الفصل الثامن عشر - مــفـــاهــيـــم حــــراريّــــة

1-18) وحدات الطّاقة الحراريّة:

وحدة الطّاقة هي الجول (Joule)، وهناك وحدة شائعة الاستعمال لـ"كميّة الحرارة" يُطْلَق عليها اسم السّعْر (calorie)، ويُعرّف السّعْر بأنّه: كميّة الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من الماء من 14.5^oC إلى 15.5^oC.

لقد أثبتت التجارب أنّ هناك تناسباً طرديّاً بين الشّغل المبذول وكميّة الحرارة الناتجة عنه

$$W = JQ$$

حيث J المُكافئ الميكانيكي للحرارة

$$J = 4.186 \ J/cal$$

ملحوظة : سُعْر التغذية يساوي 1000 سُعْر حراري

18-1-1) السّعة الحراريّـة:

تُعْرّف "السّعة الحراريّة" ،C،لجسم ما بأنّها: "كميّة الحرارة اللازمة لرفْع درجة حرارته بمقدار درجة واحدة".

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \qquad J/K$$

18-1-2) الحرارة النوعيّـة:

هي: "كميّة الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة كيلوجرام واحد من المادة بمقدار درجة واحدة"

$$c = \frac{\Delta Q}{m\,\Delta T}$$

وحدة قياس الحرارة النوعية هي : $Jkg^{-1}\ \ K^{-1}$

ومن الواضح ان

$$C = c\,m$$

مـــثال (1-18):

قطعة من المعدن كتلتها 50g تمَّ تسخينها إلـــى 200°C، ثـــم أُسقطت في وعـــاء يحتوي على مـــاء كتلتــه 0.4kg عنــد درجـــة حـــرارة قدْرها 20°C. فإذا كانت درجة الحرارة النهائيّــة للمنظومـــة هي 22.4°C، فاحسب الحرارة النوعيّة للمعدن علماً بأنَّ السعة الحراريّة للوعاء 0.2J/K، والحرارة النوعيّة للماء $4186\ Jkg^{-1}K^{-1}$.

الحـــل:

نُطبّق في هذه الحالة "قانون حفظ الطّاقة" فنكتب:

كميّة الحرارة المفقودة من المعدن = كميّة الحرارة المُكتسبة مـــن قِبَل الماء والوعاء

$$\therefore m_m c_m (T_m - T_f) = m_w c_w (T_f - T_w) + C (T_f - T_w)$$

حيث m_m ، c_m ، T_m هي كتلة المعدن وحرارته النوعيّة ودرجة حرارته الإبتدائيّة على الترتيب.

m_w ، c_m ، T_w هي كتلة الماء وحرارته النوعيّة ودرجة حرارته الإبتدائيّة على الترتيب.

C ، T_f هما السعة الحراريّة للوعاء ودرجة الحـــرارة النهائيّـــة للمنظومة.

$$\therefore \quad 0.05\ (200 - 22.4)\ c_m = 0.4 \times 4186\ (22.4 - 20) + 0.2\ (22.4 - 20)$$

$$8.88\ c_m = 4018.56 + 0.48$$

$$\therefore \quad c_m = \frac{4019.04}{8.88} = 425.6\ \ Jkg^{-1}k^{-1}$$

مـــثال (2−18):

رصاصة من الفضة تنطلق بسرعة قدْرها 200m/s، وتستقرّ فـــي جدار خشبيّ، فإذا كانت كلّ الحرارة الناجمة عـــن التصـــادم تبقـــى فـــي الرصاصة، فاحسب التغيّر في درجة حرارة الرصاصة علماً بأنّ الحـــرارة النوعيّة للفضة $234\ Jkg^{-1}\ k^{-1}$.

الحـــل:

نظراً لأنّ كلّ الحرارة الناتجة عن التصادم تبقى في الرصاصة، فإنّ الطّاقة محفوظة في هذه الحالة، وتكون:

الطاقة الحركيّة للرصاصة = الطّاقة الحرارية المتولّدة عن التصادم

$$\therefore \qquad \frac{1}{2}\ m\,v^2 = m\,c\,\Delta T$$

حيث m , v , c هي كتلة الرصاصة وسرعتها والحرارة النوعيّة للفضة على الترتيب، وأمّا ΔT فهي التغيّر الطارئ على درجة الحرارة.

$$\therefore \qquad \Delta T = \frac{v^2}{2\,c}$$

$$= \frac{(200)^2}{2 \times 234}$$

$$= 85.5\ ^\circ C$$

مـــثال (18-3):

في تجربة لقياس الحرارة النوعيّة لمعدن بواسطة الطريقة الكهربائيّة كانت قراءة الفولتميتر 12 V وقراءة الأميتر 4.0 A، وارتفعت درجة حرارة المعدن بمقدار 16 °C خلال زمن قدْره خمس دقائق. احسب الحرارة النوعيّة للمعدن إذا كانت كتلته هي 1.0kg.

الحـــل:

الحرارة المتولّدة Q هي:

$$
\begin{aligned}
Q &= I\,V\,t \\
&= 4 \times 12 \times 300 \\
&= 14{,}400\ \text{J}
\end{aligned}
$$

ولكن:

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

$$
\therefore \quad c = \frac{14{,}400}{1 \times 16} = 900\ \text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}
$$

2-4-18) قـانون نيوتن للتبريد:

ينصّ هذا القانون على أنّ: "معدّل فَقْد الحرارة من أيّ جسم ساخن إلى الوسط المُحيط به يتناسب مع الفرق بين درجة حرارة الجسم T، ودرجة حرارة الوسط T_r

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = k(T - T_r)$$

بالإمكان كتابة "قانون نيوتن للتبريد" على النحو التالي:

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = -\frac{k}{mc}(T - T_r)$$

حيث تشير الإشارة السالبة إلى أنّ "درجة الحرارة" تنخفض مع مرور الزمن.

مــثال (4-18):

سُخّن سائل بواسطة الطريقة الكهربائيّة بمعدّل 8W حتى ثبتت درجة حرارته، فإذا كان معدّل تبريد السائل عند هذه الدرجة بعــد قطـــع التيــار الكهربائي هو $0.95°C$ في الدقيقة الواحدة، وكـــان وزن الســـائل 200g والسعة الحراريّة للمُسعّر $50\ JK^{-1}$، فاحسب الحرارة النوعيّة للسائل.

الحـــل:

كميّة الحرارة المُكتسبة للمنظومة هي:

$$\Delta Q = (m\,c + C)\,\Delta T$$

حيث C السعة الحراريّة للمُسعّر.

m , c هما كتلة السائل وحرارته النوعيّة على الترتيب.

$$\therefore \frac{\Delta Q}{\Delta t} = (m\,c + C)\frac{\Delta T}{\Delta t}$$

$$\therefore \quad 8 = (0.2\,c + 50)\,\frac{0.95}{60}$$

$$= (0.2c + 50)\,0.016$$

$$\therefore \quad c = 2250\ \ Jkg^{-1}K^{-1}$$

مـــثال (18-5):

يبرد جسم في الهواء من $95°\,C$ إلى $90°\,C$ خلال نصف دقيقـــة، ويبرد من $66°\,C$ إلى $50°\,C$ خلال دقيقتين ونصف. احسب:

أ) درجة حرارة الغرفة.

ب) الزمن اللازم لكي تنخفض درجـــة حـــرارة هـــذا الجســـم من $95°\,C$ إلى $50°\,C$.

الحـــل:

أ) نستخدم "قانون نيوتن للتبريد" (المعادلة: 18-16)، ونكتب:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = k(T - T_r) \qquad (1)$$

حيث T_r درجة حررة الغرفة.

ولكن:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = m\,c\,\frac{\Delta T}{\Delta t} \qquad (2)$$

وبالتعويض عن $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ من المعادلة (2) في المعادلـــة (1) نحصـــل على:

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{k}{m\,c}(T - T_r)$$

$$\therefore \qquad \frac{\Delta T}{\Delta t} = A\,(T - T_r) \qquad (3)$$

حيث A ثابت للجسم ويعتمد على خصائصه.

نستخدم المعادلة (3) لعمليّة التبريد الأولى فنكتب:

$$\frac{(95-90)}{30} = A(95-T_r)$$

$$\therefore \qquad 0.167 = A(95-T_r) \qquad (4)$$

وبالنسبة لعمليّة التبريد الثانية نحصل على:

$$\frac{66-50}{150} = A\,(66-T_r)$$

$$0.107 = A(66-T_r) \qquad (5)$$

ونقسم المعادلة (4) على المعادلة (5) لنحصل على:

$$\frac{167}{107} = \frac{95-T_r}{66-T_r}$$

$$\therefore \quad 1.56\,(66-T_r) = 95-T_r$$

$$\therefore \qquad T_r = 14.3\ ^\circ C$$

ب) باستخدام المعادلة (3) نحصل على:

$$\Delta t = \frac{\Delta T}{A(T-T_r)} \qquad (6)$$

ويُمكن حساب مقدار A بالتعويض عن T_r في المعادلة (4) لنحصل على:

$$A = 2.07 \times 10^{-3}$$

$$\therefore \qquad \Delta t = \frac{45}{2.07 \times 10^{-3} \times 80.7}$$

$$= 2697.4\ \ s$$

$$= 4.5\ \ min.$$

8-18) التمـدّد الحراري:

تتمدّد مُعظم الجوامد والسوائل عند تسخينها، وذلك لأنّ "الطّاقة الحرارية" التي تكتسبها الجزيئات تجعل سعة اهتزازاتها أكبر ممّا يؤدّي إلى تباعد الجزيئات بعضها عن بعض ممّا يزيد من متوسّط المسافة بين كلّ جزيء والجزيئات المجاورة. أمّا عند تبريد الجامد أو السائل فإنّ طاقة الجزيئات تنخفض ممّا يؤدّي إلى انكماش المادة نظراً لتقارب الجزيئات نتيجة لقوى التجاذب العاملة بينها

1-8-18) التـمـدّد الحراري للجوامـد:

ويُعرّف "معامل التمدّد الطّولي" لمادة ما ، ، بأنّه: "الزيادة في الطّول لوحدة الأطوال من المادة الناجمة عن ارتفاع درجة الحرارة بمقدار درجة واحدة"

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

حيث L_0 الطّول الأصلي للمعدن، الزيادة في طول المعدن، ΔT الارتفاع في درجة الحرارة.

أمّا وحدة "معامل التمدّد الطّولي" فهي K^{-1}

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

أمّا "معامل التمدّد الحجمي" لمادة ما ، ، فيُعرّف بأنّه: "الزيادة في الحجم لوحدة الحجوم من المادة عند ارتفاع درجة الحرارة بمقدار درجة واحدة".

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

حيث V_0 حجم المادة الأصلي، ΔV الزيادة في الحجم الناتجة عن ارتفاع درجة الحرارة بمقدار ΔT.

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

مـــثال (18 – 9):

أسطوانة قطرها 1.0cm عند درجة حرارة قدْرها $30°C$، والمطلوب أنْ تمرّ هذه الأسطوانة في ثُقب داخل صفيحة فولاذيّة قطرها 0.9997cm. فإذا تمّ تسخين الصفيحة، فاحسب درجة الحرارة التـــي ينبغـــي أنْ تبلغهـــا الصفيحة حتى يُمْكن للأسطوانة أن تمـــرّ عبر الثقب علماً بأنّ معامـــل التمدّد الطّولـــي للفولاذ هو $1.2 \times 10^{-5}\ K^{-1}$.

الحـــل:

من المعروف أنّ الصفيحة الفولاذيّة ستتمدّد بنفس الطريقة سواءً كان بها ثُقب أو لم يكن، وبالتالي فإنّ الثقب سيتمدّد بنفس الطريقة التي ستمدّد بها دائرة من الفولاذ قطرها يساوي قطر الثقب. إنّ هذا يعني أنّه يلـــزم لقطـــر الثقب أنّ يتمدّد بمقدار ΔL لكي تتمكّن الأسطوانة من المرور عبْره حيث:

$$\Delta L = 1.0 - 0.9997$$
$$= 0.0003\ cm$$

وباستخدام المعادلة (18-27) نكتب:

$$\Delta T = \frac{\Delta L}{\alpha L_o}$$
$$= \frac{0.0003}{1.25 \times 10^{-5} \times 0.9997}$$
$$= 24°C$$

وهذا يعني أنّه يجب أنْ تسخن الصفيحة إلى درجة حرارة نهائيّة T_f حيث:

$$T_f = T_o + \Delta T$$
$$\therefore \quad T_f = 30 + 24$$
$$= 54\ °C$$