الفصل الخامس
Chapter Five

الثيرموداينميك (الحركية الحرارية)
Thermodynamics

Problem (5.1) مسألة

استخدم المعادلة المناسبة لإيجاد القراءة المقابلة على مقياس فهرنهايت لدرجة الحرارة (25 °C). ثم استخدم المعادلة العامة لحسابها مرة أخرى. قارن النتيجتين.

***Solution* الحل**

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

$$= \frac{9}{5}(25) + 32 = 77°F$$

ومن جديد ووفقاً للمعادلة العامة :

$$\frac{T_C - 0}{100} = \frac{T_F - 32}{180}$$

$$\frac{25 - 0}{100} = \frac{TF - 32}{180}$$

$$(25)(180) = 100FT - (32)(100)$$

$$100TF = 4500 + 3200 = 7700$$

$$T_F = 77°F$$

Problem (5.2) مسألة

إذا أخبرك الطبيب أن درجة حرارة جسمك هي (310) درجة فوق الصفر المطلق. ألا يجب عليك أن تقلق ؟ وضح إجابتك.

***Solution* الحل**

من الواضح أن الطبيب في هذه المسألة استخدم مقياس كلفن وليس المقياس المئوي المتعارف عليه، والذي تكون بموجبه درجة حرارة الجسم حوالي الأربعين مئوية.

إذن :

$$TC = T - 273$$

$$= 310 - 273 = 37°C$$

وتكون كذلك على مقياس فهرنهايت مساوية إلى :

$$T_F = 98.6°F$$

أي إنه على مقياس سليزيوس تكون درجة حرارة الجسم طبيعية تماماً ($T=37^oC$)، تأكد من صحة الرقم (98.6^oF) على مقياس فهرنهايت.

Problem (5.3) مسألة

A- وصلت درجة حرارة إحدى القرى في سيبيريا إلى ($-71\ ^oC$)، ماذا تقابل هذه القراءة على مقياس فهرنهايت ؟ احسبها.

B- أعلى درجة حرارة سجلت رسمياً في وادي الموت بكاليفورنيا في الولايات المتحدة الأمريكية ($134\ ^oF$) ماذا تقابل هذه القراءة على مقياس سليزيوس ؟ احسبها.

Solution الحل

-A

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

$$= \frac{9}{5}(-71) + 32 = -96°F$$

-B

$$T_C = \frac{5}{9}T_F - 17.8$$

$$= \frac{5}{9}(134) - 17.8 = 56.6°C$$

Problem (5.4) مسألة

سلك مصنوع من معدن النحاس *Copper* طوله الأصلي ($1.0\ m$)، ارتفعت درجة حرارته بمقدار درجة مطلقة واحدة، ليصبح طوله الجديد ($1.000019\ m$)، أوجد معامل التمدد الطولي (α_L) للنحاس.

Solution الحل

$$\alpha_L = \frac{\Delta_L}{L_1 \Delta T} = \frac{(0.000019\, m)}{(1.0\, m)(1°K)}$$

$$= (19 \times 10^{-6})K^{-1}$$

Problem (5.5) مسألة

قضيب مصنوع من النحاس *Copper* طوله الأصلي ($2.5\ m$)، عند درجة الحرارة (15 K)، سخن إلى درجة الحرارة ($35\ K$). أوجد الزيادة في طول السلك إذا كان معامل التمدد الطولي للنحاس المستخدم يساوي ($17.0 \times 10^{-6}\ K^{-1}$).

Solution الحل

$$\Delta_L = \alpha_L L_1 \Delta T$$

$$= (17.0 \times 10^{-6}\ K^{-1})(2.5\ m)(35 - 15)°\ K$$

$$= 8.5 \times 10^{-4}\ m$$

$$\Delta L = 0.85\ mm$$

Problem (5.6) مسألة

صفيحة مصنوعة من مادة الألومنيوم *Aluminum* عرضها ($30\ cm$) وطولها ($50\ cm$)، تعرضت لفرق في درجات الحرارة مقداره ($100^o\ K$)، أوجد التغير الحاصل في مساحة الصفيحة، إذا علمت أن معامل التمدد الطولي للألومنيوم يساوي ($23 \times 10^{-6}\ K^{-1}$).

Solution الحل

$$\Delta A = \alpha_A\ A_1\ \Delta T$$

$$\alpha_A = 2\alpha_L = (2 \times 23 \times 10^{-6}\ K^{-1})$$

$$\Delta T = 100°\ K$$

$$A_1 = (0.3 \times 0.5) = 0.15\ m^2 = 1500\ cm^2$$

$$\Delta A = (46 \times 10^{-6}\ K^{-1})(0.15\ m^2)(100^\circ\ K)$$

$$= 6.9 \times 10^{-4}\ m^2$$

$$= 6.9\ cm^2$$

مسألة ***Problem*** **(5.7)**

كمية من الزئبق *Mercury* حجمها $(0.1\ Liter)$ عند درجة الحرارة $(10^o\ C)$ ارتفعت درجة حرارته لتصبح $(35^o\ C)$، أوجد مقدار الحجم الجديد للزئبق، علماً بأن معامل التمدد الحجمي له يساوي $(18 \times 10^{-5}\ K^{-1})$.

الحل ***Solution***

$$1.0\ Liter = 1000\ cm^3$$

$$V_1 = 0.1\ Liter = 0.1 \times 1000 = 100\ cm^3$$

$$= 100 \times 10^{-6}\ m^3$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = [(273 + 35) - (273 + 10)]$$

$$= 25^\circ\ K$$

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T$$

$$= (1 \times 10^{-4}\ m^3)(18 \times 10^{-5}\ K^{-1})(25^\circ\ K)$$

$$= 4.5 \times 10^{-6}\ m^3$$

$$\Delta V = V_2 - V_1$$

$$V_2 = \Delta V + V_1 = (100 + 4.5) \times 10^{-6}\ m^3$$

Problem (5.8) مسألة

سلك مصنوع من مادة الفولاذ $Steel$ طوله $(130\ cm)$ وقطره $(1.1\ mm)$، تم تسخينه إلى درجة الحرارة $(830^o\ C)$ وثبت بقوة عند نهايته إلى جسمين متماسكين، ثم ترك السلك ليبرد حتى درجة الحرارة $(20^o\ C)$احسب قوة الشد الناتجة عن عملية التبريد في السلك. إذا علمت أن معامل التمدد الحراري الطولي للفولاذ يساوي $(11.0\times 10^{-6}\ K^{-1})$.

Solution الحل

إن مقدار تقلص طول السلك (ΔL) يمكن حسابه بالمعادلة :

$$\Delta L = \alpha_L L_1\ \Delta T$$

وذلك بفرض أن السلك ترك حراً.

$$\Delta L = (11\times 10^{-6}\ K^{-1})(1.3\ m)(810\ K)$$
$$= 1.16\times 10^{-2}\ m = 1.16\ cm$$

ومن الخصائص الميكانيكية للمواد الصلبة، نحن نعلم أن معامل يونغ $Youngs$ $modulus$ يربط كلاً من الانفعال $Strain$ والإجهاد $Stress$ على النحو التالي :

$$E = (F/A)/(\Delta L/L_1)$$

$$F = AE\frac{\Delta L}{L_1}$$

حيث : (E) هو معامل يونغ للفولاذ ويساوي $(200\times 10^9\ N/m^2)$

(A) مساحة مقطع السلك.

$$A = \prod r^2 = \pi\left(\frac{d}{2}\right)^2 = \left(\frac{1.1\times 10^{-3}}{2}\right)^2 \pi$$

$$\vec{F} = \left(200\times 10^9\,\frac{N}{m}\right)\frac{22}{7}\left(\frac{1.1\times 10^{-3}\,m}{2}\right)^2 \frac{\left(1.16\times 10^{-2}\,m\right)}{1.3\,m}$$

$$= 1700\,N$$

مسألة Problem (5.9)

احسب كمية الحرارة التي نحتاجها كي نرفع درجة حرارة كتلة من الثلج مقدارها $(720\ g)$ من درجة الحرارة $(-10^o\ C)$ إلى الحالة السائلة عند درجة الحرارة $(15^o\ C)$

الحل Solution

يقسم الحل إلى ثلاثة مراحل، وذلك حسب مراحل تحول الثلج إلى سائل.

1- رفع درجة الحرارة من $(-10^o\ C)$ إلى $(0^o\ C)$.

$$Q_1 = C_{ice}\ m\,(T_f - T_i)$$

$$= (2220J/kg.^\circ K)(0.720\,kg)[0^\circ - (-10^\circ C)]$$

$$= 15.98\ KJ$$

2- وهذه المرحلة سيتم فيها ذوبان الثلج إلى أن يصبح سائلاً، وهي تحدث دون تغير في درجة الحرارة. حيث تبقى مساوية للصفر.

$$Q_2 = L_F\ m = (333\ kJ/kg)(0.720\ kg)$$

$$= 239.8\ kJ$$

3- المرحلة الثالثة انتقال السائل من $(0^o\,C)$ إلى $(15^o\,C)$.

$$Q_3 = L_{liq}\; m = (T_f - T_i)$$

$$= (4190\; J/kg.^\circ K)(0.720\; kg)(15^\circ C - 0^\circ C)$$

$$= 45.25\; kJ$$

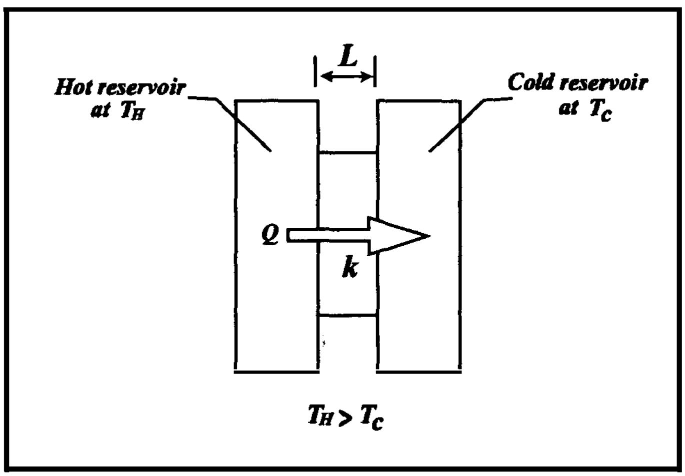
$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$= 300\; kJ$$

مسألة (5.10) *Problem*

يتضمن الشكل (5.1) شريحة معدنية طولها $(25.0\; cm)$ ومساحة مقطعها $(90\; cm^2)$، ودرجة الحرارة العالية $(C\;125^o)$ بينما المنخفضة $(10^o\,C)$، استمرت عملية الانتقال الحراري حتى حالة الاستقرار. أوجد معدل التدفق الحراري (H)، خلال الشريحة المعدنية.

الحل Solution



شكل (5.1)، المسألة (5.10)

باستخدام المعادلة التي تعبر عن التدفق الحراري نجد أن :

$$H = \frac{Q}{t} = kA\frac{(T_H - T_C)}{L}$$

(k) للنحاس تساوي : $(401\ W/m.k)$

$$H = (401 W/m.k)(90 \times 10^{-4} m^2)(125 - 10)C°/(0.25)m$$

$$= 1.66 \times 10^3\ J/S$$

مسألة *Problem* (5.11)

عند أي درجة حرارة يعطي كل من الزوجين الآتيين نفس القراءة :

1- الفهرنهايت والسليزيوس.　　2- الفهرنهايت والكلفن.　　3- السليزيوس والكلفن.

الحل *Solution*

لحل مثل هذا السؤال يستحسن استخدام المعادلة :

$$\frac{T_C - 0}{100} = \frac{T_F - 32}{180} = \frac{T_K - 213}{100}$$

1- الفهرنهايت والسليزيوس :

$$\frac{T_C - 0}{100} = \frac{T_F - 32}{180}$$

ولكن $T_C = T_F = T$ ، إذن :

$$\frac{(T - 0)}{100} = \frac{(T - 32)}{180}$$

$$180\ T = 100\ T - 3200$$

$$180\ T - 100\ T - 3200$$

$$80\ T = -3200$$

$$T = \frac{-3200}{80} = -40°.$$

وهي تساوي كلاً من (T_C , T_F) أي أن كلا المقياسين الفهرنهايت والسليزيوس يعطيان نفس القراءة عند درجة الحرارة (-40°).

-2
$$\frac{T_F - 32}{180} = \frac{T_K - 273}{100}$$

بحل هذه المعادلة نجد أن :

$$T_F = T_K = 575^\circ$$

-3
$$\frac{T_C - 0}{100} = \frac{T_K - 273}{100}$$

أيضاً بحل هذه المعادلة نجد أن :
$$T_C = T_K - 273$$

أي أن درجتي الحرارة على هذين المقياسين لا يمكن أن تتساوى أبداً.

مسألة (5.12) *Problem*

قضيب من الفولاذ طوله عند درجة الحرارة ($32^o\ C$) يساوي تماماً ($20\ cm$)، أوجد التغير في طول القضيب إذا ارتفعت درجة حرارته إلى ($50^o\ C$)، ($\alpha = 11 \times 10^{-6} / C^\circ$).

الحل Solution

مقدار التغير الطولي (ΔL) يمكن إيجاده من الصيغة الرياضية العامة :

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

$$\alpha = 11 \times 10^{-6} / C^\circ$$

$$\Delta T = (50^\circ C - 30^\circ C) = 20^\circ C$$

$$L = 20 \times 10^{-2}\, m$$

$$\Delta L = (20 \times 10^{-2}\, m)(11 \times 10^{-6} / C^\circ)(20^\circ C)$$
$$= 4.4 \times 10^{-5}\, m\ .$$

Problem (5.13) مسألة

فتحة دائرية الشكل في صفيحة من الألومنيوم، يبلغ قطرها $(2.725\ cm)$ عند درجة الحرارة $(0^o\ C)$ أوجد قطر هذه الفتحة عندما ترتفع درجة حرارة الصفيحة إلى $(100^o C)$، $(\alpha = 23 \times 10^{-6} / C^\circ)$.

***Solution* الحل**

التغير في قطر الفتحة الدائرية هنا يعتبر تغيراً في الطول وعلى ذلك :

افرض أن قطر الفتحة الدائرية عند درجة الحرارة الابتدائية (D_0) .

يكون قطر الفتحة الدائرية عند درجة الحرارة النهائية (D) .

أما العلاقة الرياضية التي تربط بينهما فهي :

$$D = D_0(1 + \alpha_{AL} \Delta T)$$

$$D_0 = 2.725 \times 10^{-2}\, m.$$

$$\alpha_{AL} = 23 \times 10^{-6} / C^\circ$$

$$\Delta T = (100^\circ C - 0^\circ C) = 100^\circ C$$

$$D = 2.725 \times 10^{-2}[1 + (23 \times 10^{-6} / C^\circ)(100^\circ C)]$$
$$= 2.731 \times 10^{-2}\, m$$

Problem (5.14) مسألة

كرة من معدن الألومنيوم نصف قطرها $(10\ cm)$، أوجد التغير في حجمها إذا تغيرت حرارتها من $(0^o\ C)$ إلى $(100^o C)$، $(\alpha = 23 \times 10^{-6} / C^\circ)$.

Solution **الحل**

التغير في حجم الكرة في هذه المسألة وما شابهها يعطى بالعلاقة الرياضية :

$$\Delta V = 3\,\alpha\, V\, \Delta T$$

حيث إنّ : (V) هو الحجم الأصلي عند درجة الحرارة الابتدائية.

معامل التمدد الطولي للألومنيوم : $\alpha = 23 \times 10^{-6} / C°$

$$\Delta T = (100°\,C - 0°\,C) = 100°\,C$$

$$V = \left(\frac{4}{3}\right)\pi\, R^3$$

حيث (R) هو نصف قطر الكرة ويساوي $(10 \times 10^{-2}\ m)$

$$\Delta V = 3\alpha\left(\frac{4}{3}\pi\, R^3\right)\Delta T$$

$$= 3(23 \times 10^{-6}\,/°C)\left[\ \frac{4}{3}\left(\frac{22}{7}\right)(10^{-2}\ m)^3\right]100°\,C$$

$$= 29 \times 10^{-6}\ m^3$$

Problem (5.15) مسألة

وعاء من الألومنيوم سعته ($100\ cm^3$)، تم ملؤه بمادة الغليسرين عند درجة الحرارة ($22^o\,C$) ثم ارتفعت درجة حرارة الوعاء مع الغليسرين إلى ($28^o\,C$) هل سيسكب جزء من الغليسرين خارج الوعاء ؟ وضح ذلك. علماً بأن معامل التمدد الحجمي للغليسرين هو : $5.1 \times 10^{-4}\,/°C$

Solution الحل

لحل هذه المسألة دعنا نبين ما يلي :

V_c : هو حجم الوعاء الابتدائي.

α_{AL} : معامل التمدد الطولي للألومنيوم.

ΔT : هو التغير الحاصل في درجة الحرارة، وعليه فإن التغير الحاصل في حجم الوعاء هو :

$$\Delta V_c = 3\,\alpha_{AL}\,V_c\,\Delta T \qquad ...(1)$$

β : هو معامل التمدد الحجمي لمادة الغليسيرين، وعليه فإن التغير الحاصل في حجم الغليسيرين هو :

$$\Delta V_g = \beta\,V_c\,\Delta T \qquad ...(2)$$

نلاحظ من المعادلتين (1) و (2) أن حجم الوعاء الابتدائي (V_c). وعليه فإن حجم الغليسيرين المنسكب يساوي :

$$\begin{aligned}\Delta V_g - \Delta V_c &= \beta V_c\,\Delta T - 3\,\alpha_{AL}\,V_c\,\Delta T \\ &= V_c\,\Delta T(\beta - 3\,\alpha_{AL}) \\ &= (100\times10^{-6}\ m^3)(60^{\circ})[(5.1\times10^{-4}\,/C^{\circ}) - 3(23\times10^{-6}\,/\,C^{\circ})] \\ &= 0.26\times10^{-6}\ m^3 \\ &= 0.26\ cm^3\end{aligned}$$

مسألة (5.16) *Problem*

مساحة قطعة معدنية على شكل مستطيل ($A = ab$)، معامل التمدد الطولي لها (α)، ارتفعت درجة الحرارة بمقدار (ΔT) بحيث ازداد طول الأضلاع بالمقادير (Δa) ، (Δb) على التوالي. أثبت أن التغير في المساحة :

$$\Delta A = 2\,\alpha\, A\, \Delta T$$

وذلك إذا أهملنا المقدار :

$$\frac{\Delta\alpha\, \Delta b}{ab}$$

الحل *Solution*

المساحة الابتدائية للقطعة المعدنية : $A_o = ab$

المساحة النهائية للقطعة المعدنية : $A_f = (a+\Delta a)(b+\Delta b)$

أما التغير الحاصل في المسافة فهو :

$$A_f - A_o = \Delta A$$

$$= [(a+\Delta a)(b+\Delta b) - ab] = 2\alpha\, \Delta T\, ab$$

$$= [ab + a\Delta b + b\Delta a + \Delta b\Delta a - ab] = 2\alpha\, \Delta T\, ab$$

$$= [a\,\Delta b + b\Delta a + \Delta b\Delta a] = 2\alpha\, \Delta T\, ab$$

$$\Delta A = 2\alpha\, ab\, \Delta T$$

وذلك أنّ : $\frac{\Delta a\, \Delta b}{ab}$ مقدار صغير جداً يمكن إهماله. ليصبح الطرف الأيمن :

$$= \frac{a\,\Delta b}{ab} + \frac{b\,\Delta a}{ab} + \frac{\Delta a\,\Delta b}{ab}$$

$$\Delta A = \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta a}{a} + 0 = 2\alpha\, A\, \Delta T$$

حيث إنَّ : $\frac{\Delta b}{b}$ هو التغير الحاصل في الضلع (b)

$\frac{\Delta a}{a}$ هو التغير الحاصل في الضلع (a)

أي أنَّ التغير الحاصل هو عبارة عن مجموع التغير الطولي لكلا الضلعين (a, b)

مسألة (5.17) *Problem*

تعرف الكثافة (أو الكتلة الحجمية) بأنها الكتلة مقسومة على الحجم. إذا كان كل من الحجم والكثافة يعتمدان على درجة الحرارة، أثبت أن التغير البسيط الحاصل في الكثافة $(\Delta\rho)$ والمصاحب لتغير في درجة الحرارة مقداره (ΔT) يمكن التعبير عنه بالعلاقة :

$$\Delta\rho = -\beta\,\rho\,\Delta T$$

حيث (β) هي معامل التمدد الحجمي. ماذا تعني الإشارة السالبة ؟ وضح ذلك.

الحل *Solution*

إذا كان التغير في الكثافة صغيراً جداً فإننا نستطيع أن نعبّر عن هذا التغير بالشكل التقريبي الآتي :

$$\Delta\rho = \left(\frac{d\rho}{dt}\right)\Delta T$$

$$= \frac{d}{dT}\left(\frac{m}{V}\right)\Delta T$$

$$= \left[\frac{(0)(V) - m\left(\frac{dV}{dt}\right)}{V^2}\right]\Delta T$$

$$\Delta\rho = \left(\frac{-m}{V^2}\right)\left(\frac{dV}{dt}\right)\Delta T \qquad \ldots (1)$$

ولكن : $\Delta V = \beta V \Delta T$ وكذلك لمقدار صغير من التغير :

$$dV = \beta V\, dT$$

$$\frac{dV}{dt} = \beta V \qquad \ldots (2)$$

وكذلك من المعروف لدينا أنّ الكثافة تساوي إلى :

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad \ldots (3)$$

نعوض الآن كلاً من (3) و (2) في (1) لنحصل على :

$$\Delta\rho = -(\beta V)\Delta T\,\frac{\rho}{V}$$

$$\boxed{\Delta\rho = -\beta\rho\,\Delta T}$$

Problem (5.18) مسألة

ما هي أقل كمية من الحرارة مقدرة بالجول نحتاجها لكي نذيب $(130\ g)$ من الفضة درجة حرارتها الابتدائية $(15^o\ C)$، إذا كانت الحرارة النوعية للفضة $(236\ J/kg.K^o)$. علماً بأن حرارة التحول للفضة تساوي $(105\times10^3\ J/kg)$.

Solution الحل

من المعلوم أنّ درجة حرارة ذوبان الفضة هي : $1235\ K$

وعليه فإن درجة حرارة الفضة بدايةً يجب أن ترتفع إلى : $15.0 + 273 = 288\ K$

ثم إلى درجة الذوبان أي $1235\ K$ وهكذا نجد أن كمية الحرارة التي نحتاجها هي :

$$Q_1 = cm\,(T_f - T_i)$$

$$= (236\ J/kg.K)(0.130\ kg)(1235\ K - 288\ K)$$

$$= 2.91\times10^4\ J$$

ولكن الفضة عند نقطة ذوبانها تحتاج إلى كمية من الطاقة الحرارية تساوي :

$Q_2 = m\,L_F$

حيث : (L_F) هي حرارة التحول للفضة ونستطيع معرفتها من الجداول وتساوي ($105 \times 10^3\ J/kg$) وعليه :

$$Q_2 = (0.130\ kg)(105 \times 10^3\ J/kg)$$

$$= 1.36 \times 10^4\ J$$

وهكذا نجد أن كمية الحرارة الكلية المطلوبة لإذابة هذا المقدار من الفضة هي :

$$Q = Q1 + Q2 = 2.91 \times 10^4\ J + 1.36 \times 10^4\ J$$

$$= 4.27 \times 10^4\ J$$

مسألة (5.19) *Problem*

سخان كهربائي صغير قدرته ($200\ W$)، غمر في وعاء من الماء يحوي على ($100\ g$) لتحضير القهوة السريعة. أوجد الزمن اللازم لتسخين الكمية المذكورة من الماء وذلك من درجة الحرارة ($23^o\ C$) وصولاً إلى درجة الغليان، إذا كانت السعة الحرارية النوعية للماء هي : ($4190\ J/kg.K^o$).

الحل *Solution*

الحرارة الابتدائية لكمية الماء هي : $T_i = 23^o\,C$

الحرارة النهائية لكمية الماء هي : $T_f = 100^o C$

نحن نعلم أن كمية الطاقة الحرارية التي يكتسبها الماء يمكن إيجادها من المعادلة :

$$Q_1 = cm\,(T_f - T_i)$$

$$= (4190\ J/kg.\,K)(0.1\ kg)(100°\,C - 23°\,C)$$

$$= 3226.3\ J.$$

كمية الطاقة الحرارية هذه يجب أن تساوي كمية القدرة (p) التي استهلكها السخان مضروباً بالزمن (t) الذي استغرقته العملية، أي أنّ :

$$Q = \mathrm{p}\, t$$

$$t = \frac{Q}{\mathrm{p}} = \frac{3226.3\ J}{200\ W} = 161.2\ s$$

مسألة (5.20) *Problem*

سيارة كتلتها ($1500\ kg$)، تسير بسرعة ($90\ \ km/h$)، تم إيقافها باستخدام تسارع تباطئي بدون انزلاق خلال مسافة قدرها ($80\ m$) أوجد معدل الطاقة الحرارية التي طبقت خلال عملية إيقاف السيارة.

الحل *Solution*

يمكننا استخدام معادلات الحركة المنتظمة على خط مستقيم بتسارع ثابت لتحديد مقدار التسارع التباطئي، أي أنّ :

$$\upsilon_f^2 - \upsilon_i^2 = -\upsilon_i^2 = 2ad$$

حيث : (d) هي الإزاحة التي قطعتها السيارة قبل الوقوف مباشرة، (υ_f) السرعة النهائية للسيارة وبطبيعة الحال تساوي الصفر. إذن :

$$-a = \frac{\upsilon_i^2}{2d} = \frac{(25\ m/s)^2}{2(80\ m)} = -3.9\ \ m/s^2$$

حيث حوّلنا سرعة السيارة إلى وحدات (m/s).

كما يمكننا أيضاً استخدام نفس القوانين لإيجاد الزمن الذي استغرقته السيارة للوقوف :

$$\upsilon_f = \upsilon_i + at$$

$$t = \frac{\upsilon_f + \upsilon_i}{a} = \frac{0-(25\ m/s)}{-(3.9\ \ m/s^2)}$$

$$= 6.4\ s$$

الطاقة الحركية المفقودة هنا تساوي الطاقة الحرارية المفقودة أي أنها تساوي :

$$\frac{1}{2}m\upsilon_i^2 = \frac{1}{2}\left[(1500\ kg)(25\ m/s)^2\right] = 468750\ \ J$$

أما معدل الطاقة الحرارية فهو :

$$\alpha = \frac{\text{الطاقة المفقودة}}{\text{الزمن}} = \frac{468750\ J}{6.4\ s} = 73242.2\,W$$

حيث (α) : تمثل المعدل الزمني للطاقة الحرارية المطبقة.

مسألة **(5.21)** ***Problem***

1- تبلغ درجة حرارة سطح الشمس حوالي $(6000\ K)$، ما هي درجة الحرارة الموافقة لها على مقياس فهرنهايت ؟ أوجد مقدارها.

2- إذا كانت درجة الحرارة الطبيعية لجسم الإنسان على مقياس فهرنهايت تساوي $(98.6°\ F)$، ما هي درجة الحرارة الموافقة لها على مقياس سليزيوس ؟ أوجد مقدارها.

3- إذا كانت درجة غليان الأوكسجين تساوي $(-183°\ C)$، ما هي القراءة المقابلة لها على مقياس فهرنهايت ؟ أوجد مقدارها.

الحل ***Solution***

باستخدام القانون العام :

$$\frac{T_c - 0}{100} = \frac{T_F - 32}{180} = \frac{T_K - 273}{100}$$

يمكننا التحويل من نظام قياس إلى آخر.

$$\frac{T_F - 32}{180} = \frac{6000K - 273K}{100}$$ -1

$$T_F = 10000°\ F$$

$$\frac{T_c - 0}{100} = \frac{98.6°\ F - 32°\ F}{180}$$ -2

$$T_c = 37°\ C$$

$$\frac{-183°\ C - 0}{100} = \frac{T_F - 32°\ F}{180}$$ -3

$$T_F = -297°\ F$$

مسألة (5.22) ***Problem***

ارتفعت درجة حرارة باطن الأرض في معدلها من ($300\ K$) إلى ($3000\ K$) بعد أن تشكلت الأرض مباشرة وذلك نتيجة للإشعاع الصادر من العناصر المشعة في داخلها. بافتراض أنّ معامل التمدد الحجمي للأرض يساوي ($3 \times 10^{-5}\ K^{-1}$)، أوجد الزيادة التي طرأت على نصف قطر الأرض باعتبارها كروية الشكل.

الحل ***Solution***

لحساب الزيادة التي حصلت على نصف قطر الأرض نستخدم قانون التمدد الطولي :

$$\Delta R = R\,\alpha\,\Delta T$$

حيث (R) هو نصف قطر الأرض عند درجة الحرارة ($300\ K$)، (α) هو معامل التمدد الطولي ويساوي إلى :

$$3\,\alpha = \beta$$

$$\alpha = \frac{1}{3}\beta$$

إذن :

$$\Delta R = (6.4\times 10^{6}\ m)(1\times 10^{-5}/K)(3000\ K - 300\ K)$$
$$= 172800\ m = 172.8\ km$$

مسألة (5.23) *Problem*

إذا كانت كمية الطاقة الحرارية اللازمة لرفع درجة حرارة كتلة من الماء مقدارها (m) من درجة الحرارة ($68°\ F$) إلى ($78°\ F$) بشكل أو بآخر تحولت إلى طاقة حركية للكمية المذكورة من الماء. أوجد سرعة حركة الماء.

الحل *Solution*

من المعلوم لدينا أن كمية الطاقة الحرارية للماء في هذه الحالة هي :

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

حيث إن (C) الحرارة النوعية للماء، إذن :

$$Q = (4180\ J/kg.°C)(mkg)(12.2°C)$$
$$K.E = \frac{1}{2}Em\upsilon^{2}$$

إذن :

$$Q = K.E$$
$$\frac{1}{2}m\upsilon^{2} = (4180\ J/kg.°C)(m\ kg)(12.2°C)$$
$$\upsilon = \sqrt{2(4180\ J/kg.°C)(12.2°C)}$$
$$= 215\ m/s$$

مسألة (5.24) *Problem*

لوح من الثلج درجة حرارته تساوي درجة حرارة ذوبان الثلج، تبلغ كتلته ($50\ kg$)، انزلق على مستوى أفقي مسافة مقدارها ($28.3\ m$) وبسرعة ابتدائية مقدارها ($5.38\ m/s$) حتى توقف عند نهاية المسافة المذكورة. أوجد مقدار الثلج الذي ذاب نتيجة لاحتكاك اللوح الثلجي مع المستوى الأفقي.

الحل Solution

إنَّ مقدار الطاقة الحركية التي تحولت إلى طاقة حرارية تساوي :

$$K.E = \frac{1}{2} m \upsilon_i^2$$

حيث إن : (m) تساوي $(50\ kg)$ و (υ_i) تساوي $(5.38\ m/s)$، إذن :

$$K.E = \frac{1}{2}(50\ kg)(5.39)^2 = 7.24 \times 10^2\ \ J$$

$$= E = m\, L_F$$

حيث (L_F) هي طاقة التحول للثلج وتساوي $(333\ J/g)$ إذن :

$$m = \frac{E}{L_F} = \frac{7.24 \times 10^2\ J}{333\ J\ /\ g}$$

$$= 2.17\ g$$

مسألة (5.25) Problem

أوجد كتلة البخار عند درجة الحرارة $(100^o\ C)$ التي يجب مزجها مع كمية من الثلج كتلتها $(150\ g)$ عند درجة حرارة الذوبان في وعاء معزول حرارياً حتى نتمكن من الحصول على ماء سائل عند درجة الحرارة $(50^o\ C)$.

الحل Solution

افرض أن كتلة البخار (m_s) وكتلة الثلج (m_i) إذن :

$$L_F\ m_c + C_w\ m_c (T_f - 0°\ C) = L_s m_s + C_w m_s\ (100°\ C - T_f)$$

حيث إنَّ $(T_f = 50^o\ C)$، إذن :

$$m_s = \frac{L_F m_c + C_w m_c (T_f - 0° C)}{L_s + C_w (100° C - T_f)}$$

$$= \frac{(79.7\ cal/g)(150\ g) + (1\ cal/g.°C)(150\ g)(50°\ C - 0°\ C)}{539\ cal/g + (1\ cal/g.°C)(100°\ C - 50°\ C)}$$

$$= 22\ g$$