

本科 1 期 4 月度

解答

Z会東大進学教室

難関大化学 / 難関大化学 T



1章 気体の法則

問題

■ 演習

【1】

解答

問1 $d = \frac{pM}{RT}$

問2 4

問3 (1) 1.25g/L (2) 28

解説

問1 圧力 p [hPa], 体積 V [L], 温度 T [K] である n [mol] の理想気体では, 次の関係が成り立つ(理想気体の状態方程式)。

$$pV = nRT \quad (R: \text{気体定数 } 83.1 \text{ [hPa} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol})])$$

ここで, 分子量 M の気体の質量を w [g] とすると, 物質量 $n = \frac{w}{M}$ と表されるので, 理想気体の状態方程式は次のように変形できる。

$$pV = \frac{w}{M}RT$$

したがって, 密度 d [g/L] は次のようになる。

$$d = \frac{w}{V} = \frac{pM}{RT} \dots\dots\dots ※$$

問2 ※式より, 圧力 p が一定なら, 密度 d と絶対温度 T は反比例の関係である。よって, グラフ4が該当する。

問3

(1) ※式より, 密度 d は, 圧力 p に比例し, 絶対温度 T に反比例する。標準状態 (0°C (=273K), 1013hPa) における密度は

$$2.28 \times \frac{1013}{2026} \times \frac{273+27}{273} = 1.252 \text{ [g/L]}$$

(2) 27.0°C , 2026hPaのもと, 1Lの気体の質量が2.28gなので, 分子量 M は, 気体の状態方程式を用いて求められる。

$$2026 \times 1 = \frac{2.28}{M} \times 83.1 \times (273+27.0)$$

$$\therefore M = 28.0$$

【2】**解答**問1 (1) $6.2 \times 10^2 \text{hPa}$ (2) 33

問2 2.0g/L

解説

問1

(1) 気体の状態方程式を用いて圧力を求める。

$$P \times 8.0 = \frac{8.0}{40} \times 83 \times 300$$

$$\therefore P = 622.5 \text{ [hPa]}$$

(2) Arの物質量は $\frac{8.0}{40} = 0.20$ [mol], Neの物質量は $\frac{2.0}{20} = 0.10$ [mol] である。Arと

Neの物質量の比より、混合気体の平均分子量は次のように求められる。

$$40 \times \frac{2}{3} + 20 \times \frac{1}{3} = 33.3$$

問2 気体の分子量を M , 気体の質量を w [g], 気体の密度を d [g/L] とすると、気体の状態方程式を変形して

$$d = \frac{w}{V} = \frac{pM}{RT}$$

ここに各数値を代入して2つの式をつくると

$$5.37 = \frac{3.0 \times 10^3 \times M}{R \times (273 + 27)} \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

$$d = \frac{1.0 \times 10^3 \times M}{R \times 273} \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

 $\frac{\textcircled{2}}{\textcircled{1}}$ より

$$\frac{d}{5.37} = \frac{300}{3.0 \times 273}$$

$$\therefore d = 1.96 \text{ [g/L]}$$

【3】**解答**問1 $3.3 \times 10^3 \text{hPa}$ 問2 $1.2 \times 10^3 \text{hPa}$ 問3 $1.7 \times 10^3 \text{hPa}$ 問4 (1) $p_A = p_B$ (2) $1.6 \times 10^3 \text{hPa}$ **解説**問1 求める圧力を P_1 [hPa] とすると、気体の状態方程式より

$$P_1 \times 3.0 = 0.40 \times 83.1 \times (273 + 27)$$

$$\therefore P_1 = 3324 \text{ [hPa]}$$

問2 コックを開けると、気体の体積は変わるが、温度と物質量は変化しない。したがって、ボイルの法則「(圧力) × (体積) = (一定)」が成り立つ。コックを開けた後の圧力を P_2 [hPa] とすると、コックを開ける前と後の状態について次式が成り立つ。

$$3324 \times 3.0 = P_2 \times 8.0$$

$$\therefore P_2 = 1246.5 \text{ [hPa]}$$

問3 求める圧力を P_3 [hPa] とすると、気体の状態方程式より

$$P_3 \times 8.0 = 0.40 \times 83.1 \times (273 + 127)$$

$$\therefore P_3 = 1662 \text{ [hPa]}$$

別解 気体の物質量と体積が一定なら、気体の圧力は絶対温度に比例するので、127°Cにしたときの容器内の圧力を P_3 [hPa] とすると

$$P_3 = 1246.5 \times \frac{273 + 127}{273 + 27} = 1662 \text{ [hPa]}$$

問4

(1) 容器AとBはつながって一つの容器となっているので、Aの部分とBの部分の温度が違って、十分に時間が経過すれば、容器内の圧力はどこでも均一になる(∵気体は圧力の高いところから低いところへ移動するので、Aの温度を下げることにより容器A内の圧力が下がれば、BからAへと気体は移動し、容器内の圧力がどの部分でも等しくなるようになる)。したがって、 $p_A = p_B$ である。

(2) 容器A内に存在する気体の物質量を n [mol] とすると、容器B内に存在する気体の物質量は $(0.40 - n)$ mol である。それぞれの容器について、気体の状態方程式を適用する。

$$\text{容器A: } p_A \times 3.0 = n \times 83.1 \times (273 + 87)$$

$$\text{容器B: } p_B \times 5.0 = (0.40 - n) \times 83.1 \times (273 + 127)$$

$p_A = p_B$ であることを考慮して計算すると

$$p_A = p_B = 1.59 \times 10^3 \text{ [hPa]}, \quad n = 0.16 \text{ [mol]}$$

添削課題

解答

- 問1 0.50mol 問2 $2.1 \times 10^5 \text{Pa}$ 問3 29 問4 $3.7 \times 10^5 \text{Pa}$
 問5 $4.4 \times 10^5 \text{Pa}$

解説

問1 容器Aには N_2 (分子量 28) が 14.0g 入っているので、その物質量は

$$\frac{14.0}{28} = 0.50 \text{ [mol]}$$

問2 容器Bには O_2 (分子量 32) が 8.0 g 入っているので、気体の状態方程式より

$$P = \frac{nRT}{V} = \frac{wRT}{MV} = \frac{8.0 \times 8.3 \times 10^3 \times 300}{32 \times 3.0} = 2.07 \times 10^5 \text{ [Pa]}$$

問3 コックを開放すると、 N_2 0.50mol と O_2 0.25mol の混合気体になるので、その平均分子量は

$$\bar{M} = 28 \times \frac{0.50}{0.75} + 32 \times \frac{0.25}{0.75} = 29.3$$

問4 容器全体には 0.75 mol の混合気体が入っているので、気体の状態方程式より

$$P = \frac{nRT}{V} = \frac{0.75 \times 8.3 \times 10^3 \times 300}{5.0} = 3.73 \times 10^5 \text{ [Pa]}$$

問5 コックを開放した状態で、容器Aと容器Bのそれぞれの温度を変えても、十分に時間が経過すれば、容器Aの圧力 P_A と容器Bの圧力 P_B は等しくなる。これは、高温の容器Bから低温の容器Aに気体が移動し、気体の密度差ができるからである。つまり、容器Bは温度を 127°C に上げた直後は一旦圧力は大きくなるが、気体の移動によって容器内の物質量が減少していくため、圧力 P_B は徐々に小さくなる。また、容器Aは、温度は 27°C のままであるが、気体の移動によって容器内の物質量が増加するため、圧力 P_A は徐々に大きくなる。やがて P_A と P_B が等しくなるときがくるのである。

十分時間が経ったとき、容器内の圧力を $P (= P_A = P_B)$ [Pa]、容器A内の物質量を n_A [mol]、容器B内の物質量を n_B [mol] とすると、次の3つの式が成立する。

$$\begin{cases} P \times 2.0 = n_A \times R \times 300 & (\text{容器Aについての状態方程式}) \\ P \times 3.0 = n_B \times R \times 400 & (\text{容器Bについての状態方程式}) \\ n_A + n_B = 0.75 \end{cases}$$

$$\therefore P = 4.39 \times 10^5 \text{ [Pa]}, \quad n_A = 0.353 \text{ [mol]}, \quad n_B = 0.397 \text{ [mol]}$$

2章 蒸気圧

問題

■ 演習

【1】

解答

問1 ④

問2 22mg

解説

問1 水上置換で気体を捕集した場合、メスシリンダー内の気体には、捕集した気体だけではなく水蒸気も含まれている。よって、メスシリンダー内の気体の全圧 $P_{\text{全}}$ は、捕集した水素の分圧 p_{H_2} と水蒸気分圧(飽和蒸気圧に等しい) $p_{\text{H}_2\text{O}}$ の和である。

$$P_{\text{全}} = p_{\text{H}_2} + p_{\text{H}_2\text{O}}$$

一般に、水上置換法で捕集した気体の体積を測定するとき、メスシリンダーを上下に動かし、メスシリンダーの中の水面と外の水面の高さを一致させるようにする。こうすることで、メスシリンダー内の気体の全圧 $P_{\text{全}}$ は、外の水面にかかっている大気圧 $P_{\text{大気圧}}$ と等しくなる。メスシリンダーの中の水面が外の水面よりも高い場合は、メスシリンダー内の気体の圧力が外の大気圧よりも小さくなる。メスシリンダーの中の水面が外の水面よりも低い場合は、メスシリンダー内の気体の圧力が外の大気圧よりも大きくなる。水柱の高さに相当する圧力を $P_{\text{水柱}}$ とすると

メスシリンダーの中の水面と外の水面の高さが一致している場合

$$P_{\text{全}} = P_{\text{大気圧}}$$

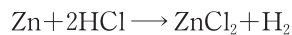
メスシリンダーの中の水面が外の水面よりも高い場合

$$P_{\text{全}} = P_{\text{大気圧}} - P_{\text{水柱}}$$

メスシリンダーの中の水面が外の水面よりも低い場合

$$P_{\text{全}} = P_{\text{大気圧}} + P_{\text{水柱}}$$

問2 亜鉛を希塩酸と反応させると、水素が発生する。



水素をメスシリンダー内に捕集し、メスシリンダーの中の水面と外の水面の高さを一致させているので

$$\begin{aligned} P_{\text{全}} &= p_{\text{H}_2} + p_{\text{H}_2\text{O}} = P_{\text{大気圧}} \\ &= p_{\text{H}_2} + 3.6 \times 10^3 = 9.49 \times 10^4 \end{aligned}$$

$$\therefore p_{\text{H}_2} = 9.13 \times 10^4 \text{ [Pa]}$$

発生した H_2 (分子量 2.0) の質量を w [g] とすると、気体の状態方程式より

$$(9.13 \times 10^4) \times \frac{300}{1000} = \frac{w}{2.0} \times (8.3 \times 10^3) \times (273 + 27)$$

$$\therefore w = 2.2 \times 10^{-2} [\text{g}] = 22 [\text{mg}]$$

《参考》水柱の高さに相当する圧力

仮に水銀柱（密度 13.6 g/cm^3 ）の高さが $h [\text{cm}]$ であるとする、 $h [\text{cmHg}] = 10h [\text{mmHg}]$ である。また、1 気圧 = $760 \text{ mmHg} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} = 1013 \text{ hPa}$ である。

水の密度は 1.0 g/cm^3 なので、水柱は水銀柱に比べて $\frac{1.0}{13.6}$ 倍の圧力しかない。よって、水柱 $h [\text{cm}]$ の高さに相当する圧力は以下のとおりとなる。

$$10h \times \frac{1.0}{13.6} [\text{mmHg}] = \frac{10h \times \frac{1.0}{13.6}}{760} \times 1.013 \times 10^5 [\text{Pa}] = \frac{10h \times \frac{1.0}{13.6}}{760} \times 1013 [\text{hPa}]$$

【2】

解答

問1 $1.8 \times 10^3 \text{hPa}$

問2 約 60°C

問3 $6.9 \times 10^3 \text{hPa}$

解説

問1 混合気体の各成分気体の分圧は、その気体の物質量に比例する。

$$(\text{分圧}) = (\text{全圧}) \times (\text{モル分率})$$

N_2 (分子量 28.0)および H_2O (分子量 18.0)の物質量は

$$\text{N}_2 : \frac{12.6}{28.0} = 0.450 \text{ [mol]} \quad \text{H}_2\text{O} : \frac{0.90}{18.0} = 0.050 \text{ [mol]}$$

したがって、各気体の分圧は

$$\text{N}_2 : 2.0 \times 10^3 \times \frac{0.450}{0.450 + 0.050} = 1.8 \times 10^3 \text{ [hPa]}$$

$$\text{H}_2\text{O} : 2.0 \times 10^3 \times \frac{0.050}{0.450 + 0.050} = 2.0 \times 10^2 \text{ [hPa]}$$

問2 容器内の温度を下げていくと、気体として自由に運動していた水分子は熱を奪われることによって次第に分子の運動速度が減少し、凝縮する。凝縮し始めたとき、水蒸気は飽和しているの、水蒸気の圧力は**飽和蒸気圧**に等しい。混合気体の全圧は $2.0 \times 10^3 \text{hPa}$ のままに保っているから、水蒸気分圧は、問1で求めたように $2.0 \times 10^2 \text{hPa}$ である。これを mmHg に換算すると

$$\frac{2.0 \times 10^2}{1.0 \times 10^3} \times 760 = 1.52 \times 10^2 \text{ [mmHg]}$$

これが飽和蒸気圧に等しくなるときの温度が、水蒸気が凝縮し始める温度である。蒸気圧曲線のグラフよりその温度は約 60°C である。

問3 はじめの状態（全圧 $2.0 \times 10^3 \text{hPa}$ 、 90°C ）から、温度一定にしたまま混合気体の体積を減少させると、圧力（全圧および各分圧）は大きくなる。蒸気圧曲線のグラフから、 90°C における飽和蒸気圧は 525mmHg であるので、加圧しても水の分圧が 525mmHg に達するまではすべて水蒸気として存在するが、それ以上加圧すると凝縮が起こる。水の分圧が 525mmHg のとき、全圧を $P \text{[hPa]}$ とすると、次式が成り立つ。

$$\left(\frac{P}{1.0 \times 10^3} \times 760 \right) \times \frac{0.050}{0.450 + 0.050} = 525$$

$$\therefore P = 6.90 \times 10^3 \text{ [hPa]}$$

[3]

解答

問1 $1.3 \times 10^3 \text{hPa}$

問2 97%

問3 $3.3 \times 10^3 \text{hPa}$

解説

問1 反応前の水素 H_2 (分子量 2.0) と酸素 O_2 (分子量 32) の物質量は

$$\text{H}_2 : \frac{1.0}{2.0} = 0.50 \text{ [mol]} \quad \text{O}_2 : \frac{24}{32} = 0.75 \text{ [mol]}$$

反応前後の量的関係は以下のとおり

	2H_2	$+$	O_2	\rightarrow	$2\text{H}_2\text{O}$	
(反応前)	0.50		0.75			
(変化量)	-0.50		-0.25		+0.50	
(反応後)	0		0.50		0.50	[mol]

したがって、反応後には 0.50 mol の酸素と 0.50 mol の水が存在するので、 27°C における酸素の分圧 p_{O_2} は、気体の状態方程式より

$$p_{\text{O}_2} \times 10 = 0.50 \times 83 \times (273 + 27) \quad \therefore p_{\text{O}_2} = 1.245 \times 10^3 \text{ [hPa]}$$

また、水がすべて気体として存在すると仮定すると、その分圧は酸素の分圧に等しく $1.245 \times 10^3 \text{hPa}$ となるが、これは 27°C における水の飽和蒸気圧 35.5hPa よりも大きいので、水がすべて気体として存在するという仮定は誤りであり、水は一部が液体となっている。したがって、水蒸気分圧は飽和蒸気圧に等しく 35.5hPa であるとわかる。よって、ドルトンの分圧の法則より、容器内の圧力は

$$1.245 \times 10^3 + 35.5 = 1.280 \times 10^3 \text{ [hPa]}$$

問2 問1から、水がすべて気体であるとすれば $1.245 \times 10^3 \text{hPa}$ 分存在するはずだが、実際には、飽和蒸気圧である 35.5hPa 分しか気体として存在していない。つまり、 $1245 - 35.5 = 1209.5 \text{ [hPa]}$ 分は液体の水に凝縮している。

$$\frac{\text{凝縮した } \text{H}_2\text{O}}{\text{全 } \text{H}_2\text{O}} = \frac{1209.5}{1245} \times 100 = 97.1 \text{ [%]}$$

問3 127°C にすると、酸素の分圧は、シャルルの法則より

$$1.245 \times 10^3 \times \frac{273 + 127}{273 + 27} = 1.66 \times 10^3 \text{ [hPa]}$$

水がすべて気体であると仮定すると、その分圧は酸素の分圧に等しく $1.66 \times 10^3 \text{hPa}$ となる。これは 127°C における水の飽和蒸気圧 $2.46 \times 10^3 \text{hPa}$ よりも小さいので、水はすべて気体として存在し、水蒸気分圧は $1.66 \times 10^3 \text{hPa}$ であるとわかる。よって、ドルトンの分圧の法則より、容器内の圧力は

$$1.66 \times 10^3 + 1.66 \times 10^3 = 3.32 \times 10^3 \text{ [hPa]}$$

添削課題

解答

問1 $1.0 \times 10^5 \text{Pa}$

問2 28

問3 酸素： $6.6 \times 10^4 \text{Pa}$ 気体 a： $1.7 \times 10^4 \text{Pa}$

問4 $8.3 \times 10^4 \text{Pa}$

問5 $6.2 \times 10^4 \text{Pa}$

問6 $4.7 \times 10^4 \text{Pa}$

問7 $3.9 \times 10^4 \text{Pa}$

解説

問1 酸素(分子量 32)の圧力を p_{O_2} [Pa] とすると、気体の状態方程式より

$$p_{\text{O}_2} = \frac{nRT}{V} = \frac{wRT}{MV} = \frac{12.8 \times 8.31 \times 10^3 \times 300}{32 \times 10} = 9.97 \times 10^4 \text{ [Pa]}$$

問2 気体 a の分子量を M 、圧力を p_a [Pa] とすると、気体の状態方程式より

$$M = \frac{wRT}{p_a V} = \frac{2.8 \times 8.31 \times 10^3 \times 300}{5.0 \times 10^4 \times 5.0} = 27.9$$

問3、問4 コックを開けると、それぞれの気体は、容器 A と容器 B の全体(容積 15L)に均一に拡散する。コックを開いた後の酸素と気体 a の分圧をそれぞれ p'_{O_2} 、 p'_a [Pa] とすると、温度は不変であるから、ボイルの法則を適用する。

$$(9.97 \times 10^4) \times 10 = p'_{\text{O}_2} \times 15 \quad \therefore p'_{\text{O}_2} = 6.64 \times 10^4 \text{ [Pa]}$$

$$(5.0 \times 10^4) \times 5.0 = p'_a \times 15 \quad \therefore p'_a = 1.66 \times 10^4 \text{ [Pa]}$$

混合気体の全圧は、ドルトンの分圧の法則より、各気体の分圧の和である。全圧を P' [Pa] とすると

$$P' = p'_{\text{O}_2} + p'_a = 6.64 \times 10^4 + 1.66 \times 10^4 = 8.30 \times 10^4 \text{ [Pa]}$$

問5 容器を真空にしてコックを閉じたので、酸素や気体 a はすべて排気され、新たに水 3.6g のみが容器 A (容積 10 L) に入れられた。

水(分子量 18)がすべて気体であると仮定したときの圧力 p_{100} [Pa] は、気体の状態方程式より

$$p_{100} = \frac{wRT}{MV} = \frac{3.6 \times 8.31 \times 10^3 \times 373}{18 \times 10} = 6.19 \times 10^4 \text{ [Pa]}$$

別解 問1 で求めた酸素 12.8g (=0.40mol) の圧力 p_{O_2} を用いて求めることもできる。水は 3.6g (=0.20mol) 入っていること、および体積が一定であれば、圧力は物質量と絶対温度に比例することより

$$p_{100} = (9.97 \times 10^4) \times \frac{0.20}{0.40} \times \frac{373}{300} = 6.19 \times 10^4 \text{ [Pa]}$$

これは、100℃における飽和蒸気圧 $1.0 \times 10^5 \text{Pa}$ よりも小さいので、水はすべて気体として存在していることがわかる。そのため、容器内の圧力は、上で求めた $6.19 \times 10^4 \text{Pa}$ となる。

問6 水がすべて気体であると仮定したときの圧力 p_{80} [Pa] は、容器内の温度を 100°C から 80°C に変化させたので、ボイル・シャルルの法則より

$$\frac{p_{80} \times 10}{353} = \frac{p_{100} \times 10}{373} = \frac{(6.19 \times 10^4) \times 10}{373}$$

$$\therefore p_{80} = 5.85 \times 10^4 \text{ [Pa]}$$

別解 気体の状態方程式でも求めることができる。

$$p_{80} = \frac{wRT}{MV} = \frac{3.6 \times 8.31 \times 10^3 \times 353}{18 \times 10} = 5.86 \times 10^4 \text{ [Pa]}$$

これは、 80°C における飽和蒸気圧 $4.7 \times 10^4 \text{ Pa}$ よりも大きいので、この仮定は誤っており、水の一部は液化している。容器内の圧力は 80°C における飽和蒸気圧に等しく、 $4.7 \times 10^4 \text{ Pa}$ である。

問7 問6の状態から、コックを開くと容器Aと容器Bがつながり、気体の体積が 10 L から 15 L へ大きくなるため、気体の圧力が小さくなる。ただし、このとき、液化していた水が蒸発してくる可能性があり、したがって気体として存在する水の物質量が変化するかもしれない。そこで、再び水がすべて気体として存在していると仮定して容器内の圧力を計算し、その値が 80°C における飽和蒸気圧よりも大きいか小さいか（すなわち、水の一部が液化しているのか、すべて気体として存在しているのか）を判断しなければならない。

コックを開いた後、水がすべて気体であると仮定したときの圧力 p'_{80} [Pa] は、ボイルの法則より

$$p'_{80} \times 15 = p_{80} \times 10 = (5.85 \times 10^4) \times 10$$

↑水がすべて気体として存在していたと仮定したときの圧力

$$\therefore p'_{80} = 3.90 \times 10^4 \text{ [Pa]}$$

別解 気体の状態方程式でも求めることができる。

$$p'_{80} = \frac{wRT}{MV} = \frac{3.6 \times 8.31 \times 10^3 \times 353}{18 \times 15} = 3.91 \times 10^4 \text{ [Pa]}$$

これは、 80°C における飽和蒸気圧 $4.7 \times 10^4 \text{ Pa}$ よりも小さいので、水はすべて気体として存在していることがわかる。そのため、容器内の圧力は、上で求めた $3.90 \times 10^4 \text{ Pa}$ (あるいは $3.91 \times 10^4 \text{ Pa}$) となる。

つまり、コックを開けたことで容器内が減圧され、コックを開ける前に存在していた液体の水がすべて蒸発して気体になったことがわかる。

3章 気体の溶解度・希薄溶液の性質①

問題

■ 演習

【1】

解答

問1 $4.4 \times 10^{-3} \text{ mol}$

問2 23mL

問3 1.9 倍

解説

問1 ヘンリーの法則より、一定量の溶媒に溶解する気体の物質質量(あるいは質量)は、気体の分圧に比例する。そのため、水に溶ける気体の物質質量を、水の量と酸素の分圧に比例させればよい。

標準状態(0°C , 1013hPa)において、水 1000mL に酸素は $\frac{49}{22400} \text{ mol}$ 溶解するので、ヘ

ンリーの法則より

$$\frac{49}{22400} \times \frac{1000}{1000} \times \frac{2026}{1013} = 4.375 \times 10^{-3} \text{ [mol]}$$

問2 一定量の溶媒に溶解する気体の体積は

- ・溶かしたときの圧力で表した場合、圧力に関係なく一定である
- ・圧力一定で表した場合、圧力に比例する

溶かしたときの圧力(2026hPa)で表した場合

圧力に関係なく一定である。もちろん、水の量には比例するが、水の体積は 1000mL であるから、溶解する窒素の体積は 23mL である。

圧力一定(標準状態 1013hPa)で表した場合

圧力に比例する。水の体積は 1000mL であるから、溶解する窒素の体積は

$$23 \times \frac{1000}{1000} \times \frac{2026}{1013} = 46 \text{ [mL]}$$

問3 混合気体の圧力を 2026 hPa に保つと、それぞれ酸素と窒素の分圧は

$$p_{\text{O}_2} = 2026 \times \frac{1}{5} \text{ [hPa]} \quad p_{\text{N}_2} = 2026 \times \frac{4}{5} \text{ [hPa]}$$

ヘンリーの法則より、水に溶解する窒素と酸素の物質質量は

$$n_{\text{N}_2} = \frac{23}{22400} \times \frac{1000}{1000} \times \frac{2026 \times \frac{4}{5}}{1013} \text{ [mol]}$$

$$n_{\text{O}_2} = \frac{49}{22400} \times \frac{1000}{1000} \times \frac{2026 \times \frac{1}{5}}{1013} \text{ [mol]}$$

$$\therefore \frac{n_{\text{N}_2}}{n_{\text{O}_2}} = 1.87$$

《参考》ヘンリーの法則の言いかえ

「一定量の水に溶解する気体の体積は、溶かしたときの圧力で表した場合、

圧力に関係なく一定である」

問2を例に考えてみよう。気体の体積 [L] を、(気体の物質質量)×22.4 で求めることができるのは、標準状態(0℃, 1013hPa)においてのみである。よって、2026hPa における体積を、以下の2つの方法で求めてみる。

●気体の状態方程式を用いる方法

0℃, 1013hPa において、水 1000mL に窒素は $\frac{23}{22400}$ mol 溶解するので、ヘンリーの法

則より

$$\frac{23}{22400} \times \frac{1000}{1000} \times \frac{2026}{1013} = \frac{23}{22400} \times 2 \text{ [mol]}$$

気体の状態方程式より

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{\frac{23}{22400} \times 2 \times 83 \times 273}{2026} = 2.29 \times 10^{-2} \text{ [L]} = 22.9 \text{ [mL]}$$

●ボイルの法則を用いる方法

ボイルの法則より、2016hPa における体積は、標準状態における気体の体積の

$\frac{1013}{2026} = \frac{1}{2}$ [倍] であるから

$$V = \frac{23 \times 2}{22400} \times 22400 \times \frac{1}{2} = 23 \text{ [mL]}$$

以上から、水 1000mL に溶解できる窒素の体積は、溶かしたときの圧力で表せば、**圧力に関係なく 23mL** であることがわかる。

【2】

解答

問1 $1.4 \times 10^{-2} \text{ mol}$

問2 $2.8 \times 10^{-3} \text{ mol}$

問3 0.11 mol

問4 $3.2 \times 10^3 \text{ hPa}$

解説

問1 20°C において $1.0 \times 10^3 \text{ hPa}$ の酸素が 1.0 L の水に接しているとき、 $1.38 \times 10^{-3} \text{ mol}$ の酸素が水に溶ける。したがって、 20°C 、 $1.0 \times 10^3 \text{ hPa}$ の酸素が 10 L の水に接しているとき、水に溶ける酸素は

$$(1.38 \times 10^{-3}) \times 10 = 1.38 \times 10^{-2} \text{ [mol]}$$

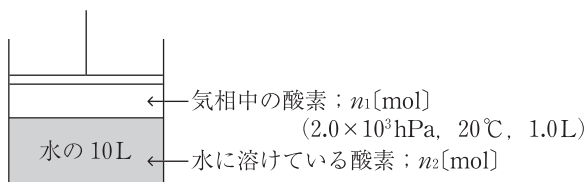
問2 酸素の分圧は

$$1.0 \times 10^3 \times \frac{1}{1+4} = 2.0 \times 10^2 \text{ [hPa]}$$

ヘンリーの法則より、溶解する酸素の物質量は、酸素の分圧に比例するので

$$(1.38 \times 10^{-3}) \times 10 \times \frac{2.0 \times 10^2}{1.0 \times 10^3} = 2.76 \times 10^{-3} \text{ [mol]}$$

問3 下のような容器に、酸素が入っている。



気相中の酸素の物質量を n_1 [mol] とすると、気体の状態方程式より

$$2.0 \times 10^3 \times 1.0 = n_1 \times 80 \times (273 + 20) \quad \therefore n_1 = 8.53 \times 10^{-2} \text{ [mol]}$$

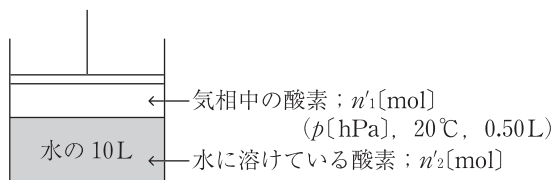
一方、水に溶けている酸素の物質量 n_2 [mol] は、ヘンリーの法則より酸素の圧力に比例するので、次のように求められる。

$$n_2 = (1.38 \times 10^{-3}) \times 10 \times \frac{2.0 \times 10^3}{1.0 \times 10^3} = 2.76 \times 10^{-2} \text{ [mol]}$$

したがって、容器内に存在する酸素の物質量は

$$n_1 + n_2 = 8.53 \times 10^{-2} + 2.76 \times 10^{-2} = 0.1129 \text{ [mol]}$$

問4 ピストンを動かして次のような状態としたときの気相、および水溶液中に存在する酸素の物質量をそれぞれ n'_1 [mol]、 n'_2 [mol]、容器内の圧力を p [hPa] とする。



気相中の酸素の物質量を n'_1 [mol] とすると、気体の状態方程式より

$$p \times 0.50 = n'_1 \times 80 \times (273 + 20)$$

$$\therefore n'_1 = 2.13 \times 10^{-5} p \text{ [mol]}$$

一方、水に溶けている酸素の物質量 n'_2 [mol] は、ヘンリーの法則より酸素の圧力に比例するので、次のように求められる。

$$n'_2 = (1.38 \times 10^{-3}) \times 10 \times \frac{p}{1.0 \times 10^3} = 1.38 \times 10^{-5} p \text{ [mol]}$$

容器内に存在する酸素の物質量の合計は、問3より 0.1129 mol であるから、次式が成り立つ。

$$n'_1 + n'_2 = 2.13 \times 10^{-5} p + 1.38 \times 10^{-5} p = 0.1129$$

$$\therefore p = 3.216 \times 10^3 \text{ [hPa]}$$

[3]

解答

問1 2

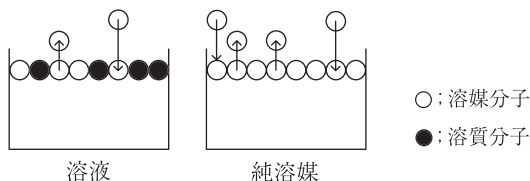
問2 2

問3 100.052℃

解説

問1 不揮発性物質を溶かした溶液の蒸気圧は、純溶媒の蒸気圧よりも小さくなる*。これを蒸気圧降下という。溶質粒子の濃度が大きいほど蒸気圧は小さくなるるので、グラフは a → b → c となる。

* 純粋な溶媒では、その液体表面のすべての場所において、分子が絶えず蒸発と凝縮を繰り返している。しかし、不揮発性物質を溶かした溶液では、液体表面の一部を溶質粒子が占めるので、溶媒が蒸発できる表面積の割合が小さくなり溶媒の蒸発が妨げられる。このため、溶液の蒸気圧は純溶媒の蒸気圧よりも小さくなる。



問2 液体を加熱していくと、高温になるほど蒸発量が増え、蒸気の圧力は大きくなる。やがて蒸気の圧力が周りの大気圧に等しくなると、液面からだけでなく液体の内部からも気化がおこる。この現象が沸騰であり、このときの温度を沸点という。したがって、沸点とは溶液の蒸気圧が大気圧に等しくなるときの温度である。

問3 不揮発性物質を溶かした溶液の沸点上昇度（純溶媒の沸点よりも何℃高くなるか）は、溶質粒子の質量モル濃度 [mol/kg] に比例する。NaCl は、水溶液中で $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ のように完全電離するので、溶質粒子(ここでは、 Na^+ と Cl^-)の総濃度は、NaCl 水溶液の濃度の2倍になる点に注意する。

よって、NaCl(式量 58.5)5.85g を 200g (=0.200kg)の水に溶かした水溶液において、溶質粒子の質量モル濃度は

$$\text{質量モル濃度} = \frac{\text{溶質粒子の物質質量}}{\text{溶媒の質量}} = \frac{\frac{5.85}{58.5} \times 2}{0.200} = 1.00 \text{ [mol/kg]}$$

このときの沸点が 1013hPa のもとで 100.52℃であったことより、溶質粒子の濃度が 1.00 mol/kg の水溶液では、沸点が 0.52℃上昇することがわかる。沸点上昇度は、溶質粒子の質量モル濃度に比例するので、0.10mol/kg のスクロース（非電解質、不揮発性物質）水溶液では

$$\text{沸点上昇度} = 0.52 \times 0.10 = 0.052 \text{ [℃]}$$

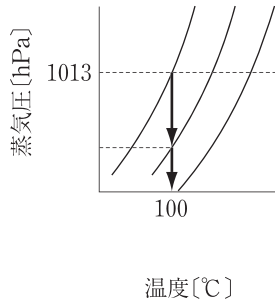
よって、沸点は 100.052℃となる。

《参考》蒸気圧降下と沸点上昇

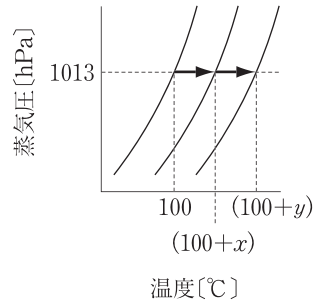
問1で述べたように、不揮発性物質を溶かした溶液では不揮発性物質の濃度が大きいほど蒸気圧は低くなる。これは、言いかえると、同じ蒸気圧にするためには濃度が大きい溶液ほど高温にしなくてはならないということである。

たとえば蒸気圧を 1013hPa にするには高濃度の溶液ほど高温にしなくてはならないので、高濃度の溶液ほど沸点は高くなることがわかる。

◆ある温度での蒸気圧を比べると…
(蒸気圧降下)



◆ある蒸気圧での温度を比べると…
(沸点上昇)



添削課題

解答

問1 一定温度のもとで、溶解度の小さい気体が一定量の溶媒に溶けると、気体の溶解度(物質量, 質量)は、その気体の圧力に比例する。

問2 従わないもの; NH_3 , HCl

理由: これらの気体は極性分子であり、水によく溶けるため。

問3 0.14g

問4 $4.2 \times 10^{-2} \text{ mol}$

解説

問3 0°C , $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ (標準状態)で水 1.0L に溶ける酸素(分子量 32)の物質量は $\frac{0.049}{22.4} \text{ mol}$

である。これを質量に換算すると $\frac{0.049}{22.4} \times 32 \text{ g}$ になる。気体の溶解量は、溶媒の量と気体の圧力に比例するので、水に溶けている酸素の質量は

$$\left(\frac{0.049}{22.4} \times 32 \right) \times \frac{(1.01 \times 10^5) \times \frac{1}{4+1}}{1.01 \times 10^5} \times 10 = 0.14 \text{ [g]}$$

問4 容器内に存在する酸素の物質量は、気体として存在している物質量と、水に溶解している物質量の総和である。いま、気体部分の圧力は $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、容器全体の温度を 20°C 、気体部分の体積が 1.0L であるから、気体として存在している物質量を $n_1 \text{ [mol]}$ とすると、気体の状態方程式より以下の関係が成り立つ。

$$(1.0 \times 10^5) \times 1.0 = n_1 \times (8.3 \times 10^3) \times (273 + 20)$$

$$\therefore n_1 = 4.11 \times 10^{-2} \text{ [mol]}$$

次に、水に溶解している酸素の物質量を考える。酸素は 20°C 、 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ において水 1.0L に $4.4 \times 10^{-2} \text{ g}$ 溶解するので、この問いの条件で水に溶解している酸素(分子量 32)の物質量を $n_2 \text{ [mol]}$ とすると、次式が成り立つ。

$$n_2 = \frac{4.4 \times 10^{-2}}{32} = 1.37 \times 10^{-3} \text{ [mol]}$$

よって、容器内に存在する酸素の物質量は

$$n_1 + n_2 = 4.11 \times 10^{-2} + 1.37 \times 10^{-3} = 4.24 \times 10^{-2} \text{ [mol]}$$



会員番号	
------	--

氏名	
----	--