٣- الحرارة:

الحرارة ودرجة الحرارة والطاقة الحرارية:

تعتبر الحرارة نوعاً من أنواع الطاقة المنتقلة بين النظام (الجسم مثلاً) والوسط المحيط فيه بسبب فرق درجة الحرارة بينهما. وتقاس الحرارة بالنظام العالمي للوحدات بوحدة الجول (J)، وهناك وحدة قديمة لقياس الحرارة وتسمى بالسعر (calorie) ويرمز لها بالرمز (cal.) وهي أكبر من الجول وتساوي:

$$1\text{Cal.} = 4.186\ \text{J}$$

ويُعبر عن المقدار $4.186\,\text{J/cal.}$ بالمكافئ الميكانيكي للحرارة.

وتمثل درجة الحرارة مقياساً لمتوسط الطاقة الحركية لجزيئات النظام (الجسم) وتقاس بوحدة الكلفن (^0K) في النظام العالمي للوحدات، أو بوحدة سلسيوس (^0C) بالنظام المئوي أو بوحدة (^0F) بالنظام الفهرنهايتي.

أما الطاقة الحرارية (الطاقة الداخلية) فهي تمثل الطاقة الناتجة عن جميع الجزيئات الموجودة في النظام (الجسم)، وتقاس بوحدة الجول.

المقاييس الحرارية:

ومن أشهرها مقياس الحرارة الزئبقي (انظر الشكل المجاور) ومقياس الحرارة المعتمد على المقاومة الكهربائية.

والتدريجات المستخدمة في مقاييس الحرارة هي على ثلاثة أنواع مشهورة، وهي:

١- التدريج المئوي (^0C)

٢- التدريج الفهرنهايتي (^0F)

٣- التدريج المطلق (^0K)، وهو المستخدم في النظام العالمي للوحدات .

والعلاقات بين التدريجات الثلاثة هي:

$$T_C = \frac{5}{9}(T_F - 32)\ ;\ T_F = \frac{9}{5}T_C + 32$$

$$T_C = T_K - 273\ ;\ T_K = T_C + 273$$

حيث أن T_K , T_F , T_C تمثل درجات الحرارة في التدريج المئوي والفهرنهايتي والمطلق على الترتيب. وفيما يلي مقارنه بين درجات الحرارة في المقاييس الثلاثة :

مثال:

درجة حرارة غرفة هي $(77\,^{0}\mathrm{F})$، ما هي الدرجة بالتدريج المئوي؟

الحل:

$$T_C = \frac{5}{9}(T_F - 32) = \frac{5}{9}(77 - 32) = 25\,^{0}\mathrm{C}$$

مثال:

ما هي درجة الحرارة على التدريج الفهرنهايتي في يوم تكون فيه درجة حـــرارة الطقـــس $-10\,^{0}\mathrm{C}$؟

الحل :

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32$$

$$= \frac{9}{5} \times -10 + 32 = 14\,^{0}\mathrm{F}$$

مثال:

إذا كانت درجة الحرارة على التدريج المئوي $-70^{0}C$، فما هي الدرجة على التدريج المطلق؟

الحل:

$$T_K = T_C + 273$$

$$= -70 + 273 = 203\ ^{0}K$$

السعة الحرارية النوعية (الحرارة النوعية): (c)

هي الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة وحدة الكتل من المادة درجة مئوية (أو مطلقة) واحدة. ووحدتها: $\frac{cal}{g.^0C}$ أو بالنظام العالمي $\frac{J}{kg.^0K}$

فمثلاً الحرارة النوعية للماء هي: $c_w = \frac{4186J}{kg.^0K} = \frac{1cal.}{g.^0C}$

وهذا معناه أن كتلة من الماء قدرها 1g تحتاج أن تكتسب حرارة قدرها 1 cal. كي ترتفع درجة حرارتها درجة مئوية واحدة. أو أن 1 kg من الماء يحتاج أن يكتسب حرارة قدرها 4186 J كي ترتفع درجة حرارته درجة مطلقة واحدة.

والحرارة النوعية للحديد هي $450\frac{J}{kg.^0K}$ وللرمل $820\frac{J}{kg.^0K}$ وللخشب $1680\frac{J}{kg.^0K}$ وعلى ضوء التعريف أعلاه نستطيع حساب الحرارة اللازمة (ΔQ) لرفع درجة حرارة كتلة من المادة (m) درجة حرارة مقدارها ΔT من العلاقة التالية:

$$\Delta Q = m\,c\,\Delta T$$

حيث c الحرارة النوعية للمادة، ΔT تمثل الفرق بين درجة الحرارة الابتدائية والنهائية.

مثال:

ما هي الحرارة اللازمة لتسخين 20 g من الماء من $30\,^{0}C$ إلى $90\,^{0}C$ ؟

الحل:

الحرارة النوعية للماء هي $1\frac{cal}{g.^{0}C}$

$$\Delta Q = mc\Delta T$$
$$= 20 \times 1 \times 60$$
$$= 1200\,cal. = 1200\,cal. \times 4.186\frac{J}{cal.} = 5032\,J$$

مثال:

طفل كتلته 30 kg ودرجة حرارته $39\,^{0}C$. كم هي الحرارة اللازم إزالتها من جسم الطفل لتصبح درجة حرارته $37\,^{0}C$ علماً أن الحرارة النوعية لجسم الإنسان $3470\frac{J}{kg.^{0}K}$ ؟

الحل:

$$\Delta Q = mc\Delta T$$
$$= 30 \times 3470 \times (37 - 39)$$
$$= -2.1 \times 10^{5}\,J$$

قياس الحرارة النوعية بطريقة الخلط:

عندما يتم خلط مادتين مختلفتين في درجة الحرارة، والتي تدعى بدرجة التوازن T. ويمكن بالتالي أن نكتب العلاقة التالية على اعتبار أن $T_2 > T_1$.

كمية الحرارة المفقودة = كمية الحرارة المكتسبة

$$Q_{in.} = Q_{out}$$

$$m_1 c_1 (T - T_1) = m_2 c_2 (T_2 - T)$$

حيث T_1, c_1, m_1 الكتلة والحرارة النوعية ودرجة الحرارة للمادة الأولى.

T_2, c_2, m_2 الكتلة والحرارة النوعية ودرجة الحرارة للمادة الثانية.

مثال:

يحتوي إبريق ترمس على 300 g من الماء عند درجة $90^{0}C$. صُبَّ في هذا الإبريق 50 g من الماء عند درجة حرارة $15^{0}C$. ما هي درجة الحرارة النهائية للخليط؟

الحل:

كمية الحرارة المفقودة = كمية الحرارة المكتسبة

$$m_1c(T-15)=m_2c(90-T)$$

$$50(T-15)=300(90-T)$$

$$T-15=540-6T$$

$$7T=555$$

$$\therefore T=\frac{555}{7}=79.3^{0}C$$

مثال:

وعاء معزول من الألمنيوم كتلته 20 g يحتوي على 150 g من الماء عند درجة $20^{\circ}C$. سُخنت قطعة من المعدن كتلتها 30 g إلى درجة $100^{\circ}C$ ثم أسقطت في الماء. فإذا كانت درجة الحرارة النهائية للماء والوعاء وقطعة المعدن هي $25^{\circ}C$، فما هي الحرارة النوعية للمعدن؟

الحل:

الحرارة المفقودة بواسطة المعدن=الحرارة المكتسبة بواسطة الماء+الحرارة المكتسبة بواسطة الوعاء

$$20\times 0.21\times 5+150\times 1\times 5=30\times c\times 75$$

$$21+750=2250c$$

$$771=2250c$$

$$\therefore c=\frac{771}{2250}=0.343\ \frac{cal.}{g.^{\circ}C}$$

2250 g. C

قانون نيوتن للتبريد:

عندما يكون الفرق بين درجتي الحرارة المطلقة بين الجسم الساخن والوسط المحيط صغيراً، فإن قانون ستيفان يؤول إلى قانون نيوتن للتبريد الآتي:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \sigma e A (T - T_o)$$

مع العلم أن هذا القانون يشمل التأثيرات المشتركة لانتقال الحرارة بالتوصيل والحمل والإشعاع.

حيث T درجة حرارة الجسم الساخن.

T_o درجة حرارة الوسط المحيط.

A المساحة السطحية للجسم الساخن.

e الإشعاعية وتتراوح بين الصفر والواحد.

σ ثابت ستيفان.

مثال:

طالب معرّض جسمه مباشرة لهواء الغرفة الذي درجة حرارتها (20°C). وإذا كانت درجة حرارة جسمه (37°C) وإشعاعية الجسم هي (0.9) والمساحة السطحية لجسم الطالب $1.5\,m^2$، فاحسب مقدار الحرارة المفقودة من جسمه خلال عشر دقائق.

الحل:

$$T = 37 + 273 = 310\ ^\circ K$$

$$T_o = 20 + 273 = 293\ ^\circ K$$

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \sigma e A (T^4 - T_o^4)$$

$$= 5.67 \times 10^{-8} \times 0.9 \times 1.5 \times (310^4 - 293^4)$$

معدل الحرارة المفقودة $\frac{\Delta Q}{\Delta t} = 140\ W$

مقدار الحرارة المفقودة خلال عشر دقائق $\Delta Q = 140 \times 10 \times 60$

$$= 8.6 \times 10^4\ J$$

الحرارة الكامنة للانصهار والتبخر:

عندما تتغير حالة المادة من الصلبة إلى السائلة أو من السائلة إلى الغازية فإن ذلك يتم بعد تزويد المادة بطاقة حرارية كافية لتغير حالتها والذي يحصل مع ثبات درجة الحرارة. ولحساب مقدار الحرارة (Q) لإجراء التحول المطلوب لكتلة من المادة m نستخدم العلاقات التالية:

أولاً:

الحرارة اللازمة لتحول المادة من الصلب إلى السائل (أو العكس):

$$\Delta Q = mL_f$$

حيث L_f الحرارة الكامنة للانصهار ووحدتها $\frac{J}{kg}$ أو $\frac{cal.}{g}$.

ثانياً:

الحرارة اللازمة لتحول المادة من السائل إلى الغاز (أو العكس):

$$\Delta Q = mL_v$$

حيث L_v الحرارة الكامنة للانصهار ووحدتها $\frac{J}{kg}$ أو $\frac{cal.}{g}$.

مثال:

وعاء يحتوي على كتلة من الماء مقدارها $0.25\ \text{kg}$ بدرجة حرارة 20°C. يُوضع الوعاء في مجمدة (Freezer). احسب الحرارة اللازم إزالتها من الماء كي يتحول إلى ثلج بدرجة 0°C إذا علمت أن الحرارة الكامنة لانصهار الماء هي $334\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ والحرارة النوعية للماء هي $4.2\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$؟

الحل:

$$\Delta Q = mc(T_f - T_i) + (-mL_f)$$

$$= 0.25 \times 4.2 \times 10^3 (0 - 20) + (-0.25 \times 334 \times 10^3)$$

$$= -2.1 \times 10^4 - 8.35 \times 10^4$$

$$= -1.05 \times 10^5\ \text{J}$$

١٨-٨: التمدد الحراري

التمدد الحراري الطولي:

تعتبر درجة الحرارة مقياساً للطاقة الداخلية لجزيئاتها. وعند رفع درجة حرارة السائل أو الصلب تزداد طاقة جزيئاته وبالتالي تزداد سعة اهتزازها، وهذا يؤدي إلى زيادة متوسط المسافة بين كل جزيء والجزيئات المجاورة. أي أن السائل أو الصلب يتمدد عند رفع درجة حرارته.

يعرّف معامل التمدد الحراري الطولي α بأنه الزيادة في الطول لوحدة الأطوال من المادة نتيجة لتغير درجة الحرارة درجة واحدة. ويكتب هذا التعريف على هيئة معادلة كالتالي:

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

أي أنه إذا تمدد قضيب طوله L بمقدار ΔL نتيجة لوضع درجة الحرارة بمقدار ΔT، فإن قيمة α تُعطى بالمعادلة السابقة. ووحدة α هي $^{\circ}C^{-1}$ أو $^{\circ}K^{-1}$.

مثال:

قضيب من النحاس طوله (1 m) ما مقدار الزيادة في طوله عند ارتفاع درجة حرارته بمقدار 50 درجة عن درجة حرارة الغرفة علماً أن معامل التمدد الطولي للنحاس يساوي $(1.9\times10^{-5}\ ^{\circ}C^{-1})$؟

الحل:

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

$$\therefore \Delta L = \alpha L \Delta T$$

$$= 1.9\times10^{-5}\times1\times50$$

$$= 0.00095\ \text{m}$$

التمدد الحراري الحجمي:

معامل التمدد الحجمي: هو التغير النسبي في الحجم لكل درجة، ويُكتب في صورة معادلة كالآتي:

$$\gamma = \frac{\Delta V / V}{\Delta T} \qquad \text{معامل التمدد الحجمي}$$

حيث ΔV هو مقدار التغير في الحجم V الحاصل بسبب تغير في درجة الحرارة مقداره ΔT، ووحدة المعامل γ هي نفس وحدة α وتساوي $^{\circ}C^{-1}$ أو $^{\circ}K^{-1}$.

مثال:

كرة من الألمنيوم حجمها ($113\ mm^3$) عند درجة الحرارة ($100\,^\circ C$). فما هو حجمها عند درجة ($0\,^\circ C$) إذا كان معامل التمدد الحجمي للألمنيوم ($7.2\times10^{-5}\ ^\circ C^{-1}$)؟

الحل:

$$\gamma = \frac{\Delta V / V}{\Delta T} \Rightarrow \Delta V = \gamma\, \Delta T\, V$$

$$\Delta V = 7.2\times10^{-5}\times113\times100 \cong 0.81 mm^3$$

بما أن الحجم عند درجة ($0\,^\circ C$) هو أقل عما هو عليه في درجة ($100\,^\circ C$)، لذا يكون الحجم عند درجة ($0\,^\circ C$) هو:

$$V_o = 113 - 0.8 = 112.2\ mm^3$$

مثال على التمدد الحجمي (سلوك الماء):

ينكمش الماء عند تسخينه من $0\,^\circ C \rightarrow 4\,^\circ C$ ثم يتمدد من $4\,^\circ C \rightarrow$. أقصى كثافة للماء عند $4^\circ C \Leftarrow$ سبب انفجار الأنابيب في الشتاء.

الفصل التاسع عشر

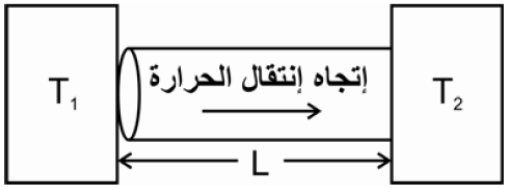
انتقال الحرارة

طرق انتقال الحرارة:

تنتقل الحرارة من مكان أومن جسم إلى آخر بثلاث طرق مختلفة وهي: التوصيل والحمل والإشعاع.

أولاً: انتقال الحرارة بالتوصيل:

يحدث التوصيل الحراري عندما يكون هنالك فرق في درجة الحرارة خلال المادة حيث وُجِدَ عملياً أن معدل الجريان الحراري خلال المادة يتناسب طردياً مع الفرق في درجتي حرارة نهايتها. كذلك يعتمد معدل الجريان الحراري على حجم وشكل المادة.



ويمكن كتابة معدل الجريان الحراري ΔQ بالعلاقة:

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

حيث A مساحة مقطع الجسم.

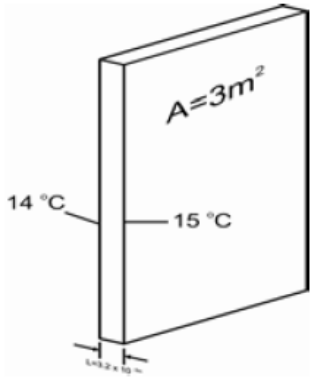
L المسافة بين نهايتي الجسم.

T_1 و T_2 درجتي الحرارة لنهايتي الجسم $(T_1 > T_2)$.

K ثابت التوصيل الحراري للمادة ووحدته هي : $\frac{cal}{cm.s.^\circ C}$ أو $\frac{J}{m.s.^\circ C}$.

مثال:

احسب معدل انتقال الحرارة خلال نافذة منزل أبعادهـــا (2m×1.5m) وسمكهـــا (3.2mm). إذا كانت درجتي الحرارة على السطحين الداخلي والخارجي هـــي 15°C و 14°C على الترتيب وثابت التوصيل الحراري للزجاج هو: $\frac{0.84\,\mathrm{J}}{\mathrm{m.s.^\circ C}}$.



الحل:

$$\mathrm{A} = 2\times 1.5 = 3\,\mathrm{m}^2$$

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{KA\,(T_1 - T_2)}{L}$$

$$= \frac{0.84\times 3\times (15-4)}{3.2\times 10^{-3}} = 790\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}} \cong 0.19\frac{\mathrm{K\,cal}}{\mathrm{s}}$$

مثال:

قضيب من النحاس الأصفر مساحة مقطعه $2\,cm^2$ وطوله $1m$. وُضع أحد طـــرفي هذا القضيب في ماء يغلي ووضع الآخر على قطعة كبيرة من الثلج. ما هي كمية الثلج التي تنصهر بواسطة الحرارة المنتقلة من الطرف الساخن للقضيب إلى الطرف البـــارد خـــلال $(10\,min)$ ؟ [ثابت التوصيل الحراري للنحاس الأصفر $= \frac{0.2\,cal}{cm.s.^{\circ}C}$]

الحل:

$$\Delta Q = \frac{K\,A\,\Delta t\,(T_1 - T_2)}{L} = \text{كمية الحرارة المنتقلة خلال } (10\,min)$$

$$\therefore Q = \frac{0.2 \times 2 \times 10 \times 60(100-0)}{100} = 240\,cal$$

وبما أن الحرارة الكامنة لانصهار الثلج L_f تساوي $\frac{80\,cal}{g}$ فتكون كمية الثلج المنصهرة m هي:

$$m = \frac{\Delta Q}{L_f} = \frac{240}{80} = 3\,g$$

ثانياً: انتقال الحرارة بالحمل:

تتميز السوائل والغازات بأنها نواقل جيدة للحرارة عن طريق الحمل. والحمل هو عملية انتقال الحرارة بواسطة حركة جزيئات الوسط من مكان إلى آخر حاملة معها الحرارة ولمسافات كبيرة من الوسط. وهنالك نوعان من الحمل، الحمل الطبيعي والحمل الجبري.

ويحصل الحمل الطبيعي عندما يتحرك المائع (الهواء أو الماء) بسبب تغير درجة حرارته وكثافته نتيجة امتصاص الحرارة من جسم آخر مجاور. وكمثال على ذلك نجد أن الهواء القريب من المدفأة المنزلية (الموجودة في غرفة مغلقة) يسخن فتقل كثافته ويرتفع لأعلى وفي نفس الوقت ينزل الهواء البارد القريب من السقف وهكذا تستمر دورة تيار الحمل في الغرفة حتى تتجانس درجة حرارة الهواء في داخلها. أما في حالة الحمل الجبري، فإن حركة المائع تتم بواسطة قوة ميكانيكية مثل المضخة خلال راديتر السيارة كي يتم تبريده، والمروحة التي تدفع الهواء الساخن إلى جميع أنحاء المنزل لغرض تدفئته.

ثالثاً: انتقال الحرارة بالإشعاع:

إن الحرارة التي تصل إلينا من الشمس لا تنتقل إلينا بالتوصيل أو الحمل. وذلك أن الفراغ الهائل بيننا وبين الشمس لا يحتوي تقريباً على أية جزيئات. ومن ثم فإن انتقال الحرارة خلال الفراغ يحصل بطريقة الإشعاع. والإشعاع هو جريان الحرارة من مكان إلى آخر بواسطة الموجات الكهرومغناطيسية.

إن معدل انتقال الحرارة بالإشعاع من الجسم الساخن تُعطى بعلاقة تسمى قانون ستيفان، وهي:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \sigma e A T^4$$

ووحدة المقدار $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ هي الواط (W)،

حيث A تمثل المساحة السطحية للجسم المشع.

T تمثل درجة الحرارة المطلقة للجسم المشع.

e ثابت يسمى بالإشعاعية وتتراوح قيمته بين الصفر والواحد بحسب المادة المشعة.

σ ثابت ستيفان وقيمته تساوي: $5.67\times10^{-8}\ \frac{W}{m^2K^4}$.

وإذا كان الجسم محاطاً بوسط (أو جسم آخر) درجة حرارته المطلقة T_o، فإن محصلة معدل انتقال الحرارة بالإشعاع من الجسم (بدرجة مطلقة T) هو:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \sigma e A (T^4 - T_o^4)$$

وقد أمكن إثبات أن الجسم الأسود (أي الذي لا يعكس الضوء) يشع كمية أكبر من الحرارة بالمقارنة مع الأجسام الأخرى ذات الانعكاسية الأعلى. وكقاعدة عامة يمكن القول أن الممتص الحراري الجيد هو مشع حراري جيد.