

## الفصل الأول

## ( Thermal Properties of Matter ) الخواص الحرارية للمادة

(( 1 ))

## 1-1 درجة الحرارة ( Temperature )

## 2-1 مقاييس درجة الحرارة ( Temperature Scales )

1-2-1 النظام (المقياس) المنوي ( Celsius Scale )

2-2-1 النظام (المقياس) فهرنهايتي ( Fahrenheit Scale )

3-2-1 النظام (المقياس) المطلق (الكلفن) ( Kelvin Scale )

## 3-1 التمدد الحراري ( Thermal Expansion )

1-3-1 التمدد الطولي للأجسام ( Longitudinal Expansion )

2-3-1 التمدد السطحي للأجسام ( Surface Expansion )

3-3-1 التمدد الحجمي للأجسام ( Volume Expansion )

## 4-1 انتقال الحرارة ( Heat Transfer )

1-4-1 التوصيل ( Conduction )

2-4-1 الحمل ( Convection )

3-4-1 الإشعاع ( Radiation )

## 5-1 الطاقة الحرارية والسعة الحرارية النوعية

## ( Heat Energy and Specific Heat Capacity )

1-5-1 الطاقة الحرارية ( Heat Energy )

2-5-1 السعة الحرارية النوعية ( Specific Heat Capacity )

## 6-1 قانون الغاز العام ( General Gas Law )

1-6-1 الحالات الخاصة لقانون الغاز العام

## ( Special Cases for General Gas Law )

1-1-6-1 قانون شارل ( Charles Law )

2-1-6-1 قانون غاي - لوساك ( Gay - Lussacs Law )

3-1-6-1 قانون بويل ( Boyles Law )

## الفصل الأول

### الخواص الحرارية للمادة ( Thermal Properties of Matter )

#### 1-1 درجة الحرارة ( Temperature )

لقد وجدت الوسائل العلمية لقياس درجة حرارة الأجسام ومدى سخونتها معتمدين على أن معظم السوائل والمواد تتمدد عند تسخينها ، وموادين الحرارة متباعدة منها الكحولي والزئبقي والمزدوج الحراري ، ولقياس درجة الحرارة يوجد ثلاثة أنظمة ( مقاييس ) .

#### 2-1 مقاييس درجة الحرارة ( Temperature Scales )

##### 1-2-1 النظام ( المقياس ) المئوي ( Celsius Scale ) :

حيث يعتمد درجة تجمد الماء (  $0^{\circ}C$  ) ودرجة غليانه (  $100^{\circ}C$  ) .

##### 2-2-1 النظام ( المقياس ) الفهرنهايتي ( Fahrenheit Scale ) :

حيث يعتمد درجة تجمد الماء (  $32^{\circ}F$  ) ودرجة غليانه (  $212^{\circ}F$  ) .

##### 3-2-1 النظام ( المقياس ) المطلق ( الكلفن ) ( Kelvin Scale ) :

حيث يعتمد درجة تجمد الماء (  $273K$  ) ودرجة غليانه (  $373K$  ) .

ويمكن ربط الأنظمة الثلاثة بمعادلة تحويلية كالتالي :

$$\frac{K - 273}{100} = \frac{^{\circ}C}{100} = \frac{^{\circ}F - 32}{180} \dots (1-1)$$

مثال 1 - 1 : تحويل درجات الحرارة الآتية إلى الأنظمة المتقابلة لها :

1-  $(25^{\circ}C)$  .

2-  $(41^{\circ}F)$  .

3-  $(227K)$  .

الحل : -

1-  $(25^{\circ}C)$

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

$$\frac{25}{100} = \frac{F - 32}{180} \Rightarrow F = 77^{\circ}F$$

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

$$\frac{25}{100} = \frac{K - 273}{100} \Rightarrow K = 298K$$

2-  $(41^{\circ}F)$

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

$$\frac{41 - 32}{180} = \frac{^{\circ}C}{100} \Rightarrow ^{\circ}C = 5^{\circ}C$$

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

$$\frac{41 - 32}{180} = \frac{K - 273}{100} \Rightarrow K = 278K$$

3-  $(227K)$

$$227K = -46^{\circ}C = -50.8^{\circ}F$$

## 3-1 التمدد الحراري ( Thermal Expansion )

عندما تسخن مادة تحدث تأثير ضغط ثابت فإنها تتمدد نتيجة إزدياد المسافات بين ذراتها ومن ثم تزداد أبعادها بشكل يتناسب مع إرتفاع درجة حرارتها ، ويتناسب تمدد الأجسام غالباً بشكل خطي مع زيادة درجة الحرارة ، وهناك أنواع من التمدد الحراري .

## 1-3-1 التمدد الطولي للأجسام ( Longitudinal Expansion ) :

عندما يتعرض جسم صلب لإرتفاع في درجة الحرارة ( $\Delta T$ ) فإن الزيادة في طوله ( $\Delta L$ ) تتناسب طردياً إلى حد كبير جداً مع طوله الأصلي ( $L_0$ ) مضروباً في ( $\Delta T$ ) أي أن :

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T \dots (2-1)$$

حيث يعرف ثابت التناسب ( $\alpha$ ) بإسم معامل التمدد الطولي ووحداته هي مقلوب درجة الحرارة وتعتمد قيمته على طبيعة المادة ويمكن كتابته على هيئة معادلة كما يلي :

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} \dots (3-1)$$

## 2-3-1 التمدد السطحي للأجسام ( Surface Expansion ) :

من الواضح أن سطح أي جسم سيتمدد إذا إرتفعت درجة حرارته لأن كلا من طوله وعرضه سيتمددان أي أن :

$$\Delta A = \gamma A_0 \Delta T \dots (4-1)$$

حيث يعرف ثابت التناسب ( $\gamma$ ) بإسم معامل التمدد السطحي ووحداته هي مقلوب درجة الحرارة ويكتب على هيئة معادلة كما يلي :

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_0 \cdot \Delta T} \dots (5-1)$$

## 3-3-1 التمدد الحجمي للأجسام ( Volume Expansion ) :

مثلاً يتمدد طول وسط أي جسم فإن حجمه يتمدد أيضاً وفق العلاقة :

$$\Delta V = \beta V_0 \Delta T \dots (6-1)$$

حيث يعرف ثابت التناسيب ( $\beta$ ) باسم معامل التمدد الحجمي ووحداته هي مقلوب درجة الحرارة ويكتب على هيئة

معادلة كما يلي :

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta T} \dots (7-1)$$

**مثال 1 - 2 :** قضيب من النحاس طوله ( $80\text{cm}$ ) عند ( $15^\circ\text{C}$ ) . ما هي الزيادة في الطول عندما ترتفع درجة

الحرارة إلى ( $35^\circ\text{C}$ ) ، إذا علمت أن معامل التمدد الطولي للنحاس هو ( $1.7 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) ؟

**الحل :**

من المعادلة ( 3 - 1 ) :

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T} \dots (3-1)$$

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$$

$$\Delta L = (1.7 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1})(0.80\text{m})(35 - 15^\circ\text{C})$$

$$\therefore \Delta L = 2.7 \times 10^{-4} \text{ m}$$

مثال 1 - 3 : إثبت أن كثافة سائل أو صلب يتغير مع درجة الحرارة طبقاً للعلاقة  $\Delta\rho = -\rho\beta\Delta T$  ؟

الحل :

إعتبر كتلة ( $m$ ) من سائل أو صلب بحجم ابتدائي مقداره ( $V_0$ ) ، وكثافة ابتدائية مقدارها ( $\rho_0$ ) ،

$$\text{حيث } (\rho_0 = \frac{m}{V_0})$$

بعد تسخين مقداره ( $\Delta T$ ) يصبح الحجم :

$$\Delta V = V - V_0 \Rightarrow V = \Delta V + V_0$$

$$\therefore \Delta V = \beta V_0 \Delta T \dots (6-1)$$

$$\therefore V = \beta V_0 \Delta T + V_0 \Rightarrow V = V_0 (\beta \Delta T + 1)$$

وتصبح الكثافة :

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{V_0 (\beta \Delta T + 1)}$$

لكن :

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \Rightarrow m = \rho_0 V_0$$

$$\therefore \rho = \frac{\rho_0 V_0}{V_0 (\beta \Delta T + 1)} \Rightarrow \rho = \frac{\rho_0}{(\beta \Delta T + 1)}$$

$$\therefore \rho (\beta \Delta T + 1) = \rho_0 \Rightarrow \rho \beta \Delta T + \rho = \rho_0$$

$$\Rightarrow \rho - \rho_0 = -\rho \beta \Delta T$$

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

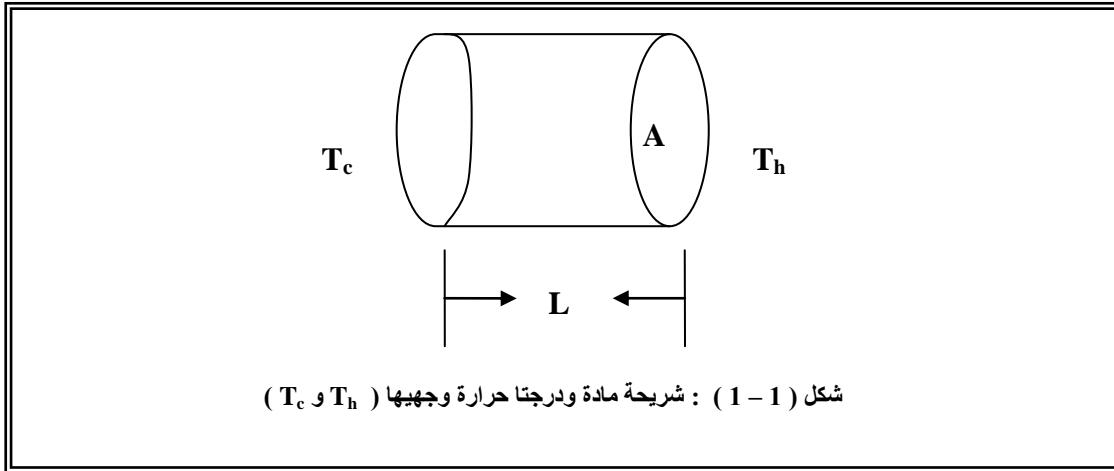
## 4-1 إنتقال الحرارة ( Heat Transfer )

تنتقل الحرارة من جسم لآخر أو في نفس الجسم بثلاثة طرق مختلفة وهي :

## 1-4-1 التوصيل ( Conduction ) :

يحدث عندما تنتقل الطاقة الحرارية خلال مادة نتيجة التصادمات بين الألكترونات الحرة والأيونات والذرات والجزيئات المكونة للمادة ، وكلما كانت المادة أكثر سخونة كان متوسط طاقة حركة ذراتها أعلى وعندما يوجد فرق في درجة الحرارة بين مواد متصلة ببعضها فإن الذرات ذات الطاقة الأعلى في المادة الأدفأ تنقل الطاقة إلى الذرات ذات الطاقة الأقل في المادة الأبرد عندما يحدث تصادمات ذرية بين المادتين وبذلك تنساب الحرارة من الساخن إلى البارد .

إعتبر شريحة من مادة ما كالمبينة في الشكل ( 1 - 1 ) سمكها ( L ) ومساحة مقطعها ( A ) ودرجتا حرارة وجهيها (  $T_h$  و  $T_c$  ) على التوالي ومن ثم فإن فرق درجة الحرارة عبر الشريحة هو (  $\Delta T = T_h - T_c$  ) ، الكمية (  $\frac{\Delta T}{L}$  ) تسمى تدرج درجات الحرارة وهي معدل تغير درجة الحرارة مع المسافة .



إن كمية الحرارة (  $\Delta Q$  ) المنتقلة من الوجه (  $T_h$  ) إلى الوجه (  $T_c$  ) في زمن (  $\Delta t$  ) تعطى بالمعادلة الآتية :

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = k_T A \frac{\Delta T}{L} \text{ J / sec(Watt)...(8-1)}$$

حيث أن (  $k_T$  ) يعتمد على مادة الشريحة ويسمى بمعامل التوصيل الحراري ( Thermal Conductivity Coefficient ) ووحدته هي (  $W / m.K$  ) .

## 2-4-1 الحمل ( Convection ) :

إذا تم تسخين سائل في الوعاء فإن درجة حرارة طبقاته السفلى ترتفع بسرعة فتزداد الطاقة الحركية للجزيئات هناك وتتباعث عن بعضها وتقل كثافة السائل مما يؤدي لارتفاع هذه الطبقات الأعلى وتحل محلها طبقات السائل الباردة التي كانت فوقها لتتكرر العملية بهذا الشكل ويسخن السائل كله .

يلاحظ بأن طريقة التوصيل لا يتضمن حركة الجزيئات لمسافات كبيرة إذ تنتقل الحرارة من جزيء إلى آخر بالتصادم أما في الحمل فإن جزيئات المادة الناقلة للحرارة تتحرك من مكان إلى آخر حاملة معها الحرارة ، ويلاحظ أيضا أن السوائل والغازات ( الموائع ) فقط هي التي تنقل الحرارة بالحمل لأن جزيئاتها تستطيع أن تتحرك لمسافات كبيرة .

## 3-4-1 الإشعاع ( Radiation ) :

نعلم جميعا أن الشمس تدفئ الأرض ، والشمس في الحقيقة هي مصدرنا الأساسي للحرارة ، ويمكننا أن نرى بسهولة أن الحرارة التي تصل إلينا من الشمس لا تنتقل إلينا بطريقة التوصيل أو الحمل ومن ثم فإن هذه الحالة لانتقال الحرارة خلال الفراغ تسمى بالإشعاع ، وهي وسيلة انتقال الطاقة الكهرومغناطيسية الإشعاعية خلال الفراغ .

**مثال 1 - 4 :** لوح حديدي سمكه ( 2cm ) ومساحة مقطعه (  $5000\text{cm}^2$  ) فإذا كانت درجة حرارة أحد سطحيه (  $150^\circ\text{C}$  ) والسطح الآخر (  $140^\circ\text{C}$  ) ، ماهي كمية الحرارة التي تمر خلال اللوح في الثانية ، إذا علمت أن معامل التوصيل الحراري للحديد هو (  $k_T = 80\text{W} / \text{m.K}$  ) ؟

**الحل :**

من المعادلة ( 1 - 8 ) :

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = k_T A \frac{\Delta T}{L} \text{ J / sec(Watt)...(8-1)}$$

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = (80)(0.50\text{m}^2) \frac{((150 + 273) - (140 + 273))}{(0.02\text{m})}$$

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = (40) \frac{(423 - 413)}{(0.02\text{m})}$$

$$\therefore \frac{\Delta Q}{\Delta t} = 20000\text{J / sec(Watt)}$$



## 5-1 الطاقة الحرارية والسعة الحرارية النوعية ( Heat Energy and Specific Heat Capacity )

## 1-5-1 الطاقة الحرارية ( Heat Energy )

تعرف الطاقة الحرارية بكونها الطاقة المرتبطة بالحركة العشوائية للجسيمات ( الإلكترونات ، أيونات ، ذرات ، جزيئات ) المكونة لنظام ما ، وتقاس الطاقة الحرارية بوحدة الجول ( Joule ) وتوجد وحدات أخرى وهي السعرة ( Caloric ) وتساوي (  $1 \text{ cal} = 4.184 \text{ J}$  ) .

## 2-5-1 السعة الحرارية النوعية ( Specific Heat Capacity )

يمكن تعريف السعة الحرارية النوعية لمادة بأنها كمية الحرارة اللازمة لتغيير درجة حرارة وحدة الكتلة من المادة بمقدار درجة واحدة ويرمز للسعة الحرارية النوعية بالرمز (  $c$  ) ، ويمكن كتابة تعريفه في صورة معادلة ، حيث عندما تناسب كمية من الحرارة (  $\Delta Q$  ) إلى كتلة من المادة قدرها (  $m$  ) فإن درجة حرارتها سوف تزداد بمقدار (  $\Delta T$  ) :

$$c = \frac{\Delta Q}{m\Delta T} \text{ J / kg.K (J / kg.}^\circ\text{C)...(9-1)}$$

تستخدم أيضا الوحدة (  $\text{cal / g.}^\circ\text{C}$  ) حيث (  $1 \text{ cal / g.}^\circ\text{C} = 4184 \text{ J / kg.}^\circ\text{C}$  ) ، علما أن لكل مادة قيمة مميزة للحرارة النوعية تختلف قليلا باختلاف درجة الحرارة ، بالنسبة للماء (  $1 \text{ cal / g.}^\circ\text{C} = 4184 \text{ J / kg.}^\circ\text{C}$  ) .

**مثال 1 - 5 :** ما مقدار الحرارة التي يفقدها (  $25 \text{ g}$  ) من الألمنيوم أثناء تبريده من (  $100^\circ\text{C}$  ) إلى (  $20^\circ\text{C}$  ) ،

علما أن السعة الحرارية النوعية للألمنيوم هي (  $880 \text{ J / kg.}^\circ\text{C}$  ) ؟

**الحل :**

من المعادلة ( 9 - 1 ) :

$$c = \frac{\Delta Q}{m\Delta T} \text{ J / kg.K (J / kg.}^\circ\text{C)...(9-1)}$$

$$\Delta Q = cm\Delta T = (880)(0.025\text{kg})(20 - 100)$$

$$\therefore \Delta Q = -1760 \text{ J}$$

## 6-1 قانون الغاز العام ( General Gas Law )

الغاز المثالي هو غاز افتراضي جزيئاته أحادية الذرة وجميع ذراته قليل جدا والروابط فيما بين جزيئاته معدومة ،  
والغاز المثالي خصائص وهي :

1- الضغط ( P ) . Pressure .

2- درجة الحرارة المطلقة ( T ) . Absolute Temperature .

3- الحجم ( V ) . Volume .

وعند دراسة العلاقة بين هذه الخصائص الأساسية للغاز وجد أن :

$$PV = nRT \dots (10-1)$$

حيث أن :

P : ضغط الغاز .

V : حجم الغاز .

n : عدد مولات الغاز ( المول ) ، حيث إذا كان الحجم يحتوي على ( m ) كيلوغرامات من غاز

وزنه الجزيئي ( M ) ، فإن  $n = \frac{m}{M}$  .

R : ثابت الغاز العام (  $R = 8314 J / kmole.K$  ) .

T : درجة الحرارة المطلقة .

في الحالة التي تتضمن تغير الظروف من (  $P_1, V_1, T_1$  ) إلى (  $P_2, V_2, T_2$  ) عند ثبوت ( n ) تكون قانون  
الغاز بالصيغة الآتية :

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \dots (11-1)$$

وفي حالات خاصة لقانون الغاز عند دراسة خاصيتين مع بعضهما البعض مع تثبيت الخاصية الثالثة  
نحصل على ثلاث قوانين .

## 1-6-1 الحالات الخاصة لقانون الغاز العام ( Special Cases for General Gas Law )

1-1-6-1 قانون شارل ( Charles Law ) :

وذلك عند دراسة حجم الغاز المصور وعلاقته بدرجة الحرارة المطلقة عند ثبوت ضغطه نحصل على :

$$\frac{V}{T} = \text{cons tan } t \dots (12-1)$$

أي أن قانون شارل ينص على أنه ( يتناسب حجم الغاز المصور تناسباً طردياً مع درجة حرارته المطلقة عند ثبوت ضغطه ) .

2-1-6-1 قانون غاي - لوساك ( Gay - Lussacs Law ) :

وذلك عند دراسة ضغط الغاز المصور وعلاقته بدرجة الحرارة المطلقة عند ثبوت حجمه نحصل على :

$$\frac{P}{T} = \text{cons tan } t \dots (13-1)$$

أي أن قانون غاي - لوساك ينص على أنه ( يتناسب ضغط الغاز المصور تناسباً طردياً مع درجة حرارته المطلقة عند ثبوت حجمه ) .

3-1-6-1 قانون بويل ( Boyles Law ) :

وذلك عند دراسة ضغط الغاز المصور وعلاقته بحجمه عند ثبوت درجة حرارته المطلقة نحصل على :

$$PV = \text{cons tan } t \dots (14-1)$$

أي أن قانون بويل ينص على أنه ( يتناسب ضغط الغاز المصور تناسباً عكسياً مع حجمه عند ثبوت درجة حرارته المطلقة ) .

ملاحظة : الظروف القياسية لدرجة الحرارة والضغط Standard Conditions for Temperature and Pressure

(S.T.P) تعرف بأنها :

$$P = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}, T = 273 \text{ K} = 0^\circ \text{ C}$$

**مثال 1 - 6 :** أحسب الحجم الذي تشغله كتلة من غاز الأوكسجين مقدارها ( 4g ) ، عند درجة حرارة وضغط قياسي

( S.T.P ) ، إذا علمت أن الوزن الجزيئي للأوكسجين يساوي ( 32kg / kmole ) ، وثابت الغاز العام

يساوي (  $R = 8314J / kmole.K$  ) ؟

**الحل :**

من المعادلة ( 10 - 1 ) :

$$PV = nRT \dots (10-1)$$

$$n = \frac{m}{M}$$

$$PV = \frac{m}{M} RT$$

$$\Rightarrow V = \frac{mRT}{PM}$$

$$V = \frac{(4 \times 10^{-3} \text{ kg})(8314)(273)}{(1.013 \times 10^5)(32)}$$

$$\therefore V = 2.8 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

مثال 1 - 7 : غاز محصور حجمه  $(40\text{cm}^3)$  عند  $(23^\circ\text{C})$  ، إحتسب حجمه عند  $(-73^\circ\text{C})$  وتحدث نفس الضغط ؟

الحل : -

قبل حل المثال يجب تحويل وحدات درجة الحرارة إلى النظام المطلق ، ووحدات الحجم إلى المتر المكعب :

$$V_1 = 40\text{cm}^3 = 40 \times 10^{-6} \text{m}^3, V_2 = ?$$

$$T_1 = 23^\circ\text{C} = 296\text{K}, T_2 = -73^\circ\text{C} = 200\text{K}$$

من المعادلة ( 1 - 12 ) :

$$\frac{V}{T} = \text{const} \dots (12-1)$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{(40 \times 10^{-6})}{(296)} = \frac{V_2}{(200)}$$

$$\Rightarrow V_2 = \frac{(40 \times 10^{-6})(200)}{(296)}$$

$$\therefore V_2 = 27 \times 10^{-6} \text{m}^3$$

مثال 1 - 8 : إرتفعت درجة حرارة مئبىس يحوى غاز محصور من  $(-78^{\circ} F)$  إلى  $(127^{\circ} C)$  .

فأصبح ضغطه  $(30 atm)$  ، احسب ضغطه الأولي عند نفس الحجم ؟

الحل :

قبل حل المثال يجب تحويل وحدات درجة الحرارة إلى

النظام المطلق .  $P_1 = ?$

$$P_2 = 30 atm$$

$$T_1 = -78^{\circ} F = 212^{\circ} K$$

$$T_2 = 127^{\circ} C = 400 K$$

من المعادلة ( 1 - 13 ) :

$$\frac{P}{T} = \text{const} \dots (13-1)$$

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$\frac{P_1}{(212)} = \frac{(30)}{(400)}$$

$$\Rightarrow P_1 = \frac{(30)(212)}{(400)}$$

$$\therefore P_1 = 15.9 atm$$

مثال 1 - 9 : كتلة معينة من غاز مثالي تشغل حجماً مقداره  $(4m^3)$  عند  $(758mmHg)$  .

احسب حجمها عند  $(635mmHg)$  إذا ظلت درجة الحرارة ثابتة ؟

الحل :

من المعادلة ( 1 - 14 ) :

$$PV = \text{const} \dots (14-1)$$

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

$$(758)(4) = (635).V_2$$

$$\Rightarrow V_2 = \frac{(758).(4)}{(635)}$$

$$\therefore V_2 = 4.77m^3$$

مسائل الفصل الأول  
الخواص الحرارية للمادة  
( Thermal Properties of Matter )  
(( 1 ))

س1 : حوّل درجات الحرارة الآتية إلى الأنظمة المتقابلة لها :

1-  $(20^{\circ}C)$  .

2-  $(40^{\circ}F)$  .

3-  $(200K)$  .

الإجابة:  $^{\circ}F = 68F, K = 293K$   $^{\circ}C = 4.4^{\circ}C, K = 277.4K$   $^{\circ}C = -73^{\circ}C, ^{\circ}F = -99.4^{\circ}F$

س2 : احسب الزيادة في حجم  $(100cm^3)$  من النحاس عندما ترتفع درجة حرارته من  $(10^{\circ}C)$  إلى  $(35^{\circ}C)$  ،

إذا علمت أن معامل التمدد الحجمي للنحاس هو  $(0.00018^{\circ}C^{-1})$  ؟

الإجابة:  $\Delta V = 0.45cm^3$

س3 : لوح فلزي سمكه  $(4mm)$  والفرق بين درجتي حرارة سطحيه هو  $(32K)$  ، يوصل  $(232.44J/sec)$

خلال مساحة  $(5cm^2)$  . احسب معامل التوصيل الحراري لهذا اللوح ؟

الإجابة:  $k_T = 58.11W / m.K$

س4 : كتلة معينة من غاز مثالي تشغل  $(38mL)$  عند  $(20^{\circ}C)$  إذا ظل ضغطها ثابتاً ،

فما هو الحجم الذي تشغله عند درجة حرارة  $(45^{\circ}C)$  ؟

الإجابة:  $V = 41.24mL$

س5 : كتلة معينة من غاز الميثان تشغل حجماً قدره  $(370mL)$  عند  $(16^{\circ}C)$  و  $(150kPa)$  ،

احسب حجمها عند  $(21^{\circ}C)$  و  $(420kPa)$  ؟

الإجابة:  $V = 134.4mL$