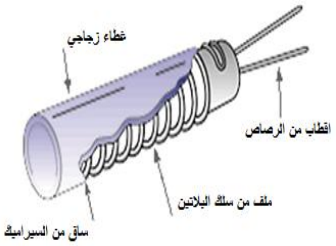
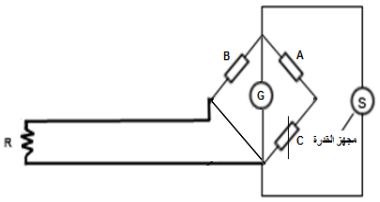
محرار المقاومة الكهربائية: The Electrical Thermometer

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.





تختار المقاومتان **A** و **B** متساويتين ويجرى تغيير قيمة المقاومة **c** حتى تصل الدائرة الكهربائية إلى حالة الاتزان (قراءة الكفانومتر تؤشر صفر)، وعندها تكون قيمة المقاومة **c** 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:

١. يستخدم لمديات واسعة من درجات الحرارة (من -200°C إلى أكثر 1000°C).

٢. 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).

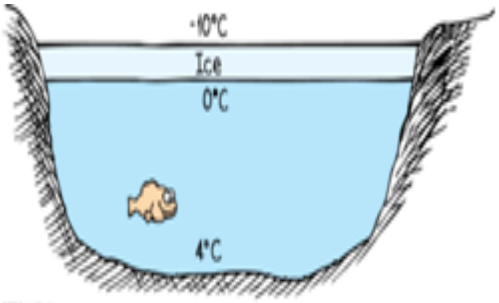
تأثير تغير درجة الحرارة على حالات المادة :

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.

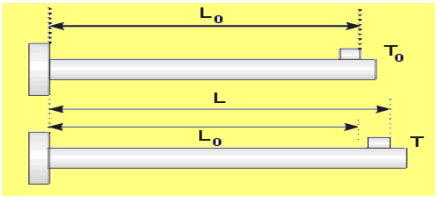


١. تمدد الأجسام الصلبة: Expansion of Solids

a) التمدد الطولي (α): Linear Expansion

ان التغير الذي يحصل في أي بعد من أبعاد المادة الصلبة كالطول والعرض والارتفاع نتيجة لتغيردرجة حرارتها يعرف **بالتمدد الطولي**. (الشكل أدناه يمثل ساق طوله L_o عند درجة T_o حرارة وبزيادة درجة الحرارة بمقدار **ΔT** يحدث زيادة في الطول مقدارها **ΔL**)، عمليا 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**. و يعرف :**على انه الزيادة في طول المادة لوحدة الأطوال نتيجة لتغير درجة حرارة المادة بمقدار درجة حرارية واحدة.**
ويمكن أعادة كتابة المعادلة (1) بالصيغة الآتية:

$$\alpha = \frac{\Delta L / L_o}{\Delta T} \qquad (2)$$

وبما ان $\Delta L = L - L_o$ فأن الطول L الجديد عند اية درجة حرارية T يساوي

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

إن وحدة معامل التمدد الطولي هي مقلوب درجة الحرارة، أي $\mathbf{K^{-1}}$ أو $\mathbf{^oC^{-1}}$ أو $\mathbf{^oF^{-1}}$ 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 أدناه 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.

المادة	معامل التمدد الطولي $x10^{-6}/^oC$	المادة	معامل التمدد الطولي $x10^{-6}/^oC$
النحاس	17	الزجاج المقاوم للحرارة (بايركس)	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		

مثال (٣): جسر من الفولاذ طوله **1280m** على درجة الحرارة صفر مئوية، كم يصبح **طوله** عندما ترتفع درجة حرارته **50 ^oC**، علماً ان معامل التمدد الطولي للفولاذ هو **$1.27x10^{-5}\ ^oC^{-1}$.**

الحل: لدينا العلاقة $\mathbf{L = L_o(1 + \alpha\Delta T)}$

$\Delta T = T - T_o \rightarrow T_o = 0$

$\Delta T = T$

$L = L_o(1 + \alpha T)$

$L = 1280(1 + 1.27x10^{-5}x50) = \mathbf{1280.81m}$

وهو طول الجسر عندما ترتفع درجة حرارته ^oC 50.

مثال(٤) : ساق معدني طوله في درجة صفر مئوية يساوي **0.2m** سخّن الى درجة حرارة T فاصبح طوله **0.201m**، انّ معامل التمدد الطولي لمعدن الساق **$2x10^{-5}\ ^oC^{-1}$**. اوجد مقدار الزيادة في طول الساق ΔL، ثم أحسب **درجة حرارة الساق T.**

الحل: لايجاد مقدار الزيادة في طول الساق ΔL لدينا العلاقة الاتية

$\Delta L = L - L_o = 0.201 - 0.20 = 0.001m$

ولايجاد درجة حرارة الساق T لدينا العلاقة الاتية

$\Delta T = T - T_o \rightarrow T_o = 0 \rightarrow \Delta T = T \rightarrow \mathbf{L = L_o(1 + \alpha T)}$

درجة حرارة الساق $0.201 = 0.2(1 + 2x10^{-5}xT) \rightarrow \mathbf{T = 250\ ^oC}$

b): التمدد السطحي (β): Surface Expansion

ان تغير مساحة السطوح مع تغير درجة حرارتها يعرف بالت**مدد 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

$$\boldsymbol{\beta = \frac{\Delta A/A_o}{\Delta T}} \qquad (1)$$

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

$$\mathbf{A = A_o(1 + \beta\Delta T)} \qquad (2)$$

حيث تمثل A_o و A المساحة الأصلية والمساحة الجديدة عند درجتا الحرارة T_o و T على التعاقب، ان وحدة معامل التمدد السطحي 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

$$\boldsymbol{\beta \cong 2\alpha}$$

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.

مثال(٥): لوح زجاجي مساحته $0.5m^2$ في درجة حرارة 0^oC، جد **مساحة اللوح** عندما تصبح درجة حرارته 70^oC اذا علمت ان معامل التمدد الطولي لهذا النوع من الزجاج يساوي $9x10^{-6}\,{}^oC^{-1}$.

الحل: من العلاقة

$$\beta = 2\alpha = 2x9x10^{-6} = 18x10^{-6}{}^oC^{-1}$$

ومن العلاقة

$$\Delta T = T - T_o$$

$$T_o = 0$$

$$\Delta T = T$$

$$A = A_o(1 + \alpha T)$$

$$A = 0.5(1 + 18x10^{-6}x70)$$

$$A = 0.50063\ m^2$$

c): 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

$$\gamma = \frac{\Delta V/V_o}{\Delta T} \qquad (1)$$

ان حجم المادة الجديد V يمكن الحصول عليه من المعادلة الآتية

$$V = V_o(1 + \gamma \Delta T) \qquad (2)$$

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

$$\gamma \cong 3\alpha$$

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 أدناه قيم معامل التمدد الحجمي لبعض السوائل المعروفة.

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

٢. تمدد السوائل: Liquids Expansion

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

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

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 قيمته 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.**

٣. تمدد الغازات (φ): Gases Expansion

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 **$(3.66x10^{-3})$** 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: