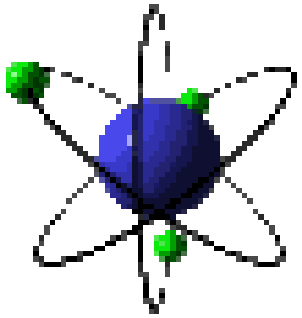
جامعة الأنبار
كلية التربية
قسم الفيزياء
المرحلة: الأولى
الدراسة الصباحية والمسائية
المادة: الحرارة وخواص المادة



الفصل الأول

درجة الحرارة: The Temperature

درجة الحرارة: The Temperature

يعد مفهوم درجة الحرارة من المفاهيم الأساسية في الفيزياء، شأنه شأن المفاهيم الأساسية الأخرى كالقوى مثلاً. وعلى الرغم من أن الجميع يملك فكرة واضحة أو تصوراً معيناً عن معنى هذا المفهوم وذلك بدلالة أحاسيسه، إلا أن مفهوم درجة الحرارة ليس سهل التعريف والتحديد بدقة.

ومن المفاهيم البسيطة والأولية هو أن درجة الحرارة هي ذلك الشيء المسئول عن إحساسنا بالسخونة والبرودة. وتُعدُّ حاسة اللمس ابسط طريقة لتميز سخونة وبرودة الأجسام، إذ نستطيع القول أن الجسم X أشدُّ سخونة من الجسم Y ، والجسم Y أشدُّ أو اقلُّ سخونة من الجسم Z وهكذا نستطيع التعبير عن مفهوم درجة الحرارة.

ومن أجل فهم أكثر لمعنى درجة الحرارة، دعنا نأخذ جسماً معيناً وليكن X ذا درجة حرارة معينة T_1 ، كأن يكون بارداً عند لمسه باليد، وجسماً ثانياً مماثلاً للأول تماماً وليكن Y وذا درجة حرارة معينة T_2 ، كأن يكون ساخناً عند لمسه باليد. فإذا وُضع الجسمان في حالة اتصال حراري، فإن الجسم الساخن يبرد، أي تنخفض درجة حرارته بينما يسخن الجسم البارد أي ترتفع درجة حرارته، وبعد مرور فترة كافية من الزمن فإن كل من الجسمين X و Y سيؤولان إلى الدرجة الحرارية نفسها، وعندها يمكن القول بأن الجسمين أصبحا في حالة توازن حراري. ويمكن توضيح ذلك بافتراضنا أن هناك شيء ما، نسميه الحرارة Heat (وهي نوع من أنواع الطاقة) قد تنساب من الجسم الساخن إلى داخل الجسم البارد. وهذا المثال مشابه إلى ربط وعاءين يحتويان على الماء بمستويات مختلفة، بأنبوب، إذ نجد أن الماء سينساب خلال الأنبوب من الوعاء الذي يحتوي على سائل ذات مستوى أعلى إلى الوعاء الحاوي على السائل بمستوى أقل. ومن هذا يتضح لنا بأن درجة حرارة الجسم (أو النظام) تأخذ القيمة نفسها التي تؤول إليها قيم درجات الحرارة المختلفة لتلك الأجسام (أو الأنظمة)، إذا وضعت هذه الأجسام (أو الأنظمة) سوية وباتصال حراري مباشر.

إن هذا الشرح أو التفسير يتطابق مع فكرة أن درجة الحرارة هي مقياس لسخونة أو برودة الأجسام(أو الأنظمة)، فضلاً عن انه يقود أيضاً إلى معنى أساس آخر لدرجة الحرارة وهو أنها خاصية ما للمادة تؤول إلى نفس قيمتها في مواد أخرى عندما توضع هذه المواد في حالة اتصال حراري ويتحقق التوازن الحراري.
فضلاً عما تقدم فإنه يمكن اعتبار درجة الحرارة كمقياس للنشاط الحراري لذرات أو جزيئات المادة. وتعرّف على أنها مقياس للطاقة الحركية (أو الاهتزازية) لذرات أو جزيئات المادة. ويعبّرعن درجة الحرارة بالدرجة السليزية (أو المئوية) ^oC أو بالدرجة الفهرنهايتية ^oF أو بالدرجة الكلفنية (أو المطلقة) K.

أسس قياس درجة الحرارة: Principles of Temperature Measurement

تعتمد الخواص الفيزيائية للمادة على درجة الحرارة، وتتغير هذه الخواص مع تغير درجة الحرارة. ومن هذه الخواص حجم المادة ومقاومة السلك الكهربائية وطول القضيب المعدني وضغط الغاز المحفوظ تحت حجم ثابت وحجم الغاز المحفوظ تحت ضغط ثابت ولون سلك التسخين في المصباح الكهربائي، وغيرها. لقد استعان العلماء على العلاقة بين أي من هذه الخواص الفيزيائية ودرجة الحرارة في بناء مقياس مناسب لدرجة الحرارة (محرار). إن بناء أي مقياس لدرجة الحرارة يعتمد أساسا على الاختيارات الآتية :

1. اختيار المادة المحرارية المناسبة.
2. اختيار الصفة المحرارية المناسبة لتلك المادة.
3. اختيار المدى المناسب لدرجات الحرارة التي يراد قياسها.
4. الافتراض بأن الصفة المحرارية المختارة تتغير باستمرار مع تغير درجة الحرارة.

ان استحضار النقاط الأنفة الذكر مهم جداً عند بناء أي مقياس لدرجات الحرارة. فيمكن إن تكون صفة محرارية مناسبة لمدى معين من درجة الحرارة دون غيرها.

فلو فرضنا أن العلاقة بين الخاصية الفيزيائية المحرارية المختارة X ، ودرجة الحرارة المطلقة T يمكن كتابتها بالعلاقة الخطية الآتية:

$$T=aX \qquad (1)$$

إذ أن a تمثل كمية ثابتة ، بالإمكان تحديد قيمتها عند القيام ببناء أي محرار لقياس درجة الحرارة. إن المعادلة (1) تشير إلى نقطتين مهمتين هما:

1. إن الفروق المتساوية في درجة حرارة المادة ينتج عنها تغيرات متساوية المقدار في قيمة الخاصية الفيزيائية المحرارية المختارة X .
2. إن النسبة بين أية درجتين حراريتين تساوي النسبة بين قيمتي الخاصية الفيزيائية عند تلكما الدرجتين الحراريتين، وبتعبير آخر فإن:

$$T_1/T_2=X_1/X_2 \qquad (2)$$

إذ أن X_1 و X_2 تمثلان مقدار خاصية المادة الفيزيائية عند الدرجتين T_1 و T_2 على التعاقب. أما قيمة الثابت a فإنها تملك نفس القيمة عند T_1 و T_2، ولذلك فإنها لا تظهر في المعادلة (2). إن استخدام العلاقات السابقة يحتم علينا ملاحظة النقاط المهمة الآتية:

1. إن قيم درجات الحرارة المتأتية من اختيارنا لمقياس معين يعتمد على مادة معينة وخاصية محرارية معينة ليس بالضرورة أن تكون متطابقة مع قيم درجات الحرارة المتأتية من مقياس آخر يعتمد على مادة أخرى وخاصية محرارية أخرى.
2. إذا حدث تطابق بين قيم درجات الحرارة المتأتية من مقياسين مختلفين في مدى معين من درجات الحرارة فإنه ليس من الضروري أن يحدث التطابق في مدى آخر لدرجات الحرارة.
3. إن العلاقة الخطية في (2) لا تصح لجميع مديات درجات الحرارة، وهذا يعني إن قيمة الثابت a لا تكون نفسها عند جميع درجات الحرارة.

ويمكن إعادة كتابة المعادلة (2) على النحو الآتي:

$$T_1=T_2(X_1/X_2) \quad (3)$$

فإذا فرضنا أن قيمة خاصية المـادة X_2 عند النقطة الثلاثية للمـاء T_2والمساوية إلى 273.16K فـإن المعادلة (3) يمكن تبسيطها إلى الصيغة الآتية:

$$T_1=273.16(X_1/X_2) \quad (4)$$

إن العلاقة الأخيرة يمكن تعميمها على أي نوع من المحارير يراد استخدامه، وكما يأتي:

للمحارير السائلة: $T(L)=273.16(L/L_o)$

للمحارير الغازية ذات الحجم الثابت: $T(V)=273.16(P/P_o)$

للمحارير الغازية ذات الضغط الثابت: $T(P)=273.16(V/V_o)$ولمحارير المقاومة الكهربائية : $T(R)=273.16(R/R_o)$

ولمحارير المزدوجات الحرارية: $T(\varepsilon)=273.16(\varepsilon/\varepsilon_o)$

وهكذا لأي نوع من المحارير. حيث أن (ε,R,V,P,L) تمثل قيم الخاصية المعنية عند درجة الحرارة 273.16K.

يعتمد قياس درجات الحرارة الواطئة عادة على استخدام أحد أنواع محارير المقاومة، والذي غالباً ما يتم اختيار نوع معين منها لمدى معين من درجات الحرارة، الواطئة، لأنه لا يوجد محرار مقاومة واحد يكون استخدامه كفوءاً لجميع الحرارة الواقعة بين 1K إلى درجة حرارة الغرفة 300K. فيستخدم محرار مقاومة البلاتين في مدى درجات الحرارة 200K- إلى 1000K ويستخدم محرار مقاومة شبه الموصل لمدى درجة الحرارة بين 2K إلى 20K . كذلك يستخدم محرار مقاومة الكاربون في مديات مختلفة لدرجات، مثلاً بين 0.1K إلى 20K. أما لدرجات الحرارة الأقل من 1K فغالباً ما تستخدم صفة التأثيرية المغناطيسية لأحد الأملاح البارامغناطيسية كمحرار لدرجة الحرارة. أما القوة الدافعة الكهربائية لمعظم المعادن فإنها تصبح قليلة جداً لأجل استخدامها في المزدوجات الحرارية ولا توفر دقة عالية في القياس. وتعتمد كفاءتها على نوع المزدوج الحراري ومدى درجات الحرارة الذي يستخدم فيه محرار المزدوج الحراري. أما لدرجات الحرارة الأعلى من 100Kفغالباً ما يستخدم المحرار البارومتري (Pyrometer)

مقاييس درجة الحرارة: The Temperature Scales

قبل البدء بشرح عملية بناء المحارير يجب تعيين مقياس درجة الحرارة المناسب وتعيين الطريق المناسبة لتدرج هذا المحرار. وبصورة عامة هناك ثلاثة مقاييس رئيسة لدرجة الحرارة، وهي كما يأتي:

1. المقياس السليزي: The Celsius (Centigrade) Scale (^oC)
2. المقياس الفهرنهايتي: The Fahrenheit Scale (^oF)
3. المقياس الكلفني: The Kelvin Scale (K)

1.المقياس السليزي(^oC): The Celsius (Centigrade) Scale

يتم تدريج هذا المقياس وذلك بتعريف نقطة انجماد الماء على أنها تساوي صفر درجة سليزية 0^oC تحت الضغط الجوي الاعتيادي، ونقطة الغليان على أنها تساوي 100^oC تحت الضغط الجوي الاعتيادي، والطريقة المستخدمة لتدريج المحرار الزئبقي وفق هذا المقياس هي بوضع المحرار الزئبقي في خليط الثلج والماء وتركه مدة كافية حتى يستقر مستوى الزئبق. ويؤشر مستوى الزئبق على انه 0^oC ثم يهيئ خليط البخار والماء ويوضع المحرار داخله فيرتفع مستوى الزئبق ويستقر عند مستوى معين، يؤشر هذا المستوى على انه 100^oC ثم تقسم المسافة بين العلامتين 0^oC و100^oC إلى 100 جزء متساوٍ كل جزء سيمثل تغيراً في درجة الحرارة مقداره درجة سليزية واحدة 1^oC. ويمكن توسيع مدى المحرار المذكور وذلك بإضافة المسافات نفسها قبل النقطة 0^oC من اجل الحصول على الدرجات الحرارية الأقل من 0^oC، وبعد النقطة 100^oC للحصول على الدرجات الحرارية الواقعة بعد 100^oC.

2. المقياس الفهرنهايتي (^oF): The Fahrenheit Scale

يعد المقياس الفهرنهايتي من مقاييس درجة الحرارة المعروفة. إن مسافة درجة الحرارة الفهرنهايتية على المقياس تساوي (5/9) مسافة درجة الحرارة السليزية. إن درجة انجماد الماء في هذا المقياس تساوي32 درجة فهرنهايتية 32^oF ودرجة غليان الماء تساوي 212^oF. وتقسم المسافة بين النقطتين إلى 180 جزءاً متساوياً. وان طريقة تدريجه هي طريقة تدرج المقياس السليزي نفسها.

3. المقياس الكلفني (K): The Kelvin Scale

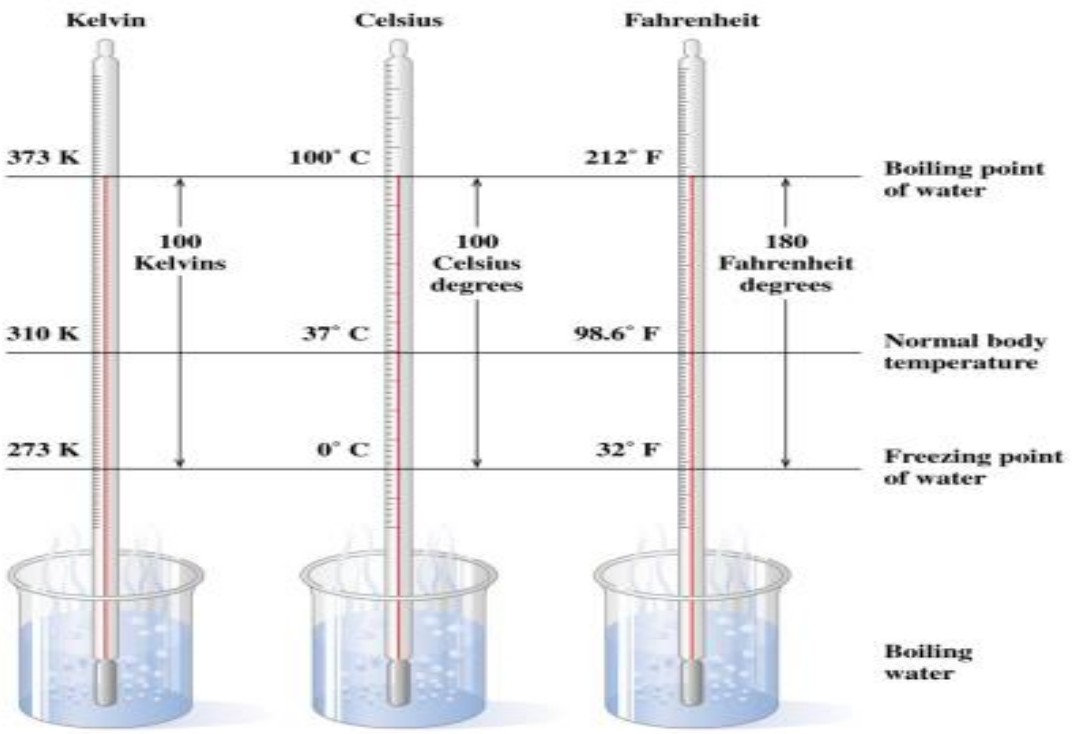
يعد المقياس الكلفني المقياس العلمي الأساس لدرجة الحرارة والذي على أساسه يتم تعريف المقياس السليزي. يشبه المقياس الكلفني في تقسيماته المقياس السليزي، ان درجة انجماد الماء في هذا المقياس تساوي 273.15 درجة كلفنيه، وغالباً ما تأخذ على أنها مساوية إلى 273K، أما درجة حرارة غليان الماء فإنها تساوي 373.15Kدرجة كلفنية تحت الضغط الجوي الاعتيادي. ومن هذا يتبين ان المسافة بين النقطتين مقسمة إلى 100 جزء متساو، كما هي الحالة في المقياس السليزي، فضلاً عن ان تساوي الدرجة الكلفنية مع الدرجة السليزية. يوضح الشكل (1) هذه المقاييس الثلاثة والدرجات الحرارية المهمة فيها.

Temperature Scales

Temperature scales

Are Fahrenheit, Celsius, and Kelvin.

Have reference points for The boiling and freezing points of water.



Copyright © 2007 by Pearson Education, Inc. Publishing as Benjamin Cummings

التحويل من مقياس إلى آخر: Conversion of Scales

يمكن تحويل درجة الحرارة من مقياس إلى آخر حسب النسبة الآتية: $\frac{^{o}C-0}{100}=\frac{K-273}{100}=\frac{^{o}F-32}{180}$

1. من المقياس السليزي إلى المقياس الفهرنهايتي وبالعكس بأخذ الحد الأول والثالث من المعادلة أعلاه:

$$\frac{^{o}C-0}{100}=\frac{^{o}F-32}{180}$$

وبضرب الطرفين في الوسطين:

$$^{o}C-0=\frac{100}{180}\left(^{o}F-32\right)$$

وبترتيب المعادلة السابقة:

$$^{o}F=\frac{9}{5}\,^{o}C+32$$

2. من المقياس السليزي إلى المقياس الكلفني وبالعكس بأخذ الحد الأول والثاني من المعادلة السابقة :

$$\frac{^{o}C-0}{100}=\frac{K-273}{100}$$

وبضرب الطرفين في الوسطين وترتيب المعادلة:

$$K=\,^{o}C+273$$

$$^{o}C=K-273$$

3. من المقياس الفهرنهايتي إلى المقياس الكلفني وبالعكس بأخذ الحد الثاني و الثالث من المعادلة السابقة :

$$\frac{K-273}{100}=\frac{^{o}F-32}{180}$$

وبضرب الطرفين في الوسطين وترتيب المعادلة:

$$^{o}F=\frac{9}{5}(K-273)+32$$

$$K=\frac{5}{9}(^{o}F-32)+273$$

أنواع المحارير:Types of Thermometers

ولأجل قياس درجة الحرارة فقد تم استخدام عدة أنواع من المحارير، إذ أن كل نوع من هذه المحارير يعتمد على إحدى خواص المادة وعلاقتها بدرجة الحرارة. ومن أمثلة هذه المحارير: المحرار الزئبقي ومحرار المزدوج الحراري والمحرار الغازي ذو الحجم الثابت والمحرار الغازي ذو الضغط الثابت ومحرار المقاومة الكهربائية وغيرها. والجدول (1) يوضح أنوع المحارير والخاصية المستخدمة لأجل قياس درجة الحرارة.

الجدول (1): أنوع المحارير.

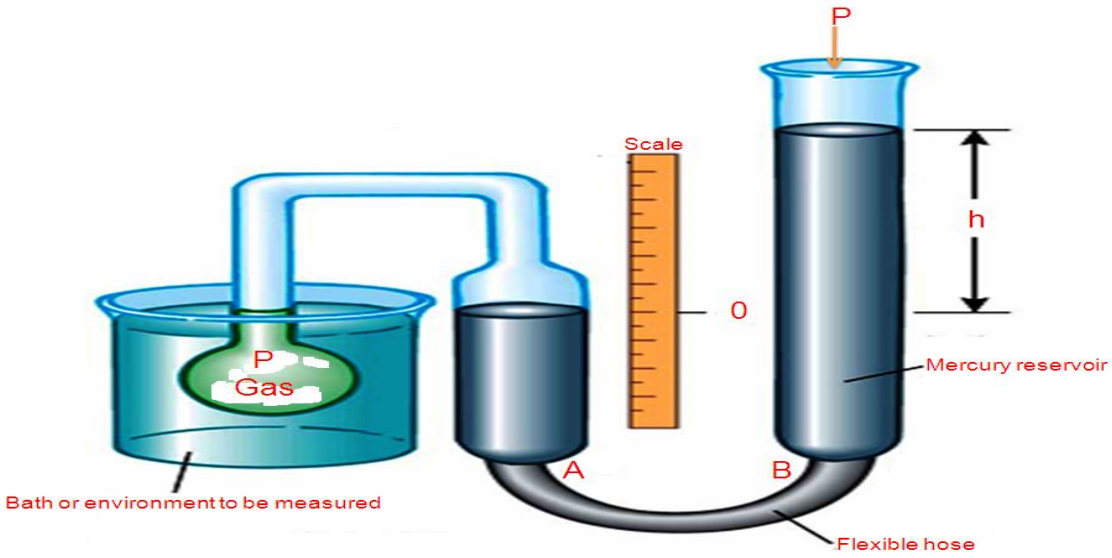
اسم المحرار	نوع الخاصية المعتمدة
المحرار الزئبقي	طول عمود الزئبق (L).
المزدوج الحراري	القوة الدافعة الكهربائية (E).
المحرار الغازي ذو الحجم الثابت	ضغط الغاز (P).
المحرار الغازي ذو الضغط الثابت	حجم الغاز (V).
محرار المقاومة الكهربائية	المقاومة الكهربائية (R).

تدرج المحارير: Calibration of Thermometers

إن عملية تدرج المحارير تعني تعيين قيمة الثابت (a) لأي نوع منها. وهذه العملية تتطلب اختيار نقطة أساس (قياسية) ثابتة لدرجة الحرارة، وتم الاتفاق على اختيار النقطة الثلاثية للماء لهذا الغرض. وتعرف النقطة الثلاثية للماء على أنها: درجة الحرارة التي يتواجد عندها الجليد (صلب) والماء (سائل) والبخار (غاز) معاً في آن واحد وفي حالة توازن حراري تحت ضغط ثابت يعادل (4.6 mm Hg). وقد اتفق على أن تكون درجة الحرارة (273) هي الدرجة الحرارية التي تمثل النقطة الثلاثية للماء. ويجب ملاحظة إن قراءة جميع أنواع المحارير لدرجة الحرارة عند النقطة الثلاثية للماء يجب أن تكون نفسها.

المحرار الغازي ذو الحجم الثابت: Gas Thermometer The Constant Volume

يتكون المحرار الغازي ذو الحجم الثابت من وعاء زجاجي أو معدني يسمى أحيانا بـ (البصلة). يتصل بأنبوبة زجاجية – يمكن أن تكون أنبوبة شعرية – إلى المانومتر (مقياس زئبقي). تحتوي البصلة على الغاز أو الهواء، توضع البصلة في وعاء خارجي يمثل الوسط أو المحيط المراد قياس درجة حرارته، انظر الشكل (2). يتم استخدام هذا المحرار وذلك بجعل مستوى الزئبق في جهتي المانومتر متساوية ويتم تأشيرها بين النقطتين. وفي هذه الحالة سيكون الضغط المسلط على الغاز المحصور في البصلة مساويا للضغط الجوي. ثم نغمر البصلة في المحيط المراد قياس درجة حرارته. فإذا كان المحيط ساخناً أدى إلى تمدد الغاز المحصورفي البصلة، الذي سيقوم بدفع الزئبق مؤدياً إلى انخفاض مستواه في الجهة اليسرى من المانومتر، وبالعكس إذا كان الوسط بارداً أدى إلى تقلص الغاز في البصلة والى ارتفاع مستوى الزئبق في الجهة اليسرى من المانومتر. وبعد حصول التوازن الحراري يرتفع أو ينخفض مستوى الزئبق (وذلك بخفض أو رفع الجهة اليمنى من المانومتر) إلى أن يصل مستوى الزئبق في الجهة اليسرى إلى نقطة المؤشرة قبل غمر البصلة في المحيط. تسجل قراءة (ارتفاع) مستوى الزئبق في الجهة اليمنى من المانومتر. ويقصد بالارتفاع هنا الفرق بين مستويات الزئبق في جهتي المانومتر ولتكن (h).



الشكل (2): المحرار الغازي ذو الحجم الثابت

إن الضغط المسلط على الغاز في هذه الحالة سيكون مساوياً إلى الضغط الجوي زائداً ضغط عمود الزئبق والذي يساويρgh، حيث إن تمثل ρ كثافة الزئبق وg التعجيل الأرضي.هناك أسباب تؤدي إلى عدم دقة قراءة

درجة الحرارة باستخدام هذا المحرار ومن أهمها: تمدد أو تقلص البصلة الذي يسبب تغير في حجم الغاز المحصور بداخلها. إذ غالباً ما يتم إهمال هذا التغير من حجم الغاز أو البصلة.

1.الاختلاف الحاصل بين درجتي حرارة الغاز المحصور في البصلة والغاز المحصور في الأنبوبة الموصلة إلى المانومتر. ولأجل إيجاد قيمة درجة الحرارة باستخدام هذا المحرار تستخدم المعادلة الآتية:

$$T(P) = 273.16 \frac{P}{P_0}$$

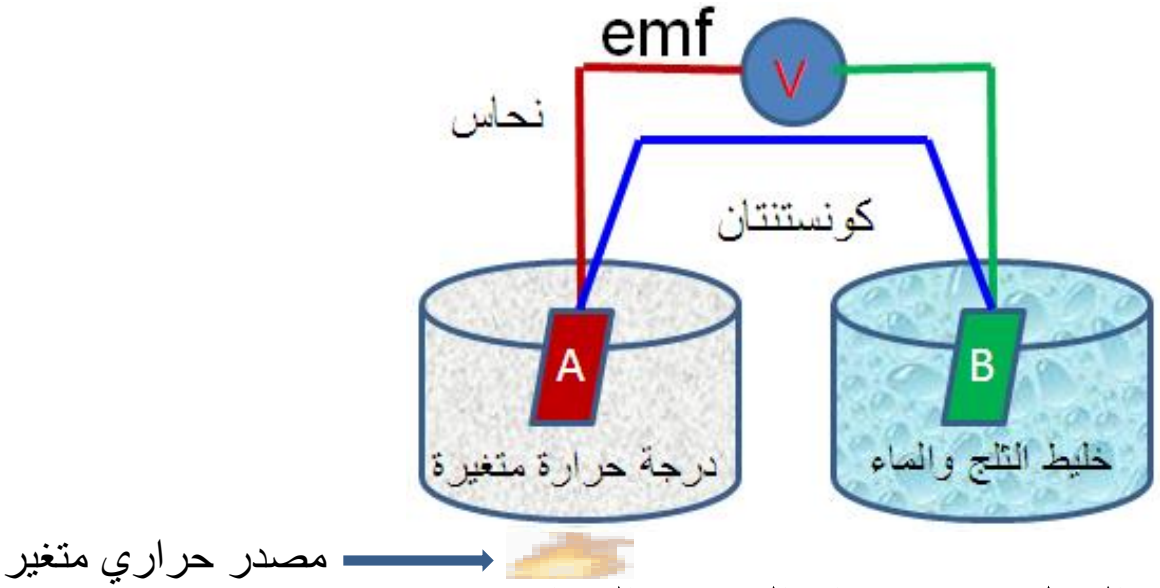
2. وتكون القراءة بالدرجة الكلفنية, كما أن الحجم (V) يبقى ثابتاً. وقد وجد عملياً بان المحارير الغازية المختلفة التي تستخدم غازات مختلفة تسجل قراءات مختلفة للدرجة الحرارية نفسها ويستثنى من هذه، الحالة التي يصبح فيها الضغط P_o مساوياً أو مقارباً للصفر.

محرار المزدوج الحراري: The Thermocouple Thermometer

يتكون محرار المزدوج الحراري من سلكين مصنوعين من مادتين مختلفتين كالنحاس والكونستنتات أو النحاس والحديد أو البلاتين والروديوم وغيرها. يتصل السلكان اتصالاً جيداً في نهايتهما فقط انظر الشكل (3). إن أساس عمل هذا المحرار يعتمد على توليد القوة الدافعة الكهربائية نتيجة لاختلاف درجتي حرارة النهايتين المتصلتين. إن قيمة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة تعتمد على عدة عوامل منها:

1. مقدار الفرق بين درجتي حرارة نهايتي المزدوج الحراري.
2. نوع المواد المصنوع منها المزدوج الحراري.

يتم تدريج محرار المزدوج الحراري بوضع إحدى نقطتي الاتصال في خليط الجليد والماء وتبقى ثابتة ثم تغير درجة حرارة النقطة الثانية وتقرأ قيمة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة عند كل درجة حرارة بوساطة المجهاد (الفولتميتر). ان العلاقة بين قيمة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة ودرجة الحرارة علاقة غير خطية، وبرسم قيم القوة الدافعة الكهربائية ضد درجة الحرارة يمكن الحصول على منحني تدرج المزدوج الحراري. كما ويمكن عمل جدول بتلك القيم.



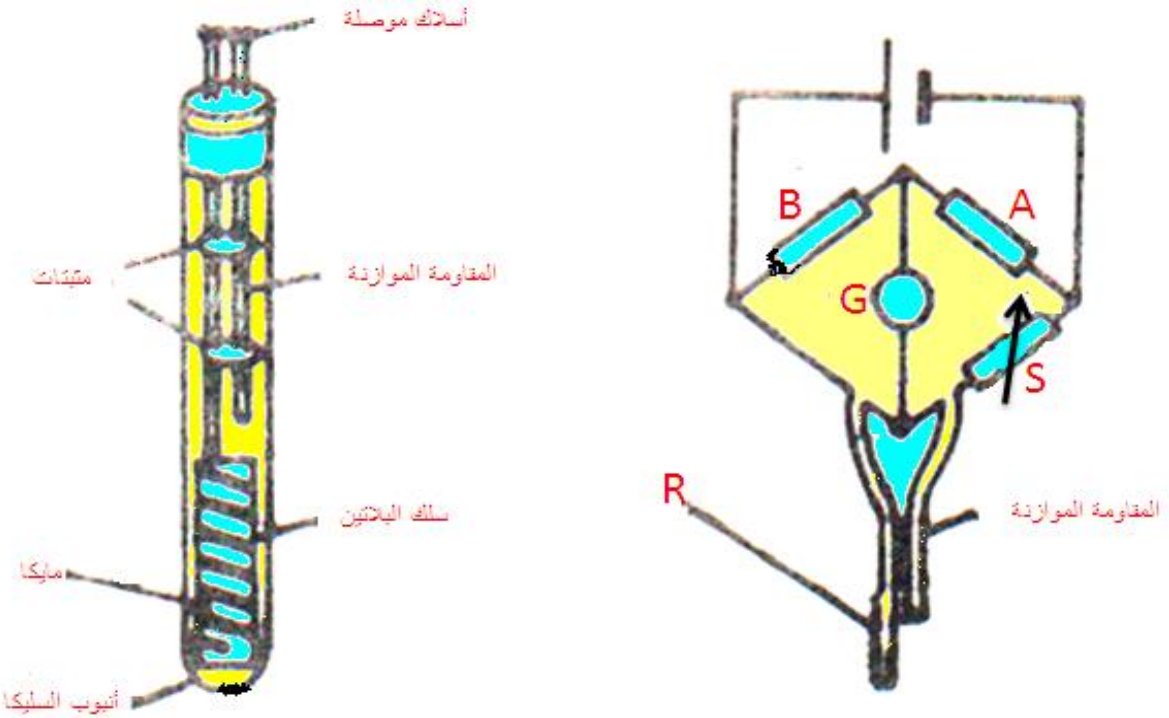
الشكل (3): محرار المزدوج الحراري.

ومن مميزات محرار المزدوج الحراري ما يأتي:

1. سرعة وصوله الى حالة التوازن الحراري مع الجسم المراد قياس درجة حرارته وذلك لانخفاض سعته الحرارية.
2. المدى الواسع لدرجات الحرارة التي يمكن قياسها (من 250°C- إلى حوالي 1500°C) بشرط استخدام المواد المناسبة لكل مدى.
3. صغر حجمه ودقته العالية نسبياً.
4. يستخدم كثيراً في الصناعة وفي المجالات التي تتطلب تحديد موضعي (نقطي) لدرجة الحرارة وتعاني تغيراً سريعاً في درجات الحرارة.

محرار المقاومة الكهربائية: The Electrical Thermometer

يتكون محرار المقاومة الكهربائية من سلك من مادة البلاتين ملفوف بصورة مزدوجة حول مادة عازلة كهربائياً، يوضع في أنبوبة مصنعة من مادة جيدة التوصيل الحراري كالفضة أو النحاس للمحافظة عليه من التأثيرات الخارجية. أما محرارالمقاومة الكهربائية المستخدم لأغراض العرض المختبري فيتكون من سلك من النحاس ملفوف حول مادة عازلة من المايكا موضوع داخل انبوبة اختبار مملؤة بمادة الزيت، ويستخدم هذا النموذج لأغراض تدريب الطلبة على كيفية تدريج محرار المقاومة. تستخدم مقاومة السلك الكهربائية كخاصية محرارية يتم قياسها والاستدلال بها على درجة الحرارة. وقد وجد ان العلاقة بين المقاومة الكهربائية للسلك المعدني ودرجة الحرارة علاقة غير خطية في مديات درجات الحرارة المختلفة. لأجل قياس قيمة المقاومة يربط طرفا السلك إلى قنطرة وتستون، إذ تربط الدائرة الكهربائية كما في الشكل (4).



الشكل (4): محرار المقاومة الكهربائية .

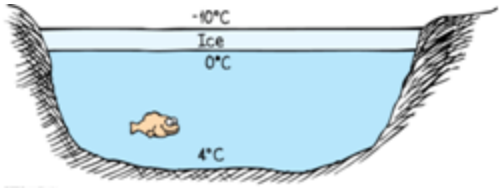
تختار المقاومتان A و B متساويتين ويجرى تغيير قيمة المقاومة S حتى تصل الدائرة الكهربائية إلى حالة الاتزان (قراءة الكفانومتر تؤشر صفر)، وعندها تكون قيمة المقاومة S مساوية إلى قيمة مقاومة المحرار R . وتستخدم قيمة R لأجل الحصول على درجة الحرارة. ان استخدام قنطرة وتستون يفيد في تعيين قيمة مقاومة المحرار بدقة عالية والتي بدورها تؤدي إلى تحديد دقيق لدرجة الحرارة. يستخدم هذا النوع من المحارير في درجات الحرارة الواطئة. ومن مميزات محرار المقاومة ما يأتي:

1. يستخدم لمديات واسعة من درجات الحرارة (من 200°C - إلى أكثر من 1000°C).
2. دقيق جداً، ويفيد في التغيرات البطيئة لدرجات الحرارة.

ولكنه لا يكون كفوءاً في قياس تغيرات درجات الحرارة السريعة، وذلك لحاجته إلى وقت كاف للوصول إلى حالة التوازن الحراري، بسبب سعته الحرارية العالية (حرارته النوعية كبيرة).

تأثير تغير درجة الحرارة على حالات المادة: Effect of Temperature Changes

تكون الذرات والجزيئات المكونة للمادة في حالة تذبذب مستمرحول مواقع استقرارها، إذ تتحرك ذهاباً وإيابا فتتجاذب أو تتنافر فيما بينها بصورة مستمرة. ان الطاقة الكلية لهذه الذرات أو الجزيئات تسمى بالطاقة الداخلية Internal Energy . تمثل الطاقة الداخلية جميع أنواع الطاقات التي تملكها الذرات أو الجزيئات المكونة للمادة، كالطاقة الحركية والدورانية والكيميائية والنووية وغيرها. وما يخص درجة الحرارة هو الطاقة الحركية (الاهتزازية) للذرات أو الجزيئات والتي تعتمد بصورة مباشرة على درجة حرارة المادة.فعند تلامس مادتين متشابهتين ولكنهما مختلفتان في درجة حرارتيهما، فان ذرات أو جزيئات المادة ذات درجة الحرارة العالية تفقد كمية من طاقتها إذ تكتسبها ذرات أو جزيئات المادة ذات درجة الحرارة الأوطأ، أي ان المادة الأولى تبرد والثانية تسخن. ان الطاقة التي تنتقل من الجسم ذي درجة الحرارة العالية (طاقة اهتزاز ذراته اكبر) إلى الجسم ذي درجة الحرارة المنخفضة (طاقة اهتزاز ذراته أقل) نتيجة لفرق درجتي حرارتيهما تسمى بالطاقة الحرارية. ان انسياب الطاقة الحراري بين المادتين يستمرإلى ان تصبح درجتا حرارة المادتين متساويتين. وبتعبير آخر إلى ان يتساوى معدل الطاقة الاهتزازية لذرات أو جزيئات المادتين.



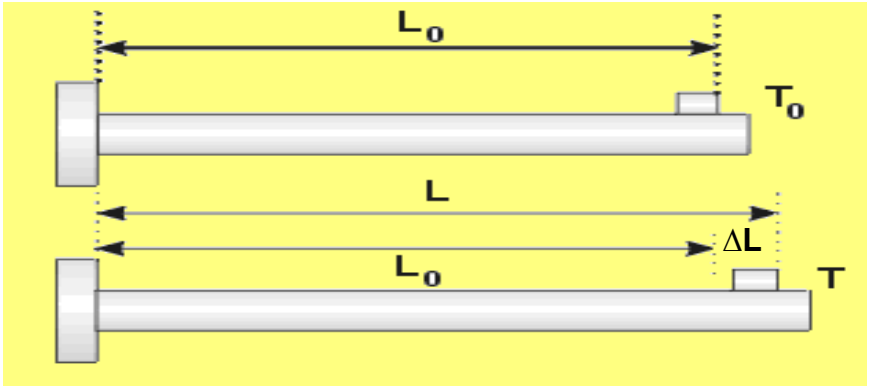
التمدد الحراري: Thermal Expansion

ان تغير درجة حرارة المادة يؤدي إلى تغيرات في الخواص الأخرى للمادة ومن ابرز هذه التغيرات هو تغير أبعاد المادة أو تغير حالتها. ان رفع درجة حرارة المادة يؤدي إلى زيادة الطاقة الاهتزازية لذراتها أو جزيئاتها وعندها تزداد سعة اهتزاز تلك الجسيمات، وهذا معناه زيادة معدل أو متوسط المسافة بين الذرات أو الجزيئات، أي ان جميع أبعاد المادة سوف تتغير، تزداد بارتفاع درجة حرارتهما وتنكمش بانخفاض درجة حرارتها (عدا بعض الاستثناءات مثل الماء الذي يتقلص حجمه عند رفع درجة حرارته من 0°C إلى 4°C). وتسمى ظاهرة تغير أبعاد المادة نتيجة لتغير درجة حرارتها بالتمدد الحراري. ولأجل تفادي المشاكل التي يسببها التمدد الحراري تترك فواصل بين قضبان السكك الحديدية وخرسانة الطرق السريعة.

تمدد الأجسام الصلبة: Expansion of Solids

التمدد الطولي (α): Linear Expansion

ان التغير الذي يحصل في أي بعد من أبعاد المادة الصلبة كالطول والعرض والارتفاع نتيجة لتغير درجة حرارتها يعرف بالتمدد الطولي. (الشكل أدناه يمثل قضيب طوله L_o عند درجة حرارة T_o وبزيادة درجة الحرارة بمقدار ΔT يحدث زيادة في الطول مقدارها ΔL)، عملياً وجد أن ΔL تتناسب طردياً مع كل من L_o و ΔT. أي أن:



$$\Delta L \ \alpha \ L_o \Delta T$$

$$\Delta L = \alpha \ L_o \Delta T \qquad (1)$$

إذ ان α تمثل ثابت التناسب وتسمى بمعامل التمدد الحراري الطولي. يعرف معامل التمدد الطولي α: على انه الزيادة في طول المادة لوحدة الأطوال نتيجة لتغير درجة حرارة المادة بمقدار درجة حرارية واحدة.

ويمكن أعادة كتابة المعادلة (1) بالصيغة الآتية:

$$\alpha = \frac{\Delta L / L_o}{\Delta T}$$

وبما ان:

$$\Delta L = L - L_o$$

فان الطول الجديد L عند أية درجة حرارية T يساوي:

$$L = L_o (1 + \alpha \Delta T) \qquad (2)$$

إن وحدة معامل التمدد الطولي هي مقلوب درجة الحرارة، أي K^{-1} أو $^oC^{-1}$ أو $^oF^{-1}$ وذلك نتيجة لاختصار وحدات الطول مع بعضها. إن قيمة معامل التمدد الطولي تعتمد على نوع المادة المستخدمة، وان قيمتها ليست ثابتة تماماً، ولكنها تتغير بصورة بطيئة مع تغير درجة الحرارة. ان قيم α التي نجدها في الجدول (2) تمثل معدل القيم لمدى معين من درجات الحرارة، أو تمثل قيمة واحدة عند درجة حرارية معينة. وللأغراض العملية الاعتيادية يمكن اعتبار قيمة α ثابتة لمدى محدود من درجات الحرارة للمواد التي لا تعاني تغيراً في الطور ضمن ذلك المدى.

الجدول (2): معامل التمدد الطولي لبعض المواد.

المادة	معامل التمدد الطولي $x10^{-6}/^oC$	المادة	معامل التمدد الطولي $x10^{-6}/^oC$
النحاس	17	الزجاج المقاوم للحرارة (بابركس)	3.2
الألمنيوم	23	الماس	0.5
الفضة	20	المطاط الصلب	80
الحديد	12	الكونكريت (الخرسانة)	7-12
البرونز	19	الرصاص	29
الزجاج العادي	6-9	الجليد	51
الحديد (الستيل)	12		

التمدد السطحي (β): Surface Expansion

ان تغير مساحة السطوح مع تغير درجة حرارتها يعرف بالتمدد السطحي أو تمدد المساحة. ويعرف معامل التمدد السطحي β على انه مقدار الزيادة في المساحة لوحدة المساحة عند ارتفاع درجة الحرارة درجة حرارية واحدة. ان قيمة β تعطى بالمعادلة الآتية:

$$\beta = \frac{\Delta A/A_o}{\Delta T} \qquad (3)$$

ويمكن التعبير عن تغير المساحة مع تغير درجة حرارتها بالمعادلة الآتية:

$$A = A_o (1+\beta \Delta T) \qquad (4)$$

حيث تمثل A_o و A المساحة الأصلية والمساحة الجديدة عند درجتا الحرارة T_o و T على التعاقب، ان وحدة هي K^{-1} أو $^oC^{-1}$ أو $^oF^{-1}$ ، وذلك لاختصار وحدتي المساحة. ويمكن البرهنة على ان معامل التمدد السطحي يساوي تقريباً ضعف معامل التمدد الطولي للمادة نفسها أي أن:

$$\beta \cong 2\alpha \qquad (5)$$

ويكون مقدار التغير في وحدة الطول الناتج عن تأثير تغير درجة حرارة المادة متساوياً في جميع الاتجاهات في المادة بشرط ان تكون المادة الصلبة متجانسة الخواص، أي يكون لها الخواص نفسها في جميع الاتجاهات. وهذا يعني ان المسافة بين أية نقطتين في المادة تتغير بالمقدار نفسه لمقدار التغير في درجة الحرارة نفسها.

التمدد الحجمي (γ): Volume Expansion

ان حجم المادة يتغير اذا تغيرت درجة حرارة المادة بنفس طريقتي التمدد الطولي والتمدد السطحي ويعرف معامل التمدد الحجمي γ على انه التغير النسبي في حجم المادة نتيجة لتغير درجة حرارتها درجة واحدة. ان معامل التمدد الحجمي يعطى بالمعادلة الآتية:

$$\gamma = \frac{\Delta V/V_o}{\Delta T} \qquad (6)$$

ان حجم المادة الجديد V يمكن الحصول عليه من المعادلة الآتية:

$$V = V_o(1+\gamma\,\Delta T) \qquad (7)$$

ويمكن البرهنة على ان معامل التمدد الحجمي γ يساوي تقريباً ثلاثة أمثال معامل التمدد الطولي α، للمادة نفسها أي ان:

$$\gamma \cong 3\alpha \qquad (8)$$

ويعود ذلك إلى ان الجسم المتجانس يتمدد في أبعاده الثلاثة بالمقادير نفسها أي انه يتمدد باتجاه الطول والعرض والارتفاع. ومن المعروف انه لا توجد جداول لقيم معاملات تمدد الأجسام الصلبة السطحية والحجمية وذلك لأنه يمكن إيجاد قيمها مباشرة من قيم معاملات التمدد الطولية للمادة نفسها. يبين الجدول (3) قيم معامل التمدد الحجمي لبعض السوائل المعروفة.

الجدول (3): معامل التمدد الحجمي لبعض السوائل.

المادة	معامل التمدد الحجمي $x10^{-4}/^oC$
الجليد	0.5
الماء	2.1
الزئبق	1.8
الكحول الأثيلي	11
الكلسرين	5.1
الزجاج (الاعتيادي)	0.2
الزجاج (البابركس)	0.09

تمدد السوائل: Expansion of Liquids

من المعروف ان السوائل (الموائع بصورة عامة) لا تمتلك شكلاً محدداً ولذلك فان التمدد الحراري المهم فيها هو تمددها الحجمي، حيث يتغيرحجمالسائل عندما تتغيردرجة حرارته. ان معامل التمدد الحجمي للسائل Ψ يساوي.

$$\psi = \frac{\Delta V/V_o}{\Delta T} \qquad (9)$$

إذ ان V_o تمثل حجم السائل الأصلي و ΔV تمثل مقدار التغير في حجم السائل الناتج عن تغير في درجة حرارته مقداره ΔT.

ان قيمة لا تتأثر كثيراً بتغير درجة الحرارة. يزداد حجم السوائل بصورة عامة إذا ارتفعت درجة حرارتها، ويشذ عن هذه القاعدة بعض السوائل مثل الماء الذي يقل حجمه (ينكمش) إذا ارتفعت درجة حرارته من 0^oC إلى 4^oC. أما بعد هذه الدرجة الحرارية فان الماء يسلك سلوكاً طبيعياً كبقية السوائل، أي يزداد حجمه بزيادة درجة حرارته.

تمدد الغازات (φ): Expansion of Gases

يتغير حجم الغاز تغيراً كبيراً إذا تغيرت درجة حرارته عند ثبوت الضغط المسلط عليه، ان قيمة معامل التمدد الحجمي للغازات تكاد تكون ثابتة تقريباً. ان قيمة معامل التمدد الحجمي لغاز الهيدروجين تساوي (3.66×10^{-3}) لكل درجة حرارية، ويزيد قليلاً عن هذه القيمة لبقية الغازات. ويمكن الحصول على معامل التمدد الحجمي للغاز φ من المعادلة الآتية:

$$\varphi = \frac{\Delta V/V_o}{\Delta T}$$

إذ ان V_o تمثل حجم كتلة معينة من غاز عند درجة حرارة 0^oC . ان الإشارة إلى حجم الغاز عند درجة حرارة 0^oC ضروري جداً لان معامل التمدد الحجمي للغاز كبير جداً. إذا كان V_1 و V_2 تمثلان حجم الغاز عند درجتي الحرارة T_1 و T_2 على الترتيب، فانه لا يصح تطبيق المعادلة الآتية:

$$V_2 = V_1\left[1+\varphi(T_2-T_1)\right]$$

لا تصح بل يجب ان يشار إلى ان القيم V_1 و V_2 نسبة إلى الحجم V_o عند درجة حرارة 0^oC، وكما يأتي:

$$V_2=V_o(1+\varphi T_2)$$

$$V_1=V_o(1+\varphi T_1)$$

وبقسمة المعادلة الأولى على الثانية نحصل على المعادلة الآتية:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{1+\varphi T_2}{1+\varphi T_1}$$

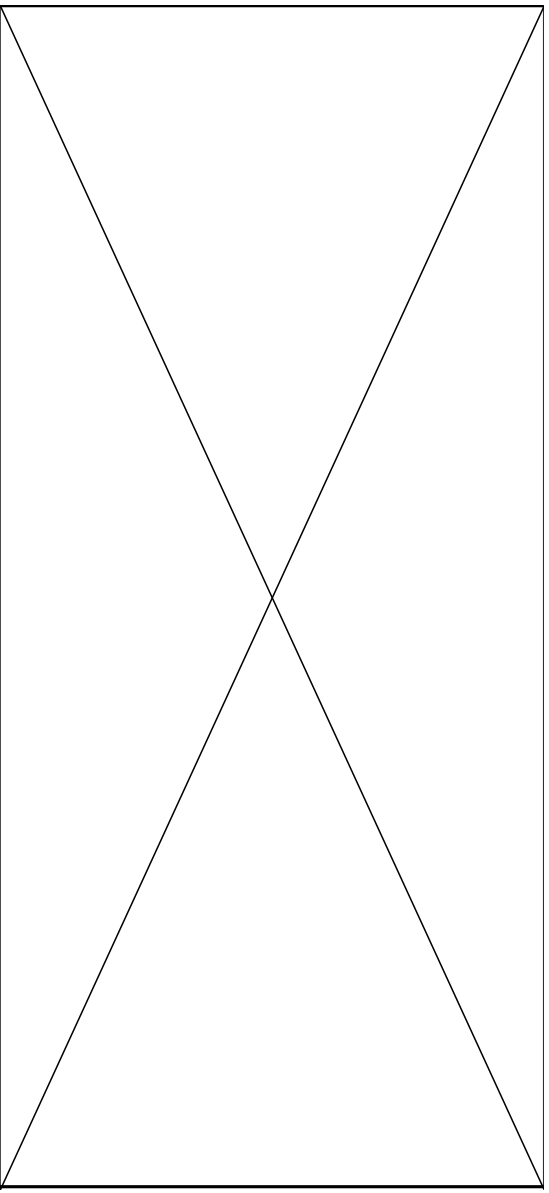
وقد وجد عملياً ان معامل التمدد الحجمي للغاز يكافيء تقريباً (1/273). وهو ما يعرف بقانون جارلس الذي ينص على: ان حجم كتلة معينة من غاز محفوظ تحت ضغط ثابت، يزداد بنسبة ثابتة تعادل (1/273)من حجمه عند درجة حرارة 00°C لكل زيادة في درجة حرارته

مقدارها درجة حرارية واحدة. ان هذا القانون يعني ان حجم الغاز سيصبح صفراً عند درجة حرارة 273°C- . إلا ان جميع الغازات تتحول إلى الحالة السائلة لها قبل الوصول إلى درجة حرارة حرارة 273°C- (أي درجة حرارة الصفر المطلق). وهذا يعني ان قانون جارلس لا يصح تطبيقه عند درجات الحرارة الواطئة.

اليات انتقال الحرارة: Mechanism of Heat Transfer

تنتقل الحرارة تلقائيا من الأجسام ذات درجات الحرارة المرتفعة إلى الأجسام ذات درجات الحرارة الأقل. ويستمر الانتقال حتى تحدث عملية اتزان حرارى بين الجسمين ، اى تكون درجة الحرارة للجسم الاول هى نفسها درجة الحرارة للجسم الثانى. ونفس الشيء يقع بين جسم الإنسان ومحيطه. وعندما نريد ضبط درجة حرارة المحيط لتحقيق راحة الإنسان، يجب أن يكون هناك نوع من التبادل الحراري، كالتسخين حين يكون الجو باردا في فصل الشتاء أو التبريد حين يكون الجو حارا في فصل الصيف.تتم عملية انتقال الحرارة بطريقة او اكثر إما 1. بالتوصيل أو 2. الحِمْل أو 3. الإشعاع ، ويمكن أن تتنقل الحرارة بمجموع هذه الطرق في نفس الوقت.

1. التوصيل الحراري: Thermal Conductivity



وهو انتقال الحرارة من جُزَيْء إلى آخر داخل المادة، أو انتقال الحرارة من مادة إلى أخرى عندما يكونا متماستان مباشرة. يسمح التوصيل الحراري بانتقال الحرارة عبر المواد الصلبة، فعندما نسخن مثلا قضيب حديدي من جهة، فالحرارة تنتقل بفعل التوصيل الحراري إلى الجهة الأخرى الباردة. وآلية التوصيل الحراري عبر المواد الصلبة عملية معقدة وهى تختلف من مادة إلى أخرى.

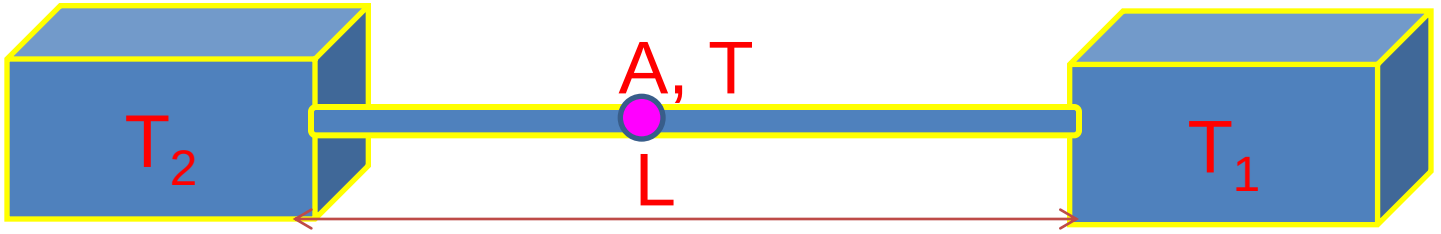
وتنتقل الحرارة في عملية التوصيل بإحدى طريقتين أو بهما معا.

1. بواسطة الالكترونات الحرة داخل المادة، كما في الفلزات. وعندما تكتسب هذه الالكترونات طاقة حرارية تزداد طاقتها الحركية، وتتحرك إلى المناطق ذات درجات الحرارة الأقل وتتصادم بالإلكترونات الموجودة فيها ناقلة إليها جزء من طاقتها الحركية مما يؤدى إلى ارتفاع درجة حرارتها.

2. بواسطة الجزيئات المكونة للجسم إذ تكتسب الجزيئات الموجودة في الطرف الساخن طاقة حركية مما يزيد من سعات ذبذباتها حول مواقعها، وتتصادم مع جاراتها من الجزيئات التي تكتسب بدورها طاقة تنقلها هي الأخرى إلى جاراتها وهكذا. وعادة المواد ذات توصيل حراري جيد تكون كذلك ذات توصيل كهربائي جيد. وعادة الجزء الأكبر في عملية التوصيل الحراري في الفلزات يتم بواسطة الإلكترونات الحرة، أما في المواد العازلة التي لا تحتوى على إلكترونات حرة فان التوصيل يتم بواسطة ذبذبات الجزيئات.عملية التوصيل الحراري تختلف درجتها حسب نوع المادة: الجوامد (الصلب) ⟩ السوائل ⟩ الغازات.

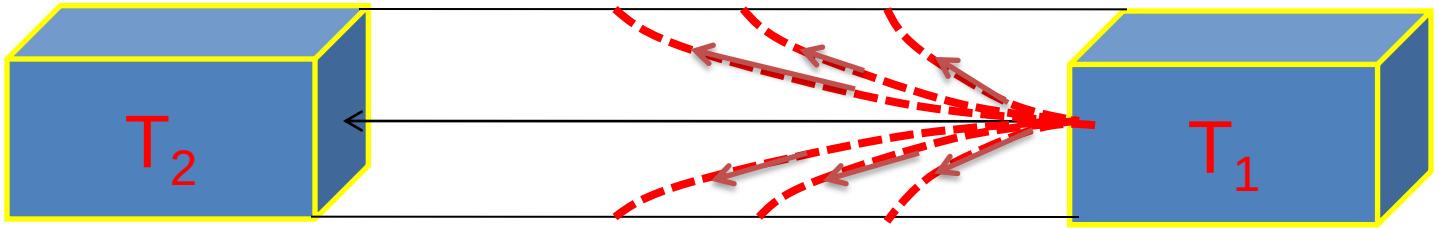
الميل الحراري: Temperature gradient

يعرف الميل الحراري على انه تغير درجة الحرارة مع تغير المسافة على طول الجسم. نأخذ قضيباً معدنياً طوله L ومساحة مقطعه العرضي A ودرجة حرارته T، متصلاً بجهازين (خزانين) درجتا حرارتهما T_1 و T_2 (افرض أن $T_2 < T_1$) كما هو موضح في الشكل أدناه.

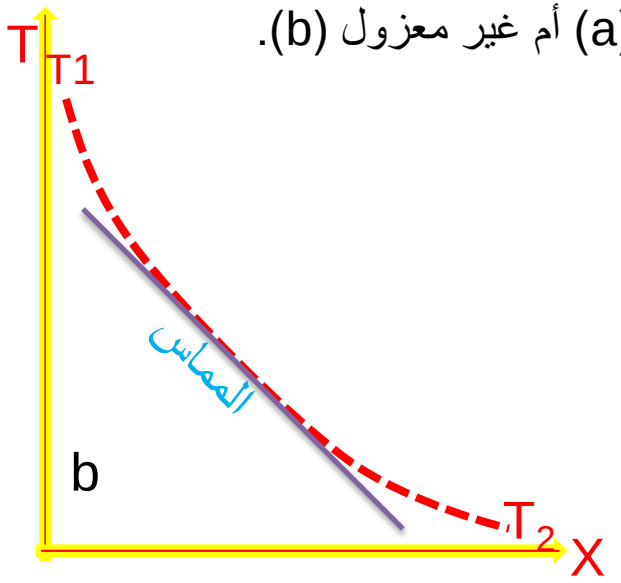


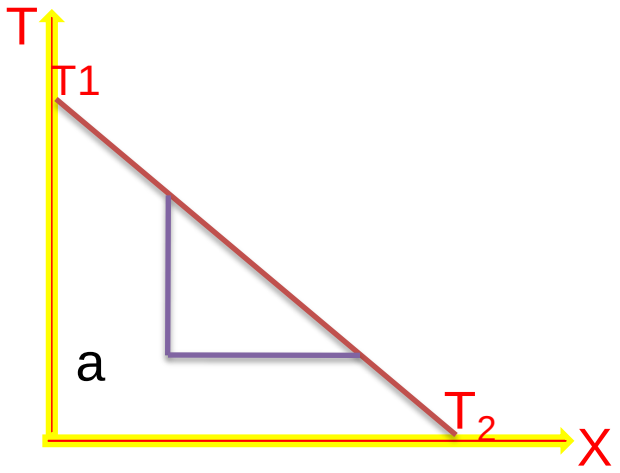
وكما هو معلوم بأن الحرارة تنساب من الطرف الساخن إلى الطرف البارد، إلا أن شكل خطوط انتقال الحرارة خلال المادة يعتمد أساسا على طريقة العزل الحراري للمادة. فعندما يغلف القضيب بمادة عازلة للحرارة، نرى أن خطوط انتقال الحرارة تكون بصورة مستقيمة ومنتظمة وكما هو مبين في الشكل أدناه.

أما في حالة عدم عزل القضيب حراريا فان خطوط انتقال الحرارة تسلك مسارات غير منتظمة وكما هو مبين في الشكل أدناه.



ففي كلتا الحالتين، وبعد مرور فترة زمنية كافية تستقر درجة حرارة الأجزاء المختلفة من المعدن عند قيم ثابتة لا تتغير، وهذه الحالة تسمى الحالة الثابتة (أو المستقرة) steady state. يبين الشكل أدناه العلاقة بين درجات الحرارة المقاسه عند مسافات مختلفة على القضيب في الحالتين سواءً كان معزولاً (a) أم غير معزول (b).





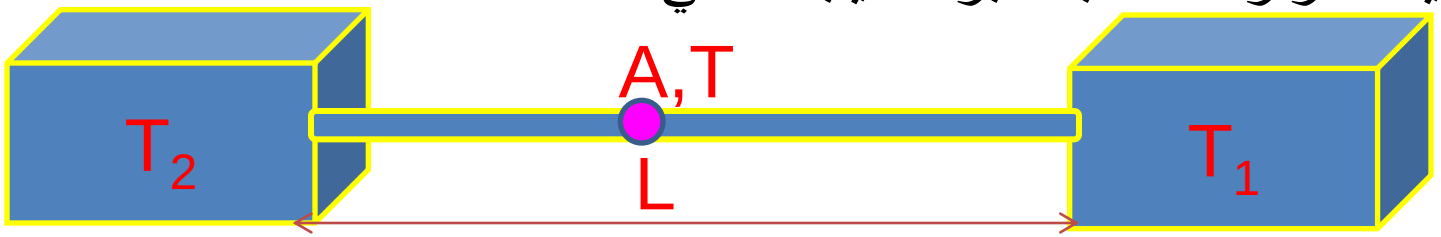
إن ميل الخط المستقيم في شكل (a) وميل المماس في شكل (b) يمثلان تدرج درجة الحرارة Temperature gradient الذي عرفناه سابقاً على انه تغيّر درجة الحرارة مع المسافة على طول المادة عند أية نقطة من نقاطها وعند أية لحظة زمنية، ويرمز لها عادة بـ $\Delta T/\Delta X$ ووحدته $^oC/m$ أو $^oC/cm$. تنتقل الحرارة دائماً من الجزء الساخن إلى الجزء الأقل سخونة (البارد)، ويعرف التيار الحراري Thermal Current: على انه كمية الحرارة (dQ) المنتقلة أو العابرة لمقطع في المادة خلال فترة زمنية (dt)، أي أن:

$$H = \frac{dQ}{dt}$$

ووحدته هي J/s أو cal/s .

التوصيل الحراري خلال قضيب معدني:

حساب كمية الحرارة المنسابة عبر قضيب معدني:



نفرض قضيب معدني مساحة مقطعة A وان طوله هو L . وتم تثبيته من طرفية عند درجتي حرارة T_1 ، T_2 كما بالشكل. ونلاحظ ما يأتي:

1. عند الاتزان الحراري تنتقل الحرارة بمعدل ثابت من الطرف الساخن إلى الطرف البارد وكمية الحرارة المنسابة ΔQ تتناسب طرديا مع مساحة المقطع A.

$$\Delta Q \propto A$$

2. ومن الشكل يتضح إن كمية الحرارة المنسابة تتناسب تناسبا طرديا مع الفرق بين درجتي حرارة الطرفين فكلما زاد الفرق زادت كمية الحرارة.

$$\Delta Q \propto (T_2-T_1)$$

3. نجد أيضا أنة كلما زادت الفترة الزمنية t زادت كمية الحرارة المنسابة أي أن:

$$\Delta Q \propto t$$

4. أما تأثير طول القضيب L على كمية الحرارة المنسابة فله تأثير عكسي إذا انه كلما ازداد طول القضيب انخفضت كمية الحرارة المنسابة أي أن:

$$\Delta Q \propto 1/L$$

5. وبتجميع العلاقات نحصل على:

$$\Delta Q = -K_L A t \frac{(T_2 - T_1)}{L} = K_L A t \frac{(T_1 - T_2)}{L}$$

حيث K_L ثابت التناسب ويطلق علية اسم الموصلية الحرارية وهى تعتمد على نوع المادة ويعرف بـ كمية الحرارة المنسابة في الثانية الواحدة عبر وحدة المساحة عند وجود فرق في درجة الحرارة قدره درجة واحدة. ووحدة التوصيلية الحرارية : هي ($JS^{-1}m^{-1}K^{-1}$ أو $Wm^{-1}K^{-1}$ أو $Wm^{-1}{}^{o}C^{-1}$). تعني الإشارة السالبة إن انسياب الحرارة يكون باتجاه درجة الحرارة الأقل، أي انه كلما زادت المسافة X من المصدر الحراري قلت معها درجة الحرارة T وهذا يجعل الكمية $\Delta X/\Delta T$ سالبة الإشارة. إن إضافة الإشارة السالبة في المعادلة السابقة يفيد في جعل الكميتين dQ/dT و K_L كميتين موجبتين.

التوصيل الحراري خلال قضيب معدني مكون من مادتين مختلفتين:

حساب كمية الحرارة المنسابة عبر قضيب معدني مكون من مادتين مختلفتين:

نفرض أن درجة حرارة نقطة الاتصال بين القضيبين T فان معدل كمية الحرارة التي تنتقل خلال القضيب L_2 هو :

$$(\frac{\Delta Q}{\Delta t})_2 = H_2 = -K_2 A \frac{(T_2 - T)}{L_2} = K_2 A \frac{(T - T_2)}{L_2}$$

معدل كمية الحرارة التي تنتقل خلال القضيب L_1 هو:

$$(\frac{\Delta Q}{\Delta t})_1 = H_1 = -K_1 A \frac{(T_1 - T)}{L_1} = K_1 A \frac{(T - T_1)}{L_1}$$

وعندما تصل المنظومة إلى الحالة المستقرة فان : $H_1 = H_2$ ،أي أن:

$$K_1 A \frac{(T - T_1)}{L_1} = K_2 A \frac{(T - T_2)}{L_2}$$

ومنها:

$$T = \frac{K_1 L_2 T_1 - K_2 L_1 T_2}{K_1 L_2 - K_2 L_1}$$

وبالتعويض عن T في H_1 ، H_2 .

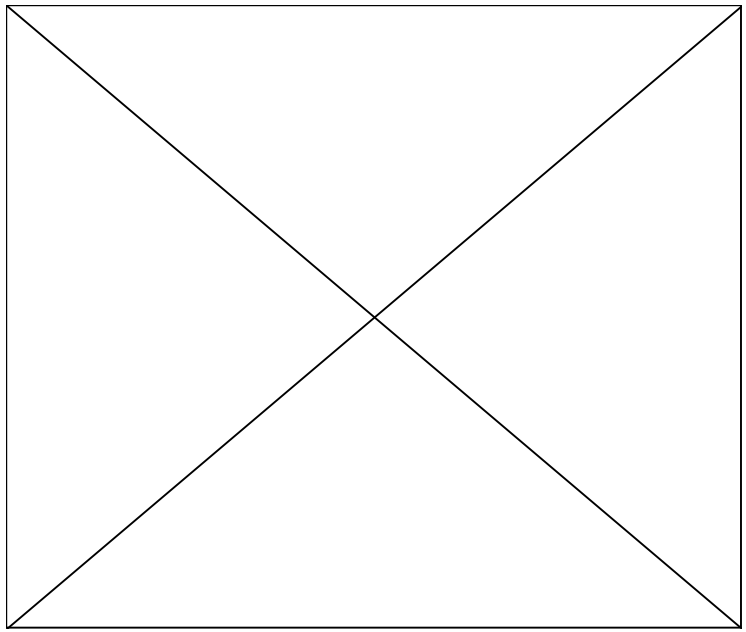
$$T = \frac{A(T_2 - T_1)}{(\frac{L_1}{K_1}) - (\frac{L_2}{K_2})}$$

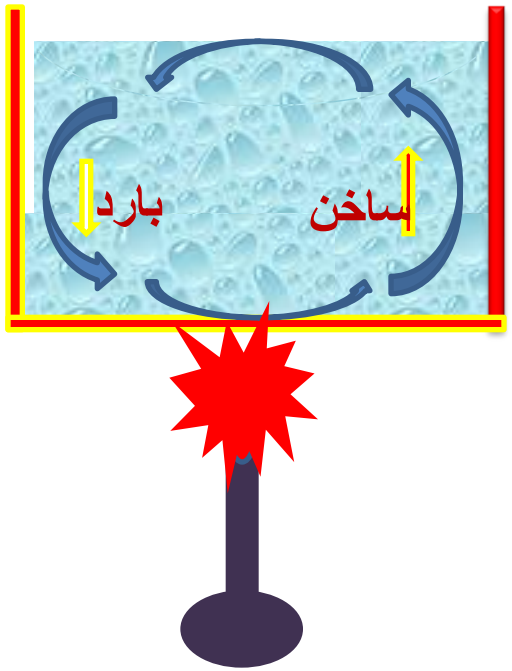
2. الحمل الحراري:Thermal Convection

وهو أساس انتقال الحرارة في الأجسام المائعة (السوائل والغازات)، حيث تطفو الأجزاء الساخنة والتي تقل كثافتها والأجزاء الباردة تحل محلها وينتج عن هذه العملية تبادل حراري يُسمى الحمل الحراري. عندما نسخن الماء على النار، تتكون داخل الإناء تيارات الحِمْل فتصعد جزيئات الماء الساخنة الأقل في الكثافة إلى الأعلى ويحل محلها جزيئات الماء الباردة الأكبر في الكثافة ، وهذا النوع من الحمل يسمى الحمل الحر. والذي يعتمد على الاختلاف في الكثافة أما النوع الثاني من الحمل فيسمى الحمل القسرى وهو يتم بواسطة حمل الجزيئات على الحركة بواسطة قسر الجزيئات على الحركة بواسطة مؤثر خارجي مثل مروحة أو مضخة تفريغ. وتعطى كمية الحرارة ΔQ المنتقلة من السطح الصلب إلى السائل خلال فترة زمنية Δt بـ:

$$\Delta Q = h_c . A . \Delta T . \Delta t$$

حيث A مساحة السطح ، ΔT الفرق بين درجة حرارة السطح ودرجة حرارة المائع ، h_c معامل الحمل الحراري.



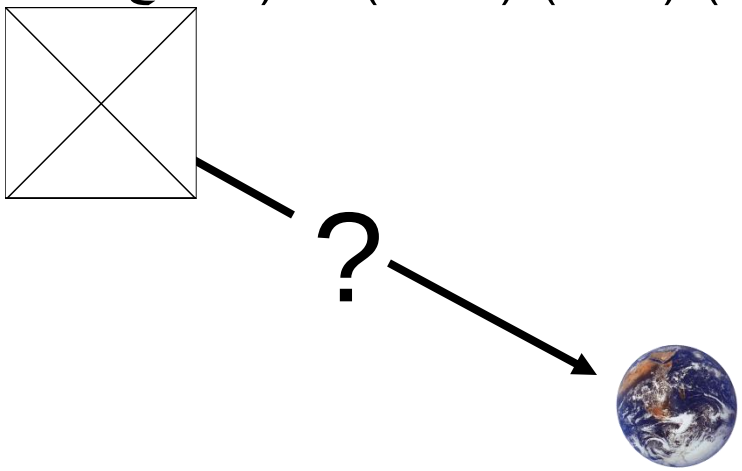


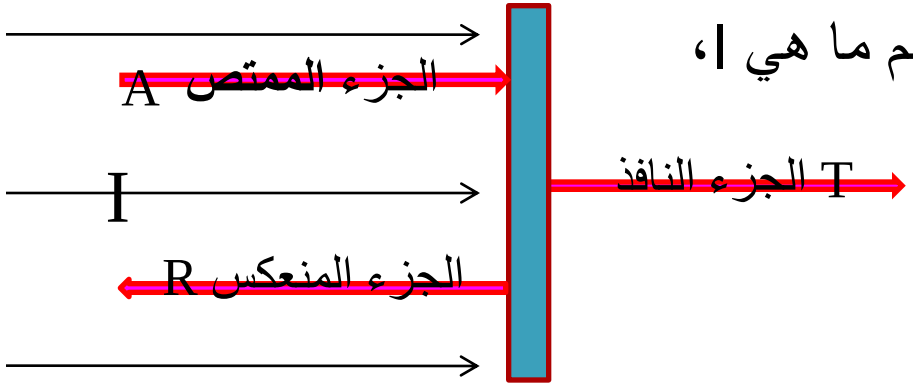
3. الإشعاع الحراري:Thermal Radiation

تختلف عملية انتقال الحرارة بفعل الإشعاع عن سابقيه بأنه لا يحتاج إلى وسط مادي بين الجسمين الذين يتبادلان الطاقة الحرارية، أي ينتقل خلال الفراغ. فالطاقة الحرارية تتنقل في شكل موجات كهرومغناطيسية حتى تصل إلى الجسم الذي يمتص الحرارة أو يعكسها كلًها أو جزء منها. وهذه الموجات لا تسخن المحيط الذي تمر به إلا إذا امتص هذا الأخير جزء منها. ولذا فان خصائص الإشعاع الحراري هي خصائص الموجات الضوئية نفسها إذ أن كليهما يقع ضمن نطاق الموجات الكهرومغناطيسية.

خصائص الإشعاع الحراري:

1. تنتقل موجات الإشعاع الحراري في الفراغ بسرعة الضوء.
2. إذا سقطت موجات الإشعاع الحراري على جسم فانه يمتص جزءا منها مكتسبا بذلك طاقه حراريه.
3. ينطبق على موجات الإشعاع الحراري قانونا الانعكاس و الانكسار اللذان ينطبقان على الضوء.
4. تخضع موجات الإشعاع الحراري لقانون التربيع العكسي الذي يخضع له الضوء و الذي ينص على إن شده الإضاءة (أو الإشعاع) تتناسب عكسيا مع مربع المسافة من مصدر الإشعاع.
5. تنطبق قوانين((الاستقطاب)و(الحيود)و(التداخل)على (الإشعاع الحراري)كما تنطبق على الأشعة الضوئية.





وعلية:إذا كانت شدة الإشعاع الساقط على جسم ما هي I،
فأنة يمكننا أن نكتب:

$I = A + R + T,$

$I = aI + rI + tI$

$a = A/I, \quad r = R/I, \quad t = T/I$

حيث a: معامل الامتصاص: النسبة بين طاقة الإشعاع الممتص إلى طاقة الشعاع الساقط.

r: معامل الانعكاس: النسبة بين طاقة الإشعاع المنعكس إلى طاقة الشعاع الساقط.

t: معامل النفاذ: النسبة بين طاقة الإشعاع النافذ إلى طاقة الشعاع الساقط. ويمكن إعادة كتابة المعادلة السابقة في الصورة

$a + r + t = 1$

1. إذا كان الجسم شفافا فان t= 1 ويقال إن الجسم عاكسا وممتص غير جيد.
2. إذا كان الجسم غير شفافا فان a= 1 ويقال إن الجسم تام السواد (أي ممتصا جيدا).
3. إذا كان الجسم غير شفافا فان r= 1 ويقال إن الجسم تام البياض (أي عاكسا جيدا).

ولكي تكون العلاقة الأخيرة صحيحة لابد أن يؤخذ الطول الموجى للإشعاع الساقط بنظرالاعتبار. أي أن:

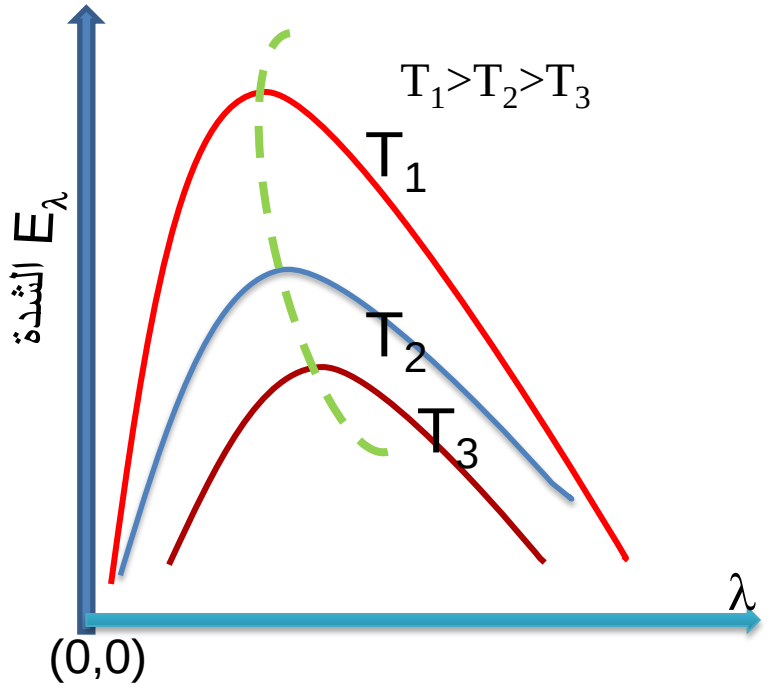
$a_\lambda + r_\lambda + t_\lambda = 1$

نظرية بريفوست للتبادل الحراري:

الجسم الموضوع عند درجة حرارة ثابتة يشع الطاقة الحرارية بمعدل مساو لمعدل امتصاصه لها.

الجسم التام السواد:

هو الجسم الذي يمتص تماما كل الأشعة الساقطة علية ولا يعكس منها شيئا أي1 =a. الجسم التام السواد يكون جسم مثالي الامتصاص وعلية يكون مثالي أيضا في الإشعاع إذا تم تسخينه فأنة يشع طاقة اعلي ، لكل طول موجة ، من أي جسم آخر عند درجة الحرارة نفسها، وطلق على الأشعة المنبعثة من هذا الجسم المثالي إشعاع الجسم الأسود



توزيع الطاقة في إشعاع الجسم الأسود.

درجات الحرارة الواطئة: Low Temperatures

يطلق على العلم الذي يهتم بدراسة الخواص الفيزيائية للمواد في درجات الحرارة الواطئة بعلم الزمهرير, غالباً ما تطلق تسمية درجات الحرارة الواطئة على الدرجات الحرارية الأقل من مائة درجة كلفنية (أي 100K). يمكن الحصول على درجات حرارية واطئة باستخدام العديد من الطرق. تستند جميع هذه الطرق على فكرة واحدة وهي يجب سحب جزء أو كل الطاقة الداخلية للمادة المراد خفض درجة حرارتها. ان طريقة التبريد المستخدمة في الثلاجات ومكيفات الهواء هي استخدام الضغط في درجة الحرارة الاعتيادية فقط،حيث تكبس غازات مثل الامونيا والفريون بمكبس، فيؤدي ذلك إلى رفع درجة حرارتها (أي تسخن فوق درجة حرارة المحيط) ثم يتم تبريدها إلى درجة حرارة المحيط ، وبما ان هذا الغاز واقع تحت ضغط فيؤدي إلى تحويله إلى سائل. ثم يُسمح لهذا السائل ان يتمدد ويتبخر فتنخفض درجة حرارته مما يؤدي إلى سحب حرارة من المنطقة المحيطة به مؤدياً إلى خفض درجة حرارتها، ومن ثم يعاد الغاز إلى المكبس ثانية لإكمال الدورة. وبهذه الطريقة يقوم الغاز بنقل الحرارة من الجزء المراد خفض درجة حرارته إلى المحيط الخارجي.تعد طريقة تحويل الغاز إلى سائل من الطرق المستخدمة على نطاق واسع في الحصول على درجات الحرارة المنخفضة، وتشترك هذه الطرق المختلفة بما يأتي:

1. خفض درجة حرارة الغاز المراد تسييله.
2. زيادة الضغط المسلط عليه.

يجب تبريد الغاز المراد تحويله إلى سائل إلى درجة حرارية اقل من الدرجة الحرارية الحرجة له. وتعرّف الدرجة الحرجة للغاز بأنها الدرجة الحرارية التي لا يمكن تسييل الغاز فوقها مهما بلغ الضغط المسلط عليه. كما ويعرف الضغط الحرج على انه اقل قيمة للضغط اللازم تسليطة على الغاز المراد تسييله عند درجة حرارته الحرجة. وكلما انخفضت درجة حرارة الغاز المراد تسييله إلى ما دون درجة حرارته الحرجة سهل تسييله وقلت قيمة الضغط الذي يجب تسليطه لأجل تحويل الغاز إلى سائل. الجدول(4) يوضح قيم درجة الحرارة الحرجة والضغط الحرج لعدد من الغازات.

الجدول (4): درجات الحرارة الحرجة والضغط الحرج لعدد من الغازات.

الغاز	درجة الحرارة الحرجة ^{o}C	الضغط الحرج (atm)
الأمونيا	132	111.3
الفريون	111.4	39.6
الأوكسجين	-118	50.1
النتروجين	-146	12.8
الهيدروجين	-240	12.8
الهليوم	-269	2.26

وباستخدام هذه الطريقة (التبريد وتسليط الضغط) جرى تسييل غازات الاوكسجين والنتروجين والهيدروجين والهيليوم. يملك غاز الهيليوم اقل درجة تسييل من بين جميع الغازات. ان درجة حرارة غليان سائل الهيليوم تحت الضغط الجوي الاعتيادي تساوي 4.2K . الجدول (5) يبين درجة حرارة غليان بعض سوائل الغازات بالدرجات السيليزية والكلفنية، وكما يبين أيضا درجة حرارة انجماد سوائل الغازات المذكورة. وغالباً ما يستعان بسائل الغاز ذي درجة حرارة الغليان العالية في تبريد الغاز ذي درجة حرارة الغليان الأقل أولا ثم القيام بعملية تسييله ثانياً، أي يمكن الاستعانة بسائل الأوكسجين ($-183^{o}C$) في تبريد غاز النتروجين إلى درجة حرارة ($-183^{o}C$) قبل القيام بعملية تحويله إلى سائل ($-196^{o}C$)، ويستعان كذلك بسائل النتروجين في تبريد غازات الهيدروجين والهليوم قبل عملية تحويلها إلى سائل الهيدروجين ($-253^{o}C$) وسائل الهيليوم ($-269^{o}C$).

الجدول (5): درجات غليان وانجماد سوائل الغازات.

سائل الغاز	درجة حرارة غليان السائل ^0C	درجة حرارة انجماد السائل ^0C
الهليوم	-289(4.2K)	
النتروجين	-196(77K)	-210
الهيدروجين	-253(20.4K)	-259
الأوكسجين	-183(90K)	-218

ومن الطرق المستخدمة في الحصول على درجات حرارية اقل من درجة حرارة غليان سوائل الغازات هي:

1. طريقة جعل سائل الغاز يغلي من دون تزويده بالطاقة الحرارية

تتم هذه الطريقة وذلك بخفض الضغط المسلط على السائل مما يؤدي إلى حفظ درجة غليانه، ويبدأ بالغليان فيعمل على سحب الحرارة من السائل نفسه فتنخفض درجة حرارته. وبذلك نحصل على درجة حرارة اقل من درجة حرارة غليان السائل تحت الضغط الجوي الاعتيادي. ان قيمة درجة الحرارة المنخفضة التي يمكن الحصول عليها بهذه الطريقة تحددها عدة عوامل منها: قيمة الضغط المنخفض الذي يمكن الوصول إليه بهذه الطريقة وكذلك نوع سائل الغاز الذي يتم تبريده بهذه الطريقة، وإمكانية تحوله من الحالة السائلة إلى الصلبة.

وهذا يعني ان هناك حدوداً ودرجات حرارية لا يمكن تجاوزها باستخدام هذه الطريقة فعلى سبيل المثال، أمكن الحصول على المديات الحرارية الاتية:

من 0.3K إلى 3.2K لسائل الهيليوم نوع He^3

من 0.9K إلى 4.2K لسائل الهيليوم نوع He^4

من 14K إلى 20.4K لسائل الهيدروجين H_2

من 63K إلى 77K لسائل النتروجين N_2

وهذا يعني انه باستخدام سائل غاز معين لا يمكن الحصول على جميع درجات الحرارة المنخفضة. إذ سرعان ما يتجمد سائل الغاز وتتوقف (تقريباً) عملية التبريد.

2. طريقة الحصول على درجات حرارية من 1K إلى1mK

يتم استخدام طريقة تبريد مختلفة تماماً عن الطريقة الأولى, والتي تسمى بالطريقة المغناطيسية في التبريد ومن الجدير بالذكر ان هذه الطريقة تكمل الطريقة الأولى، إذ يتم تبريد سائل الهيليوم من 4.2K إلى 1K عن طريق خفض الضغط المسلط عليه، ومن هنا تبدأ الطريقة الثانية في الحصول على الدرجات الحرارية الأقل من 1K.

ان أكثر الغازات استخداماً في الحصول على درجات الحرارة الواطئة هما غازي النتروجين (77K) والهيليوم (4.2K)، لان استخدام كل من الهيدروجين والأوكسجين ينطوي على مخاطر إضافية عديدة. ومن أهم مزايا سائل الهيليوم عن بقية سوائل الغازات الأخرى بقاؤه سائلاً تحت ضغط بخاره المشبع حتى لو انخفضت درجة حرارته إلى الصفر المطلق انظر إلى الجدول (6). وان اقل درجة حرارية يمكن الحصول عليها من خلال خفض الضغط المسلط عليه تحددها سرعة سحب الغاز فوق السائل وليس نقطة انجماد سائلة، على خلاف سوائل بقية الغازات.

أمثلة:

1. أخذت قطعة من النحاس من فرن كتلتها 100g ووضعت في وعاء من الألمنيوم كتلته 300g، ويحتوي عل 500g من الماء. فإذا ارتفعت درجة حرارة الماء من 15^oC إلى 30^oC، فاحسب درجة حرارة الفرن؟.

الجواب: لنفرض إن درجة حرارة الفرن T والتغير في حرارة قطعة النحاس ΔQ_1 يساوي:

$$\Delta Q_1=m_{cu}c_{cu}\ \Delta T=100x0.09(30-T)=9x(30-T)$$

أما التغير في حرارة الألمنيوم ΔQ_2 فيساوي:

$$\Delta Q_2=m_{Al}c_{Al}\Delta T=300x0.2x(30-15)=900Cal$$

وأخيرا، فان التغير في حرارة الماء ΔQ_3 يساوي:

$$\Delta Q_3=m_wc_w\Delta T=500x1x(30-15)=7500Cal$$

وبما أن المجموعة معزولة (أي، لا تفقد حرارة من محيطها ولا تكتسبها)، أي أن:

$$\Delta Q= \Delta Q_1+ \Delta Q_2+ \Delta Q_3=0$$
$$9x(30-T)+900+7500=0$$
$$270-9T=8400$$
$$-9T=-8400-270$$
$$9T=8400+270$$
$$T=(8670/9)=963.3^oC$$

2. قضيب نحاسي طوله 50cm ومساحة مقطعه $0.005m^2$ وضع احد طرفيه عند بخار الماء (100^oC)، ووضع الطرف الآخر داخل جليد درجة حرارته 0^oC. احسب كتلة الجليد التي تتحول إلى ماء خلال ساعة؟ علما بان القضيب لا يفقد حرارة من خلال سطحه الجانبي، وان L للجليد تساوي 334KJ/kg.

الحل: باستخدام المعادلة:

$(dQ/dt)=H=(kA\Delta T/L)=(400Wm\text{-}1^oC\text{-}1)(5x10\text{-}3m2)(100^oC)/0.5m)=400W$

وبالتالي فان كمية الحرارة ΔQ التي تنتقل خلال القضيب في زمنية t قدرها ساعة هي:

$\Delta Q=Hdt=400x60x60=1440kJ$

وبذلك فان كتلة الجليد المذاب m هي:

$Q=mL$

$m=Q/L$

$m=(1440kJ/334kJkg^{-1})=4.3kg$

3. عند درجة حرارة $25\ ^oC$ وجد أن قطر كرة مصمتة هو 4cm وان القطر الداخلي لحلقة من الحديد 3.97cm . احسب درجة الحرارة التي يجب أن تسخن إليها حلقة الحديد حتى تكاد تمر الكرة منها علماً بأن معامل التمدد الطولي للحديد هو $11\times10^{-6}\ ^oC^{-1}$.

الحل: بفرض أن درجة الحرارة المطلوبة هي T_2 وعندها يكون:

قطر الفتحة =قطر الحلقة

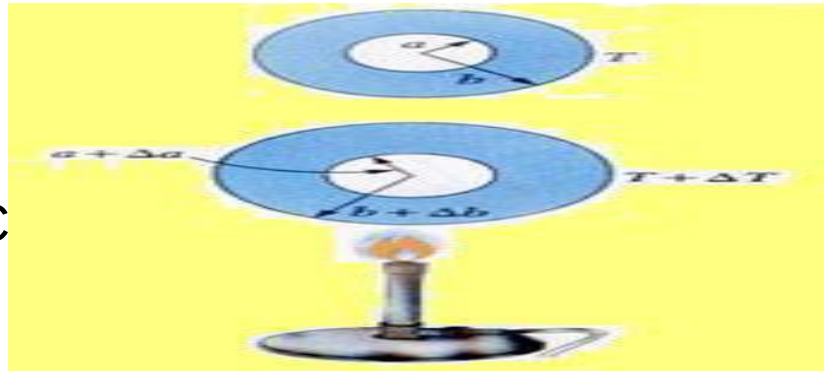
$a=3.97cm$

$a+\Delta a=4cm$

$\Delta a=4cm-a=4cm-3.97cm=0.03cm$

$\Delta T=\Delta L/(L_o\alpha)=0.03/(3.97x0.000011)=687^oC$

$T_2=687+25=712^oC$



ملاحظة:
على الطلبة الرجوع إلى الأسئلة الموجودة في نهاية الفصل الأول في الكتاب المقرر (الحرارة وخواص المادة)، تأليف د.كاظم احمد كاظم. للإطلاع عليها وحلها.