى بخار.

وفي الطبيعة يجري تغير في حالات المادة أيضا، ولكن بمقياس أكبر، يشمل مساحات واسعة جدا، فنتيجة لتبخر مياه المحيطات والبحار والبحيرات وتصاعده في الغلاف الغازي للأرض تتكون السحب، وفي ظروف معينة يسقط منها الأمطار، فتتكون الأنهار والبحيرات التي تتجمد في مناطق كثيرة من العالم بسبب فقدان كمية كبيرة من حرارتها أيام الشتاء.

أما في التكنولوجيا، فإن تحول المادة من حالة إلى أخرى يستغل على نطاق واسع في التطبيق العملي، فبخار الماء الذي يمكن الحصول عليه من تسخين الماء، يمكن استغلاله في تحريك القطارات والبواخر وتوربينات المحطات الكهربائية، كما أن غاز الأمونيا الذي يمكن اسالته في درجة الحرارة الاعتيادية باستخدام الضغط، حيث يستفاد منه على نطاق واسع في صناعة الثلاجات وأجهزة التبريد الأخرى، كذلك يستفاد من تحول المواد الصلبة من حالة إلى أخرى في صناعة السبائك المعدنية المختلفة كالفولاذ.

إن المسافات بين جزيئات الغاز، كما ذكرنا في ظروف الضغط الجوي الاعتيادي، اكبر بكثير من قطر الجزيء نفسه، ولذلك تكون قوى الجذب بين جزيئات الغاز في مثل هذه الظروف ضعيفة، وأن هذه الجزيئات تمتلك متوسط جزيئات الغاز نفسه، لذلك يستطيع الغاز أن يتمدد في جميع الجهات عند رفع الضغط عنه.

أما الأجسام السائلة والصلبة، التي كثافتها أكبر بعدة مرات من كثافة الغاز، لأن جزيئاتها تكون قريبة من بعضها البعض، فإن متوسط الطاقة الحركية التي تمتلكها هذه الجزيئات، غير كاف لإنجاز الشغل اللازم للتغلب على قوى التجاذب فيما بينها، لذلك فإن جزيئات المواد السائلة والصلبة، لا يمكنها أن تبتعد عن بعضها البعض.

وبالإضافة إلى ذلك فإن جزيئات المادة الصلبة تترتب في انتظام معين، إذا حاولنا أن نغيره فإننا نحتاج إلى بذل شغل للتغلب على قوى التجاذب بين الجزيئات، مما يؤدي إلى زيادة الطاقة الداخلية للمادة.

من هذا نستنتج أنه عند تحويل جسم من حالة الصلابة إلى حالة السيولة ومن ثم إلى الحالة الغازية، فإن الطاقة الداخلية لذلك الجسم يجب أن تزداد حتى ولو لم ترتفع درجة حرارته، كذلك عند تحويل المادة من الحالة الغازية إلى حالة السيولة ثم إلى حالة الصلابة، فإن الجسم يعطي كمية معينة من طاقته الداخلية إلى الوسط الذي يحيطه ونتيجة لذلك فإن طاقة الجسم الداخلية تقل.

انصهار وتجمد المواد الصلبة البلورية التركيب وغير البلورية التركيب:

لقد عرفنا أن المادة يمكن تحويلها بالتسخين من حالة الصلابة إلى حالة السيولة ومن ثم إلى الحالة الغازية كما يمكن تحويلها بالتبريد من الحالة الغازية إلى حالة السيولة ومن ثم إلى حالة الصلابة.

إن تحول المادة من حالة الصلابة إلى حالة السيولة يسمى الإنصهار وأن درجة الحرارة التي عندها تنصهر المادة، تسمى درجة حرارة الانصهار لتلك المادة فالجليد مثلا عند انصهاره يتحول إلى ماء في درجة الصفر المئوي، وعلى هذا الأساس فإن درجة انصهار الجليد هي الصفر المئوي.

كذلك فإن تحويل المادة من حالة السيولة إلى حالة الصلابة يسمى التجمد وان درجة الحرارة التي تبدأ عندها المادة بالتجمد تسمى درجة حرارة الانجماد، فالماء يبدا بالتجمد عندما يكون في درجة حرارة الصفر المئوي، لذلك نقول أن درجة حرارة تجمده واحدة، وهي الصفر المئوي.

أن المادة الصلبة، إما أن تكون بلورية التركيب أو غير بلورية التركيب، فكيف يسلك كل من هذين الصنفين من المادة الصلبة خلال عملية الانصهار والتجمد؟

1. انصهار وتجمد المواد البلورية التركيب:

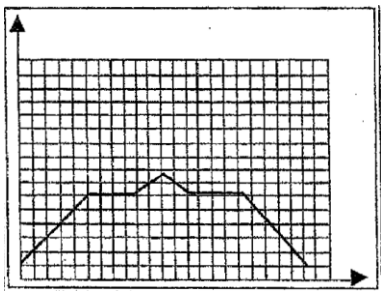
لكل مادة بلورية التركيب درجة حرارة انصهار معينة فالجليد له درجة حرارة أنصهار منخفضة هي الصفر المئوي وأن درجة حرارة انصهار النفثالين °80م، لكن درجة حرارة انصهار الحديد النقي تبلغ °1535م.

كذلك فإن لمثل هذه المواد (البلورية التركيب) درجة حرارة تجمد، وأن درجة حرارة تجمد الماء هي الصفر المئوي أيضاً، كما أن درجة حرارة تجمد منصهر النفثالين هي °80م وكذلك بالنسبة للحديد النقي فان درجة حرارة تجمد منصهره تبلغ °1535م (لاحظ الجدول التالي) وعلى هذا الأساس فإن درجة حرارة تجمد المواد البلورية المنصهره تساوي درجة حرارة انصهارها.

جدول يوضع درجة حرارة انصهار وتجمد بعض المواد (درجة مئوية)

المادة	درجة مئوية	المادة	درجة مئوية	المادة	درجة مئوية
الهيدروجين	259−	الصوديوم	98	النحاس	1083
الاوكسجين	219−	القصدير	232	زهر الحديد	1200−1100
النتروجين	210−	الرصاص	327	الفولاذ	1500−1300
الكحول	117−	الكهرب	280−350	الحديد النقي	1535
الزئبق	39−	الزنك	420	البلاتين	1770
الجليد	0	الالمنيوم	660		
البوتاسيوم	63	الذهب	1063		

فإذا سخنا مادة بلورية التركيبه مثل النفثالين فإنه يمكن ملاحظة أن درجة حرارتها تبدأ بالارتفاع حتى لحظة بداية انصهارها، فخلال كل وقت عملية الإنصهار تبقى درجة النفثالين ثابتة دون تغيير حتى انصهار آخر جزء من المادة وبعدها تبدأ درجة حرارة منصهر النفثالين بالارتفاع مرة أخرى.



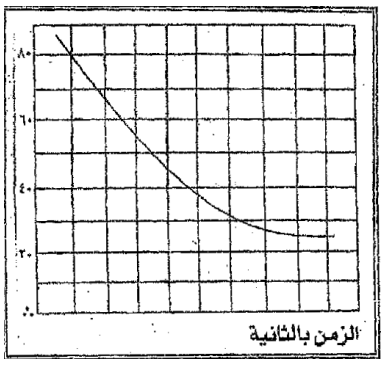
شكل (24)

ففي الشكل (24) رسم الخط البياني لنتائج تجربة تسخين النفثالين وهي مادة بلورية التركيب، وكانت درجة حرارة النفثالين في بداية التجربة 55 °م، ويمثل الخط البياني تغير درجة حرارة النفثالين بالتسخين بالنسبة للزمن فكان المحور العمودي (محور الصادات) يمثل درجة الحرارة بينما كان المحور (محور السينات) يمثل الزمن بالثواني، فعندما نستمر بالتسخين، ترتفع درجة حرارة النفثالين كما ذكرنا، حتى تبلغ 80°م، لاحظ الجزء (ب ج) من الخط البياني، وبعدها تبدأ درجة حرارة النفثالين

المنصهر بلارتفاع، وحين بلوغها °90م (لاحظ الجزء (ج د) من الخط البياني) أوقف التسخين، فبدأت درجة حرارته بالانخفاض، وحتى بلوغها 80 °م، لاحظ الجزء (دهـ) من الخط البياني، بدأ منصهر النفثالين بالتجمد وبقيت درجة حرارته 80 °م دون تغير، لاحظ الجزء (هـ و) من الخط البياني، إلى أن تتجمد جميع أجزاء النفثالين، وعندها بدأت درجة حرارته بالانخفاض مرة أخرى، إلى أن عادت درجة 55 °م التي بدأ عندها التسخين، لاحظ الجزء (و ز) من الخط البياني.

ب) انصهار وتجمد المواد غير البلورية التركيب:

لقد لاحظت كيف أن المواد البلورية التركيب تمتلك كل واحدة منها درجة انصهار وتجمد واحدة، لكن المواد غير البلورية التركيب كالأسفلت والزجاج والبلاستيك لا تمتلك درجة انصهار أو تجمد معينة، فهي تلين خلال التسخين وتتغير درجة حرارتها باستمرار إلى أن تتحول من حالة الصلابة إلى حالة السيولة، وعندما يبرد منصهر هذه المواد فإن درجة حرارته تنخفض بالتدريج إلى أن يتحول من حالة السيولة إلى حالة الصلابة فعند ملاحظة الخط البياني لانصهار القطران شكل (25) لا نجد فيه أجزاء أفقية. كالتي لاحظناها في الخط البياني لانصهار النفثالين في الشكل السابق.



شكل (25)
الحرارة الكامنة النوعية للانصهار

عند إمعان النظر في الخط البياني للشكل (24) يظهر لنا بوضوح أن درجة حرارة النفثالين خلال عملية الانصهار لا تتغير رغم استمرار التسخين، لاحظ الجزء (ب ج) الأفقي من الخط البياني ولكن حالما يتم تحول النفثالين جميعه من حالة الصلابة إلى حالة السيولة، تبدا درجة حرارته بالارتفاع، فعلى أي شيء تصرف الطاقة التي يحصل عليها النفثالين من المصدر الحراري خلال عملية الانصهار؟

إن الجواب على هذا السؤال واضح تماما ذلك أن هذه الطاقة تصرف على تهديم بلورات النفثالين الأمر الذي يؤكد قانون حفظ الطاقة وعلى هذا الأساس فإن الطاقة التي تحصل عليها المواد البلورية التركيب خلال عملية الانصهار تصرف على تغيير طاقتها الداخلية خلال تحولها من حالة الصلابة إلى حالة السيولة. إن مقدار الطاقة التي تلزم لصهر كتلة 1 كغم من المادة البلورية التركيب وتحويلها إلى سائل في درجة حرارة الانصهار تسمى (الحرارة الكامنة النوعية للانصهار) وعلى هذا الأساس فإن وحدة الحرارة النوعية للإنصهار هي (جول ∴ كغم أو كيلو سعر\ غم) كما أن مقدارها يختلف من مادة إلى أخرى، لاحظ الجدول التالي:

جدول يبين الحرارة الكامنة النوعية للانصهار

المادة	جول\كغم	كيلو سعر\كغم سعر\ غم	المادة	جول\كغم	كيلو سعر\كغم سعر\ غم
الالمنيوم	$3.9 \cdot 10^{5}$	92	الفولاذ	$0.84 \cdot 10^{5}$	20
الجليد	$3.4 \cdot 10^{53}$	80	القصدير	$0.59 \cdot 10^{5}$	14
الحديد	$2.7 \cdot 10^{5}$	65	الرصاص	$0.25 \cdot 10^{5}$	6
النحاس	$1.8 \cdot 10^{5}$	42			

فالحرارة الكامنة النوعية لانصهار الجليد في الصفر المئوي وتحويله إلى ماء في درجة الصفر المئوي تساوي كما هو واضح من الجدول السابق $(3.9 \times 10)^{5}$ جول ∴ كغم أو ما يعادل 80 كيلو سعر\ كغم أو 80 سعر\غم، وهذا يعني أن تحويل جزء من الجليد كتلته 1 كغم ودرجة حرارته الصفر المئوي إلى ماء في درجة الصفر المئوي يتطلب صرف طاقة مقدارها $(3.9 \times 10)^{5}$ جول أو 80 كيلو سعر، تذهب إلى زيادة الطاقة الداخلية للسائل إذ أن طاقة المادة (الداخلية) خلال عملية الإنصهار سوف تزداد كثيرة.

وعلى هذا الأساس فعند درجة حرارة الانصهار تكون الطاقة الداخلية لكتله 1 كغم من المادة في حالة السيولة أكبر من الطاقة الداخلية لنفس هذه الكتلة من المادة في حالة الصلابة بمقدار الحرارة النوعية لانصهار تلك المادة. فالطاقة الداخلية لكتلة 1 كغم من الماء في درجة حرارة الصفر المئوي أكبر أيضاً من الطاقة الداخلية لنفس هذه الكتلة من الجليد في درجة الصفر المئوي أيضا.

<u>الطاقة التي تعطيها المادة خلال التجميد</u>

لنرجع إلى الخط البياني لانصهار النفثالين في الشكل (24) ولنمعن النظر في جزئه الذي يمثل درجة حرارة النفثالين بعد إيقاف التسخين. فخلال التبريد تنخفض درجة حرارة منصهر النفثالين، ولكن حالما يبدا بالتجمد يتوقف انخفاض درجة الحرارة عند (80°م)، رغم استمرار النفثالين بإعطاء طاقته الداخلية إلى الأجسام المرتبطة به لأن درجة حرارته أعلى من درجة حرارة الأجسام المحيطة به، ويستمر النفثالين على هذه الحالة إلى أن يتجمد جميعه، وعند ذلك تبدأ درجة حرارته بالانخفاض مرة أخرى، فلماذا لم تنخفض درجة حرارة النفثالين خلال عملية التجمد؟

سبق أن علمت أن الجسم عندما يكون في درجة التجمد، فإن طاقته الداخلية في حالة السيولة، أكبر من طاقته الداخلية في حالة التجمد، وعلى هذا الأساس فإن الجسم يعطي الفرق بين طاقته في الحالتين خلال عملية التجمد نتيجة التبريد لذلك فإن متوسط طاقة الجزيء، وبالتالي درجة حرارة الجسم تبقى ثابتة دون تغيير طالما لم تنته عملية

التجمد وفي لحظة انتهاء عملية التجمد، تبدأ درجة حرارة الجسم (الذي أصبح صلباً) بالانخفاض لأنه يكون في هذه الحالة قد فقد كل طاقته الفائضة.

لقد أكدت التجارب أنه عند تجمد المواد البلورية التركيب فإنها تعطي بالضبط نفس مقدار الطاقة التي امتصتها خلال عملية انصهارها. فعند تجمد كتلة 1 كغم من الماء في درجة الصفر المئوي فإنها تعطي الأجسام المحيطة بها طاقة مقدارها 80 كيلو سعر أي ما يعادل (3.9×10^{5}) جول. وهذا المقدار من الطاقة يساوي نفس المقدار من الطاقة التي امتصتها كتلة 1 كغم من الجليد في درجة حرارة الصفر المئوي، عند تحولها إلى ماء في درجة حرارة الصفر المئوي.

مثال (1): **سبيكة من الفولاذ درجة حرارتها تساوي درجة حرارة انصهارها، أحسب الطاقة الواجب صرفها بالجولات، وبالسعر، لأجل صهر هذه السبيكة في نفس درجة الحرارة إذا علمت أن كتلتها 300 كغم.**

الحل:

من الجدول السابق نجد أن : الحرارة النوعية لإنصهار الفولاذ 0.84×10^{5} جول / كغم

الطاقة اللازم صرفها= 0.84 · جول\كغم · 300 كغم

الطاقة اللازم صرفها = 250 جول

كذلك، نجد من نفس الجدول أن الحرارة النوعية لانصهار الفولاذ 20 كيلو سعر / كغم

الطاقة الواجب صرفها (ح) = 20 كيلو سعر ∴ كغم · 300 كغم

الطاقة الواجب صرفها (ح) = 6000 كيلو سعر

مثال (1): **كم هي كمية الطاقة (جول) الواجبة صرفها لأجل صهر كتلة من الألمنيوم مقدارها 100 كغم عندما تكون في درة حرارة °20م.**

الحل:

أن الألمنيوم يبدأ بالانصهار عندما تكون حرارته 660°م وعلى هذا الأساس يجب تسخين 100 كغم من الألمنيوم بحيث ترتفع درجة حرارته من °20 م إلى °660م

ح = ح ن = ك $(د-د_0)$

ومن الجدول السابق ح ن للألمنيوم = 880 جول\ (كغم. درجة)

$ح_1$ = 880 (جول\كغم.درجة) × 100 كغم (660 − 20) درجة

$ح_1 = 5632\times10^{4}$ جول

الحرارة اللازمة لصهر الألمنيوم في 660°م = $ح_2$

ح$_2$ = ح ص ×ك ح ص = الحرارة الكامنة النوعية للإنصهار

=39 جول \ كغم

لاحظ الجدول السابق:

ح$_2$ = 3.9 ×10 ^{4} × 100 كغم = 3.9 ×10 ^{7} جول

كمية الحرارة الواجب صرفها= ح=ح$_1$+ ح$_2$

=5632×10 ^{4} +3.9 ×10 ^{7}

= 9.532 ×10 ^{7} جول

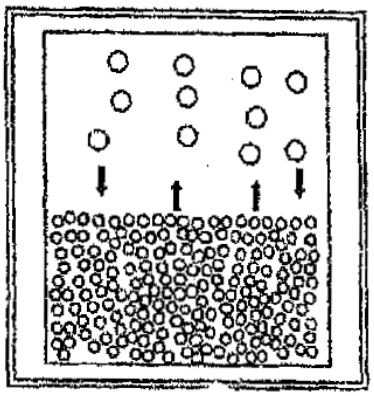
التبخر والتكاثف:

إن درجة حرارة الأجسام في حالاتها الثلاث الصلبة والسائلة والغازية، مرتبطة مع سرعة حركة جزيئات المادة فكلما كان متوسط سرعة حركة الجزيئات كبيرة كانت درجة حرارة المادة كبيرة أيضا.

غير انه عند درجة حرارة معينة توجد في السائل جزيئات منفردة تتحرك بسرعة أكبر من متوسط سرعة الجزيئات الأخرى، كما توجد أيضا جزيئات تمتلك سرعة أبطئ من ذلك المتوسط فإذا كانت سرعة جزيئة من جزيئات سطح السائل كبيرة لدرجة كافية فإن طاقتها الحركية سوف تمكنها من التغلب على قوى التجاذب بينها وبين جزيئات السطح المجاورة لها فتنفصل طائرة على السائل، والجزيئات الطائرة من سطح السائل التي كانت تمتلك سرعة أكبر من متوسط سرعة جزيئات السائل الأخرى تكون على سطح السائل البخار، وإن عملية تحول جزيئات السائل إلى بخار تسمى بالتبخر.

إن مثل هذه الجزيئات التي تمتلك سرعة أكبر من متوسط سرعة جزيئات السائل الأخرى، موجود في جميع درجات الحرارة، لذلك فإن التبخر يجري في جميع درجات الحرارة، وهذا يفسر سبب تبخر مياه البرك والمستنقعات في جميع أوقات السنة.

لكن التبخر أيام الصيف وبخاصة في منتصف النهار يكون أسرع مما يجري عليه في بقية الأوقات، فكلما كانت درجة حرارة السائل مرتفعة، فإن أعدادا كبيرة من الجزيئات سوف تمتلك طاقة حركية تمكنها من التغلب على قوى التجاذب بينها وبين الجزيئات المجاورة لها، فتفلت من السائل طائرة من سطحه لذلك تجري عملية التبخر بسرعة أكبر.



شكل (26)

وفي نفس الوقت الذي تتحول فيه بعض جزيئات السائل إلى بخار تجري عملية عكسية، فالحركة العشوائية للجزيئات المتطايرة فوق سطح السائل قد تؤدي ببعض هذه الجزيئات للعودة ثانية إلى سطح السائل كما في الشكل (26) فإذا جرت عملية التبخر في قنينة مغلقة فإن عدد الجزيئات التي تغادر سطح السائل يساوي عدد الجزيئات التي تعود ثانية إلى السطح، لذلك فإن كمية السائل في المحلات المغلفة تبقى ثابتة دون تغير، رغم أن جزيئات السائل تستمر في حركتها.

ولكن عندما يجري التبخر في الأماكن المفتوحة، فإن كمية السائل نتيجة التبخر تتناقص بالتدريج، لأن عددا كبيرا من الجزيئات يترك سطح السائل إلى الهواء ولا يعود ثانية إلى السائل لذلك يزداد التبخر عند زيادة سرعة الريح إذ أن الريح السريعة تحول دون عودة الجزيئات المتبخرة إلى السائل مرة أخرى.

امتصاص الطاقة خلال عملية التبخر

إن الجزيئات التي تفلت من سطح السائل تتغلب على قوى التجاذب بينها وبين الجزئيات المتجاورة، وهذا يعني انها تنجز شغلا ضد قوى جذب تلك الجزئيات اضافة الى ان البخار الذي يتكون من تلك الجزئيات المتطايرة ينجز شغلا ايضا.

ان تكون البخار فوق سطح السائل يعني فقدان السائل للجزئيات التي تمتلك سرعة كبيرة، مما يؤدي الى نقصان متوسط الطاقة الحركية لجزيئات السائل الباقية لذلك فان الطاقة الداخلية للسائل المتبخر في حالة عدم وجود مصدر خاص للطاقة يزود السائل بالطاقة اللازمة لرفع درجة حرارته.

ان انخفاض درجة حرارة السال المتبخر يمكن ملاحظته خلال التجربة. فاذا بللنا ايدينا بالاثير، احسسنا ببرودة اليدين، كذلك اذا خرجنا من الماء في يوم حار شعرنا بالبرودة فالماء عندما يتبخر من سطح جسمنا يأخذ قسما من حرارة الجسم، ولكن عندما يتبخر الماء الموجود في قدح، فلن نلاحظ انخفاض درجة حرارته، لأن الماء سوف يعوض الحرارة التي يفقدها، من الحرارة التي سوف يأخذها من الهواء المحيط به، لذلك تستمر عملية التبخر، طالما بقي القدح مكشوفا في الهواء.

إن هذا يؤكد ضرورة وجود مصدر حراري لكي تستمر عملية التبخر فلأجل تبخر كتلة 1 كغم من الماء عند درجة حرارة °35م، نحتاج إلى 576 كيلو سعر من الحرارة، أما تبخر كتلة 1 كغم من الأثير عند نفس درجة الحرارة هذه (35°م) فيتطلب كمية أقل من الحرارة (85 كيلو سعر)، فلماذا تحتاج إلى تبخر 1 كغم من الماء طاقة حرارية أكبر؟

إن الجواب على هذا السؤال واضح وخاصة إذا تذكرنا أن قوة التماسك بين جزئيات الماء أكبر من قوة التماسك بين جزيئات الأثير، الأمر الذي يجعل جزيئات الماء تحتاج إلى طاقة أكبر لأجل أن تتغلب على قوة التجاذب بينها وبين الجزئيات المجاورة لها لذلك تحتاج إلى طاقة حرارية لتبخر الماء أكبر من الطاقة الحرارية التي تحتاجها لتبخر الأثير.

التكاثف:

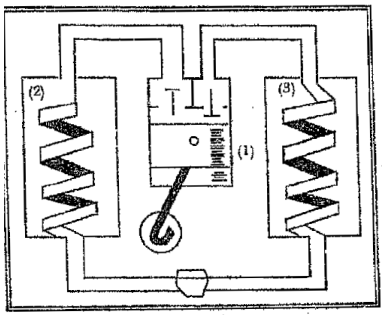
تسمى عملية تحول بخار المادة إلى سائل بالتكاثف، ولما كانت الطاقة الداخلية التي تمتلكها المادة في الحالة الغازية أكبر من الطاقة الداخلية في حالة السيولة، فإن تكاثف بخار المادة يصاحبه إعطاء طاقة حرارية من المادة المتكاثفة إلى الوسط.

فعند اي درجة من درجات الحرارة التي يتبخر عندها السائل، يمتص كمية من الحرارة تزيد الطاقة الداخلية للمادة لكي تتحول إلى الحالة الغازية (بخار) فالكيلو غرام الواحد من الماء في درجة حرارة °35م يحتاج إلى 576 كيلو سعر من الطاقة الحرارية لتبخره ولكنه عندما يتكاثف مرة أخرة يعطي 576 كيلو سعر إلى الوسط ويتحول إلى ماء في درجة حرارة °35م، وهكذا يقال أن حرارة التكاثف تساوي حرارة التبخر.

عمل الثلاجة

إن تحول المادة من حالة إلى أخرى يستغل على نطاق واسع في التطبيق العملي، وأن ظاهرة التبخر والتكاثف تستغل في صناعة الثلاجات وأجهزة التبريد الأخرى، والثلاجة تتكون أساسا من ثلاثة أقسام هي:

1- المكبس. 2- المكثف. 3- المبخر



شكل (27)

والجزئان الأخيران (2، 3) يتكون كل منهما من أنبوب حلزوني بحيث يمر المبخر في المجمد freezer بينما يقع المكثف خارج مخزن الثلاجة كما في الشكل (27).

يستعمل في الثلاجة غاز الأمونيا أو غيره من الغازات التي يسهل تحويلها إلى حالة السيولة بواسطة الضغط عند درجة الحرارة الاعتيادية.

فعند ضغط غاز الأمونيا بواسطة المكبس (1) يتحول من الحالة الغازية إلى حالة السيولة، وفي نفس الوقت يحدث تخلخل في الإنبوبة الحلزوني للمبخر، وعبر الصمام المنتظم (م) يتجه سائل الأمونيا إلى المبخر، فيمر عبر الأنبوب الحلزونين وهنا يتبخر سائل الأمونيا بسرعة، فيصاحب هذا التبخر امتصاص للحرارة بسرعة من الهواء، لذلك يمتص الهواء البارد داخل الثلاجة حرارة المواد الموجودة في مخزن الثلاجة، فتبرد ويجري التبريد على أشده في المجمد freezer بعد ذلك يعود غاز الأمونيا إلى المكبس حيث يتحول إلى سائل مرة أخرى ويمر عبر الصمام المنتظم (م) إلى المبخر (2) وهكذا يستمر عمل الثلاجة.

الغليان:

عند تسخين الماء في إناء مفتوح كما في الشكل (28) يجري التبخر أولا في سطح الماء، فيتكون ضباب داخل الدورق نتيجة تكاثف البخار المتكون بسبب اختلاطه مع الهواء البارد الموجود داخل الدورق.

شكل (28)

وباستمرار عملية التسخين ترتفع درجة حرارة الماء ونلاحظ ظهور فقاعات صغيرة عديدة داخل الماء وهذه الفقاعات يزداد حجمها بالتدريج، وهي فقاعات هوائية ناشئة من تمدد الهواء المذاب في الماء ولكنها لا تحوي هواء فقط وإنما يوجد فيها أيضا بخار الماء بسبب التبخر الذي يجري داخل السائل.

وكلما استمر التسخين ازداد حجم الفقاعات كما يزداد عددها. وبازدياد حجم الفقاعة تزداد القوة الصعودية لها، فتصعد إلى سطح الماء حيث تنفجر، كما في الشكل (28) ويصاحب هذه الانفجارات صوت فوران الماء.

وباستمرار التسخين تنشأ داخل السائل فقاعات صغيرة أخرى تكبر بدورها وتصعد إلى سطح السائل حيث تنفجر هي الأخرى، لكن الفقاعات في هذه الحالة تحتوي بخار الماء مع قليل من الهواء، وهي تصعد من نقاط مختلفة داخل السائل بسرعة واحدة بعد الأخرى، ويزداد حجمها عند اقترابها من السطح حيث تنفجر على السطح ويتصاعد بخار الماء في الجو.

فالغليان هو عملية تبخر السائل التي لا تجري في سطح السائل فحسب، وإنما تجري ايضا داخل السائل.

إن درجة الحرارة التي يغلي عندها السائل، تسمى درجة غليان ذلك السائل، وإن لكل سائل درجة غليان معينة كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول يوضح درجة غليان بعض المواد وأن درجة غليان المادة ثابتة لا تتغير اثناء عملية الغليان

المادة	د مئوية	المادة	د مئوية	المادة	د مئوية
الهيدروجين	253-	غاز الامونيا	33-	الكحول	78
الزئبق	357	النحاس	2580	الاوكسجين	183-
الاثير	35	الماء	100	الرصاص	1750
الحديد	3050				

في الجدول السابق نلاحظ أن المادة التي هي في الظروف الاعتيادية غاز وحولت بالتبريد والضغط إلى سائل مثل الهيدروجين المسال والأوكسجين المسال، تغلي في درجة حرارة واطئة جدا، فالهيدروجين المسال يغلي في درجة 253-°م والأوكسجين المسال يغلي في درجة 183-° م، بينما نلاحظ أن المواد التي هي في الظروف الاعتيادية مواد صلبة منصهرة، تغلي في درجات حرارة عالية جدا فالحديد يغلي في درجة حرارة 3050°م كما يلاحظ من الجدول السابق.

<u>الحرارة الكامنة النوعية للتبخر</u>

لاجل إبقاء درجة حرارة السائل المتبخر ثابتة لا بد من إعطاء طاقة حرارية كافية، والغليان كما ذكر هو تبخر أيضاً ولكنه لا يجري في سطح السائل فحسب، وإنما يجري في داخله أيضا. وتتكون خلاله فقاعات بخار وتبقى درجة حرارة السائل ثابتة خلال عملية الغليان.

فلأجل استمرار عملية الغليان لا بد من إعطاء كمية معينة من الطاقة الحرارية، ولكن هذه الطاقة تصرف على زيادة طاقة البخار الذي يتكون خلال عملية الغليان.

أن كمية الطاقة الحرارية اللازمة لتحويل كتلة 1 كغم من السائل إلى بخار في درجة غليان ذلك السائل تسمي **(الحرارة الكاملة النوعية للتبخر)** وقد ذكر في الفقرة السابقة أن تحويل 1 كغم من الماء عند درجة حرارة 35°م إلى

بخار يتطلب صرف 576 كيلو سعر، وعليه فإن الحرارة الكامنة النوعية لتبخر الماء عند هذه الدرجة (35°م) تساوي 576 كيلو سعر\ كغم، وقد أكدت التجارب بان الحرارة الكامنة النوعية لتكون بخار الماء عند درجة غليانه (100°م) تساوي 539 كيلو سعر\ كغم، وبعبارة أخرى، فلأجل تحويل كتلة 1 كغم من الماء في درجة (100°م) إلى بخار في نفس الدرجة (100°م) يجب أن تصرف 539 كيلو سعر أي ما يعادل 2.3 ×10 ^{6} جول.

إن لكل مادة حرارة كامنة نوعية للتبخر، لاحظ الجدول السابق، وأن وحدة الحرارة الكاملة النوعية للتبخر لا تختلف عن وحدة الحرارة الكامنة النوعية للانصهار (كيلو سعر\ غم، جول ∴ كغم) وهي تشير إلى مقدار الطاقة الواجب إعطاؤها لتحويل 1 كغم من المادة في درجة الغليان إلى غاز في نفس تلك الدرجة وعلى هذا الأساس فإن الطاقة الداخلية أي (1كغم) من بخار الماء عند درجة 100 °م تزيد على الطاقة الداخلية لـ(1كغم) من بخار الكحول في درجة °78م تزيد على طاقة (1 كغم) من الكحول السائل في نفس هذه الدرجة بمقدار 204 كيلو سعر.

جدول يوضح الحرارة الكامنة النوعية للتبخر

المادة	جول\كغم	كيلو سعر\كغم	المادة	جول\كغم	كيلو سعر\كغم
الماء	$3.9 \cdot 10^{6}$	539	الاثير	$3.9 \cdot 10^{6}$	85
سائل الامونيا	$3.9 \cdot 10^{6}$	327	الزئبق	$3.9 \cdot 10^{6}$	70
الكحول	$3.9 \cdot 10^{6}$	204			

إن القسم الأكبر من الطاقة المصروفة في تحويل السائل إلى بخار يذهب إلى زيادة الطاقة الداخلية للبخار، إذ أن 539 كيلو سعر التي تصرف لتحويل واحد كغم من الماء في درجة حرارة °100م إلى بخار في نفس الدرجة. يذهب 500 كيلو سعر منها إلى زيادة الطاقة الداخلية للبخار، أما ال (39) كيلو سعر الباقية فتصرف لإنجاز شغل للتغلب على الضغط الخارجي وبشكل رئيسي ضد الضغط الجوي.

إن حجم وحدة الكتل لبخار الماء تحت الضغط الجوي الاعتيادي وفي درجة حرارة °100 م يبلغ تقريبا 1700 مرة أكبر من حجم وحدة كتل الماء عند نفس تلك الظروف، وعلى هذه الصورة فإن الطاقة الداخلية لكتلة 1 كغم من بخار الماء عند درجة 100°م أكبر من الطاقة الداخلية لكتلة 1 كغم من الماء في نفس الدرجة 100°م بحوالي 500 كيلو سعر أي ما يعادل 2×10 ^{6} جول.

ولكن عند تكاثف البخار وتحوله إلى سائل في نفس الدرجة يعطي كما ذكرنا نفس الطاقة التي امتصها خلال تحوله، وعلى هذا الأساس فعند تحول 1 كغم من بخار الماء في درجة حرارة °100 م إلى ماء في نفس الدرجة °100م فإنه يعطي 539 كيلو سعر إلى الوسط المحيط به، وهذه هي الطاقة المحررة.

مثال (1): **احسبه مقدار الطاقة الواجب صرفها لتحويل 2 كغم من الماء في درجة 20م إلى بخار في درجة حرارة °100م (جول)**

الحل: إن الحرارة الواجب صرفها من أجل تحويل الماء من درجة °20م إلى °100م يمكن حسابها من المعادلة الآتية:

ح= ح ن = ك (د – د$_0$)

ح$_1$ = 2 كغم × 4200 (جول\كغم درجة) × (100–20) درجة

ح$_1$ = 4200 × 160 جول = 672000 جول

ح$_2$ = 2.3 ×10 ^{6} (جول\كغم) × 2 كغم = 46000000 جول

ح = ح$_1$ + ح$_2$

ح = 46672000 جول وهي الطاقة الواجب صورفها.

<u>البخار المشبع والبخار غير المشبع:</u>

سبق وأن ذكرنا أن سطح الأواني المكشوفة والمعرضة للهواء لا يبقى على حالته بل ينخفض على الدوام، نتيجة عملية التبخر، التي تجري في جميع درجات الحرارة، فالهواء المتحرك (الرياح) ياخذ معه جزيئات السائل المتطايرة من سطح السائل نفسه، نتيجة عملية التبخر، فيقلل من عدد الجزيئات المتطايرة، التي قد تعود مرة أخرى راجعة إلى سطح السائل أثناء عملية التكاثف.

أما إذا كان الإناء الحاوي للسائل مغلفة، فإن مستوى السائل يبقى دون تغير ويعود ذلك إلى جزئيات السائل المتطايرة، أثناء عملية التبخر يعود بعضها إلى سطح السائل مرة أخرى، أي أنها تتكاثف، وتجري هذه العملية بحيث أن عدد جزيئات السائل التي تترك سطح السائل في عملية التبخر يساوي عدد جزيئات السائل المتكاثفة والتي تعود مرة أخرى إلى السائل نفسه.

ويمكن القول أن عملية التبخر في الأواني المغلفة توازنها عملية التكاثف، الأمر الذي يبقى مستوى سطح السائل في مثل هذه الأواني المغلقة دون تغير. إن مثل هذا التوازن بين عملية التبخر وعملية التكاثف، التي تجري في السائل يدعى بالتوازن الديناميكي، وأن البخار الذي يكون في حالة توازن ديناميكي، **يدعى بالبخار المشبع**.

أما إذا كانت عملية التبخر تجري، بحيث أن عدد جزيئات السائل التي تترك سطحه نتيجة عملية التبخر، اكبر من عدد الجزيئات التي تعود خلال عملية التكاثف إلى سطح السائل، فإن بخار السائل لا يكون في حالة توازن ديناميكي، ويدعى في مثل هذه الحالة **بالبخار غير المشبع**.

إن ضغط وكثافة البخار المشبع يعتمد على نوع المادة المتبخرة، وأن ضغط البخار المشبع يزداد كلما زادت درجة الحرارة، ليس فقط بسبب زيادة متوسط الطاقة الحركية لجزيئاته، وإنما بسبب زيادة عدد الجزئيات المتبخرة من السائل

أيضاً، أما إذا انخفضت درجة حرارة البخار المشبع، فإن ضغطه يقل بسرعة، وان كثافته تقل أيضاً، فيجري تكاثف جزء منه وعلى هذا الأساس، فإن درجة حرارة البخار المشبع لا تحدد فقط ضغطه وإنما تحدد أيضاً كثافته.

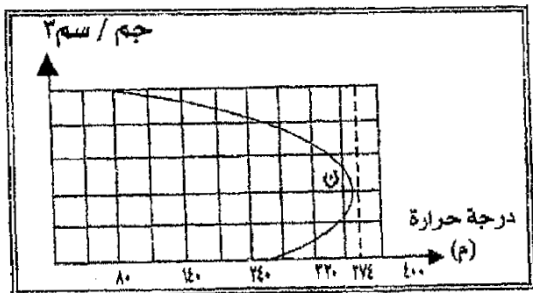
إن تكاثف جزء من بخار الماء المشبع، الموجود في الجو، عند انخفاض درجة حرارته هو السبب في تكوين الغيوم، فعندما يرتفع الهواء المشبع ببخار الماء، بسبب تيارات الحمل الصاعدة، أو نتيجة تلاقي كتلتين من الهواء احدهما باردة والأخرى حارة مشبعة ببخار الماء تنخفض درجة حرارة البخار المشبع الموجود في الهواء، مما يؤدي إلى تكاثف قسم منه في أعالي الجو على هيئة غيوم، كذلك أن مثل هذا التكاثف قد يجري قرب سطح الأرض بسبب برودته نتيجة الإشعاع الحراري أو بسبب اختلاط الهواء المشبع ببخار الماء بهواء بارد قرب سطح الأرض، فيتكون الضباب، كما أن الندى يتكون هو الآخر نتيجة تكاثف جزء من بخار الماء المشبع في درجة حرارة معينة على الأغصان وأوراق الأشجار أو على الحشائش والأعشاب نتيجة انخفاض درجة حرارتها بسبب فقدان الحرارة الناشئة بسبب الإشعاع، وخاصة في أيام الصحو.

<u>درجة الحرارة والضغط الحرج للسائل:</u>

عند تسخين سائل في دورق محكم الإغلاق، فمن الممكن أن يجري تسخينه إلى درجة حرارة عالية جدا، قد تصل أعلى بكثير من درجة غليانه. إن هذا التسخين يصحبه طبعا تبخر السائل وبالتالي زيادة ضغطه وكثافة بخاره المشبع.

وقد أكدت التجربة أن السائل نفسه يتمدد وتقل كثافته، وعلى هذا الأساس فكلما زاد التسخين، في الدورق المغلق، كلما قلت كثافة السائل المسخن من جهة وزادت كثافة بخاره المشبع من جهة أخرى، فهل يمكن الاستمرار على عملية التسخين هذه بحيث تصل إلى درجة حرارة يتساوى فيها كثافة السائل مع كثافة بخاره المشبع؟ وإذا كان هذا ممكنا، فهل يبقى فرق في مثل هذه الحالة بين السائل نفسه وبين بخاره المشبع؟

لقد أكدت ابحاث، العالم الروسي مندليف (1834–1907م) أن لكل سائل درجة حرارة تتساوى فيها كثافة بخاره المشبع، مع كثافة السائل نفسه، وقد أطلق على درجة الحرارة هذا اسم **(درجة الحرارة الحرجة للسائل)**.



شكل (29)

ففي الشكل (29) نلاحظ التقاء الخط البياني لكثافة الماء (الخط البياني الأعلى) مع الخط البياني لكثافة بخاره (الخط البياني الأسفل) عند النقطة (ن)، والتي تحدد درجة الحرارة الحرجة للماء، والتي تبلغ 374°م لاحظ الشكل، وعلى هذا الأساس فإن درجة الحرارة الحرجة تعرف **بأنها الدرجة التي تتساوى فيها كثافة السائل مع كثافة بخاره المشبع.**

الجدول التالي يوضح درجات الحرارة الحرجة لبعض المواد

المادة	د مئوية	المادة	د مئوية	المادة	د مئوية
الماء	374.2	الاوكسجين	118.4−	الهيدروجين	341−
الكحول	243.1	النتروجين	147.1−	الهيليوم	267.9−
الاثير	193.8	النيون	228.7−	الارجون	122.4−

ولكن ليس فقط تساوي كثافة السائل مع كثافة بخاره المشبع هو الذي يحدد درجة الحرارة الحرجة للسائل، وإنما يحددها أيضا ضغط البخار المشبع لذلك السائل، وعلى هذا الأساس فإن ضغط البخار المشبع عند درجة حرارة السائل الحرجة، يطلق عليه اسم الضغط الحرج لذلك السائل، وهو يعرف أنه أكبر ضغط ممكن ان يمتلكه البخار المشبع للسائل.

إن المادة في الحالة الغازية، عندما تكون درجة حرارتها أكبر من درجة الحرارة الحرجة لسائلها تسمى غازا، أما إذا كانت درجة حرارتها أقل من درجة حرارة سائلها الحرجة، فتسمى عندئذ بخارا، فالماء في الحالة الغازية يكون غازا عندما تكون درجة حرارته أكبر من °374م ويسمى بخارا عندما تكون حرارته أقل من °374م وهي درجة الماء الحرجة.

الفصل الثاني

(الضوء)

طبيعة الضوء

منذ أن تفتحت عينا الإنسان أدرك ما لضوء الشمس من اهمية بالغة فضوء الشمس يبدد وحشته، ويذهب خوفه من المجهول، وعلى مر الأيام أدرك ما لمواقع النجوم من أهمية، فاستخدمها في الهداية أثناء الليل، ومع بزوغ فجر الحضارة القديمة، بدا الإنسان محاولات التعرف على طبيعة الضوء وتفسير بعض ظواهره.

وقد قام العالم العربي "الحسن بن الهيثم" بأبحاث كثيرة في علم الضوء كان لها أثر كبير في تطوره.

وفي النصف الثاني من القرن السابع وضع "نيوتن" نظرية تبحث في الضوء وطبيعته وتعرف بنظرية الدقائق لنيوتن، كما وضع (هيجنز) نظرية أخرة تعرف بالنظرية الموجية .

1 – نظرية الدقائق لنيوتن:

تنص على أن الضوء يتكون من دقائق مادية متناهية في الصغر تنبعث من الجسم المضيء وتنتشر في خطوط مستقيمة بسرعة كبيرة

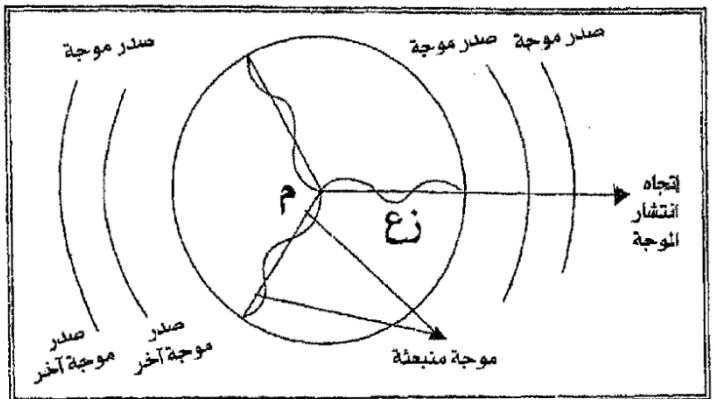
2. النظرية الموجية لهيجنز :

تنص على أن الضوء عبارة عن طاقة تنتقل من مكان إلى آخر بواسطة موجات تحدثها هذه الطاقة في وسط شفاف فرض وجوده يفصل بين مصدر الضوء والعين ويسمى بالأثير.

ولبيان كيفية انتشار موجات الضوء:

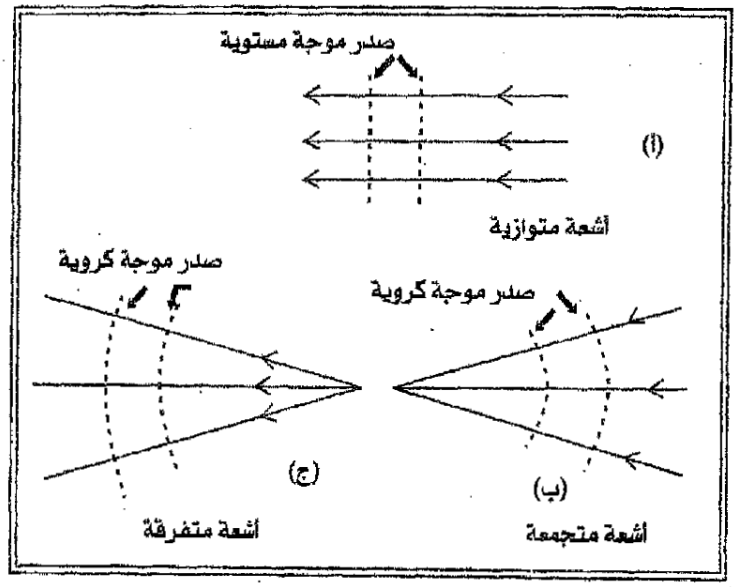
تفرض منبعاً ضوئياً على هيئة نقطة مضيئة (م) يبعث موجاته في وسط متجانس كالهواء... هذه الموجات تنتشر في جميع الاتجاهات بسرعة واحدة (ع) لذلك فبعد زمن معين (ز) نجد أن هذه الموجات قد وصلت إلى سطع كرة مركزها المنبع الضوئي ونصف قطرها ع ز.

ويطلق على سطح الكرة اسم (صدر الموجه) ولما كان صدر الموجة كرويا فإن الموجات تعرف باسم الموجات الكروية، كما في الشكل (30)



شكل (30)

وعندما يصبح صدر الموجة على بعد كبير جدا من المنبع الضوئي، فإن أي جزء صغير منه يبدو مستويا وتعرف الموجات في هذه الحالة باسم الموجات المستوية والخط المستقيم الذي يدل على اتجاه انتشار الموجه يعرف باسم الشعاع الضوئي وبديهي أن الأشعة الضوئية تكون عمودية على صدر الموجه ومن هنا تكون الأشعة الضوئية متفرقة او متجمعة في حالة الموجات الكروية كما في الشكل (31– ب،ج) ومتوازية في حالة الموجات المستوية شكل (31– أ).



شكل (31)

وصدر الموجه هو السطح الذي تكون جميع نقطه في طور واحد، وصاحب هاتين النظريتين اهتمام العلماء في البحث عن تفسير الظواهر الضوئية المختلفة على اساسهما.

وعجزت نظرية الدقائق لنيوتن عن تفسير ظاهرتي التداخل والحيود في الضوء، هذا فضلا عن أن تفسير إنكسار الضوء تبعا للطريقة التي استخدمها نيوتن، يتطلب أن تكون سرعة الضوء في وسط شفاف كالماء أو الزجاج أكبر

من سرعته في الفراغ... وهذا يتعارض مع النتائج التجريبية لقياس سرعة الضوء والتي توضح أن سرعة الضوء في أي وسط شفاف تكون أقل من سرعته في الفراغ أو الهواء.

الظواهر الثلاث السابقة تفسرها بنجاح النظرية الموجية لهيجنز لكن بالرغم من هذا النجاح فإن النظرية الموجية تعجز عن تفسير ما يسمى «بالظاهرة الكهروضوئية» .

الظاهرة الكهروضوئية

اكتشف هرتز (عالم الماني) سنة 1887م أنبعاث بعض الإلكترونات من سطح الخارصين عند سقوط أشعة فوق بنفسجية عليه وتعرف ظاهرة انبعاث الإلكترونات من سطح الفلز تحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية أو أي نوع من الضوء بأسم(الظاهرة الكهروضوئية) ، ويتوقف عدد الإلكترونات المنبعثة من سطح فلز ما على كمية الضوء الساقط عليه ويزداد بزيادتها.

أما النهاية العظمى لطاقة حركة الإلكترون المنبعث فإنها تتناسب طرديا مع تردد الضوء المستخدم.هذه الحقائق يصعب تفسيرها في ضوء النظرية الموجية لهيجنز.

وعقب اكتشاف العالم بلانك لنظرية الكم ونجاحها في شرح ظواهر الإشعاع الحراري، قام "إينشتين" بتوحيد نظريتي الضوء احداهما مع الأخرى. إذ افترض أن الضوء عبارة عن جسيمات كل منها ذو طاقة (هـ د) وكتلة هـ داع^2 تعرف بالفوتونات

(او كميات الضوء) حيث (هـ) هو ثابت يسمى «ثابت بلانك»، (د) تردد الحركة الموجية المصاحبة لحركة الفوتون، ع سرعة الفوتونات وطبقا لهذه الصورة لا توجد الفوتونات إلا متحركة بسرعة واحدة هي ع= 3 x10 ^{10} سنتيمتر في الثانية وإذا توقفت عن الحركة تلاشت كتلتها وتحولت إلى طاقة يمتصها الجسم الذي أوقف حركة الفوتونات.

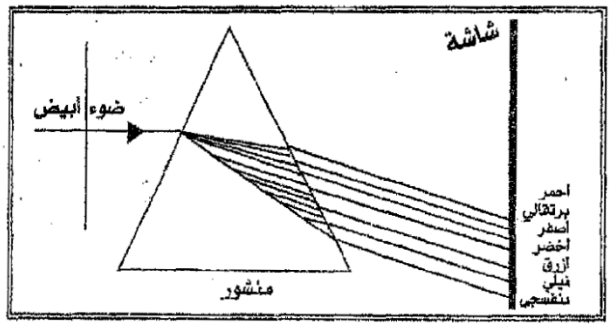
ويتضح من هذا أن اينشتين قد ربط هذه الجسيمات بحركة موجية مصاحبة للجسم ترددها (د) وتعرف هذه الجسيمات باسم الفوتونات (أو كمات الضوء) وتختلف الفوتونات عن الجسيمات العادية في أن لها حركة موجية مصاحبة وفي ان كتلتها تتلاشى عند توقفها عن الحركة مما سبق يتبين ما يلي:

يمكن اعتبار الضوء مكونا من كمات ذات طاقة محدودة "هـ د" وتعرف بالفوتونات...هذه الفوتونات في حركتها تأخذ مسار الشعاع الذي تحدده الحركة الموجية.

ظاهر التشتيت

إن ظاهرة التشتيت هي ظاهرة تحليل الضوء بعد إنكساره، فلو أنك وجهت حزمة ضيقة من ضوء الشمس الأبيض نحو منشور زجاجي في غرفة مظلمة وأسقطت الضوء النافذ من المنشور على شاشة بيضاء لظهرت لك على الشاشة ألوان متداخلة.

هذه الألوان التي يتشتت إليها ضوء الشمس بعد نفاذه من المنشور تسمى (بطيف الشمس) وكان العالم الإنجليزي نيوتن أول من لا حظ هذه الألوان وعدها وكانت سبعة هي الأحمر والبرتقالي والأصفر، والأخضر، والأزرق والنيلي والبنفسجي (شكل 32).



شكل (32)

يسمى الضوء المحتوي على عدة ألوان بالضوء المتعدد الألوان (مثل الشمس)، أما الضوء الذي لا يحتوي إلا على لون واحد فيسمى بالضوء الأحادي اللون.

يبدو في الشكل (32) إن إنكسار الضوء الأحمر الخارج من المنشور ليس كبيرا كانكسار الضوء البنفسجي كما أن إنكسار بقية الألوان يقع بين الاثنين الأحمر والبنفسجي، وإن دل اختلاف الضوء بألوانه المختلفة في المنشور على شيء فإنما يدل على أن معامل انكسار الوسط مختلف باختلاف الألوان الضوئية.

ومن هنا فلا بد لنا إذا أردنا أن نتوخى الدقة في قياس إنكسار وسط من الأوساط أن نستخدم ضوءا أحادي اللون ونعطي معامل إنكسار الوسط مقرونا بلون الضوء كما في الجدول التالي الذي يبين لنا إختلاف معامل انكسار الزجاج بتغير لون الضوء.

معاملات الإنكسار المختلفة

اللون	الزجاج الاعتيادي	زجاج العدسات
الأحمر	1.515	1.622
الأصفر	1.517	1.627
الأزرق	1.523	1.639
البنفسجي	1.533	1.663

الطيف النقي

الطيف الذي تحصل عليه من المنشور الثلاثي لا يكون نقية لأن الوانه تكون متداخلة بعضها في بعض فلا يمكن تمييز حدودها.

ويمكن أن نحصل على الوان الطيف محددة واضحة وغير متداخلة، فيقال للطيف في هذه الحالة أنه (طيف نقي).

كيفية الحصول على الطيف النقي

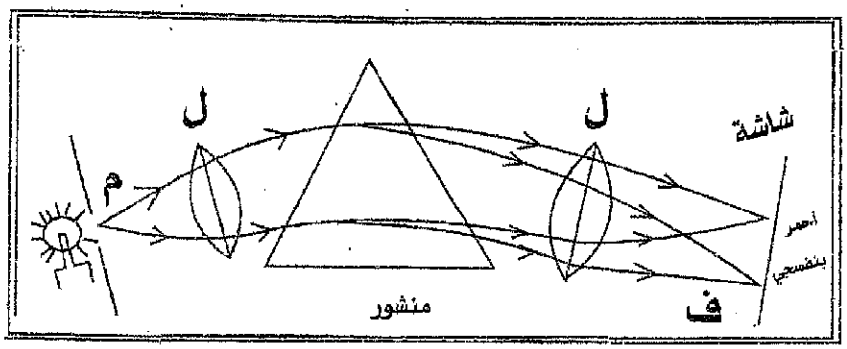
يشترط للحصول على طيف نقي أن تتوافر الشروط الآتية:

(أولا) أن تكون الفتحة التي تدخل منها الأشعة الضوئية ضيقة لأن الثقب المتسع يمكن اعتباره عدة ثقوب ضيقة ينفذ من كل منها حزمة من الأشعة الضوئية، يتكون لكل منها طيف خاص، وتقع صورة هذه الأطياف بعضها على بعض فتتداخل ألوانها فيها، و الطيف على الشاشة غير واضح.

(ثانيا): أن توضع عدسة لامة قبل المنشور، بحيث تقع الفتحة التي يدخل منها الضوء في بؤرتها، حتى إذا ما وصلت الأشعة إلى العدسة اخترقتها على هيئة محزمة متوازنة تسقط على المنشور بزاوية واحدة لجميع أشعتها.

(ثالثا) أن توضع عدسة لامة بعد المنشور بحيث تقع الشاشة في بورتها، فتتجمع الأشعة المتوازية لكل لون على حدة في نقطة واحدة.

ففي الشكل (33) تنفذ الأشعة المتوازنة من الثقب الضيق (م) الموضوع في بؤرة العدسة اللامة (ل) حتى إذا ما سقطت الحزمة الضوئية على العدسة نفذت منها متوازنة وسقطت على المنشور بزوايا سقوط متساوية فتنفذ فيه وتتحلل إلى ألوان الطيف.



شكل (33)

ثم تخرج منه وتكون أشعة كل لون متوازنة أيضا، حتى إذا ما سقطت على العدسة اللامة (ل) في الجهة الثانية من المنشور، استقبلت الأشعة المتوازنة وجمعت أشعة كل لون من نقطة واحدة، بحيث إذا ما وضعت شاشة في بؤرة العدسة (ل) ظهر عليه طيف حقيقى بين (ف،ر).

أنواع الأطياف وطرق الحصول عليها:

وللطيف نوعان رئيسيان هما: طيف الانبعاث وطيف الامتصاص.

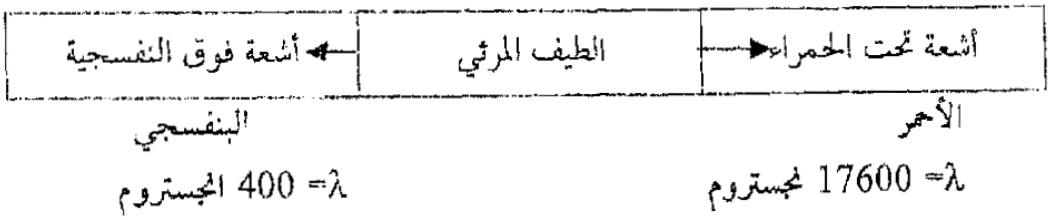
أولا: طيف الانبعاث:

إذا شع جسم ضوءا وتكون لهذا الضوء طيف سمي بطيف الانبعاث وينشأ من تسخين المواد بشدة لدرجة البياض أو من إمرار شرارة كهربائية خلال غازات مخلخلة، وهو نوعين:

(أ) طيف الانبعاث المستمر:

وهو ذلك الطيف الذي يتكون من جميع الألوان مثل طيف ضوء الماغنسيوم المتوهج وطيف ضوء المصباح الكهربائي وطيف ضوء الشمس.

وليس الطيف المستمر قاصرا على الألوان السبعة المذكورة سابقة والتي تعرف بالطيف المرئي بل هناك أطياف أخرى لا نستطيع رؤيتها وتسمى بالطيف غير المرئي بالمنطقة التي تأتي وراء نطاق اللون البنفسجي تعرف بمنطقة الأشعة فوق البنفسجية بالطيف، أما تلك التي توجد بعد اللون الأحمر فتسمى منطقة الأشعة تحت الحمراء أشعة تحت الحمراء .



ومن الشكل (33) يتضح لنا أن طول اطول موجه في الضوء المرئي، وهي موجة الضوء الأحمر، يقارب ب 8000 انجستروم وهذا ضعف طول أقصر موجة يمكن رؤيتها من الطيف المرئي، وهي موجة الضوء البنفسجي، والذي يقارب بـ 4000 انجستروم*.

(*) الأنجستروم وحدة طول صغيرة جدا تساوي جزء من مائة مليون جزء من السنتيمتر

ب) طيف الانبعاث الخطي:

وهو عبارة عن خطوط ملونة منفصلة بعضها عن بعض بمناطق مظلمة وتختلف الوانها وعددها وطريقة توزيعها باختلاف نوع العنصر، فلكل عنصر طيف خاص به.

وينشأ الانبعاث الخطي من اشتعال الغازات أو الأبخرة تحت ضغط عادي او منخفض، مثلا إذا غمست قطعة من سلك البلاتين المبللة بمحلول ملح الطعام (كلوريد الصوديوم) في لهب موقد بنزين ونظر إلى الطيف – بعد مرور ضوء اللهب عبر منشور ثلاثي – لشوهد خطان أصفران براقان متقاربان بينهما منطقة مظلمة ضيقة وكل خط منهما يحتل مكانة خاصة في المنطقة الصفراء، من الطيف المرئي وقد يظهر هذا الخطان كخط واحد.

(ثانيا) طيف الامتصاص

وهو عبارة عن خطوط مظلمة تقع على طيف مستمر وتسمى هذه الخطوط المظلمة بخطوط الامتصاص وتنشأ من أن كل غاز أو بخار يمتص من الأشعة التي تسقط عليه ما يمكنه إشعاعه بنفسه.

فلو مر الضوء المنبعث من سلك بلاتيني خلال بخار الصوديوم قبل سقوطه على المنشور الثلاثي لرأينا طيفا مستمرا يحتوي على خط أسود في المنطقة الصفراء يحتل نفس المكان الذي يتولد فيه الخط الأصفر البراق لبخار الصوديوم المتوهج.

قياس الضوء

صاحب التطور الصناعي والتقدم الحضاري ظهور مشكلات تتعلق بالإضاءة وكيفية توزيعها في كل من المصانع وحجرات الدراسة وقاعات القراءة في المكتبات العامة.. بل وتوزيع الإضاءة في الشوارع والطرقات هذه المشكلات يمكن تذليلها متى تحولت إلى كميات عددية يمكن قياسها.. والكميات التي يراد قياسها كميتان، إحداهما تتعلق بالمصادر الضوئية وأخراها تتعلق بالسطوح المضاءة ولعلك تدرك أن كمية الضوء المنبعثة من مصباح كهربائي عادي أكبر من كمية الضوء المنبعثة من مصباح كيروسين ويعبر عن ذلك بان قوة إضاءة المصباح الكهربائي أكبر من قوة إضاءة مصباح الكيروسين ولعلك تدرك أيضا أنك إذا جلست لتقرأ كتابا ساعة الغروب فإنك تحتاج إلى الاقتراب من النافذة إذ تحتاج صفحات الكتاب إلى زيادة كمية الضوء الساقط عليها لترى الكتابة بوضوح تام.

وترتبط ضيائية سطح بما يسمى بشدة استضاءته .

فما المقصود بقوة إضاءة مصدر؟ وما المقصود بشدة استضاءة سطح، سوف نناقش هاتين الكميتين وما يتفرع منهما فيما يلي:

قوة إضاءة مصدر(ق)

تعتمد غالبية المصطلحات التي ترد في علم الإضاءة– وهو العلم الخاص بقباس الضوء– على قوة المصدر المضيء والتي يرمز لها بالرمز (ق) وتقاس هذه القوي عادة بالشمعة أو القنديلة وذلك لأن الشمعة (القنديلة) كانت بالأصل مصدرا للإضاءة وحيث أن الشموع (القناديل) تختلف في الأنواع والظروف فإن الشمعة العيارية (القنديلة العيارية) تعرف الآن على أساسها أنها:

شدة الضوء الذي ينبعث من مساحة قدرها1\60 سم^2 من سطح اسود اللون (أي جسم ذو مقدرة على الإشعاع الكامل مثل أكسيد الثوريوم) درجة حرارته هي نقطة تجمد البلاتين وهي حوالي 1772°درجة م، وذلك تحت ضغط قدره 101325 نيوتن لكل متر مربع.

هذا من الناحية النظرية، أما من الناحية العملية فمن الأوفق الاعتماد على المصابيح المصممة والمصححة اعتمادا على الشمعة العيارية (القنديلة العيارية) وتتراوح قوة إضاءة المصابيح المتوهجة المستخدمة في الإنارة الداخلية للبيوت والمنشآت ما بين بضع شموع (قناديل) وعدة مئات من الشموع (القناديل).

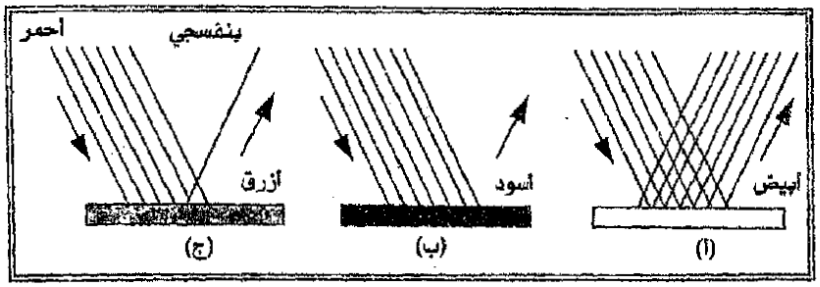
فقوة إضاءة المصباح الكهربائي من فئة 40 وات تقرب من 35 شمعة (قنديلة) وقوة إضاءة مصباح المئة وات 130 شمعة (قنديلة) على حين تبلغ قوة إضاءة قصبة الفلورسنت من فئة أربعين وات حوالي 200 شمعة (قنديلة).

ألوان الأجسام

يعتبر اللون صفة للضوء الذي يصل للعين وليس صفة للجسم الذي نراه لأن الأجسام تمتص بعض الألوان من الضوء الساقط عليها وتعكس البعض الآخر.

(أ) ألوان الأجسام المعتمة:

ما الذي يجعلنا نرى صفحة الكتاب بيضاء والسبورة سوداء وغلاف قلم الحبر ازرق؟



شكل (34)

عند سقوط أشعة الشمس على صفحة الكتاب البيضاء فإنها تعكس إلى العين جميع الوان الطيف بالنسبة التي توجد عليها في الضوء الأبيض مما يؤدي إلى الإحساس باللون الأبيض شكل (34–أ).

وعند سقوط أشعة الشمس على السبورة السوداء فإنها تمتص جميع الألوان ولا تعكس منها شيئا فتظهر سوداء شكل (34–ب).

وعند سقوط أشعة الشمس على جسم أزرق فانه يمتص جميع الألوان عدا اللون الأزرق والذي تنعكس موجته لتسقط على العين فتسبب الإحساس باللون الأزرق شكل(34–ج).

وإذا وضعت الأجسام السابقة في غرفة مضاءة بضوء أحمر فكيف تبدو هذه الأجسام ؟

عند سقوط أشعة الضوء الأحمر على صفحة الكتاب البيضاء فإنها تعكسها لتسقط على العين ومن ثم تبدو هذه الصفحة حمراء.

وعند سقوط هذه الأشعة الحمراء على السبورة السوداء فإنها تمتصها ولا تعكسها ومن ثم تظل سوداء كما هي.

وعند سقوط الأشعة الحمراء على جسم ازرق فإنه يمتص أشعة اللون الأحمر ولا يعكس شيئا منها فيبدو أسود .

ما يمكن استخلاصه؟ يمكن أن نستخلص ما يلي:

لا يرى الجسم المعتم بلونه الحقيقي إلا إذا أضيء بضوء له نفس اللون، أو أضيء بضوء أبيض.

(ب) الوان الأجسام الشفافة: :

عندما ننظر إلى مصباح كهربائي من خلال لوح زجاجي شفاف احمر اللون فإننا نرى المصباح أحمر، بينما يبدو المصباح أزرق إذا نظرنا إليه خلال لوح زجاجي شفاف أزرق اللون.. فكيف تعلل ذلك؟

عند سقوط أشعة الضوء على لوح شفاف أحمر اللون فإنه يمتص جميع الألوان عدا اللون الأحمر فيسمح لموجاته بالنفاذ لتسقط على العين مسببة الإحساس باللون الأحمر فيبدو المصباح أحمر.

وفي حالة اللوح الشفاف الأزرق فإنه يمتص كل الوان الضوء الأبيض عدا الأزرق الذي ينفذ لترى العين المصباح أزرق اللون.

نستنتج مما سبق أن ألوان الأجسام الشفافة تنسب إلى قدرة مادة الجسم على امتصاص أجزاء معينة من أشعة الطيف وإنفاذ البعض الآخر الذي يصل إلى العين فيبدو الجسم ملونا بها، أي أن لون الجسم الشفاف يعتمد على لون الضوء الذي ينفذ منه.

نظرا لأن زجاج الشبابيك يسمح لجميع الألوان أن تنفذ منه لذلك فهو عديم اللون، كذلك هي الحالة مع الماء وما يشبهه من السوائل.

والأن نرى كيف سيبدو لنا المصباح الكهربائي إذا نظرنا إليه من خلال لوحين شفافين من الزجاج أولهما أحمر والثاني ازرق؟

إن المصباح سيبدو لنا أسود وذلك لأن اللوح الأول سيمتص جميع ألوان الضوء الأبيض عدا الأحمر فإنه سينفذ منه و عندما تسقط أشعة اللون الأحمر على اللوح الثاني الأزرق يمتصها هذا اللوح وبذلك لا تنفذ منه أشعة أي لون إلى العين فيبدو الجسم أسود.

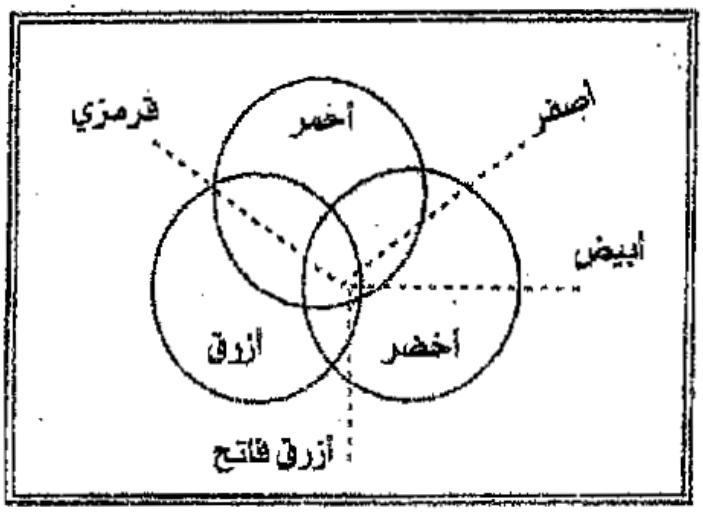
تعريف الألوان الأساسية(الأولية الجامعة)

اللون الأساسي هو كل لون لا يمكن إحداثه بخلط لونين أو أكثر خلافه، والألوان الأساسية ثلاثة هي: الأحمر الأخضر – الأزرق

هذه الألوان الثلاثة (الأحمر والأخضر والأزرق) هي الألوان الأولية الجامعة وتمثلها الدوائر الثلاث شكل (35).

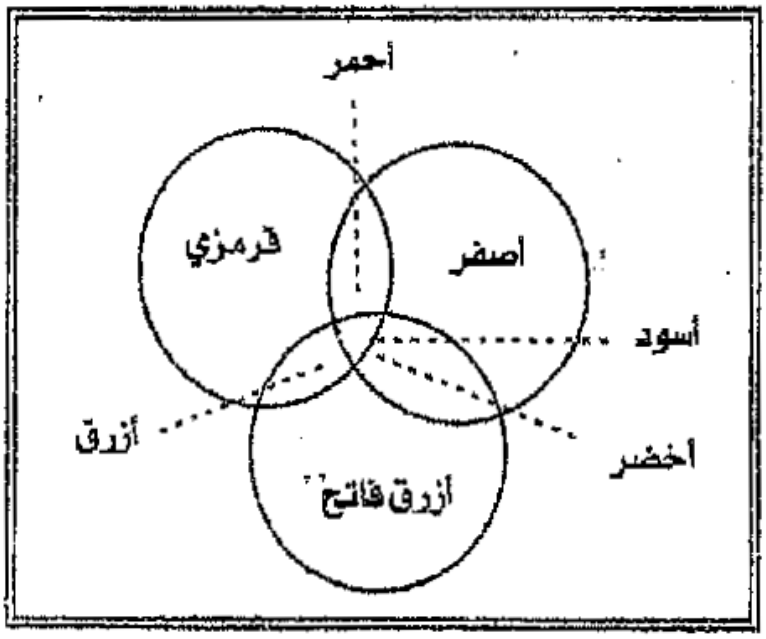
من الشكل (35) يتضح أنه عندما يمتزج اللونان الأحمر والأخضر ينتج اللون الأصفر وعندما يمتزج الأحمر والأزرق ينتج القرمزي وعندما تمتزج الأخضر والأزرق ينتج الأزرق الفاتح.

المزج في الشكل السابق بين أي لونين يتم بالجمع وفي الشكل (36) يتم مزج كل من الألوان الثلاثة الأصفر والقرمزي والأزرق الفاتح بالطرح، وتعرف هذه الألوان الثلاثة بالألوان الأولية بالطرح.



شكل (35)

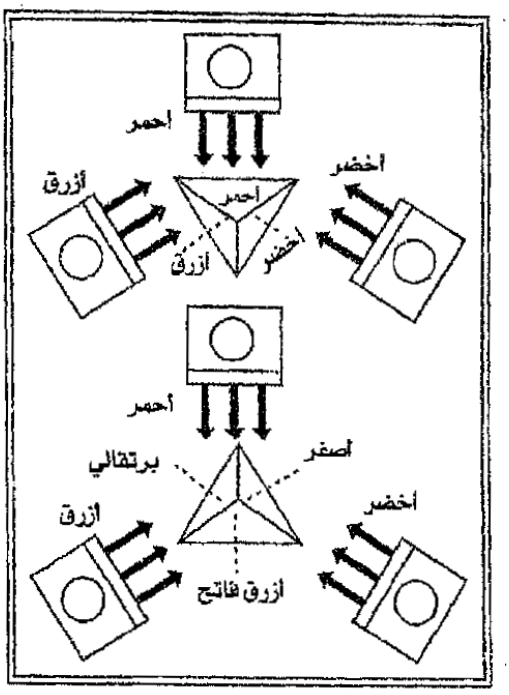
فعند طرح الأشعة الصفراء من الأشعة القرمزية ينتج اللون الأحمر، وعند طرح الأزرق الفاتح من الأصفر ينتج اللون الأخضر وعند طرح القرمزي من الأزرق الفاتح ينتج الأزرق.



شكل (36)

وللمزيد عن خلط الألوان بالجمع تجري التجربة التالية:

يمكن إعداد 3 صناديق ضوئية بحيث يمكن الحصول على ضوء أحمر من الصندوق الأول وضوء أخضر من الصندوق الثاني وضوء أزرق من الثالث.. ترتب الصناديق الثلاثة ليضيء كل منها أحد الأوجه الثلاثة لهرم أبيض.. فيبدو الوجه الأول أحمر اللون والوجه الثاني أخضر اللون والوجه الثالث أزرق اللون شكل (37).



شكل (37)

وبإدارة الهرم ببطء حتى الموضع الموضح بالشكل، وعند هذا الموضع يضاء كل وجه من أوجه الهرم بمزيج من لونين بالتساوي فتصبح أوجه الهرم الثلاثة مضاءة بالألوان الأولية بالطرح وهي الأصفر والقرمزي والأخضر المزرق.

وأثناء الدوران بين هذين الوضعين الموضحين بالشكلين يمكن رؤية جميع المتنوعات من خلط أي لونين على أوجه الهرم.

الألوان المتتامة :

إن أي لونين يتكون من مزجهما اللون الأبيض يسميان باللونين المتتامين مثال ذلك الأزرق الفاتح (مزيج الأخضر بالأزرق) متمم للأحمر، كذلك الأرجواني (مزج الأحمر بالأزرق) متمم للأخضر ويكون الأصفر (مزج الأحمر بالأخضر) متمم للأزرق.

وعلى ذلك فإن مزج أي لونين من الألوان الأساسية الثلاثة سيعطي لونا متمما للأساسي الثالث، كما أن مزج الألوان الأساسية الثلاثة يعطي لونا أبيضا

ومن أحد التطبيقات الخاصة بالألوان المتتامة في حياتنا اليومية إضافة الصبغة الزرقاء إلى الغسيل فالشائع بين الناس أن هذه الأقمشة البيضاء إذا أصابها بعض الاصفرار من طول الاستعمال والكي أضافوا إلى غسيلها صبغة زرقاء ليرجع لونها ناصع البياض لأن الأزرق يعادل الأصفر ويتكون من مزجهما اللون الأبيض .

مزج الألوان الإنتاج الضوء الأبيض:

إذا أمكن تشتيت الضوء المتعدد الألوان بواسطة المنشور إلى الوان بسيطة فمن البديهي أن الألوان البسيطة يمكن مزجها لتوليد ضوء متعدد الألوان وهناك ثلاثة أساليب لإجراء مثل هذا المزج:

1. بواسطة منشور يوضح حيال الطيف الشمسي الصادر من منشور آخر حيث يقوم المنشور الأول بإعادة مزج الألوان مكونة ضوءأ أبيض

2. بواسطة قرص مصبوغ بألوان الطيف الشمعي بحيث تكون نسب الأصباغ على القرص مثل نسب الألوان في الطيف الشمسي فمثل هذا القرص متى دار بسرعة حول محور يمر بمركزه فإن الضوء الصادر من أحد ألوانه سيكون صورة على شبكية العين تستمر حتى تقوم الألوان الأخرى تباعا بتكوين صور مماثلة على الشبكية يختلط الأمر على العين وتفسر الضوء الذي تراه بأنه أبيض.

3. أما الأسلوب الثالث فيتم مزج لونين متتامين للحصول على اللون الأبيض.

خلط الألوان والأضواء

من المعروف أنه عند سقوط حزمة رفيعة من أشعة الشمس على منشور ثلاثي من الزجاج فإنه يحللها إلى ألوان الطيف السبعة المعروفة ويبدو الطيف كشريط ملون يبدأ باللون الأحمر وينتهي بالبنفسجي.

ويمكن تقسيم هذا الطيف إلى ثلاثة أجزاء متساوية بطريقتين مختلفتين عندما يمتزج اللون الأحمر والبرتقالي ينتج اللون الأحمر اللامع وعندما يمتزج اللونان الأزرق والبنفسجي ينتج اللون الأزرق البنفسجي

وعندما يمتزج اللونان الأخضر والأصفر ينتج اللون الأخضر اللامع.

سرعة الضوء

ظن الناس قبل عام 1675م أن الضوء ينتقل على العموم بحيث لا يحتاج إلى زمن لقطع أي مسافة ولو أن جاليليو شذ عنهم ورأي في الضوء أنه يحتاج إلى زمن معين لينتقل عبر الفضاء.

على أن فلكيا دنماركيا استطاع في نفس هذا العام أن يحسب سرعة الضوء ما يقارب من 186000 ميل في الثانية (اميل = 1.608)، ذلك هو الفلكي رومر وقد عني العلماء بعد ذلك بقياس سرعة الضوء عن طريق التجارب المختبرية بصورة دقيقة جدا وكان ألمعهم في هذا المضمار الأستاذ البرت مايكلسون (1852 –1931م) أستاذ الفيزياء في جامعة شيكاغو الذي قاس سرعة الضوء في الهواء وفي الفراغ بدقة فوق العادة .

ونتيجة للعديد من التجارب التي أجراها مايكلسون وجد أن سرعة الضوء في الهواء 299700 كم\ثانية وسرعته في الفراغ 299790 كم\ ثانية.

يتبين ما تقدم أن سرعة الضوء في الفراغ أكبر قليلا من سرعته في الهواء والقيمة المقبولة لسرعة الضوء في الفراغ اليوم هي 2.997924×10^{8} متر\ثانية .

اما القيمة المقربة من القيمة الحقيقية لسرعة الضوء والتي تفيد كثيرا وتسهل الحسابات فهي 3×10^{5} كلم\ثانية وبما أن الضوء له طبيعة موجيه مثل الصوت فيمكن تطبيق العلاقة:

ع = ت λ حيث ع: سرعة الضوء.

ت: تردده λ: طول موجته.

إن سرعة الضوء ثابتة مهما اختلف لونه، ولكن تختلف هذه السرعة باختلاف المادة المار فيها هذا الضوء، فمن سرعة الضوء في الفراغ تساوي 3×10^{5} كم\ ثانية بينما سرعته في الماء تساوي 2.25×10^{5} كم\ثانية.

ويمكن حساب سرعة الضوء في أي مادة من العلاقة :

سرعة الضوء في الوسط (المادة) = سرعة الضوء في الفراغ\معامل الانكسار المطلق للمادة

الطاقة الضوئية :

إننا نرى الأشياء بواسطة الطاقة الضوئية فالطاقة الشمسية هي صورة للطاقة الضوئية فعندما يعرض شخص ما جسمه للشمس فإنه يشعر بعد فترة زمنية أن جسمه بدأ يسخن أي أن درجة حرارته ترتفع، كما أنه بتعريض قطعة قطن طبي للأشعة الشمسية بواسطة استخدام عدسة محدبة سنجد أن هذه القطعة بدأت تحترق أي أنه بالإمكان إنتاج طاقة حرارية من طاقة الشمس الضوئية.

إن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث من عدم ولكن بالإمكان تحويلها من صورة الأخرى (قانون بقاء الطاقة) وبهذا يمكن تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة حرارية أو طاقة كهربائية أو طاقة ميكانيكية الخ.. وذلك بطرق مختلفة.

فتبخر ماء البحر بواسطة أشعة الشمس هو مثال حي على تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة حرارية.

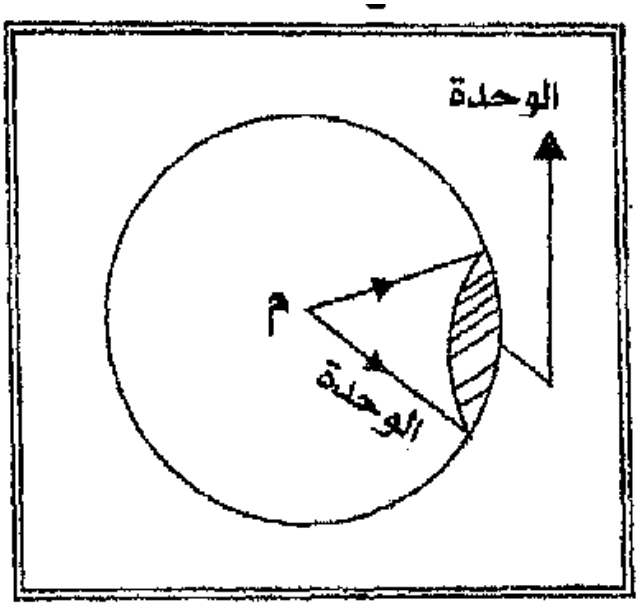
كما أن تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية هو أيضاً ذات أهمية كبرى في كوكبنا الأرضي، فما يحدث يوميا في النبات هو امتصاص الأوراق الخضراء للطاقة الضوئية بواسطة مادة الكلوروفيل وتحويلها إلى طاقة كيميائية حيث أنها تمتص ثاني أكسيد الكربون وتخرج الأكسجين.

الفيض الضوئي

ليست كل الطاقة التي تنبعث من مصدر مضيء قادرة على توليد الإحساس بالرؤية، ذلك أن 70% من الطاقة التي يشعها مصباح قدرته 100 وات على سبيل المثال تقع في منطقة الطيف تحت الأحمر ولا يقع في منطقة الطيف المرئي من الطاقة إلا 10% فقط.

ويعرف الفيض الضوئي بأنه هو(كمية الطاقة الضوئية المنبعثة من المصدر الضوئي في الثانية في جميع الاتجاهات والتي تولد الإحساس بالرؤية) أما وحدة الفيض الضوئي فهي (ليومن Lumen).

وحيث أن (الليومن) عبارة عن كمية من (الطاقة في الثانية) أو (قدرة) فلا بد أن تكون هناك علاقة بين الليومن والوحدة الميكانيكية للقدرة والتي تعرفه بالوات وقد بينت التجربة بان الوات يعادل 621 ليومنا من الضوء الأخضر الذي يبلغ طول موجته 5.540×10^{-10} مترا ولتحديد ما نعنية بالليومن نتصور مصدرا ضوئيا نقطيا قوة إضاءته شمعة واحدة (قنديلة واحدة) يقع في مركز كرة نصف قطرها وحدة الأطوال، وأن جزءا مقطوعة من سطح الكرة مساحته وحدة المساحات شكل (38)



شكل (38)

يكون الضوء النافذ خلاله في زمن قدره ثانيه هو ما يسمى بالليومن

الليومن

هو كمية الطاقة الضوئية المنبعثة في الثانية من مصدر ضوئي قوة إضاءته شمعه (قنديلة) وأحدة والساقطة عموديا على وحدة المساحات التي تقع على بعد وحدة الأطوال من هذا المصدر.

وما تجب ملاحظته هنا أن الليومن ليس مقياسا لكمية الطاقة الضوئية التي يشعها المصدر المضيء وإنما هو معدل زمني للطاقة الضوئية الصادرة أو المنتقلة أو المكتسبة .

بما ان مساحة سطح الكرة التي نصف قطرها نق= 4 π نق^2

أذن مساحة سطح الكرة التي نصف قطرها وحدة = π ط

من تعريف الليومن ينتج أن:

الفيض الضوئي الساقط على وحدة مربعة من مصدر قوته شمعة (قنديلة) =1 ليومن.

أذن الفيض الضوئي الساقط على 4 π وحدة مربعة من مصدر قونه شمعة(قنديلة) = 4 ليومن.

أي أن: الفيض الضوئي لمصدر قوته شمعة واحدة = 4 ليومن.

وبذا يكون الفيض الضوئي لمصدر قوته (ق) شمعة (قنديلة) = 4 π ق ليومن.

وعليه فإن المصدر الضوئي متي كانت قوته شمعة (قنديلة) واحدة فإنه يشع معدل زمني مقداره 4 π ليومن أي4 x 22\7 =12.57 ليومن.

وقد جرت العادة في تقنين المصادر الضوئية على أساس ما تشعه من الفيض الكلي بحيث أن كل 12.57 ليومن (أي نحو 13 ليومن) تكافىء شمعة (قنديلة) واحدة ولذلك فإن المصباح الذي قدرته 40 وات يصمم على أساس 450 ليومن وقصبة الفلورسنت، التي قدرتها 40 وات على أساس 2600 ليومن.

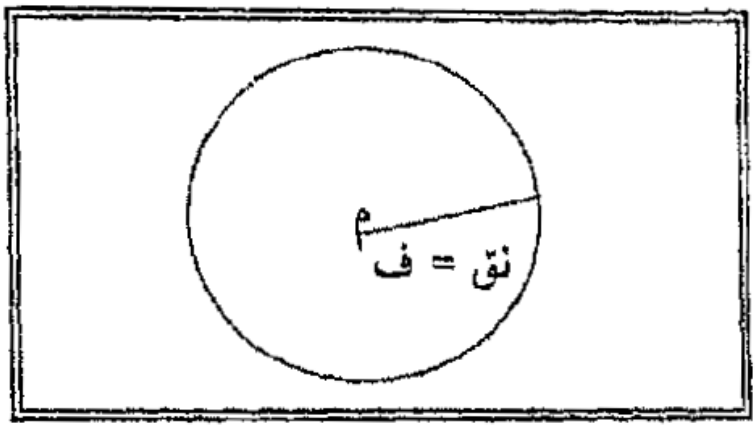
شدة استضاءة سطح (ش):

تقدير شدة استضاءة سطح بكمية الطاقة الضوئية الساقطة عليه في الثانية عموديا على وحدة المساحات منه، ويرمز لها بالرمز (ش).

من التعريف السابق يمكن القول أنه إذا أضيء سطح ما إضاءة متجانسة منتظمة في كل ناحية منه فإن شدة استضاءته عندئذ هي النسبة بين الفيض الساقط على السطح ومسافة ذلك السطح.

العلاقة بين شدة استضاءة سطح وقوة اضاءة المصدر الضوئي:

نفرض مصدرا ضوئيا نقطيا قوى إضاءته (ق) شمعة في نقطة مثل (م) ينبعث منه الضوء في جميع الاتجاهات فيكون الفيض الضوئي مساوية (4 ط ق ليومن) ولنفرض نقطة مثل (أ) واقعة على سطح كرة مركزها (م) ونصف قطرها (نق) شكل (39) وحيث أن:



شكل (39)

شدة الاستضاءة عند أ = الفيض الضوئي \ مساحة سطح الكرة

ش = 4ط ق\4 ط نق^2= ق\ نق^2

أي أن :

شدة استضاءة نقطة على سطح = قوة اضاءة المصدر\مربع بعد النقطة عن المصدر الضائي

فإذا رمزنا لبعد النقطة عن المصدر بالرمز (ف) فإن :

ش = ق\اف^2

ومنها يتضح أن شدة استضاءة نقطة على سطح تتناسب طرديا مع قوة إضاءة المصدر.

مثال (1)

منبع ضوئي قوة إضاءته 100 شمعة (قنديلة) أوجد شدة استضاءة نقطة على سطح بعده العمودي عنه 50 متر.

الحل

ش = ق\ ف^2 = 100شمعة \(0.50متر)^2 = 400 ليومن\متر^2

مثال (2)

ما شدة الاستضاءة على سطح منضدة تقع مباشرة تحت مصباح على بعد (4) أمتار عنه إذا كان المصباح يشع الضوء بمعدل زمني مقداره (1610 ليومن).

الحل

المصباح الذي قوة إضاءته شمعة (قنديلة) واحدة يشع الضوء معدل زمني مقداره (12.57ليومن).

المصباح الذي قوة إضاءته ق شمعة (قنديلة) يشع الضوء معدل زمني مقداره (1610 ليومن)

شمعة	ليومن
1	12.57
ق	1610

قوة اضاءة المصباح = ق=1610\12.57 = 128 شمعة

شدة استضاءة المنضدة = ش= ق\اف^2

= 128 شمعة\ (4متر)^2 = 8 ليومن\ متر^2

قوة إضاءة المصدر الضوئي

تقاس قوة إضاءة أي مصدر ضوئي بمقارنتها بقوة إضاءة مصدر عياري في جهاز يسمى الفوتومتر وهو على أنواع، منها.

1. فوتومتر بنزن

وقد يسمى أحيانا بالفوتومتر ذي البقعة الزيتية، فلو أنك مسكت ورقة تحتوي على بقعة زيتية أمام الضوء لبدت لك البقعة وأنت تنظر إليها من الخلف مضيئة أكثر من أية بقعة أخرى من بقاع الورقة وذلك لإمرارها الضوء أكثر من غيرها.

هذا من ناحية ومن ناحية أخرى فالبقعة الزيتية عاكس ضعيف للضوء فإنك إذا نظرت إلى وجهها المضاء ظهرت لك البقعة الزيتية عن طريق الإنعكاس أقل استضاءة واكثر دكنة من بقية أجزاء الورقة.

هذه الصفات للبقعة الزيتية يستفاد منها في المختبر في صنع فوتومتر بنزن حيث تثبت ورقة تحتوي على بقعة زيتية بين مصباح عياري ومصباح آخر يراد قياس قوة إضاءته.

وتتخلص طريقة القياس في تحريك الورقة المصباحين حتى تتساوى شدة إستضاءة وجهيها وتبدو البقعة الزيتية من الجانبين بنفس الشكل وعندها تكون قوة إضاءة كل مصدر متناسبة مع مربع بعده من الورقة أي

قوة إضاءة المصباح المجهول\قوة إضاءة المصباح العياري

=

مربع بعد المصباح المجهول عن الورقة\مربع بعد المصباح العياري عنها.

مثال (1)

استخدم مصباح قوة إضاءته 20 شمعة كمصباح عياري في فوتومتر بنزن وقد لوحظ أن البقعة الزيتية أصبحت متساوية الأستضاءة عندما كانت على بعد 20 سم من المصباح العياري وعلى بعد 80 سم من المصباح الذي قوة إضاءته مجهولة، كم هي قوة إضاءة المصباح المجهول؟

الحل

لما كان المصباح المجهول على بعد أكبر من بعد المصباح العياري عن الورقة فإن قوة إضاءة المصباح المجهول أكبر من قوة إضاءة المصباح العياري

قوة إضاءة المصباح المجهول\قوة إضاءة المصباح العياري

=

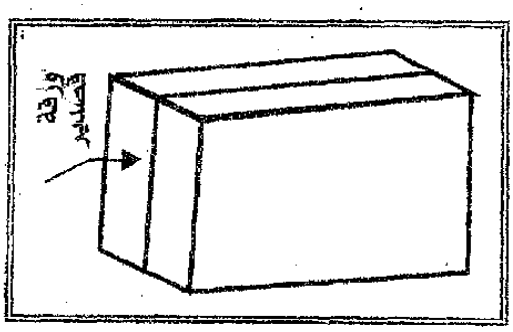
مربع بعد المصباح المجهول عن الورقة\مربع بعد المصباح العياري عنها.

قوة إضاءة المصباح المجهول =((80سم)^2\(20سم)^2) x 20 شمعة

= 20 x 80 x 80 شمعة\ 20 x 20 = 320 شمعة.

2. <u>فوتومتر جولي</u>

يمتاز هذا الفوتومتر عن سابقة بأنه أدق، ونتائجه أضبط وهو يتكون من قطعتين متماثلتين تماما من شمع البرافين كل منها على شكل متوازي مستطيلات طوله 4 سم وعرضه 4 سم وسمكه 1 سم تقريبا.



شكل (40)

والقطعتان ملتصقتان على جانبي لوح رقيق من الشكل (40) والضوء الذي يسقط على أي من وجهيه ينفذ فيه ولكنه لا يستطيع النفوذ من ورقة القصدير المعدنية .

فإذا وضع هذا الفوتومتر بين المصباح المجهول والمصباح العياري فإنه يمكن بتغيير بعده عنها جعل وجهيه في شدة استضاءة واحدة وذلك بالنظر إلى قطعتي الشمع من المسافة التي تتوسطها الورقة المعدنية حيث تبدو القطعتان بنفس الشكل.

ومتى قيست المسافة بين كل مصباح وبين الورقة المعدنية أمكن حساب قوة إضاءة المصباح المجهول بنفس الحساب والقانون الذي اتبعناه في فوتومتر نبزن.

توزيع الإضاءة في الغرف والمحلات العامة

إن توزيع الإضاءة في مكان يتطلب معرفة شدة الإستضاءة المطلوبة فيه وقوة إضاءة المنابع التي يمكن استخدامها.

ولمعرفة شدة الاستضاءة المطلوبة تحدد وفق مواصفات معينة في هذا المكان ثم تغير تدريجيا حتى نصل إلى شدة الاستضاءة التي يرتاح إليها العاملون وبعد معرفة ذلك تستخدم منابع ضوئية مناسبة توزع بكيفية معينة تكفل عدم وجود ظلال أو أشباه ظلال.

وقد أجريت عدة أختبارات لمعرفة شدة الاستضاءة المناسبة لبعض الأماكن ونتائجها مدونة في الجدول التالي:

المكان	شدة الاستضاءة المطلوبة قدم- قنديلة
مخازن عامة	4-2
فصول دراسية	10-5
محال عامة	15-10
محال ترزية- منضدة بلياردو	20
غرفة عمليات	100

والإضاءة الجيدة مريحة للأعصاب مما يساعد العاملين على وفرة الإنتاج.

الفوترمترية (القياسات الضوئية):

إذا أضيء حائل مثلا بمنبع ضوئي قوته ق$_1$ ثم بمنبع ضوئي آخر قوته ق$_2$ تكون شدة استضاءة سطحه في الحالتين هما: في

ش$_1$ = ق$_1$\ ف$_1^2$, ش$_2$ = ق$_2$\ ف$_2^2$

وإذا ضبطت المسافتان ف$_1$ ، ف$_2$ بحيث تكون ش$_1$ = ش$_2$ فإن :

ق$_1$\ ف$_2^2$ = ق$_2$اف$_2^2$

أي ان :

ق$_1$اف$_1^2$ = ق$_2$اف$_2^2$

ومن العلاقة الأخيرة يمكن مقارنة قوتي إضاءة منبعين ضوئيين أو قياس قوة إضاءة إحدهما بمعلومية إضاءة الآخر، وهو أساس عمل الفوتومترات.

كيف نستفيد من دراسة القياسات الضوئية في طبع الصور وإظهارها؟

لعلك تعلم أنه لطبع صور فوتوغرافية وإظهارها ثم تثبيتها أن الصورة السلبية توضع في مكبر خاص ليسلط عليها الضوء فتتكون لها صورة داخل السلبية توضع في مكبر خاص ليسلط عليها الضوء فتتكون لها صورة داخل إطار معين يمكن بضبط وضع المكبر ورؤيتها واضحة ثم تغلق فتحة المكبر بقرص أحمر وتوضع الورقة الحساسة داخل الإطار ثم يزاح القرص الأحمر.. وتترك الورقة الحساسة فترة مناسبة تتعرض فيها للضوء ثم ترفع وتوضع في محلول كيميائي آخر يعرف بالمثبت حتي لا تتأثر بالضوء بعد ذلك

ووضوح الصورة التي تم طبعها يتوقف على كمية الضوء التي سلطت على الورقة الحساسة وتكون:

كمية الضوء= شدة الاستضاءة xالمساحة المعرضة من الورق الحساسx زمن التعريض.

وقد نحتاج عند طبع الصور إلى تكبير بعضها عن الآخر ويترتب على ذلك إزاحة المكبر بعيدا عن الورقة الحساسة، مما يضعف من شدة الاستضاءة لذلك إذا أريد ان تكون للصور المختلفة نفس الوضوح يراعى أن تكون كمية الضوء واحدة في جميع الحالات.

مثال (1)

إذا كان الزمن اللازم لطبع صورة على بعد 40 سم من مصباح قوة إضاءته 32 قنديلة هو 4 ثانية، فما الزمن اللازم لطبعها إذا وضعت على بعد 20 سم من منبع قوة إضاءته 16 قنديلة.

الحل

تفرض أن مساحة الصورة = س في الحالتين:

بما ان كمية الضوء في الحالة الأولى =كمية الضوء في الحالة الثانية

أذن ش$_1$ x س x ز$_1$ = ش$_2$ x س x ز$_2$

ز$_2$ x (20x20\16) = 4 x (40 x 40\32)

ز$_2$= 2 ثانية.

الفصل الثالث

(الصوت)

اهتزاز الجسم وانتقال الاهتزاز في الوسط

كثيرا مانسمع حولنا العديد من الاصوات المختلفه كصوت التلفاز او صوت طرق الباب او اصوات الحيوانات وتميز الاذن بين مختلف هذه الاصوات ونغزو كلا منها الى مصدرها حسبما تعودت على سماعها. وكذلك اذا اخذت شوكه رنانه وطرقت شعبيتيها (فرعيها) نسمع لها صوتا ولو امعنا النظر في شعبتي الشوكه الرنانه لرأيتها تهتز وعند ملامسه احد فرعيها لسطح المنضده تلاحظ طرقات متتابعه تدل على اهتزازها.

اذا لاحضنا الطرق المختلفه لاحداث الصوت نجد انه لابد من بذل شغل في كل حاله فمثلا عمليه طرق الشوكه التي جعلتها في حاله اهتزاز هي عباره عن شغل اكتسبته الشوكه الرنانه على هيئه ميكانيكيه (حركيه) وهذه بدوره تتحول الى طاقه صوتيه. عند سقوط الطاقه الصوتيه لأي مصدر على طبله الاذن تجعلها تهتز تبعا للحركه الاهتزازيه لمصدر الصوت فيحدث الاحساس بالسمع لصوت هذا المصدر.

من هذا نستنتج بأن الصوت عباره عن صوره من صور الطاقه اذا استقبلتها الاذن يحدث الاحساس بالطاقه. ويمكن ان يعرف ايضا (الصوت ظاهره طبيعيه تنتج عن اهتزاز الاجسام وتدرك بحاسه السمع).

ليس هناك من صوت يحدث دون ان يهتز جسم بسبب ذلك الصوت فقد يحدث الاهتزاز في فترت زمنيه منتظمه ويسمى عندئذ بالاهتزاز الدوري كالصوت الصادر عن نقر سطح الطاوله بأصابع اليد في فترات منتظمه ومثل هذا الصوت ترتاح لسماعه الاذن ويسمى صوتا موسيقيا اما اذا حدث الاهتزاز فجأة ولم يتكرر بأنتظام كصوت انفجار البارود وضجيج السيارات فلا ترتاح له الاذن ويسمى مثل هذا الصوت (صوت غير موسيقي).

أنتشار الصوت

تنتج الطاقه الصوتيه نتيجة اهتزاز جسم ما تنتشر الطاقه الصوتيه بواسطه الوسط المادي شريطه ان يكون متصلا وقابلا للتذبذب وبواسطه الكاشف (الاذن) يمكن الكشف عنه اي ان الطاقه الصوتيه تنتقل في الوسط المادي من مصدر الصوت الى الاذن. فالطاقه الصوتيه تنتقل في الوسط المادي من مصدر الصوت الى الاذن بواسطه الوسط المادي من مصدر الصوت الى الاذن بواسطه الوسط المادي سواء كان صلبا او سائلا او غازيا.

عند اهتزاز مصدر الصوت فأن الطاقه الميكانيكيه (حركيه) للمصدر تنتقل الى جزيئات الوسط الملامس فتكتسب هذه الجزيئات طاقه ميكانيكيه تجعلها في حاله اضطراب وتذبذب حول موضع سكونها وتنتقل الطاقه لهذه الجزيئات الى الجزيئات المجاوره لها وتجعلها ايضا في حالة اضطراب وهكذا تنتقل الطاقه الصوتية عبر جزيئات الوسط بشكل موجات تصل الى الكاشف (الاذن) ويتذبذب هو الاخر فيسمع الصوت.

تعيين سرعة الصوت في الهواء

A. <u>طريقه التوقيت المتبادل:</u>

1. نختار محطتين المسافة بينهما كبيره (30 كيلومتر) بحيث لا يوجد بينهما عائق للصوت ويقف شخص في كل محطه.
2. يطلق الاول قذيفه، ويلاحظ الشخص الثاني الفرق في الزمن بين رؤيته للوميض وسماعه الانفجار بأستعماله ساعه ايقاف، وبما ان الزمن الذي يستغرقه الضوء في قطع المسافه بين المحطتين صغيرا جدا فيمكن اهماله،لذلك يعتبر الزمن المحسوب هو الزمن الذي يستغرقه الصوت في قطع المسافه بين المحطتين.
3. تحسب سرعه الصوت بأستخدام القانون التالي:

$$\text{سرعة الصوت} = \frac{\text{المسافه بين المحطتين}}{\text{زمن قطع الصوت لهذه المسافه}}$$

4. تكون هذه الطريقه عرضه للخطأ وذلك لتأثير الريح على سرعة الصوت كالتالي:

- اذا كان الريح بأتجاه الصوت:

سرعة الصوت=سرعة الصوت في الهواء الساكن+سرعة الريح

- اذا كان الريح بعكس أتجاه الصوت:
- سرعة الصوت=سرعة الصوت في الهواء الساكن−سرعة الريح

وحتى يتم التخلص من تأثير الريح نلجأ الى التوقيت المتبادل.

5. يطلق الشخص الاول قذيفه ويلاحظ الشخص الثاني الزمن ثم يتبادلان المهمه فيطلق الشخص الثاني القذيفه ويلاحظ الشخص الاول الزمن، ثم يؤخذ معدل الزمنين.
6. تحسب السرعه كالتالي:

$$\text{معدل الزمنين} = \frac{\text{الزمن الاول+الزمن الثاني}}{2}$$

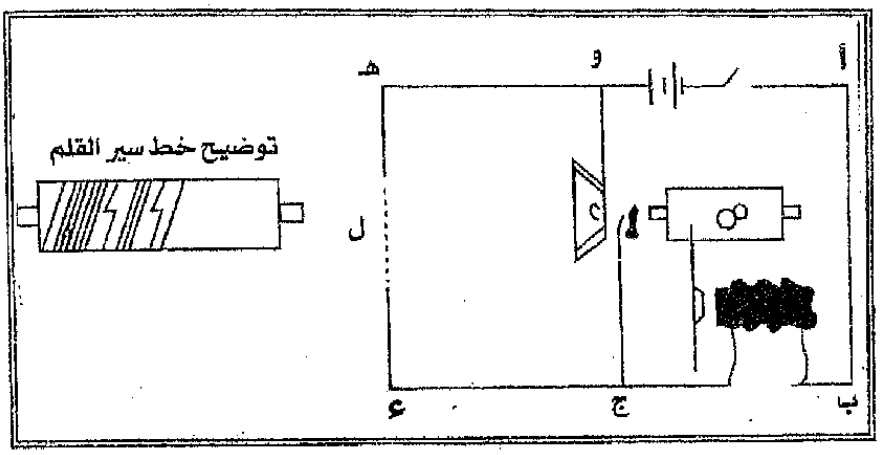
$$\text{سرعة الصوت} = \frac{\text{المسافه بين المحطتين}}{\text{معدل الزمنيين}}$$

عيوب هذه الطريقه:

عدم التوافق العصبي العضلي للشخص الذي يحسب الزمن، اذ تمضي فتره زمنية بين رؤيته للضوء وتشغيله لساعة الايقاف، ثم تمضي فتره زمنيه مختلفة بين سماعه للصوت وايقافه للساعه، وقد امكن اتخلص من هذا العيب بتعيين سرعة الصوت بطريقة كهربائية.

B. <u>طريقه رينولت الكهربائية:</u>

لتعيين سرعة الصوت في الهواء استعمل رينولت التوقيت المتبادل بين محطتين المسافه بينهم (1280−2445 متر) حيث وضع جهاز كهربائي كم مبين في الشكل (41) ادناه في كل محطة:



شكل (41)

يتركب الجهاز الكهربائي من:

1. دائرة كهربائية أ ب د هـ مكونة من مصدر للتيار المستمر، مفتاح مغناطيس كهربائي (ط)، سلك رقيق (ك).
2. دائرة كهربائية (أ ب ج ل ن) ومكونة من مصدر للتيار المستمر، مفتاح، مغناطيس كهربائي (ط) مخروط خشبي (ر) منتهي بغشاء معدني (ن) تقابله من الخلف قطعة معدنية (ل)
3. اسطوانة (ص) تدور حول محورها بسرعة منتظمة يلامسها سن قلم (س) مثبت في ساق معدنيه مرنه تتحرك حول مركز ثابت (م) ومثبت في الساق قطعه من الحديد تقابل المغناطيس الكهربائي (ط).
4. بندقية كمصدر للصوت.

الخطوات

(1) عندما تصدر البندقية طلقة نارية ينقطع السلك (ك) فتنفتح الدائرة الكهربائية الأولى ويفقد المغناطيس الكهربائي (ط) صفاته المغناطيسية فتعود القطعة الحديدية إلى مكانها الأصلي، ويرسم القلم خطأ متعامدا مع خط سيره الأصلي يحدد لحظة حدوث الصوت عند السلك (ك) في المحطة الأولى.

(2) عند وصوله الموجات الصوتية إلى المخروط (ر) في المحطة الثانية فإنها تضغط على الغشاء المعدني (ر) فيلامس القطعة المعدنية (ل) فتقفل الدائرة الكهربائية الثانية ويكتسب المغناطيس الكهربائي (ط) صفاته المغناطيسية فيجذب القطعة الحديدية إليه، ويرسم القلم على الإسطوانة خطا متعامدا مع خط سيره الأصلي مرة أخر يحدد لحظة وصول الصوت إلى المخروط (ر) في المحطة الثانية.

(3) بمعلومية المسافة بين العلامتين (الخطان المتعامدان مع خط السير الأصلي) على الأسطوانة ومبعلومية سرعة دوران الأسطوانة يمكن حساب الزمن الذي يستغرقه الصوت في قطع المسافة بين المحطتين:

$$\text{الزمن} = \frac{\text{المسافه}}{\text{الزمن}}$$

$$\text{سرعة الصوت} = \frac{\text{المسافه بين المحطتين}}{\text{زمن قطع الصوت لهذه المسافه}}$$

(4) وبتبادل إطلاق النار بين المحطتين وقياس سرعة الصوت بنفس الجهاز من المحطة الثانية إلى الأولى تحسب سرعة الصوت مرة ثانية و تكون سرعة الصوت الدقيقة هي معدل السرعتين وفي هذه الطريقة يكون مقدار الخطأ في العامل الشخصي صغيرة جدا .

وقد وجد أن معدله نتائج سرعة الصوت في درجة الصفر المئوي تساوي 331.5 م\ث تقريبا.

مثال

في تجربة رينولت لتعيين سرعة الصوت في الهواء كان نصف قطر الأسطوانة المستخدمة 2.86 سم، وتعمل دورة واحد في الدقيقة وكان بعد مصدر الصوت عن المخروط 3340 مترا، فإذا عملت أن المسافة بين العلامتين المرسومتين على الأسطوانة والمحددتين للحظة انطلاق الصوت ولحظة وصوله إلى المخروط هي 3سم، فأحسب سرعة الصوت في الهواء.

الحل:

محيط الأسطوانة = 2π نق – 3.14*2.86=17.96 سم

سرعة دوران الأسطوانة = 17.96سم \ دقيقة= 17.96\ 60= 0.3 سم\ ثانية تقريبا.

الزمن الذي يستغرقه الصوت في الوصول إلى المخروط = 3\ 0.3=10 ثواني

سرعة الصوت في الهواء =3340\ 10=334 م \ ث

أنتقال الصوت في السوائل

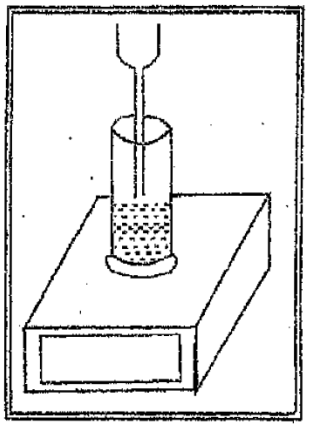
لقد ثبت أن السوائل تنقل الأمواج الصوتية خلالها والتجربة التالية توضح ذلك.

تجربة

(1) خذ أنبوبة مفتوح الطرفين قطر مقطعه حوالي 2 سم.

(2) ثبت أحد طرفيه رأسيا على صندوق رنين بواسطة شمع الختم شكل (42) .

(3) إملا الأنبوبة بالماء ثم أطرق شوكة رنانة وإغمس قاعدتها في الماء فتنتقل الاهتزازات خلال الماء إلى صندوق الرنين ويسمع صوت واضح في أرجاء الغرفة.



شكل (42)

تعيين سرعة الصوت في السوائل

أجرى العالمان كولادون Calladon وستيرم Stiurm سنة 1826 م التجربة الآتية ليلا في بحيرة جنيفا بسويسرا لإيجاد سرعة الصوت في الماء كالآتي:

(1) استخدم لهذا الغرض قاربين أ ، ب المسافة بينهما 13.5 كيلو متر.

(2) أدليا من القارب الأول (أ) بوقا كبيرا تحت سطح الماء وعلى فوهته غشاء مرن مشدود كي يستقبل اهتزازات الماء الناتجة عن الصوت .وأدلى من القارب الثاني (ب) ناقوسا و مطرقة لقرع الناقوس وعلى سطح القارب (ب) كمية من البارود يمكن استعمالها . وكل من المطرقة وفتيل الأشعال يتحركان بواسطة رافعة.

(3) يدفع شخص الرافعة فوق القارب (ب) بحيث أنه في اللحظة التي تطرق المطرقة الناقوس تحت الماء مصدرة صوتا يصل الفتيل إلى كومة البارود الذي يشتغل بلهب كبير واضح.

(4) على القارب الآخر (1) يضع شخصا آخر أذنه على فوهة البوق ليستقبل الصوت مصوبا نظره نحو القارب ليرى الوميض الناتج عن اشتعال البارود ثم يجد الزمن بين الوميض وسماع صوت المطرقة خلال الماء باستعمال ساعة إيقاف وهذا يساوي الزمن الذي استغرقه الصوت في قطع المسافة بين القاربين أ،ب خلال الماء.

(5) ويمكن حساب سرعة الصوت في الماء كالتالي:

$$\text{سرعة الصوت في الماء} = \frac{\text{المسافه بين المحطتين}}{\text{زمن قطع الصوت لهذه المسافه}}$$

هنا يهمل الزمن الذي استغرقه الضوء في قطع المسافة بين القاربين لأنه صغيرا جدا.

$$\text{الزمن} = \frac{\text{المسافة}}{\text{السرعة}}$$

$$\text{اي زمن قطع الضوء لهذه المسافة} = \frac{13.5}{\text{سرعة الضوء}} = \frac{13.5}{300.000} \text{ ثانية}$$

وقد وجد بعد القيام بنفس التجربة عدة مرات أن سرعة الصوت في الماء تساوي 1435م\ث في درجة حرارة 8.1 م°

اذن سرعة الصوت في الماء=4 امثال سرعة الصوت في الهواء تقريبا.

مثال

أحسب سرعة الصوت في الماء إذا علمت أن المسافة بين القاربين أ، ب 35900 مترا، وأن الزمن بين رؤية لهب البارود وسماع الصوت في البوق 25 ثانية.

الحل:

السرعة $= \frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}} = \frac{35900}{25} =$1436 م\ثانية

تعيين سرعة الصوت في مادة صلبة

أجرى العالم بيوت Biot تجربة تعتمد على أن سرعة الصوت في الأجسام الصلبة أكبر من سرعته في الأجسام السائلة أو الغازية على النحو التالي:

(1) يطرق شخص أحد طرفي أنبوبة معدنية طويلة طرقة واحد فيسمع بذلك شخص آخر عند الطرف الثاني للأنبوبة طرقتين: الأولى ناتجة من انتقال الصوت خلال مادة الأنبوبة، والثانية ناتجة من انتقال الصوت خلال الهواء.

(2) بحساب الزمن الفاصل بين الطرقتين المسموعتين عند الطرف الثاني للإنبوبة يمكن حساب سرعة الصوت في مادة الأنبوبة كما يلي:

زمن انتقال الصوت في الهواء − زمن انتقال الصوت في مادة الأنبوبة .

طول الأنبوبة

$$\text{الزمن الفاصل بين الطرقتين} = \frac{\text{طول الأنبوبة}}{\text{سرعة الصوت في الهواء}} - \frac{\text{طول الأنبوبة}}{\text{سرعة الصوت في مادة الأنبوبية}}$$

مثال

طرقت أنبوبة معدنية طولها 800 مترا فسمعت طرقتان عند طرفها الثاني وكانت الفترة الزمنية بينهما 2.25 ثانية، فإذا علمت أن سرعة الصوت في الهواء (320م\ث فأحسب سرعة الصوت في مادة الأنبوبة.

الحل:

$$\text{الزمن الفاصل بين الطرقتين} = \frac{\text{طول الأنبوبة}}{\text{سرعة الصوت في الهواء}} - \frac{\text{طول الأنبوبة}}{\text{سرعة الصوت في مادة الأنبوبية}}$$

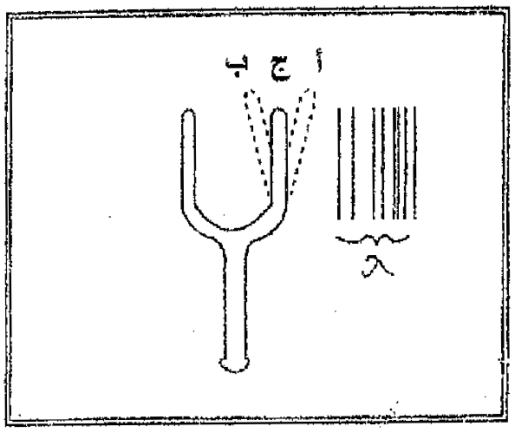
$$\frac{800}{ع} - \frac{800}{320} = 2.25$$

$$0.25 = \frac{800}{ع} \qquad ع = 3200 \text{ م\ث}$$

العلاقة بين سرعة الصوت وتردد وطول موجته

عند أهتزاز فرع الشوكة الرنانة من (أ) إلى (ب) تحدث نبضة تضاغط في طبقة الهواء الملامسة للفرع وعند اهتزاز فرع الشركة من (ب) إلى (أ) تحدث نبضة تخلخل في طبقة الهواء الملامسة للفرع أي عندما يتم فرع الشركة أهتزازه كاملة يحدث في الوسط موجة صوتية كاملة (λ) شكل (43).

(1) من ذلك نستنتج بأن عدد الموجات الصوتية الحادثة في الوسط =عدد الاهتزازات التي يعملها مصدر الصوت



شكل (43)

(2) فإذا اهتزت الشوكة عددا من الاهتزازات مساويا (ت) اهتزازة في زمن قدره ثانية واحدة فإنها ستحدث عددا من الموجات الصوتية الكاملة مساوية (ت) موجة.

أذن المسافة التي ستقطعها هذه الموجات في الثانية = عدد الموجات في الثانية الواحدة × طول الموجة الواحدة.

ع = ت × λ

وبما أن سرعة الصوت في الوسط ما تقدر بالمسافة التي تقطعها الموجات الصوتية في الثانية وتردد الصوت= عدد الموجات الصوتية الحادثة في الثانية الواحدة.

أذن سرعة الصوت = تردد الصوت الطول x الطول الموجي

ع = λ × ت

<u>مثال</u>

إذا كانت سرعة الصوت في الهواء 320 متراثانية، فما طول الموجة الصوتية التي تحدثه في الهواء عند اهتزاز شوكة ترددها 320 ذبذبةاثانية.

ع = λ × ت

$\lambda = \frac{ع}{ت} = \frac{320}{320}$=1 متر

ظاهرة دوبلر

عندما يكون مصدر الموجة (صوت، ضوء) والكاشف عنه (مستمع، مشاهد) في حركة أو أن أحدهما متحرك والآخر ثابت أو كلاهما متحركين فإن الحركة النسبية بين المصدر والمستمع أو المشاهد تحدث تعديلا لنمط الموجات (صوتية أو ضوئية) ويعزى اختلاف نمط أو درجة الصوت أو الضوء هذا إلى اختلاف عدد الموجات التي تصل أذن السامع أو عين المشاهد في وحدة الزمن عندما تحدث الحركة، أي تحدث تغييرا في تردد الموجات يسمى التردد (الصوتي أو الضوئي) الذي يصل أذن السامع أو عين المشاهد بالتردد الظاهري لأنه يختلف عن التردد الحقيقي.

وفي الصوت يرجع سبب هذا التغيير في تردد النغمة (الصوت) إلا أن الموجات الصوتية التي يخرجها المصدر المتحرك تصبح أكثر ازدحاما أمامه في حين تصبح أقل ازدحاما خلفه، ومعنى ذلك أن طول الموجة الصوتية أمام المصدر يصبح أقل من حقيقته، أما خلف المصدر فيصبح طول الموجة اطول لذلك فإن المستمع الذي يتحرك المصدر نحوه يسمع نغمة ذات تردد أعلى من حقيقتها، فإذا ما تعداه ألمصدر فإنه يسمع نغمة ذات تردد أقل.

وأول من لاحظ تأثير الحركة على درجة الصوت (أو التغير في تردد النغمة) عالم نمساوي يدعي (دوبلر) ولذلك سميت هذه الظاهرة (بظاهرة دوبلر» وإليك هنا مقارنة بين التردد الحقيقي والتردد الظاهري في ثلاث حالات.

(1) عندما يكون المصدر متحركا والمستمع ساكنا (ثابتا):

(أ) السامع ثابت والمصدر يقترب منه بسرعة ثابتة: التردد الظاهري أكبر من التردد الحقيقي.

(ب) السامع ثابت والمصدر يبتعد عنه بسرعة ثابتة: التردد الظاهري أصغر من التردد الحقيقي.

(2) عندما يكون المصدر ثابتا والمستمع متحركا:

(أ) المصدر ثابت والسامع يقترب منه بسرعة ثابتة : التردد الظاهري أكبر من التردد الجقيقي.

(ب) المصدر ثابت والسامع يبتعد عنه بسرعة ثابتة : التردد الظاهري أصغر من التردد الحقيقي .

(3) عندما يتحرك المصدر والمستمع معا:

(أ) المصدر والسامع يقتربان بعضهما من بعض بسرعة ثابتة: التردد الظاهري أكبر من التردد الحقيقي.

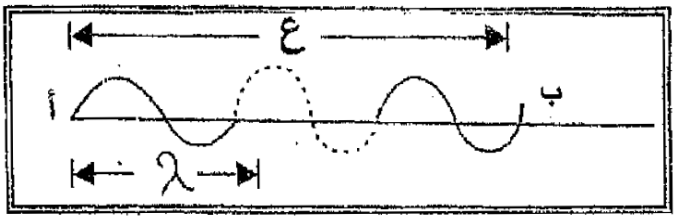
(ب) المصدر والسامع ثابت والمصدر يبتعدان بعضهما عن بعض بسرعة ثابتة: التردد الظاهري أصغر من التردد الحقيقي.

سيقتصر الشرح على إحدى الحالات التي تحدث فيها الظاهرة وهي الحالة التي يكون فيها مصدر الصوت متحركة بسرعة ثابتة والمستمع ثابت في مكانه .

عندما يكون الصوت متحركة والمستمع ثابتا :

مقدمة: الصدر والسامع ثابتين:

في شكل (44–أ) والذي يمثل رسم بياني لانتشار الموجات الصوتية من (أ) إلى (ب) نفرض مصدر الصوت ثابت في الموقع (أ) والمستمع ثابت في الموقع (ب) وأن (أ) (ب) هي المسافة التي يقطعها الصوت في زمن قدره ثانية واحدة.



شكل (44–أ)

فإذا كانت سرعة الصوت=ع، تردد الصوت= ت الطول الموجي=λ

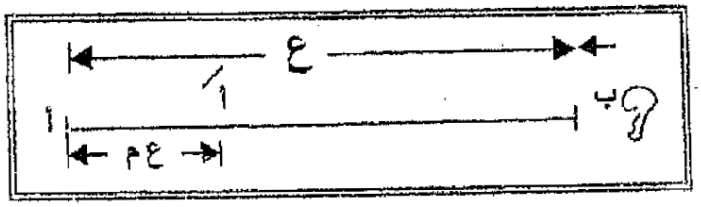
أذن المسافة (أ ب) التي يقطعها الصوت في الثانية الواحدة

= عدد الموجات في الثانية × طول الموجة الواحدة.

= تردد الصوت x الطول الموجي.

أي ع= ت x λ

أي بعد زمن قدره ثانية واحدة ستصل أول موجه انبعثت من المصدر إلى الموقع (ب) وستكون آخر موجه ابنعثت عند الموقع (أ)، أي أن عدد الموجات التي انبعثت في الثانية الواحدة شغلت المسافة (أ ب).



شكل (44–ب)

(أ) السامع ثابت و مصدر الصوت يقترب منه بسرعة ثابتة :

إضافة إلى المعطيات السابقة في المقدمة، تفرض الآن أن سرعة المصدر ع م فبعد ثانية واحدة سيقطع المصدر مسافة قدرها ع م حتى يصل إلى الموقع (أ) شكل (44–ب) وفي نفس اللحظة تصل أول موجه انبعثت من المصدر إلى الموقع (ب) وستكون آخر موجه انبعثت عند المصدر في الموقع (أ) وما أن تردد الصوت (ت)، إذن عدد الموجات (ت) الصادرة في الثانية الواحدة ستشغل المسافة (أب) والتي تساوي المقدار (ع–ع م)

في هذه الحالة تتزاحم الموجات الصوتية أمام المصدر وتقل طول الموجه.

أي بما أن أب = ع–ع م، وعدد الموجات في الثانية = تردد الصوت= ت

أذن طول الموجة تصبح= $\lambda = \frac{ع - ع_م}{ت}$ (1)

فيتكون بذلك تردد ظاهري للصوت وبما أن المسافة التي قطعها الصوت في الثانية=ع.

اذن التردد الظاهري للصوت= $ت' = \frac{ع}{\lambda}$ (2)

بتعويض قيمة λ من المعادلة (1) في المعادلة (2) ينتج أن:

الترد الظاهري= $\frac{ع}{ع - ع_م} \times ت$

أي أن

$$ت' = \frac{ع \times ت}{ع - ع_م} = \frac{\text{سرعة الصوت} \times \text{تردد المصدر}}{\text{مصدر الصوت} - \text{سرعة المصدر}}$$

ونستنتج في هذه الحالة أن التردد الظاهري للصوت أكبر من التردد الحقيقي للصوت.|

ب) السامع ثابت و مصدر الصوت يبتعد عنه بسرعة ثابتة:

إضافة إلى المعطيات السابقة في المقدمة، نفرض أن سرعة المصدر ع م ويتحرك بعيداً عن السامع.

شكل (44–ج)

فبعد ثانية واحدة سيقطع المصدر مسافة قدرها ع م حتى يصل الموقع (أ) شكل (44–ج) وفي نفس اللحظة تصل أول موجة انبعثت من المصدر إلى السامع في الموقع (ب) وستكون آخر موجة انبعثت عند المصدر في الموقع (أ) وبما أن تردد الصوت (ت) إذن عدد الموجات (ت) الصادرة في الثانية ستشغل المسافة (أب) والتي تساوي المقدار (ع–ع م).

في هذه الحالة تتخلخل الموجات الصوتية خلف المصدر وتكبر الطول الموجي.

أي بما أن أب=ع+ع م، عدد الموجات في الثانية =تردد الصوت= ت.

طول الموجة تصبح= $\lambda' = \frac{ع + ع_م}{ت}$ (1)

فيتكون بذلك تردد ظاهري للصوت وبما أن المسافة التي قطعها الصوت ع.

اذن التردد الظاهري للصوت = $ت' = \frac{ع}{\lambda'}$ (2)

بتعويض قيمة λ' من المعادلة (1) في المعادلة (2) ينتج أن:

التردد الظاهري ت = $\frac{ع}{ع + ع_م} \times ت$

أي أن:

$$تَ = \frac{ع \times ت}{ع - ع_م} = \frac{\text{سرعة الصوت} \times \text{تردد المصدر}}{\text{مصدر الصوت} - \text{سرعة المصدر}}$$

ونستنتج من ذلك أن التردد الظاهري للصوت أقل من التردد الحقيقي للصوت ولذا تكون العلاقة بين التردد الظاهري والتردد الحقيقي لنغمة متحركة بعيداً أو نحو مستمع ساكن على الترتيب هي:

$$تَ = \frac{ع \times ت}{ع \mp ع_م}$$

وهذه العلاقة صحيحة متى ما كان الوسط (الهواء) ساكناً.

أما إذا كان الوسط متحركاً بأن تهب فيه رياح سرعتها ع ر في الاتجاه من المصدر إلى السامع فإن سرعة الصوت تزداد ظاهراً من ع إلى (ع+ع ر).

$$\text{أذن } تَ = \frac{(ع - ع_ر) \times ت}{(ع - ع_ر) \mp ع_م}$$

أما إذا كان اتجاه الرياح من المستمع إلى المصدر فإن

$$تَ = \frac{(ع - ع_ر) \times ت}{(ع - ع_ر) \mp ع_م}$$

استخدامات وفوائد ظاهرة دوبلر

(1) بمعرفة تغيير دوبلر للتردد في جهاز رادار شرطة المرور وبواسطة انعكاس الموجات من سيارة متحركة يمكن حساب سرعة تلك السيارة المتحركة.

(2) من التطبيقات المهمة لظاهرة دوبلر هو معرفة سرعة الطائرات والنجوم كما أن هذه الظاهرة لها تطبيقات في بحوث فلكية عديدة فطيف أي نجم يتكون من خطوط لامعة وأخرى معتمة (كطيف الشمس مثلاً)، عندما تكون حركة النجم في اقتراب من الأرض يكون تغيير دوبلر الظاهري للتردد في اتجاه اللون البنفسجي لطيف الضوء ولكن عندما تكون حركة النجم في ابتعاد عن الأرض يكون تغيير دوبلر الظاهري للتردد في اللون الأحمر لطيف الضوء بمعرفة هذا التغيير في الطيف يمكن للفرد أن يحسب سرعة النجم

ولظاهرة دوبلر فوائد في الضوء أكثر من الصوت وكذلك في دراسة النظرية النسبية.

أمثله

(1) سيارة تقترب منك بسرعة قدرها 30م\ث وتصدر نغمة من آلة التنبيه ترددها 680 ذ\ث (هيرتز) احسب التردد الظاهري للنغمة التي تسمعها علما بأن سرعة الصوت في الهواء 330م \ث.

الحل:

بما ان السامع ثابتا ومصدر الصوت يقترب منه بسرعة ثابتة .

اذن التردد الظاهري تَ= $\frac{ع_{ت}}{ع-ع_{م}}$ = $\frac{330x680}{30-330}$ =748 ذاث

(2) سيارة تبتعد عنك بسرعة قدرها 25 م اث تصدر نغمة ترددها 600 ذاث (هرتز) فإذا كان التردد الظاهري للنغمة التي تسمعها 550 ذ اث، فأحسب سرعة الصوت في الهواء.

الحل:

بما ان السامع ثابت ومصدر الصوت يبتعد عنه بسرعة ثابتة

اذن التردد الظاهري تَ= $\frac{ع_{ت}}{ع-ع_{م}}$

550ع+13750=600ع

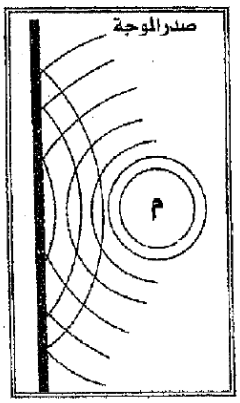
50ع=13750

ع=275 م اث

خواص الصوت

انعكاس الصوت

تنتشر الأمواج الصوتية في الهواء في جميع الجهات على شكل كرات مركزها مصدر الصوت وعندما تصادف هذه الأمواج الكروية سطحاً مستوياًعاكساً تنعكس عنه بشكل كرات أيضا وتظهر الأمواج المنعكسة الكروية وكان مركزها خلف الحاجز (المستوى العاكس) في نقطة تبعد عن الحاجز بمقدار بعد مصدر الصوت عنه.



شكل (45)

يبين الشكل (45) مصدرا (م) تنتشر منه الأمواج الصوتية بشكل كرات، ويسمى سطح كل كرة يتألف من دقائق تتحرك بكيفية واحدة بمقدمة الموجة (او ر الموجه)، كما يسمى اتجاه الموجه شعاعاً صوتياً وعندما تصل الأمواج الصوتية السطح العاكس (أ ب) تنعكس عنه بشكل كروي أيضا وتظهر الأمواج المنعكسة الكروية وكان مركزها نقطة (م) التي تبعد عن الحاجز (أ ب) نفس بعد المصدر الصوتي (م) عن الحاجز نفسه.

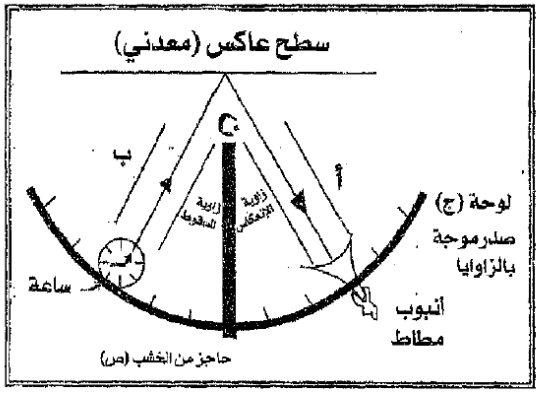
الصوت كما ينعكس الضوء تماما، ولذلك تخضع الأمواج الصوتية في انعكاسها لقانوني الانعكاس المعروفين اللذين تخضع لهما موجات الضوء والحرارة أي أن:

(1) زاوية السقوط= زاوية الإنعكاس

(2) الشعاع الساقط وانشعاع المنعكس والعمود المقام على سطح العاكس من نقطة الانعكاس كلها تقع في مستوى وأحد عمودي على السطح العاكس و التجربة التالية تثبت أن الصوت يخضع في انعكاسه لهذين القانونين.

تجربة

(1) خذ انبوبين طولين (أ، ب) كما في الشكل (46) يمكن إدارتها على لوحة (ن) مدرجة بالزوايا وينتهي طرف الأنبوبتين على السطح العاكس الموضوع بشكل عمودي على منضدة .



شكل (46)

(2) ضع ساعة بالقرب من نهاية الطرف الثاني للأنبوب (ب)، وصل نهاية الطرف و الثاني للأنبوب (أ) قمع وفي نهاية القمع انبوب مطاطي يمكن إدخاله في الأذن السماع الصوت المنعكس.

(3) ضع حاجزة كبيرة (ص) من الخشب أو أية مادة تمتص الصوت بشكل عمودي على المنضدة بين الأنبوبين (أ ب) وذلك كي يمنع انتقال الصوت مباشرة من الساعة إلى أذن السامع.

(4) حرك الأنبوب (أ) على اللوحة المدرجة حتى تسمع صوت دقات الساعة المنعكس على السطح العاكس أوضح ما يمكن.

(5) كما هو موضح في الشكل (46) أقرأ الزاويتين (ب ن ص) و (أ ن ص) تجد أنهما متساويتان وهذا يثبت أن زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس (القانون الأول).

(6) اجعل السطح العاكس يميل على مستواه العمودي لتجد أن الصوت يضعف ثم يتلاشى، وهذا يثبت (القانون الثاني للإنعكاس).

الصدى

عندما تقابل الأمواج الصوتية سطحاً كبيراً فإنها تنعكس عنه ، فإذا كان السطح العاكس بعيدا بحيث وصلت الأمواج المنعكسة إلى الأذن بعد زوال تأثير الصوت الأصلي يسمى الصوت المنعكس صدى، إذن فالصدى تكرار للصوت الأصلي يحدث نتيجة لإنعكاس الأمواج الصوتية ويسمع بوضوح بعد زوال الصوت الأصلي من الأذن.

أما إذا كانت السطوح العاكسة قريبة من بعضها فإن الأصداء الناتجة لا تسمع كأصوات منفصلة بل تسمع و كأنها استمرار للصوت الأصلي . وعلى هذا الأساس فإن:

صوت الرعد ينعكس انعكاسات متعددة عند السحاب ويتصل بصوت الرعد الأصلي فتسمع قعقعة الرعد لفترة من الزمن.

تبقى أذن الإنسان متأثرة بالصوت لمدة ثانية ، بعد وصول الصوت إليها. فإذا كانت سرعة الصوت 340 متر\ ثانية . فأن المسافة التي يقطعها الصوت في هذا الزمن $\frac{1}{10}$(ثانية) =$340x\frac{1}{10}$ = 34 متر

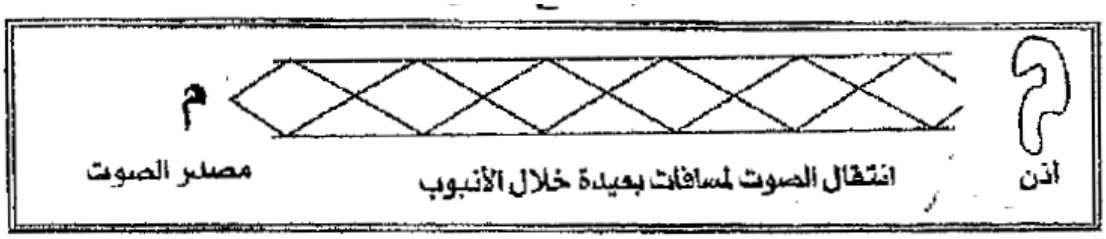
وفي حالة انعكاس الصوت (الصدى) إذا قطع الصوت هذه المسافة ذهابا وإيابا فهذا يعني أن الحاجز أو السطح العاكس موجود على بعد 17 متر أي أن المسافة التي قطعها الصوت ذهابا تبلغ 17 متر ، وهي أقل مسافة تحدث فيها الصدى وبدون انقطاع الصوت الأصلي.

أما إذا كان بعد السطح العاكس (العائق أو الحاجز) أكبر من 17 مترا فيصل الصوت المنعكس (الصدر) إلى الأذن منفصلا بعد زوال تأثير الصوت الأصلي وإذا كان بعد السطح العاكس (الحاجز) أقل من 17 متر فيصل الصوت المنعكس (الصدى) إلى الأذن قبل زوال تأثير الصوت الأصلي ويختلط به فلا يكون الصوت واضحا في تفاصيله.

لا يعتبر هذا المبعد (17 متراً) ثابتا بل يعتمد على سرعة الصوت فأذا كانت سرعة الصوت 360 متراً \ ثانية لوجب أن يكون أقل بعد للسطح العاكس ذهاباً $\frac{1}{10}$ x360 =36 متراً او $\frac{36}{2}$ مترا =18 متراً ذهابا وإيابا .

تطبيقات على انعكاس الصوت

(1) يمكن أن تنعكس الأمواج الضوئية داخل أنبوب انعكاسات متكررة شكل (47) وبذلك تحفظ الطاقة الصوتية من الضياع ويصل الصوت إلى مكان بعيد.



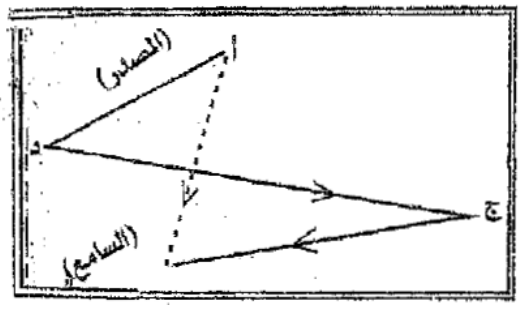
شكل (47)

(2) يستخدم انعكاس الصوت في تعيين سرعة الصوت في الهواء فإذا فرضنا أنك تسمع صدى صوتك بعد عشر ثوان من إصداره نتيجة لانعكاسه عند جبل يبعد عنك 1700 مترا ويحسب الصوت كالتالي:

بعد الجبل = 1700 متر، زمن ذهاب واياب الصوت = 10 ثوان.

أذن زمن ذهاب الصوت= 5ثواني، ع = $\frac{1700}{5}$ = 340 متراثانية .

(3) في قاعات المحاضرات والأندية والسينما واستديوهات محطات الإذاعة يحدث انعكاسات متكررة للصوت فتشوش على السامع لأنها تختلط مع الصوت الذي يصل مباشرة إلى السامع، كما هو موضع في الشكل (48) عندما يتكلم الشخص (أ) يسمع (د) الصوت عن طريق مباشر وهنالك طرق يعاني فيها الصوت عدة انعكاسات متكررة من جدران الغرفة فالطريق المباشر الذي يصل فيه الصوت إلى د) هو (أ د) وأحد الطرق الكثيرة غير المباشر هو أ ب ج د، فعندما يكون (د) قد سمع المقطع الأول من الكلمة، وبدأ في سماع المقطع الثاني بالطريق المباشر (أد) يصل المقطع الأول عن طريق الإنعكاسات المتكررة، (أ ب ج د) وبذلك يشوش على سماع المقطع الثاني وهكذا تختلط المقاطع ويكون الكلام غير واضح ومشوشاً.



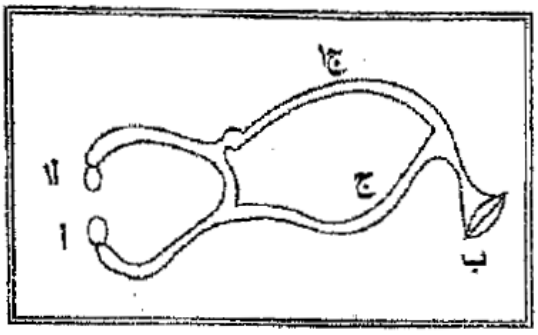
شكل (48)

(4) يستعمل البوق لتقوية الصوت وذلك بان يتكلم الشخص في الفتحة الصغيرة فتنحصر الطاقة الصوتية داخل البوق وتتجه إلى جهة واحد فقط بسبب الانعكاسات المتكررة داخل البوق، بدل من أن تتوزع في جميع الجهات، وتهتز كمية

الهواء الموجودة في داخل البوق اهتزازاً شديداً مما يزيد من شدة الصوت.

(5) سماعة الطبيب:

تستعمل لفحص ضربات القلب وصفاء حركة التنفس ويوضع طرفاها (أ–أ) المعدنيان في أذني الطبيب، شكل (49) (ج جَ) انبوبان من المطاط يتصلان ببوق (ب) عليه غشاء معدني رقيق، الذي يهتز نتيجة ضربات القلب، ويتجمع الصوت في البوق (ب) وينعكس إلى الداخل انعكاسات متكررة حتى يصل الطرفين (أ–أ) حيث المساحة صغيرة وتزداد بذلك شدة الصوت وتسمع دقات القلب بوضوح.

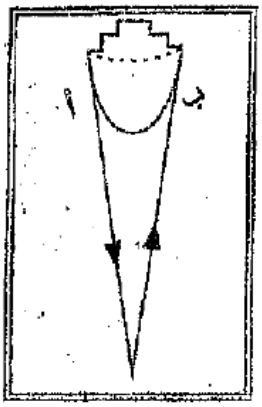


شكل (49)

(6) تقاس المسافات باستخدام ظاهرة الصدى حيث يصدر صوت قصير الأمد، ثم نسمع الصدى المنعكس عن السطح المراد قياس بعده ونقيس الزمن المحصور بين اصدار الصوت واستقبال الصدى فيكون هو الزمن الذي استغرقه الصوت حتى وصل إلى السطح العاكس ورجع إلى نفس مكان صدور الصوت فبذلك يكون الزمن الذي استغرقه الصوت حتى وصل إلى السطح العاكس مساوياً لنصف المقاس، ويضربه في سرعة الصوت (وقت إجراء التجربة) ينتج بعد السطح العاكس

أي في= $\frac{ز}{2}$ x ع

حيث ف = بعد السطح العاكس، ز= زمن ذهاب واياب الصوت، ع=سرعة الصوت وهكذا يقاس عمق الأبار العميقة، وبعد الجبال. وتستفيد السفن من هذه الظاهرة لمعرفة بعد الحواجز الجليدية وغيرها خصوصا عندما يكثر الضباب فتتجنب الأخطار، كذلك يمكن قياس عمق البحار بهذه الطريقة ويستخدم لذلك جهاز مرتبط بالسفينة شكل (50) ومغمور في الماء، وبه جهاز إرسال (أ) يرسل اصوات قصيرة الأمد فتنزل إلى قاع البحر ثم تنعكس إلى أعلى، ويستقبلها جهاز استقبال (ب) يسمي هيدروفون (Hydrophone) ويمكن حساب العمق أو البعد بنفس الطريقة المذكورة سابقاً، عمق البحر= $\frac{1}{2}$ الزمن (ذهاب وإياب) × سرعة الصوت في الماء.

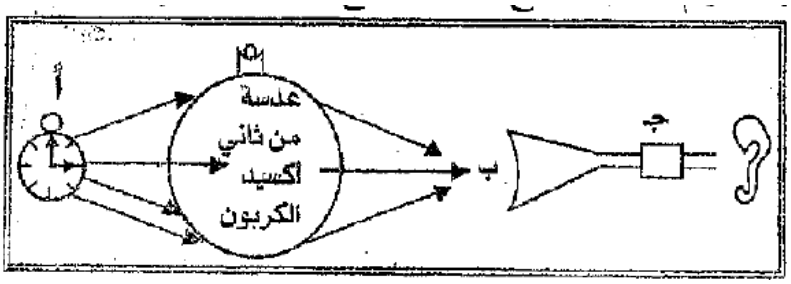


شكل (50)

انكسار الصوت

عندما يصادف الصوت وسطا يختلف في الكثافة عن الوسط الذي يسير فيه، تنكسر الأمواج الصوتية تماما كما يحدث للأمواج الضوئية وإثبات ذلك من خلال التجربة التالية:

خد بالونا من المطاط الرقيق واملأه بغاز ثاني أكسيد الكربون (وهو أكثف من الهواء) ضع ساعة جيب (أ) كما في الشكل (51) في أحد جهتي البالون ثم حاول أن تقرب القمع (ج) المتصل بالأذن من الجهة الأخرى للبالون، تجد أن الصوت يسمع أوضح ما يمكن في نقطة واحدة فقط مثل (ب)، مما يدل على أن الصوت قد انكسر خلال مروره بعدسة (بالون فيه ثاني أوكسيد الكربون) وأنها عملت على عمل العدينة المحدبة في الضوء، ولو لم تنكسر الأمواج الصوتية لسمع صوت الساعة في عدة نقاط غير (ب).



شكل (51)

أما لو ملأنا البالون بغاز اخف من الهواء كالهيدروجين، مثلا فإن الصوت ينكسر متفرقاً ولا يتجمع في نقطة مثل (ب) وتعمل عدسة الهيدروجين عمل العدسة المقعرة في الضوء.

الاذن واستقبال الصوت

(1) هي جهاز السمع عند الإنسان ويتركب من ثلاثة أقسام شكل (52) وهي كالتالي:

(أ) الأذن الخارجية .

(ب) الأذن الوسطى.

(ج) الأذن الداخلية.

(أ) <u>الأذن الخارجية:</u> وتتألف من:

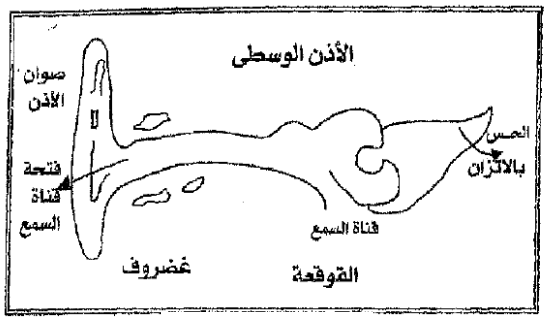
(1) الصيوان: وهو الجزء الغضروفي البارز من الأذن عمله جميع الموجات الصوتية ويشبه البوق.

(2) القناة السمعية: وهي طريق الاتصال بين الصوان والأذن الوسطى وهي تعمل على تجميع الأمواج الصوتية وتركيزها على الطبلة.

ب) <u>الأذن الوسطى:</u> وتتكون من

(1) الطبلة: غشاء رقيق وتنتهي به القناة السمعية .

(2) العظيمات الثلاث: وهي المطرقة والسندان والركاب.



شكل (52)

توجد هذه العظيمات خلف الطبلة، فالمطرقة متصلة بالطبلة والسندان ملاصق لجزء من المطرقة والركاب متصل بطرف السندان وفي نفس الوقت يسد فتحة بيضوية الشكل هي مدخل الأذن الداخلية، كما يوجد في طريق اتصال بين الفم والأذن الوسطى قناة تسمى بقناة (استاكيوس) عملها تعديل الضغط على جانبي غشاء الطبلة. تنتقل الاهتزازات الصوتية من غشاء الطبلة عبر العظميات الثلاث إلى الأذن الداخلية .

(ج) <u>الأذن الداخلية:</u> وهذا القسم معقد التركيب ففيه كثير من القنوات العظيمة والإلتواءات وأشهر هذه القنوات قناة حلزونية تسمى (بالقوقعة) .

شدة الصوت

هي مقدار الطاقة الصوتية الساقطة في الثانية الواحدة على وحدة مساحة الكاشف (الاذن مثلاً) العمودية على اتجاه أنتشار الصوت.

العوامل التي تعتمد عليها شدة الصوت

تعتمد شدة الصوت على العوامل التالية :

(أ) المسافة بين المصدر والكاشف.

ب) سعة إهتزازة المصدر.

(ج) كثافة الوسط الناقل للصوت.

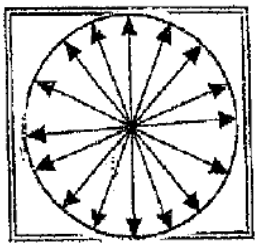
(د) مساحة صالح المهتز.

هـ) اتجاه الريح.

(أ) <u>شدة الصوت والمسافة بين المصدر والسامع: (قانون التربيع العكسي).</u>

بما أن شدة الصوت هي مقدار الطاقة الصوتية الساقطة على وحدة المساحة العمودية على اتجاه انتشار الصوت في وحدة الزمن.

نفرض (م) مصدراً صوتياً بما أن الطاقة الصوتية تنتشر بشكل موجات كروية مركزها مصدر الصوت (م) ولذلك فإن الطاقة الصوتية (طا) تتوزع على سطح كرة في لحظة ما شكل (53).



شكل (53)

إذا كانت كمية الطاقة الصوتية الساقطة على الكرة في الثانية =طا وكمية الطاقة الساقطة على وحدة المساحة من سطح تلك الكرة= $\frac{\text{طا}}{4\pi \text{نق}^2}$

حيث نق= نصف قطر الكرة، 4π نق= مساحة سطح الكرة.

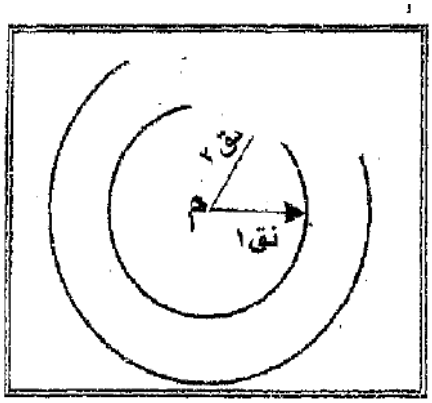
شدة الصوت في نقطة تبعد نق عن مصدر الصوت (م).

$$\text{ش}_1 = \frac{\text{طا}}{4\pi \text{نق}^2} =$$

أذن شدة الصوت في نقطة تبعد نق^2 عن مصدر الصوت (م) كما في شكل (54).

$$\frac{\text{ش}_1}{\text{ش}_2} = \frac{\text{طا}}{4\pi \text{نق}_2^2} \div \frac{\text{طا}}{4\pi \text{نق}^2} =$$

$$\frac{\text{ش}_1}{\text{ش}_2} = \frac{\text{نق}^2}{\text{نق}_1^2}$$



شكل (54)

أي أن شدة الصوت، تتناسب عكسيا مع مربع المسافة بين المصدر والسامع وهذا ما يعرف بقانون التربيع العكسي في الصوت.

(ب) شدة الصوت وسعة الاهتزازه:

تجربة:

أطرق شوكة رنانة ذات تردد معلوم، برفق حتى يهتز فرعاها بسعة اهتزازه صغيرة فتصدر صوت ضعيفاً. إذا طرقت هذه الشوكة بقوة اهتز فرعاها بسعة إهتزازه أكبر فتصدير صوتا أقوى.

نلاحظ من هذه التجربة أنه كلما ازدادت سعة ذبذبة الشوكة كلما ازدادت شدة الصوت، وتفسير ذلك أنه كلما زادت سعة ذبذبة الشوكة كلما زاد مقدر الشغل او الطاقة اللازمة لإحداث تلك الإهتزازه وبما أن الطاقة لا تفنى، ففي هذه الحالة ينتقل القسم الأكبر منها إلى الهواء المجاور فتجعله يتحرك حركته الإهتزازية المعهودة ونجد أن الطاقة الصوتية الموجودة في الهواء تزداد و بذلك تزداد شدة الصوت في نقطة ما، لأن شدة الصوت تتناسب طرديا مع مقدار الطاقة الصوتية، إذا كانت المسافة ثابتة، ولقد ثبت أن شدة الصوت تتناسب طرديا مع مربع سعة الإهتزازة. إذن كلما ازدادت سعة اهتزازة الجسم المهتز ازدادت سعة اهتزاز جزئيات الهواء وبذلك تزداد شدة الصوت في نقطة معينة في الحيز المحيط بمصدر الصوت.

(ج) شدة الصوت وكثافة الوسط الناقل:

(1) إذا وضعت جرساً كهربائياً داخل نافوس مملوء بالهواء وأخذت تفريخ هواء الناقوس، تلاحظ أن صوت الجرس يأخذ بالانخفاض مع التفريغ، وهذا يثبت أن شدة الصوت تنخفض بنقصان الكثافة .

(2) أملا الناقوس ثانية بالهواء تحت ضغط معين، ثم أستبدله أولا بغاز ثاني أوكسيد الكربون الذي هو اكثف من الهواء، وثانيا بغاز الهيدروجين الذي هو أقل كثافة من كل من الهواء ومن غاز ثاني أوكسيد الكربون تلاحظ أن الصوت يكون أوضح ما يمكن عندما يكون الناقوس مملوءة بغاز ثاني أوكسيد الكربون، بغرض أن ضغط كل من الهيدروجين وغاز ثاني أوكسيد الكربون مساوي لضغط الهواء الذي ملأنا به الناقوس.

نستنتج من هذا الاختبار آن شدة الصوت تزداد بزيادة كثافة الوسط الناقل للصوت.

(د) شدة الصوت ومساحة السطح المهتزة:

أطرق شوكة رنانة واستمع إلى الصوت الصادر عنها، أطرق الشوكة مرة ثانية واجعلها تلامس سطح طاولة تلاحظ أن الصوت يكون أوضح منه في الحالة الأولى، أي أن شدة الصوت المسموع قد ازدادت.

تستنتج من ذلك أن شدة الصوت تزداد بملامسة مصدر الصوت لجسم آخر أي بزيادة مساحة السطح المهتز والسبب في ذلك أن فرع الشركة في الحالة الأولى يؤثر على جزئيات الهواء المجاورة للشوكة ولكن عندما تلامس الشوكة سطح الطاولة تنتقل الحركة إلى السطح الجديد الملامس لعدد أكبر من جزئيات الهواء، وبذلك يزداد عدد جزئيات الهواء المهتزة ويزداد معدل انتشار الطاقة الصوتية وبذلك تزداد شدة الصوت.

تستعمل هذه الخاصية بكثرة في الآلات الموسيقية لتقوية الأصوات الصادرة عنها وخاصة في الالات الوترية مثل العود والكمان.

(هـ) شدة الصوت واتجاه الريح:

عندما ينتشر الصوت مع الريع ينكسر إلى الأسفل، فالشخص الواقف في مكان على سطح الأرض تصله الطاقة الصوتية بمعدل أكبر مما لو كان الريح ساكناً، ولذا تزداد شدة الصوت بالنسبة لهذا الشخص، وعلى العكس فإن الصوت ينكسر للأعلى إذا انتشر في عكس اتجاه الريح إذ ينتشر الصوت في الفضاء ويتوزع على مساحات اكبر ولذا يقل معدل الطاقة الصوتية الواصلة إلى شخص ما، وتبعا لذلك تقل شدة الصوت. **نستنتج من ذلك أن شدة الصوت تزداد إذا انتشرت الطاقة الصوتية مع اتجاه الريح.**