

مثال (٢٠١)

احسب عدد مولات الهيدروجين الموجودة في (18 L) من الغاز عند ضغط قدره (70 cm. Hg) ودرجة حرارة (27 °C).
 علماً بأن : (R = 0.0821 L. atm/K . mol)

الحل

بتطبيق القانون العام للغازات المثالية :

$$PV = n R T$$

$$n = \frac{P V}{R T}$$

$$n = \frac{\left(\frac{70 \text{ cm Hg}}{76 \text{ cm Hg atm}^{-1}} \right) \times 18 \text{ L}}{(0.0821 \text{ L atm mol}^{-1} \text{K}^{-1}) \times (27 + 273) \text{ K}}$$

$$n = 0.673 \text{ mol}$$

مثال (٢٠٢)

احسب وزن (10 L) من غاز النيتروجين في درجة حرارة (27 °C) وضغط (74 cm Hg) (علماً بأن (R = 0.0821 L. atm mol⁻¹ K⁻¹)).

الحل

بتطبيق القانون العام للغازات المثالية :

$$PV = n R T$$

$$PV = \left(\frac{m_{N_2}}{Mw_{N_2}} \right) R T$$

$$m_{N_2} = \frac{P V Mw_{N_2}}{R T}$$

$$m_{N_2} = \frac{\left(\frac{74 \text{ cm Hg}}{76 \text{ cm Hg}^{-1}} \right) \times 10 \text{ L} \times (2 \times 14) \text{ g mol}^{-1}}{0.0821 \text{ L . atm mol}^{-1} \text{K}^{-1} \times (27 + 273) \text{ K}}$$

$$m_{N_2} = 11.07 \text{ g}$$

مثال (٢٠٣)

خليط غازي يحتوي على (0.5 g) من النيتروجين، (1.0 g) من الأكسجين موجود في أسطوانة حجمها (15 L) في درجة حرارة (25 °C). احسب :

(أ) عدد مولات كل غاز
 (ب) الضغط الجزئي لكل غاز.
 (ج) الضغط الكلي لخليط الغازات.

الحل

(أ) عدد مولات كل غاز :

$$n_{N_2} = \frac{m_{N_2}}{Mw_{N_2}} = \frac{0.50 \text{ g}}{(2 \times 14) \text{ g mol}^{-1}} = 0.01786 \text{ mol}$$

$$n_{O_2} = \frac{m_{O_2}}{Mw_{O_2}} = \frac{1.0 \text{ g}}{(2 \times 16) \text{ g mol}^{-1}} = 0.03125 \text{ mol}$$

$$n_t = n_{N_2} + n_{O_2} = 0.01786 + 0.03125 = 0.04911 \text{ mol}$$

(ب) نحسب ضغط كل غاز على حدة بالتطبيق في القانون العام للغازات المثالية :

$$n_{N_2} = 0.01786 \text{ mol}, n_{O_2} = 0.03125 \text{ mol}, n_t = 0.04911 \text{ mol}$$

a)

$$P_{N_2} V = n_{N_2} R T$$

$$P_{N_2} = \frac{n_{N_2} R T}{V} = \frac{0.01786 \text{ mol} \times 0.0821 \text{ L. atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \times (25 + 273) \text{ K}}{15 \text{ L}}$$

$$P_{N_2} = 0.029131 \text{ atm}$$

b)

$$P_{N_2} V = n_{N_2} R T$$

$$P_{O_2} = \frac{n_{O_2} R T}{V} = \frac{0.03125 \text{ mol} \times 0.0821 \text{ L. atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \times (25 + 273) \text{ K}}{15 \text{ L}}$$

$$P_{O_2} = 0.0510 \text{ atm}$$

(ج) الضغط الكلي لخليط الغازات :

$$P_{N_2} = 0.029131 \text{ atm}, \quad P_{O_2} = 0.0510 \text{ atm}$$

$$P_t = P_{N_2} + P_{O_2}$$

$$P_t = 0.029131 + 0.0510$$

$$P_t = 0.080 \text{ atm}$$

مثال (٢٠٤)

احسب معدل الجذر التربيعي لسرعة جزيئات الأوكسجين (O_2) في درجة حرارة ($27^\circ C$). علماً بأن ($R = 8.314 \times 10^7 \text{ erg/mol K}$) حيث ($1 \text{ erg} = 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^2/\text{s}^2$) علماً بأن ($A_{wO} = 16$)

الحل

بتطبيق القانون :

$$\sqrt{\bar{u}^2} = u_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3RT}{M_w}}$$

حيث M_w هو الوزن الجزيئي للغاز وتعتمد وحدته على وحدة ثابت الغازات (R). فإذا كانت وحدة ($R = 8.314 \text{ J/mol K} = 8.314 \text{ kg m}^2/\text{s}^2 \text{ mol K}$) فإن وحدة الوزن الجزيئي (M_w) تكون kg/mol لأن الثابت R به وحدة kg . وفي المسألة فإن قيمة R المعطاة هي :

$$(8.314 \times 10^7 \text{ erg/mol K} = 8.314 \times 10^7 \text{ g} \cdot \text{cm}^2/\text{s}^2 \text{ mol K})$$

فإن وحدة الوزن الجزيئي في القانون ($u_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3RT}{M_w}}$) هي الوحدة المعروفة والمتبعة دائماً (g/mol). وبالتالي فإن وحدة السرعة تكون cm/s :

$$u_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3RT}{Mw}}$$

$$u_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3 \times (8.314 \times 10^7 \text{ g cm}^2 \text{ s}^{-2} \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}) \times (27 + 273) \text{ K}}{(2 \times 16) \text{ g mol}^{-1}}}$$

$$u_{\text{rms}} = \sqrt{2338312500 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-2}}$$

$$u_{\text{rms}} = 48356.1 \text{ cm s}^{-1}$$

$$u_{\text{rms}} = 483.56 \text{ m s}^{-1}$$

مثال (٢٠٥)

احسب معدل الجذر التربيعي لسرعة الهيدروجين في الظروف القياسية.

علماً بأن $(R = 8.314 \text{ J/mol K})$ و $(A_w H = 1)$.

علماً بأن : كثافة الزئبق $d_{\text{Hg}} = 13.59 \text{ g/cm}^3$

الحل

$$\left(u_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3RT}{Mw}} \right) \text{ بتطبيق العلاقة}$$

حيث أن Mw هو الوزن الجزيئي ويكون بوحدة (kg/mol) واختيار هذه الوحدة

بسبب أن قيمة الثابت (R) المعطاة هي :

$$(R = 8.314 \text{ J/mol K} = 8.314 \text{ kg m}^2/\text{s}^2 \text{ mol K})$$

$$u_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3RT}{Mw}}$$

$$u_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3 \times (8.314 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}) \times (0 + 273) \text{ K}}{\left(\frac{2 \times 1}{1000}\right) \text{ kg mol}^{-1}}}$$

$$u_{\text{rms}} = \sqrt{3404583 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}}$$

$$u_{\text{rms}} = 1845.15 \text{ m s}^{-1}$$

طريقة حل أخرى

يمكن التعويض عن قيمة (RT) في العلاقة $\left(u_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3RT}{M_w}}\right)$ بالقيمة (PV) وبالتالي تصبح العلاقة :

$$u_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3PV}{M_w}}$$

ولكن المشكلة تكمن في معرفة الوحدات الصحيحة لقيم P و V من أجل التعويض بها في العلاقة للحصول على وحدة للسرعة تساوي cm/s أو m/s.

§ حجم الغاز في الظروف القياسية (الحجم المولاري) :

$$V_m = 22.4 \text{ L} = 22400 \text{ cm}^3$$

§ والضغط في الظروف القياسية :

$$P = 1 \text{ atm}$$

$$P = 76 \text{ cm Hg}$$

$$\therefore P = h \cdot d \cdot g$$

$$\Rightarrow P = (76 \text{ cm} \times 13.59 \text{ g cm}^{-3} \times 981 \text{ cm s}^{-2})$$

$$P = 1013216.04 \text{ g/cm s}^2$$

$$P = 1013216.04 \text{ dyne/cm}$$

وبالتالي نعوض بقيمة الوزن الجزيئي بالوحدة (g/mol) :

$$P = 1013216.04 \text{ g cm}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

$$u_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3PV}{M_w}}$$

$$u_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3 \times (1013216.04 \text{ g cm}^{-1} \text{ s}^{-2}) \times (22400 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1})}{2 \text{ g mol}^{-1}}}$$

$$u_{\text{rms}} = 184510.3 \text{ cm /s}$$

$$u_{\text{rms}} = 184.510 \text{ m /s}$$

(587)

الفصل الثاني : خواص الغازات

إعداد د/عمر بن عبد الله الهزازي

مثال (٢٠٦)

احسب معدل الجذر التربيعي لسرعة النيتروجين (N_2) في درجة حرارة ($27^\circ C$) وضغط (70 cm Hg). حيث :

$$(R = 8.314 \text{ J/mol K} = 8.314 \text{ kg m}^2/\text{s}^2)$$

$$(8.314 \times 10^7 \text{ erg/ mol K} = 8.314 \times 10^7 \text{ g cm}^2/\text{s}^2)$$

علماً بأن ($A_{wN} = 14$)

الحل

يمكن حساب الجذر التربيعي لمتوسط (معدل) سرعة النيتروجين بإحدى العلاقتين التاليتين :

$$u_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3RT}{M_w}}$$

$$u_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3PV}{M_w}}$$

وبتطبيق العلاقة :

$$u_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3RT}{M_w}}$$

$$u_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3 \times (8.314 \times 10^7 \text{ g cm}^2 \text{ s}^{-2} \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}) \times (27 + 273) \text{ K}}{(2 \times 14) \text{ g mol}^{-1}}}$$

$$u_{\text{rms}} = 51694.85 \text{ cm/s}$$

$$u_{\text{rms}} = 516.95 \text{ m/s}$$

وإذا عوضنا بقيمة ($R = 8.314 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$) فإن الوزن الجزيئي يعبر عنه بوحدة (kg mol^{-1}) :

(587)

$$u_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3RT}{Mw}}$$

$$u_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3 \times (8.314 \text{ kJ m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}) \times (27 + 273) \text{ K}}{\left(\frac{2 \times 14}{1000}\right) \text{ kg mol}^{-1}}}$$

$$u_{\text{rms}} = 516.95 \text{ m/s}$$

طريقة أخرى للحل :

ويمكن حل المسألة بالقانون :

$$P = 70 \times 13.59 \times 980.5 = 932749.65 \text{ g cm}^2 \text{ s}^{-2}$$

$$V = \frac{n R T}{P}$$

$$V = \frac{1 \text{ mol} \times (0.0821 \text{ L.atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1}) \times (27 + 273) \text{ K}}{\left(\frac{70}{76}\right) \text{ atm}}$$

$$V = 26.7411 \text{ L} = 26741.1 \text{ cm}^3$$

$$\Rightarrow u_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3PV}{Mw}}$$

$$u_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3 \times (932749.65 \text{ g cm}^2 \text{ s}^{-2}) \times 26741.1 \text{ cm}^3}{(2 \times 14)}}$$

$$u_{\text{rms}} = 51695.6 \text{ cm/s}^2$$

$$u_{\text{rms}} = 516.956 \text{ m/s}^2$$

مثال (٢٠٧)

احسب وزن :

(أ) جزيء واحد من غاز الأكسجين (O_2)

(ب) جزيء واحد من غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2)

علماً بأن الكتل الذرية : ($\text{O} = 16, \text{C} = 12$).

وعدد أفوجادرو ($N_A = 6.023 \times 10^{23}$)

الحل

$$Mw_{O_2} = 2 \times 16 = 32 \text{ g/mol}$$

$$Mw_{CO_2} = (12) + (2 \times 16) = 44 \text{ g/mol}$$

$$m_{O_2} = \frac{Mw_{O_2}}{N_A} = \frac{32 \text{ g mol}^{-1}}{6.023 \times 10^{23} \text{ molecules mol}^{-1}} = 5.320 \times 10^{-23} \text{ g molecule}^{-1}$$

$$m_{CO_2} = \frac{Mw_{CO_2}}{N_A} = \frac{44 \text{ g mol}^{-1}}{6.023 \times 10^{23} \text{ molecules mol}^{-1}} = 7.305 \times 10^{-23} \text{ g molecule}^{-1}$$

مثال (٢٠٨)

إذا كانت سرعة جزيئات غاز الأكسجين (O_2) تساوي ($4.25 \times 10^4 \text{ cm/s}$) عند درجة صفر مئوية فكم ستكون سرعة جزيئات غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) عند نفس الدرجة الحرارية.
(علماً بأن الكتل الذرية : $O = 16, C = 12$)

الحل

عند نفس درجة الحرارة فإن سرعة انتشار غازين تخضع لقانون جراهام للانتشار:

$$\frac{u_{O_2}}{u_{CO_2}} = \sqrt{\frac{Mw_{CO_2}}{Mw_{O_2}}}$$

$$\frac{4.25 \times 10^4}{u_{CO_2}} = \sqrt{\frac{44}{32}}$$

$$u_{CO_2} = \frac{4.25 \times 10^4}{\sqrt{\frac{44}{32}}}$$

$$u_{CO_2} = 3.62 \times 10^4 \text{ c ms}^{-1}$$

مثال (٢٠٩)

إذا علمت أن سرعة جزيئات غاز الأكسجين عند درجة الصفر المئوي هي ($3.62 \times 10^4 \text{ cm/s}$) فاحسب سرعة جزيئات غاز الأكسجين عند درجة حرارة (25°C).

الحل

من النظرية الحركية الجزيئية للغازات فإن الطاقة الحركية (KE) تتناسب مع درجة الحرارة لذلك :

$$(KE)_{273\text{ K}} \propto T_{273}$$

$$(KE)_{298\text{ K}} \propto T_{298}$$

$$(KE)_{273\text{ K}} = \frac{1}{2} m_{\text{O}_2} u_1^2$$

$$(KE)_{298\text{ K}} = \frac{1}{2} m_{\text{O}_2} u_2^2$$

$$\frac{(KE)_{273\text{ K}}}{(KE)_{298\text{ K}}} = \frac{1/2 m_{\text{O}_2} u_1^2}{1/2 m_{\text{O}_2} u_2^2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\Rightarrow \frac{u_1^2}{u_2^2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{u_1}{u_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

$$\frac{4.25 \times 10^4 \text{ cm s}^{-1}}{u_2} = \sqrt{\frac{273}{298}}$$

$$u_2 = \frac{4.25 \times 10^4 \text{ cm s}^{-1}}{\sqrt{\frac{273}{298}}}$$

$$u_2 = 4.440 \times 10^4 \text{ cm/s}$$

مثال (٢١٠)

احسب معدل مربع سرعة جزيئات النيون (Ne) عند درجة حرارة (25 °C) إلى تلك التي للأرجون (Ar) في نفس الدرجة الحرارية.

الحل

بتطبيق العلاقة :

$$\frac{u_{Ne}}{u_{Ar}} = \sqrt{\frac{Aw_{Ar}}{Aw_{Ne}}}$$

$$\left(\frac{u_{Ne}}{u_{Ar}}\right)^2 = \left(\sqrt{\frac{Aw_{Ar}}{Aw_{Ne}}}\right)^2$$

$$\frac{u_{Ne}^2}{u_{Ar}^2} = \frac{Aw_{Ar}}{Aw_{Ne}}$$

$$\frac{u_{Ne}^2}{u_{Ar}^2} = \frac{39.95}{20.18}$$

$$\frac{u_{Ne}^2}{u_{Ar}^2} = 1.980$$

مثال (٢١١)

أ) احسب معدل الطاقة الحركية (1 mol) من غاز مثالي عند درجة (25 °C).
 ب) احسب معدل الطاقة الحركية لجزيء واحد من هذا الغاز المثالي.

الحل

أ) باستخدام العلاقة :

$$KE = \frac{3}{2} n R T$$

$$KE = \frac{3}{2} \times 1 \text{ mol} \times (8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}) \times (298 \text{ K})$$

$$KE = 3716.360 \text{ J/mol}$$

$$KE = 3.720 \text{ kJ/mol}$$

ب) المعدل السابق للحركة (3716.360 J) لمول واحد من الغاز المثالي. والمول الواحد يحوي عدد أفوجادرو من جزيئات الغاز ($N = 6.023 \times 10^{23}$) وبالتالي فإن معدل الطاقة الحركية لجزيء واحد من الغاز المثالي :

$$K_{e_{\text{molecule}}} = \frac{KE_{\text{mole}}}{N_A}$$

$$K_{e_{\text{molecule}}} = \frac{3716.360}{6.023 \times 10^{23}}$$

$$K_{e_{\text{molecule}}} = 6.17 \times 10^{-21} \text{ Joule/molecule}$$

مثال (٢١٢)

احسب كثافة الغاز بوحدة (kg/m³) عند ضغط (10⁵ N/m²) عندما يكون الجذر التربيعي لسرعة جزيئاته هو (3 × 10² m/s).

الحل

من النظرية الحركية لجزيئات الغاز أمكن اشتقاق المعادلة التالية :

$$PV = \frac{1}{3} m N u^2$$

وتعرف هذه المعادلة بالمعادلة الحركية للغازات المثالية.

ويمكن كتابة التعبير الأخير لضغط الغاز بصورة بديلة، حيث (mN) هي الكتلة الكلية للغاز، (V) هي الحجم الكلي، وبذلك فإن الكثافة (d) تساوي (mN/V) وتصبح المعادلة كما يلي :

$$PV = \frac{1}{3} m N u^2$$

$$P = \frac{1}{3} \left(\frac{m N}{V} \right) u^2$$

$$P = \frac{1}{3} (d) u^2$$

$$d = \frac{3 P}{u^2}$$

ووحدة الضغط هنا هي :

(593)

الفصل الثاني : خواص الغازات

إعداد د/عمر بن عبد الله الهزاري

$$P = 1 \times 10^5 \text{ N m}^{-2}$$

$$P = 1 \times 10^5 (\text{kg m s}^{-2}) \text{ m}^{-2}$$

$$\Rightarrow P = 1 \times 10^5 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

وبالتالي لحساب الكثافة نعوض في العلاقة السابقة $\left(d = \frac{3P}{u^2}\right)$ باستخدام وحدات

الضغط $(\text{kg m}^{-1} \text{ s}^{-2})$:

$$d = \frac{3 \times (1 \times 10^5 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-2})}{(3 \times 10^2 \text{ m s}^{-1})^2}$$

$$d = \frac{3 \times (1 \times 10^5 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-2})}{(9 \times 10^4 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2})}$$

$$d = 3.33 \text{ kg/m}^3$$

مثال (٢١٣)

(100 g) من خليط من غازي النيتروجين والميثان يحتوي على (31.014 %) وزناً من النيتروجين ويشغل حجماً مقداره (0.99456) لتر عند ضغط محدد وفي درجة (150 °C). احسب الضغط الجزئي لكل غاز والضغط الكلي للخليط.

الحل

نحسب أولاً وزن غاز النيتروجين والميثان وفقاً لنسبتهما كما يلي :

$$m_{\text{N}_2} = \left(\frac{31.014\%}{100\%}\right) \times 100 \text{ g} = 31.014 \text{ g}$$

$$m_{\text{CH}_4} = \frac{100 - 31.014}{100} \times 100 \text{ g} = 68.986 \text{ g}$$

ومن ثم نحسب عدد المولات :

$$n_{\text{N}_2} = \frac{m}{M_w} = \frac{31.014}{2 \times 14} = 1.108 \text{ mol}$$

$$n_{\text{CH}_4} = \frac{m}{M_w} = \frac{68.986}{12 + 4} = 4.312 \text{ mol}$$

(593)

(594)

الفصل الثاني : خواص الغازات

إعداد د/عمر بن عبد الله الهزازي

وبتطبيق القانون العام للغازات المثالية يمكن حساب ضغط كل غاز على حدة كما يلي:

$$\therefore n_{N_2} = 1.108 \text{ mol}$$

$$P_{N_2} V = n_{N_2} R T$$

$$P_{N_2} = \frac{n_{N_2} R T}{V}$$

$$P_{N_2} = \frac{(1.108 \text{ mol}) \times (0.0821 \text{ L.atm mol}^{-1}\text{K}^{-1}) \times (150 + 273) \text{ K}}{0.99456 \text{ L}}$$

$$P_{N_2} = 38.69 \text{ atm}$$

ويحسب ضغط غاز الميثان بنفس الطريقة :

$$\therefore n_{CH_4} = 4.312 \text{ mol}$$

$$P_{CH_4} V = n_{CH_4} R T$$

$$P_{CH_4} = \frac{n_{CH_4} R T}{V}$$

$$P_{CH_4} = \frac{(4.312 \text{ mol}) \times (0.0821 \text{ L.atm mol}^{-1}\text{K}^{-1}) \times (150 + 273) \text{ K}}{0.99456 \text{ L}}$$

$$P_{CH_4} = 150.570 \text{ atm}$$

ولحساب الضغط الكلي للغاز في الوعاء فإنه يمكن إتباع إحدى طريقتين :

الطريقة الأولى :

بتطبيق قانون دالتون للضغوط الجزئية والذي ينص على أن الضغط الكلي للغازات في وعاء يساوي مجموع الضغوط الجزئية لتلك الغازات

$$P_{N_2} = 38.69 \text{ atm}$$

$$P_{CH_4} = 150.570 \text{ atm}$$

$$P_t = P_{N_2} + P_{CH_4}$$

$$P_t = 38.69 + 150.570$$

$$P_t = 189.260 \text{ atm}$$

(594)

الطريقة الثانية :

بتطبيق القانون العام للغازات المثالية باستخدام عدد المولات الكلي (n_t) :

$$\therefore n_{N_2} = 1.108 \text{ mol}$$

$$\therefore n_{CH_4} = 4.312 \text{ mol}$$

$$\therefore n_t = n_{N_2} + n_{CH_4}$$

$$n_t = 1.108 + 4.312$$

$$n_t = 5.42 \text{ mol}$$

وبتطبيق القانون العام للغازات المثالية :

$$n_t = 5.42 \text{ mol}$$

$$P_t V = n_t R T$$

$$P_t = \frac{n_t R T}{V}$$

$$P_t = \frac{(5.42 \text{ mol}) \times (0.0821 \text{ L. atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1}) \times (150 + 273) \text{ K}}{0.99456}$$

$$P_t = 189.260 \text{ atm}$$

مثال (٢١٤)

تم جمع غاز مثالي فوق الماء عند درجة حرارة (25 °C) مما تسبب في تشبعه ببخار الماء فإذا كان حجم الغاز (190 cm³) والضغط الكلي (740 mmHg) وإن الضغط الجزئي لبخار الماء في الخليط مساو للضغط البخاري للماء عند درجة حرارة (25 °C) ويساوي (24 mmHg) احسب حجم الغاز الجاف (dry gas) عند ضغط له يساوي (760 mmHg) فافرضاً أن بخار الماء والغاز مثاليا السلوك.

الحل

أولاً نحسب ضغط الغاز الجاف عندما كان الحجم ($V = 190 \text{ cm}^3$) من قانون دالتون للضغوط الجزئية :

(596)

الفصل الثاني : خواص الغازات

إعداد د/عمر بن عبد الله الهزاري

$$P_t = P_{\text{dry gas}} + P_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$P_{\text{dry gas}} = P_t - P_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$P_{\text{dry gas}} = 740 - 24$$

$$P_{\text{dry gas}} = 716 \text{ mmHg}$$

فإذا فرضنا أن ضغط هذا الغاز هو ($P_1 = 716 \text{ mmHg}$) والحجم ($V_1 = 190 \text{ cm}^3$). وبالتالي فإن ضغط الغاز في الحالة الثانية هو ($P_2 = 760 \text{ mmHg}$) عند حجم

(V_2)

ولحساب الحجم (V_2) نطبق قانون بويل :

$$P_1 = 736 \text{ mmHg}, \quad V_1 = 190 \text{ cm}^3$$

$$P_2 = 760 \text{ mmHg}, \quad V_2 = ?$$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$736 \text{ mmHg} \times 190 \text{ cm}^3 = 760 \text{ mmHg} \times V_2$$

$$V_2 = \frac{736 \text{ mmHg} \times 190 \text{ cm}^3}{760 \text{ mmHg}}$$

$$V_2 = 184 \text{ cm}^3$$

مثال (٢١٥)

خليط يتكون من (0.495 g) من الغاز (A) الذي وزنه الجزيئي (66 g/mol) و (0.182 g) من الغاز (B) والذي وزنه الجزيئي (45.5 g/mol). وإن الضغط الكلي لهما هو (76.2 cmHg). احسب الضغط الجزئي للغازين.

الحل

نوجد أولاً عدد المولات ومنه ونوجد الكسر المولي لكل غاز :

(596)

(597)

الفصل الثاني : خواص الغازات

إعداد د/عمر بن عبد الله الهزاري

$$n_A = \frac{m_A}{Mw_A} = \frac{0.495}{66} = 0.0075 \text{ mol}$$

$$n_B = \frac{m_B}{Mw_B} = \frac{0.182}{45.5} = 0.004 \text{ mol}$$

$$n_t = 0.0075 + 0.004 = 0.0115 \text{ mol}$$

$$X_A = \frac{n_A}{n_t} = \frac{0.0075}{0.0115} = 0.6520$$

$$X_B = \frac{n_B}{n_t} = \frac{0.004}{0.0115} = 0.3480$$

ولحساب الضغط الجزئي للغاز A نتبع العلاقة التالية :

$$P_A = X_A P_t$$

$$P_A = 0.6520 \times 76.2 \text{ cmHg}$$

$$P_A = 49.680$$

وبنفس القانون نحسب الضغط الجزئي للغاز B :

$$P_B = X_B P_t$$

$$P_B = 0.3480 \times 76.2 \text{ cmHg}$$

$$P_B = 26.520$$

وللتأكد من أن الضغوط الجزئية المحسوبة صحيحة فإننا نقوم بجمع هذه الضغوط :

$$P_A = 49.680$$

$$P_B = 26.520$$

$$P_t = P_A + P_B$$

$$P_t = 49.680 + 26.520$$

$$P_t = 76.2 \text{ cmHg}$$

ونلاحظ أن المجموع الكلي المحسوب يساوي الضغط الكلي الوارد في المسألة.

مثال (٢١٦)

تم استخدام الطريقة المشبعة لحساب الضغط البخاري للكوروبكرين

Chloropicrin (CCl_3NO_2) وكانت النتائج كما يلي :

| وزن السائل المتبخر | الضغط المستخدم | حجم الهواء | درجة الحرارة |
|--------------------|----------------|------------|--------------|
| 0.92 g | 731 mmHg | 2.151 L | 35 °C |

احسب الضغط البخاري للمادة.

(597)

علماً بأن الكتل الذرية (C = 12, Cl = 35.5, N = 14, O = 16) و (R = 0.0821 L. atm mol⁻¹ K⁻¹).

الحل

بتطبيق قانون دالتون للضغوط الجزئية :

$$P_{\text{CCl}_3\text{NO}_2} = X_{\text{CCl}_3\text{NO}_2} P_t$$

وبالتالي نحسب أولاً الكسر المولي (X_{CCl₃NO₂}) :

$$X_{\text{CCl}_3\text{NO}_2} = \frac{n_{\text{CCl}_3\text{NO}_2}}{n_{\text{CCl}_3\text{NO}_2} + n_{\text{air}}}$$

$$X_{\text{CCl}_3\text{NO}_2} = \frac{\left(\frac{m_{\text{CCl}_3\text{NO}_2}}{\text{Mw}_{\text{CCl}_3\text{NO}_2}} \right)}{\left(\frac{m_{\text{CCl}_3\text{NO}_2}}{\text{Mw}_{\text{CCl}_3\text{NO}_2}} \right) + \left(\frac{PV}{RT} \right)}$$

$$X_{\text{CCl}_3\text{NO}_2} = \frac{\left(\frac{0.92}{164.5} \right)}{\left(\frac{0.92}{164.5} \right) + \left(\frac{\frac{731}{760} \times 2.151V}{0.0821 \times (35 + 273)} \right)}$$

$$X_{\text{CCl}_3\text{NO}_2} = \frac{0.005593}{0.087410}$$

$$X_{\text{CCl}_3\text{NO}_2} = 0.0640$$

وبالتالي يمكن حساب الضغط الجزئي للغاز كما يلي :

$$X_{\text{CCl}_3\text{NO}_2} = 0.0640$$

$$P_{\text{CCl}_3\text{NO}_2} = X_{\text{CCl}_3\text{NO}_2} P_t$$

$$P_{\text{CCl}_3\text{NO}_2} = 0.0640 \times 731 \text{ mmHg}$$

$$P_{\text{CCl}_3\text{NO}_2} = 46.784 \text{ mmHg}$$

*** مثال (٢١٧)**

مصباح وزنه (30.2341 g) عندما يكون فارغاً من الهواء، ووزنه (30.6771 g) عندما يملأ بغاز (N₂O)، بينما يكون وزنه (270 g) عندما يملأ بالماء وعند درجة حرارة (15 °C) وضغط (740 mmHg). بافتراض أن سلوك الغازات مثالي.

احسب الوزن الجزيئي للغاز N₂O عملياً وقارنه بالوزن الجزيئي نظرياً.

علماً بأن كثافة الماء (1 g/cm³). و (R = 0.0821 L. atm mol⁻¹ K⁻¹) والكتل الذرية (N = 14, O = 16).

*** الحل**

نحسب أولاً وزن الغاز N₂O وذلك بالفرق بين وزن المصباح الفارغ ووزن المصباح وهو مليء بغاز N₂O :

$$m_{N_2O} = 30.6771 - 30.2341$$

$$m_{N_2O} = 0.443 \text{ g}$$

ووزن الماء الذي ملء به المصباح يساوي :

$$m_{H_2O} = 270 - 30.2341$$

$$m_{H_2O} = 239.7659 \text{ cm}^3$$

ونستفيد من ملاء المصباح بالماء في معرفة حجمه من خلال العلاقة بين الوزن والحجم والكثافة :

$$d_{H_2O} = \frac{m}{V}$$

$$V = \frac{m}{d}$$

$$V = \frac{239.7659}{1 \text{ g cm}^3}$$

$$V = 239.7659 \text{ cm}^3$$

وبالتالي يمكن معرفة الوزن الجزيئي للغاز من خلال القانون العام للغازات المثالية :

$$PV = n R T$$

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

$$M_w = \frac{m R T}{P V}$$

$$M_w = \frac{(0.443 \text{ g}) \times (0.0821 \text{ L. atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1}) \times (15 + 273) \text{ K}}{\left(\frac{740}{760}\right) \times \left(\frac{239.7659 \text{ cm}^3}{1000 \text{ cm}^3 \text{ L}^{-1}}\right)}$$

$$M_w = 44.87 \text{ g/mol}$$

وللتأكد من هذا الجواب نوجد الوزن الجزيئي نظرياً من خلال مجموع الكتل الذرية :

$$M_{w_{N_2O}} = 14 + (2 \times 16) = 46 \text{ g/mol}$$

ونلاحظ أن القيمتين التجريبية (العملية) والنظرية متقاربة.

مثال (٢١٨)

في تجربة فيكتور ماير لحساب الوزن الجزيئي تم تبخير (0.152 g) من مركب له الصيغة العامة $(C_4H_5)_n$ وقد أزاح حجماً مقداره (36.0 cm^3) فوق الماء عند درجة حرارة $(16 \text{ }^\circ\text{C})$ وإن الضغط الجوي (764.0 mmHg) والضغط البخاري للماء في هذه الدرجة هو (13.6 mmHg) .

احسب الوزن الجزيئي للمركب ما صيغته الجزيئية.

الحل

نحسب ضغط بخار الغاز باتباع قانون دالتون للضغوط الجزئية :

$$P_t = P_g + P_{H_2O}$$

$$P_g = P_t - P_{H_2O}$$

$$P_g = 764.0 - 13.6$$

$$P_g = 750.4 \text{ mm Hg}$$

وبتطبيق معادلة الغاز المثالي يمكن حساب عدد مولات الغاز :

$$P V = n R T$$

$$n_{(C_4H_5)_n} = \frac{P V}{R T}$$

$$n_{(C_4H_5)_n} = \frac{\left(\frac{750.4}{760}\right) \times \left(\frac{36.0}{1000}\right)}{(0.0821 \text{ L} \cdot \text{atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1}) \times (16 + 273) \text{ K}}$$

$$n_{(C_4H_5)_n} = 1.49810 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

ومن معرفة وزن الغاز المتبخر وعدد المولات يمكن حساب الوزن الجزيئي للغاز كما يلي :

$$n_{(C_4H_5)_n} = \frac{m}{Mw_{(C_4H_5)_n}}$$

$$Mw_{(C_4H_5)_n} = \frac{m}{n}$$

$$Mw_{(C_4H_5)_n} = \frac{0.152}{1.49810 \times 10^{-3}}$$

$$Mw_{(C_4H_5)_n} = 101.462 \text{ g/mol}$$

ولحساب قيمة (n) في الصيغة $(C_4H_5)_n$ من خلال الوزن الجزيئي المحسوب : (101.462 g/mol)

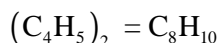
$$Mw (C_4H_5)_n = n(4 \times 12 + 5 \times 1) = 101.462$$

$$n(53) = 101.462$$

$$n = \frac{101.462}{53}$$

$$n = 1.9 \approx 2$$

وبالتالي فإن المركب تكون صيغته الجزيئية هي :



مثال (٢١٩)

إذا كانت كثافة الأرجون (Ar) السائل (1.40 g/cm^3) عند درجة غليانه البالغة $(-186 \text{ }^\circ\text{C})$. احسب الزيادة في الحجم عندما يحول (1 mol) منه الى بخار في درجة الغليان وضغط (1 atm) فافرضاً السلوك المثالي.

الحل

أولاً نحسب حجم الأرجون السائل من البيانات المعطاة في المسألة عن وزن وكثافة الأرجون :

$$d_{Ar} = \frac{m_{Ar}}{V_{\ell}}$$

$$V_{\ell(Ar)} = \frac{m_{Ar}}{d_{Ar}}$$

$$V_{\ell(Ar)} = \frac{39.95 \text{ g}}{1.40 \text{ g cm}^{-3}}$$

$$V_{\ell(Ar)} = 28.5360 \text{ cm}^3$$

$$V_{\ell(Ar)} = 0.0285360 \text{ L}$$

وهذا يمثل حجم الأرجون السائل.

ولحساب حجم مول واحد من غاز الأرجون فإننا نطبق القانون العام للغاز المثالي :

$$PV = nRT$$

$$V_{g(Ar)} = \frac{nRT}{P}$$

$$V_{g(Ar)} = \frac{(1 \text{ mol}) \times (0.0821 \text{ L} \cdot \text{atm mol}^{-1} \text{K}^{-1}) \times (-186 + 273) \text{ K}}{1 \text{ atm}}$$

$$V_{g(Ar)} = 7.1427 \text{ L}$$

وبالتالي فإنه لحساب الزيادة في الحجم عندما يحول سائل الأرجون (1 mol Ar) إلى بخار :

$$V_{\ell(Ar)} = 0.0285360 \text{ L}$$

$$V_{g(Ar)} = 7.1427 \text{ L}$$

$$\Delta V = V_g - V_{\ell}$$

$$\Delta V = 7.1427 - 0.0285360$$

$$\Delta V = 7.114164 \text{ L}$$

ويتضح أن حجم السائل قليل جداً مقارنة مع حجم البخار.

مثال (٢٢٠)

احسب الوزن الجزيئي لمادة عضوية مجهولة في حالة تبخر (0.1525 g) من السائل فإن البخار يشغل حجماً قدره (35.05 cm³) في درجة حرارة (20 °C) وضغط (730 mmHg) وأن التحليل الكيماوي للمادة كما يلي :

| النسبة المئوية | | |
|----------------|--------|---------|
| Br | H | C |
| 73.32 % | 4.58 % | 22.10 % |

ثم احسب الصيغة الجزيئية للمركب فافرضاً أن الغاز مثالي السلوك.

علماً بأن (R = 0.0821 L . atm mol⁻¹ K⁻¹)

والكتل الذرية (C = 12, H = 1, Br = 79.9).

الحل

نحسب أولاً عدد المولات من الغاز باستخدام قانون الغاز المثالي :

$$P V = n R T$$

$$n = \frac{P V}{R T}$$

$$n = \frac{\left(\frac{730}{760}\right) \text{atm} \times \left(\frac{35.05}{1000}\right) \text{L}}{\left(0.0821 \text{ L} \cdot \text{atm mol}^{-1} \text{K}^{-1}\right) \times (20 + 273) \text{K}}$$

$$n = 0.00140 \text{ mol}$$

ومن عدد المولات يمكن حساب الوزن الجزيئي كما يلي :

$$n = 0.00140 \text{ mol}$$

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

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

$$M_w = \frac{0.1525}{0.00140}$$

$$M_w = 108.930 \text{ g/mol}$$

ولمعرفة الصيغة الجزيئية فإننا نوجد وزن كل عنصر كما يلي :

$$\text{wt. of C} = \frac{22.10}{100} \times 108.930 = 24.07$$

$$\text{wt. of H} = \frac{4.58}{100} \times 108.930 = 4.990$$

$$\text{wt. of Br} = \frac{73.32}{100} \times 108.930 = 79.867$$

وبقسمة الوزن السابق على الوزن الذري لكل عنصر نحصل على :

$$\text{wt. of C} = 24.07, \text{ wt. of H} = 4.990, \text{ wt. of Br} = 79.867$$

C : H : Br

$$\frac{24.07}{12} : \frac{4.990}{1} : \frac{79.867}{79.9}$$

$$2.006 : 4.990 : 0.9996$$

$$2 : 5 : 1$$

وبالتالي فإن الصيغة الجزيئية تكون : $\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$ والتي لها الوزن الجزيئي (108.9 g/mol).

مثال (٢٢١)

تم وضع قطرة من الماء حجمها (0.050 cm^3) عند درجة (54°C) في إناء مفرغ سعته (1 L)، فإذا تم حفظ الإناء في هذه الدرجة كم يتبقى من الماء السائل عند حالة الإتزان علماً بأن كثافة الماء في هذه الدرجة الحرارية هي (0.9862 g/cm^3) وضغط بخار الماء هو (112.5 mmHg). افرض أن بخار الماء يسلك سلوك الغاز المثالي.