

テーマ
1

原子量の計算

問題

★★★★

天然に存在する塩素には ^{35}Cl と ^{37}Cl の同位体があり、それぞれの相対質量が 35, 37, 存在比が 75%, 25% であるとする。

- ☑(1) 天然に存在する塩素の原子量はいくらか。小数第 1 位まで求めよ。
- ☑(2) 天然に存在する塩素分子 Cl_2 は何種類の質量のものが考えられるか。
- ☑(3) 天然に存在する割合が最も多い塩素分子の分子量を求めよ。

解説

- (1) 原子量 は、(相対質量) × (存在比) の総和で求まる。

$$35 \times \frac{75}{100} + 37 \times \frac{25}{100} = 35 + 2 \times \frac{25}{100} = \underline{35.5}$$

- (2) 天然に存在する塩素分子 Cl_2 は、



の 3 種類が考えられる。

- (3) 分子の存在する割合を計算するときは、2つの塩素原子を別々の袋から取り出して組み合わせたと考える。分子全体の存在する割合は、それぞれの原子の存在する割合の積になるので、

$$^{35}\text{Cl} - ^{35}\text{Cl} \quad \frac{3}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{9}{16}$$

$$^{35}\text{Cl} - ^{37}\text{Cl} \quad \frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{3}{16}$$

$$^{37}\text{Cl} - ^{35}\text{Cl} \quad \frac{1}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{3}{16}$$

$$^{37}\text{Cl} - ^{37}\text{Cl} \quad \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$$

同じ分子なので、

存在比は合計して $\frac{6}{16}$

したがって、存在する割合の多い分子は $^{35}\text{Cl} - ^{35}\text{Cl}$ であり、その分子量は 70 になる。

ポイント

- (2) で存在する分子の種類を考えるときは、 $^{35}\text{Cl} - ^{37}\text{Cl}$ 、 $^{37}\text{Cl} - ^{35}\text{Cl}$ の区別はつかないから 3 種類になるよね。でも、(3) で分子の存在比を求めるときは、 $^{35}\text{Cl} - ^{37}\text{Cl}$ 、 $^{37}\text{Cl} - ^{35}\text{Cl}$ の区別をつけて計算するんだよ。

ただし、実際には区別がつかないから存在比は両方の合計になるんだね。

解答 (1) 35.5 (2) 3 種類 (3) 70

物質量の計算① (単位の換算)

問題

★★★★

- (1) 硫酸 49 g は何 mol か。
 (2) 炭酸カルシウム 2.5 mol は何 g か。
 (3) 塩化マグネシウム 9.5 g に含まれる塩化物イオンは何個か。
 (4) 標準状態で 56 L の酸素は何 mol か。
 (5) 二酸化炭素 2.2 g の体積は標準状態で何 L か。
 (6) 標準状態で 8.96 L の気体の質量は 11.2 g であった。この気体の分子量はいくらか。

解説

- (1) 化学式 H_2SO_4 , 分子量 $1.0 \times 2 + 32 + 16 \times 4 = 98$, モル質量 98 g/mol.

$$\frac{49 \text{ g}}{98 \text{ g/mol}} = 0.50 \text{ mol} \quad n [\text{mol}] = \frac{w [\text{g}]}{M [\text{g/mol}]} \text{ で 求められるよ}$$

- (2) 化学式 CaCO_3 , 式量 $40 + 12 + 16 \times 3 = 100$, モル質量 100 g/mol.

$$2.5 \text{ mol} \times 100 \text{ g/mol} = 250 \text{ g}$$

- (3) 化学式 MgCl_2 , 式量 $24 + 35.5 \times 2 = 95$, モル質量 95 g/mol. MgCl_2 1 mol 中に, Cl^- は 2 mol 含まれている。

$$\frac{9.5 \text{ g}}{95 \text{ g/mol}} \times 2 \times 6.0 \times 10^{23} \text{ 個/mol} = 1.2 \times 10^{23} \text{ 個}$$

MgCl_2 [mol] Cl^- [mol] アボガドロ定数 Cl^- [個]

- (4) 化学式 O_2 , 分子量 $16 \times 2 = 32$, モル体積 22.4 L/mol.

$$\frac{56 \text{ L}}{22.4 \text{ L/mol}} = 2.5 \text{ mol}$$

- (5) 化学式 CO_2 , 分子量 $12 + 16 \times 2 = 44$, モル質量 44 g/mol, モル体積 22.4 L/mol.

$$\frac{2.2 \text{ g}}{44 \text{ g/mol}} \times 22.4 \text{ L/mol} = 1.12 \text{ L}$$

CO_2 [mol] CO_2 [L]

- (6) モル体積 22.4 L/mol. この気体の物質量は,

$$\frac{8.96 \text{ L}}{22.4 \text{ L/mol}} = 0.40 \text{ mol}$$

モル質量を求める。

$$\frac{11.2 \text{ g}}{0.40 \text{ mol}} = 28 \text{ g/mol}$$

よって, 分子量は 28

分子量を M とすると, モル質量は M [g/mol]。だから, 原子量や分子量, 式量を求めるにはモル質量を求めて単位をとっちゃえばいいんだよ

ポイント

物質量と質量, 体積, 個数の換算は絶対得意にしよう! 単位どうし, かけ算や割り算をすることができるので, モル質量やモル体積, アボガドロ定数の単位を覚えると式が導けるぞ!

- 解答 (1) 0.50 mol (2) 250 g (3) 1.2×10^{23} 個
(4) 2.5 mol (5) 1.1 L (6) 28

物質量の計算② (アボガドロ定数を求める)

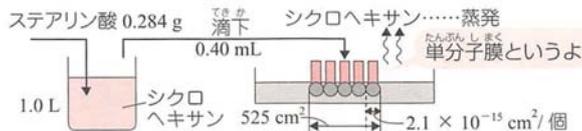
問題



- ☑(1) ステアリン酸 $C_{17}H_{35}COOH$ 0.284 g をシクロヘキサンに溶かし、全体を1.0 Lにした。純水の表面にタルク (滑石粉) を均一にまき、ステアリン酸-シクロヘキサン溶液 0.40 mL を滴下した。滴下液中に含まれるステアリン酸の物質量は何 mol か。
- ☑(2) (1)の滴下液中のシクロヘキサンが蒸発したあとに、ステアリン酸の単分子膜 (分子1個分の厚さの膜) の面積を測定したら 525 cm^2 であった。ステアリン酸1分子の断面積を $2.1 \times 10^{-15} \text{ cm}^2$ としたとき、単分子膜に含まれるステアリン酸の分子数は何個か。
- ☑(3) この実験方法によって得られた結果からアボガドロ定数はいくつになるか。単位を含めて答えよ。

解説

ステアリン酸の分子構造は、右のとおり。また、実験の様子は、次のとおり。



- (1) シクロヘキサン 1.0 L (1000 mL) 中に含まれる、ステアリン酸 0.284 g の物質量を求める。

$C_{17}H_{35}COOH = 284$ より、

$$\frac{0.284 \text{ g}}{284 \text{ g/mol}} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

シクロヘキサン 0.40 mL 中に含まれるステアリン酸の物質量を求める。

$$1.0 \times 10^{-3} \times \frac{0.40}{1000} = 4.0 \times 10^{-7} \text{ mol}$$

- (2) $\frac{\text{全体の面積} [\text{cm}^2]}{1 \text{ 分子あたりの面積} [\text{cm}^2/\text{個}]} = \text{含まれる分子} [\text{個}]$ より、

$$\frac{525 \text{ cm}^2}{2.1 \times 10^{-15} \text{ cm}^2/\text{個}} = 2.5 \times 10^{17} \text{ 個}$$

- (3) アボガドロ定数 N_A [個/mol] を求める。

$$N_A = \frac{2.5 \times 10^{17} \text{ 個}}{4.0 \times 10^{-7} \text{ mol}} = 6.25 \times 10^{23} \text{ 個/mol}$$

ただし、単位は「mol」としよう

ポイント

求める数値の単位を意識すると、式が見えてくるぞ。アボガドロ定数の単位は「個/mol」とするとわかりやすいぞ。でも単位として書くときは「mol」としよう。「個」は日本でしか使わないからね。

- 解答 (1) $4.0 \times 10^{-7} \text{ mol}$ (2) $2.5 \times 10^{17} \text{ 個}$
 (3) $6.3 \times 10^{23} / \text{mol}$

濃度① (% , mol/L , mol/kg を求める)

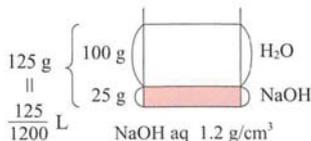
問題

★★★

水酸化ナトリウム 25 g を水 100 g に溶解させた溶液の密度が 1.2 g/cm^3 であった。

- (1) この水溶液の質量パーセント濃度は何 % か。
 (2) この水溶液のモル濃度は何 mol/L か。
 (3) この水溶液の質量モル濃度は何 mol/kg か。

解説



- (1) 質量パーセント濃度を求める。

$$\begin{aligned} \text{質量パーセント濃度} [\%] &= \frac{\text{NaOH} [\text{g}]}{\text{NaOH aq} [\text{g}]} \times 100 \\ &= \frac{25}{125} \times 100 = \underline{20 \%} \end{aligned}$$

- (2) NaOH aq 125 g の体積を求める。

$$\underbrace{125}_{[\text{g}]} \times \frac{1}{\underbrace{1.2}_{[\text{cm}^3/\text{g}]}]} = \frac{125}{1.2} \text{ cm}^3 = \frac{125}{1200} \text{ L}$$

質量 [g] × 密度 $\frac{1}{[\text{g/cm}^3]}$ = 体積 [cm³] だよ

モル濃度を求める。

$$\text{モル濃度} [\text{mol/L}] = \frac{25}{40} \times \frac{1200}{125} = \underline{6.0 \text{ mol/L}}$$

[mol] [L]

- (3) 質量モル濃度を求める。

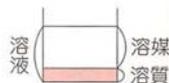
$$\text{質量モル濃度} [\text{mol/kg}] = \frac{25}{40} \times \frac{1000}{100} = \underline{6.25 \text{ mol/kg}}$$

[mol] [kg]

水だよ！

ポイント

僕は、溶液の図を右のようにかいているよ。本当は均一だから溶質は溶媒中に散らばっているけれど、書きづらいから右のようにしているんだ。



- 質量パーセント濃度 [%] = $\frac{\text{溶質} [\text{g}]}{\text{溶液} [\text{g}]} \times 100$

- モル濃度 [mol/L] = $\frac{\text{溶質} [\text{mol}]}{\text{溶液} [\text{L}]}$

- 質量モル濃度 [mol/kg] = $\frac{\text{溶質} [\text{mol}]}{\text{溶媒} [\text{kg}]}$ 溶媒だよ！

濃度は、計算問題では大きく関わってくるから、絶対にできなくちゃいけないね。図をかいて数値を1つずつ求めていけば、答えは出てくるぞ。単位と図をたくさんかこう！

質量 [g] ⇔ 体積 [cm³] の換算には、密度 [g/cm³] が必要だよ。かけるか割るかは単位を見ればわかるぞ！

解答 (1) 20 % (2) 6.0 mol/L (3) 6.3 mol/kg

濃度② (溶液の希釈, % → mol/L の換算)

問題

★★★

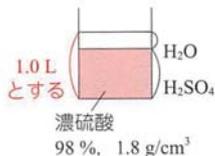
98%の濃硫酸(密度 1.8 g/cm³)を水で希釈し、2.4 mol/Lの希硫酸(密度 1.14 g/cm³)を 300 mL 作りたい。

- (1) この濃硫酸のモル濃度は何 mol/L か。
- (2) 必要な濃硫酸の量は何 mL か。
- (3) 加えた水(密度 1.0 g/cm³)の量は何 mL か。

解説

(1) [%] → [mol/L] の換算の問題。

濃度の換算なので、体積はいくらでもいいんだよ。だから、1.0 L とすると解きやすいぞ



溶液の体積を 1.0 L (1000 cm³)としてその質量を求める。

$$\underbrace{1000}_{[\text{cm}^3]} \times \underbrace{1.8}_{[\text{g/cm}^3]} = 1800 \text{ g}$$

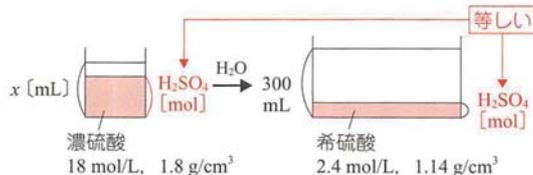
体積 [cm³] × 密度 [g/cm³] = 質量 [g] だよ

含まれている H₂SO₄ の物質質量を求める。H₂SO₄ = 98 より、

$$\underbrace{1800}_{\text{濃硫酸 [g]}} \times \frac{\underbrace{98}_{\text{H}_2\text{SO}_4 [\text{g}]}}{100} \times \frac{1}{\underbrace{98}_{\text{H}_2\text{SO}_4 [\text{mol}]}} = 18 \text{ mol}$$

したがって、モル濃度は、18 mol/L

(2)



必要な濃硫酸を x [mL] とする。濃硫酸と希硫酸に含まれる H₂SO₄ の物質質量は等しいことより、 x を求める。

$$\underbrace{18}_{[\text{mol/L}]} \times \underbrace{\frac{x}{1000}}_{[\text{L}]} = \underbrace{2.4}_{[\text{mol/L}]} \times \underbrace{\frac{300}{1000}}_{[\text{L}]}$$

濃硫酸中の H₂SO₄ [mol] 希硫酸中の H₂SO₄ [mol]

$$x = \underline{40 \text{ mL}}$$

(3) 濃硫酸と希硫酸の質量より、加えた水の質量を求める。

$$\underbrace{300}_{[\text{cm}^3]} \times \underbrace{1.14}_{[\text{g/cm}^3]} - \underbrace{40}_{[\text{cm}^3]} \times \underbrace{1.8}_{[\text{g/cm}^3]} = 270 \text{ g}$$

希硫酸 [g] 濃硫酸 [g]

水の密度が 1.0 g/cm³ より、270 g の体積は 270 mL

ポイント

300 - 40 = 260 mL にはならないよ

密度の異なる体積どうしの足し算や引き算はできないよ。そのときは、質量どうして計算して、体積に直すんだよ。

解答 (1) 18 mol/L (2) 40 mL (3) 2.7 × 10² mL

濃度 ③ (g, %, mol/L を求める)

問題

★★★

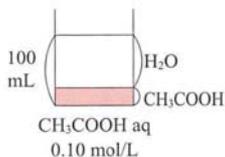
- ☑(1) 0.10 mol/L 酢酸 CH_3COOH 水溶液 100 mL に酢酸は何 g 溶けているか。
- ☑(2) 3.0 mol/L の塩酸 (密度 1.05 g/cm³) の質量パーセント濃度は何 % か。
- ☑(3) 12 mol/L の濃硝酸 10 mL に水を加えて 500 mL にした。もとの硝酸は何倍にうすまったか。また、うすまった硝酸のモル濃度は何 mol/L か。

解説

(1) $\text{CH}_3\text{COOH} = 60$ より, 60 g/mol。

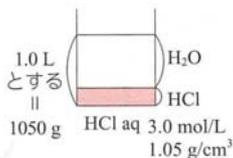
よって, 溶けている CH_3COOH の質量は,

$$\underbrace{0.10}_{[\text{mol/L}]} \times \underbrace{\frac{100}{1000}}_{[\text{L}]} \times \underbrace{60}_{[\text{g/mol}]} = \underline{0.60 \text{ g}}$$



(2) [mol/L] ⇒ [%] の換算の問題。溶液 1.0 L の質量を求める。

$$\underbrace{1000}_{[\text{cm}^3]} \times \underbrace{1.05}_{[\text{g/cm}^3]} = 1050 \text{ g}$$



1.0 L とおくと解きやすいぞ!

含まれている HCl の物質量を求める。HCl = 36.5 より,

$$\underbrace{3.0}_{[\text{mol/L}]} \times \underbrace{1.0}_{[\text{L}]} \times \underbrace{36.5}_{[\text{g/mol}]} = 109.5 \text{ g}$$

質量パーセント濃度を求める。

$$\frac{109.5 \text{ g}}{1050 \text{ g}} \times 100 \div \underline{10.4 \%}$$

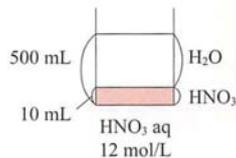
(3) 濃硝酸に水を加えると濃度は,

$$\frac{\text{濃硝酸} [\text{mL}]}{\text{うすめた後の全量} [\text{mL}]} = \frac{10}{500} = \frac{1}{50} \text{ 倍}$$

になる。このとき, 「50 倍にうすまった」といえる。

うすめた後の濃度は,

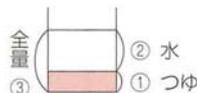
$$12 \text{ mol/L} \times \frac{1}{50} = \underline{0.24 \text{ mol/L}}$$



ポイント

(3)のように溶液をうすめる問題は次のように考えよう。

めんつゆを 2 倍にうすめたいからといって, 水を 2 倍入れちゃダメだよ。それは 3 倍にうすまったことになるから, うすすぎておいしくないね。めんつゆを 2 倍にうすめるには, 全量がめんつゆの 2 倍になるまで入れるんだよ!



3 倍希釈だよ

解答 (1) 0.60 g (2) 10 % (3) 50 倍, 0.24 mol/L

問題

★★★★

4.0 g のメタンと標準状態において 33.6 L の酸素を混合し、点火してメタンを完全燃焼させた。

- (1) 反応前のメタンおよび酸素は何 mol か。
 (2) 反応せずに残った酸素は何 mol か。
 (3) 生成した二酸化炭素は標準状態で何 L か。
 (4) 生成した水は何 g か。

解説

- (1) CH₄ の物質量を求める。

CH₄ = 16 より、モル質量は 16 g/mol。

$$\frac{4.0 \text{ g}}{16 \text{ g/mol}} = 0.25 \text{ mol}$$

O₂ の物質量を求める。

O₂ のモル体積は、22.4 L/mol。

$$\frac{33.6 \text{ L}}{22.4 \text{ L/mol}} = 1.5 \text{ mol}$$



- (2) 化学反応式を書き、その下に量的関係を示す。

[mol]	CH ₄	+ 2O ₂	→	CO ₂	+ 2H ₂ O	
反応前	0.25	1.5		0	0	係数比に 一致するよ
変化量	-0.25	-0.50		+0.25	+0.50	
反応後	0	1.0		0.25	0.50	

CH₄ がすべて反応するので CH₄ に合わせるよ

バランスシートといって、化学反応式の下に三段のシートを書くと、量的関係が整理しやすいぞ

バランスシートより、残った O₂ は 1.0 mol

- (3) バランスシートより、生成した CO₂ は、0.25 mol。その体積は、0.25 mol × 22.4 L/mol = 5.6 L

- (4) バランスシートより、生成した H₂O は 0.50 mol。その質量は、H₂O = 18 より、0.50 mol × 18 g/mol = 9.0 g

ポイント

反応の量的関係を計算するときには、バランスシートを書く^①とわかりやすいぞ。「どんなとき書けるの？」^②っていう質問がよくあるけど、その答えは「いつでも書ける！」だよ。他に、分圧の法則^③ → 61、62、化学平衡^④ → 82 ~ 84 でも出てくるから見てみよう。

解答 (1) メタン：0.25 mol 酸素：1.5 mol

(2) 1.0 mol (3) 5.6 L (4) 9.0 g

反応の量的関係② (混合物の反応)

問題

★★

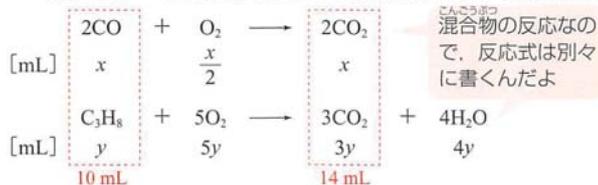
一酸化炭素 CO とプロパン C₃H₈ の混合気体 10 mL を完全燃焼させると、二酸化炭素が 14 mL 得られた。気体の体積はすべて標準状態でのものとする。

- ☑(1) もとの混合気体中の一酸化炭素は何 mL であったか。
- ☑(2) 燃焼に必要な空気は標準状態で何 mL か。ただし、空気は窒素と酸素が体積比 4 : 1 で混合しているものとする。

解説

(1) 混合気体中の CO を x [mL]、C₃H₈ を y [mL] とし、燃焼の化学反応式と、その変化量を示す。

(モル比) = (体積比) より、量的関係は体積で考えてよい。



混合気体 10 mL を x , y で表す。

$$x + y = 10 \cdots \cdots \textcircled{1}$$

生成した CO₂ 14 mL を x , y で表す。

$$x + 3y = 14 \cdots \cdots \textcircled{2}$$

①, ②より、 x , y を求める。

$$x = 8.0 \text{ mL}, y = 2.0 \text{ mL}$$

よって、CO は 8.0 mL

(2) 必要な O₂ の体積は、(1) より、

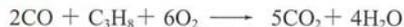
$$\frac{x}{2} + 5y = \frac{8.0}{2} + 5 \times 2.0 = 14 \text{ mL}$$

空気は N₂ : O₂ = 4 : 1 で混合しているので、O₂ 14 mL に対する空気の体積は、O₂ の 5 倍必要になる。

$$14 \times 5 = \underline{70 \text{ mL}}$$

ポイント

混合物の反応のとき、例えば今回は、



のように書いてはだめだよ。なぜなら、反応式の係数比は常に一定じゃなきゃいけないけれど、混合物の係数比は一定じゃないからね。だから、この解説のように、別々に書いて考えるんだよ。



解答 (1) 8.0 mL (2) 70 mL

種々の反応熱① (化学変化に関する熱)

問題

★★★

次の文を熱化学方程式およびエネルギー図で示せ。

- (1) 1.6 g のメタン CH₄ を燃焼させたところ、89 kJ 発生した。
- (2) アンモニアの生成熱は 46 kJ/mol の発熱である。
- (3) 0.50 mol の食塩を水に溶かすと、2.0 kJ の熱を吸収した。
- (4) 塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の中和によって水が 1.8 g 生じるとき、5.7 kJ の熱を発生する。

解説 着目

- (1) CH₄ (分子量 16) が 1 mol 燃焼したときに発生する熱量 (燃焼熱) を求める。

$$\frac{89 \text{ kJ}}{1.6 \text{ mol}} = 890 \text{ kJ/mol}$$

[kJ] [mol]

H₂O の状態は、ことわりがなければ液体で考えよう

- (2) 生成熱は、物質 1 mol が構成元素の単体から生成したときに発生または吸収する熱量。NH₃ に着目

- (3) 食塩 NaCl 1 mol を水に溶かしたときに吸収した熱量 (溶解熱) を求める。

$$\frac{2.0 \text{ kJ}}{0.50 \text{ mol}} = 4.0 \text{ kJ/mol}$$

溶解熱には発熱もあるよ

- (4) 中和により H₂O 1 mol が生じたとき発生する熱量 (中和熱) を求める。H₂O = 18 より、着目

$$\frac{5.7 \text{ kJ}}{1.8 \text{ mol}} = 57 \text{ kJ/mol}$$

[kJ] [mol]

ポイント

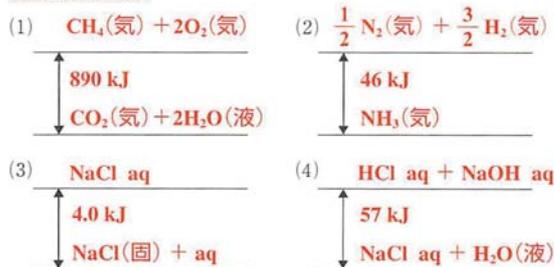
熱化学方程式は、着目する物質 1 mol の変化と熱の出入りを表した式だよ。反応熱の種類で着目する物質が決まっているんだ。エネルギー図については「10」を見てね。

解答

熱化学方程式

- (1) CH₄ (気) + 2O₂ (気) = CO₂ (気) + 2H₂O (液) + 890 kJ
- (2) $\frac{1}{2}$ N₂ (気) + $\frac{3}{2}$ H₂ (気) = NH₃ (気) + 46 kJ
- (3) NaCl (固) + aq = NaCl aq - 4.0 kJ
- (4) HCl aq + NaOH aq = NaCl aq + H₂O (液) + 57 kJ

エネルギー図



問題

★★★★

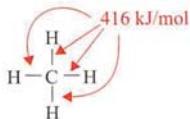
次の文を熱化学方程式およびエネルギー図で示せ。
 数值は整数で示せ。

- (1) H_2O の蒸発熱は 44 kJ/mol である。
 □(2) H_2O の融解熱は 6.0 kJ/mol である。
 □(3) H_2 (気) の結合エネルギーは 436 kJ/mol である。
 □(4) C-H の結合エネルギーが 416 kJ/mol のときの CH_4 (気) の解離エネルギー。

解説

- (1) **蒸発熱**は、液体 1 mol が気体になるときに必要な熱量。反応熱は必ず吸熱になる。
- (2) **融解熱**は、固体 1 mol が液体になるときに必要な熱量。反応熱は必ず吸熱になる。
- (3) **結合エネルギー**は、気体状態の分子内の共有結合 1 mol を切るのに必要な熱量。反応熱は必ず吸熱になる。
- (4) **解離エネルギー**は、分子内の結合エネルギーの総和の熱量。反応熱は必ず吸熱になる。

CH_4 1 分子中に C-H 結合は 4 本あるので、 CH_4 (気) 1 mol の解離エネルギーは、 $416 \times 4 = 1664 \text{ kJ/mol}$



ポイント

エネルギー図をかくコツは、右の図の物質が保有するエネルギーの目安を覚えておくことだよ。

⑫～⑬でエネルギー図を使って解くときに、この目安に合わせてかいていけばうまくいくよ!

図中の矢印は、両矢印を使うと書きやすいぞ。エネルギー図は、保有するエネルギーの差を表す図だから、上向き、下向きにとられるな!

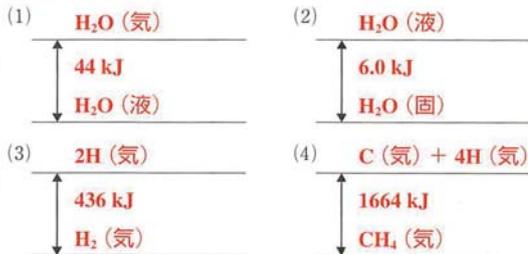
大 エネルギー	イオン(気) 原子(気) 単体 化合物	大 エネルギー	気体 液体
小	酸化物	小	固体

解答

熱化学方程式

- (1) $\text{H}_2\text{O}(\text{液}) = \text{H}_2\text{O}(\text{気}) - 44 \text{ kJ}$
 (2) $\text{H}_2\text{O}(\text{固}) = \text{H}_2\text{O}(\text{液}) - 6.0 \text{ kJ}$
 (3) $\text{H}_2(\text{気}) = 2\text{H}(\text{気}) - 436 \text{ kJ}$
 (4) $\text{CH}_4(\text{気}) = \text{C}(\text{気}) + 4\text{H}(\text{気}) - 1664 \text{ kJ}$

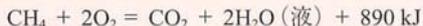
エネルギー図



問題

★★★

次の熱化学方程式を参考にして答えよ。



- ☑(1) メタン 0.40 mol を完全燃焼させたとき、生じた熱量は何 kJ か。
- ☑(2) 発熱量が 555 kJ のとき、完全燃焼したプロパンは何 g か。
- ☑(3) 同じ質量を完全燃焼させたとき、生じた熱量が多い気体はどちらか。
- ☑(4) 同じ熱量を得るのに、にさんかたんそ二酸化炭素の発生する体積が多い気体はどちらか。

解説

- (1) 熱化学方程式より、 CH_4 の燃焼熱は 890 kJ/mol。

$$\text{生じた熱量は、} \frac{890}{[\text{kJ/mol}]} \times \frac{0.40}{[\text{mol}]} = \underline{356 \text{ kJ}}$$

- (2) 熱化学方程式より、 C_3H_8 の燃焼熱は 2220 kJ/mol。

$$\text{C}_3\text{H}_8 \text{ の分子量} = 44 \text{ より、} \frac{555}{2220} \times 44 = \underline{11 \text{ g}}$$

- (3) それぞれ 1 g 燃焼させたときに生じる熱量を比較する。
 $\text{CH}_4 = 16$, $\text{C}_3\text{H}_8 = 44$ より、1 g の物質量は、

$$\text{CH}_4 : \frac{1}{16} \text{ mol}, \text{C}_3\text{H}_8 : \frac{1}{44} \text{ mol}$$

生じた熱量 [kJ] は、

$$\text{CH}_4 : 890 \times \frac{1}{16} \doteq 55.6 \text{ kJ}$$

$$\text{C}_3\text{H}_8 : 2220 \times \frac{1}{44} \doteq 50.5 \text{ kJ}$$

よって、熱量が多いのは $\underline{\text{CH}_4}$

- (4) それぞれ 1 kJ 得るのに発生する CO_2 の物質量を比較する。
 このとき、反応に用いた CH_4 と C_3H_8 の物質量は、

$$\text{CH}_4 : \frac{1}{890} \text{ mol}, \text{C}_3\text{H}_8 : \frac{1}{2220} \text{ mol}$$

発生した CO_2 [mol] は、

$$\text{CH}_4 \Rightarrow \text{CH}_4 : \text{CO}_2 = 1 : 1 \text{ より、} \frac{1}{890} \text{ mol}$$

$$\text{C}_3\text{H}_8 \Rightarrow \text{C}_3\text{H}_8 : \text{CO}_2 = 1 : 3 \text{ より、} \frac{1}{2220} \times 3 = \frac{1}{740} \text{ mol}$$

よって、(モル比) = (体積比) より、 CO_2 の発生した体積が多い気体は $\underline{\text{C}_3\text{H}_8}$

ポイント

単位を見れば式は導けるぞ。

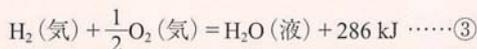
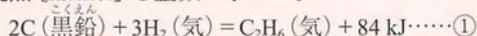
- 解答 (1) $3.6 \times 10^2 \text{ kJ}$ (2) 11 g (3) メタン
 (4) プロパン

ヘスの法則①(熱化学方程式とエネルギー図の利用)

問題

★★★

□ 次の熱化学方程式①~③を用いて、 C_2H_6 (気)の燃焼熱 [kJ/mol] を整数で求めよ。

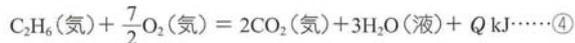


解説

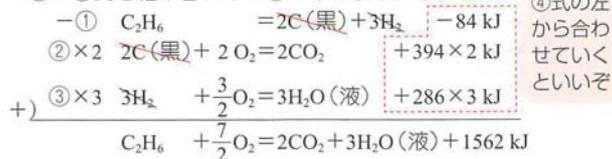
C_2H_6 (気)の燃焼熱を Q [kJ/mol] とする。

熱化学方程式を利用して解く

C_2H_6 (気)の燃焼熱の熱化学方程式を書く。



①~③式を組み合わせて④になるようにする。



O_2 は②と③にまたがっているので後直し

$$Q = -① + ② \times 2 + ③ \times 3$$

$$= -84 + 394 \times 2 + 286 \times 3$$

$$= \underline{1562 \text{ kJ/mol}}$$

左下の組み立てが頭の中でできるようにすると、これだけで熱量を求められるよ

エネルギー図を利用して解く

Step2

基準ラインをかく。今回は単体!

①だよ



Step1

まず求めたいところをかく

Step3

基準ラインと求める熱量を結び2つの経路をかく

$$2 \times 394$$

$$+ \text{ kJ}$$

$$3 \times 286$$

2×②+3×③だよ

エネルギー図より、

$$Q = (2 \times 394 + 3 \times 286) - 84$$

$$= \underline{1562 \text{ kJ/mol}}$$

ポイント

熱化学方程式を組み合わせる解き方が一番有名だね。たくさん練習して、熱量だけで計算できるようにしよう。

今回のように、熱化学方程式がすでに書いてあるときは、エネルギー図で解くよりも早いよね。でも、練習のときはどちらも書けるようにしよう。

解答 1562 kJ/mol

ヘスの法則④ (格子エネルギーを求める)

問題

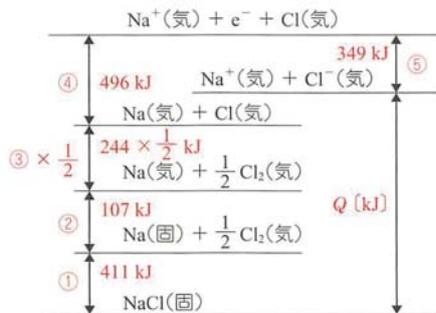


☑ イオン結晶 NaCl の格子エネルギー Q [kJ/mol] を次の①～⑤を用いて整数で求めよ。

$$\text{NaCl (固)} = \text{Na}^+ (\text{気}) + \text{Cl}^- (\text{気}) - Q \text{ kJ}$$

- ① $\text{Na (固)} + \frac{1}{2} \text{Cl}_2 (\text{気}) = \text{NaCl (固)} + 411 \text{ kJ}$
- ② $\text{Na (固)} = \text{Na (気)} - 107 \text{ kJ}$
- ③ $\text{Cl}_2 (\text{気}) = 2\text{Cl (気)} - 244 \text{ kJ}$
- ④ $\text{Na (気)} = \text{Na}^+ (\text{気}) + e^- - 496 \text{ kJ}$
- ⑤ $\text{Cl (気)} + e^- = \text{Cl}^- (\text{気}) + 349 \text{ kJ}$

解説



エネルギー図より、

$$\begin{aligned} Q &= (496 + 244 \times \frac{1}{2} + 107 + 411) - 349 \\ &= 787 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

ポイント

イオン結晶の格子エネルギーは直接求めることができないんだ。だから、ヘスの法則を使って別の経路から求めていくんだよ。それをエネルギー図で表すと1つの輪(サイクル)となっているよね。だからこれを**ボルン・ハーバースサイクル**というんだよ。入試でも見られる題材だから理解しよう。なお、エネルギーの順番は⑩を参考にしてね！

- ①～⑤の反応熱の種類は次のとおりだよ。
- ①……NaCl(固)の生成熱
 - ②……Na(固)の昇華熱
 - ③……Cl₂(気)の結合エネルギー
 - ④……Na(気)の第一イオン化エネルギー
 - ⑤……Cl(気)の電子親和力

④の**第一イオン化エネルギー**は、原子から1個の電子を取り去って1価の陽イオンにするのに必要なエネルギーのことだよ。だから**吸熱**反応になるんだ。

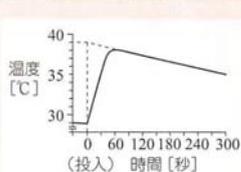
⑤の**電子親和力**は、原子が1個の電子を受け取って1価の陰イオンになるときに放出されるエネルギーのことだよ。だから**発熱**反応になるんだ。

解答 787 kJ/mol

問題

★★

☑ 純水 48 g を入れた発泡
ポリスチレン製のコップ
に、固体の水酸化ナトリ
ウム 2.0 g を加え、かき
混ぜながら温度をはかっ
たところ、グラフのような測定結果が得られた。水
酸化ナトリウムの溶解熱は何 kJ/mol か。整数で答
えよ。ただし、溶液の比熱はすべて 4.2 J/(g・℃) と
する。

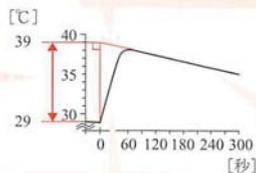


解説

グラフより、発生した熱量によって瞬間的に上昇したと考
えられる温度は 39℃。

グラフを延長(外挿)して NaOH を入れ
た直後とぶつかったところを求めるよ

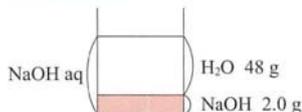
ここが上昇した
と考えられる温
度になるよ



放熱して温度が下
がるからだよ

温まるのに時間が
かかるからだよ

29℃ → 39℃



生じた熱量 [kJ] は、

$$\frac{4.2}{1000} \times (48 + 2.0) \times (39 - 29) = 2.1 \text{ kJ}$$

[kJ/(g・℃)] [g] [℃]

比熱だよ

溶解した NaOH の物質質量 [mol] は、NaOH = 40 より、

$$\frac{2.0}{40} = 0.05 \text{ mol}$$

溶解熱 [kJ/mol] を求める。

$$\frac{2.1 \text{ kJ}}{0.05 \text{ mol}} = 42 \text{ kJ/mol}$$

ポイント

水の温度変化から、比熱を用いて発生した熱量を求める
問題だよ。グラフから上昇した温度を求める方法を覚えよう！

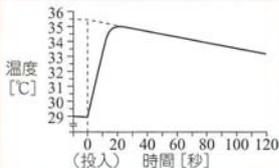
比熱とは、水溶液 1 g の温度を 1℃ 上げるのに必要な熱
量のことだよ。

解答 42 kJ/mol

問題



☑ 2.0 mol/L の塩酸 50 mL を入れた発泡ポリスチレン製のコップに 1.0 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液 50 mL (29℃) をすべて加え、

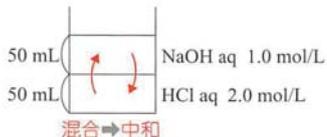


かき混ぜながら温度をはかったところ、グラフのような測定結果が得られた。水酸化ナトリウムと塩酸の中和熱は何 kJ/mol か。整数で答えよ。ただし、溶液の比熱はすべて 4.2 J/(g・℃)、溶液の密度はすべて 1.0 g/cm³ とする。

解説

グラフより、発生した熱量によって瞬間的に上昇したと考えられる温度は 35.5℃。

29℃ → 35.5℃



中和によって生じた熱量 [kJ] は、

$$\frac{4.2}{1000} \times (50 + 50) \times 1.0 \times (35.5 - 29) = 2.73 \text{ kJ}$$

[kJ/(g・℃)] [mL] [g/mL] [℃]

比熱だよ [g] 密度を使って質量に換算するよ

中和で生じた H₂O の物質質量 [mol] は、

$$\text{用意した HCl} : 2.0 \times \frac{50}{1000} = 0.1 \text{ mol}$$

$$\text{用意した NaOH} : 1.0 \times \frac{50}{1000} = 0.05 \text{ mol}$$

HCl + NaOH → NaCl + H₂O より、生じた H₂O は、0.05 mol。

中和熱 [kJ/mol] を求める。

$$\frac{2.73 \text{ kJ}}{0.05 \text{ mol}} = 54.6 \text{ kJ/mol}$$

ポイント

上昇した温度は、**16** と同じように、温度が低下しているグラフを延長 (外挿) して投入したときとぶつかったときの温度だよ。

HCl のようにすべてが中和に使われるわけではないから、生じた H₂O の物質質量を求めるときは注意してね!

解答 55 kJ/mol

中和反応の量的関係

問題

★★★

- ☑(1) 0.10 mol/L の酢酸 20 mL を中和するのに、水酸化ナトリウム水溶液を 10 mL 必要とした。この水酸化ナトリウム水溶液の濃度は何 mol/L か。
- ☑(2) 純粋な水酸化ナトリウムの固体を溶かした水に、0.50 mol/L の硫酸を 10 mL 加えたところ、完全に中和した。溶かした水酸化ナトリウムは何 g か。

解説

- (1) $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}$
 水酸化ナトリウム水溶液の濃度を x [mol/L] とする。中和点では H^+ [mol] = OH^- [mol] が成立している。

$$\underbrace{\underbrace{0.10}_{\text{[mol/L]}} \times \underbrace{\frac{20}{1000}}_{\text{[L]}}}_{\text{CH}_3\text{COOH [mol]}} \times \underbrace{1}_{\text{[価]}} = \underbrace{\underbrace{x}_{\text{[mol/L]}} \times \underbrace{\frac{10}{1000}}_{\text{[L]}}}_{\text{NaOH [mol]}} \times \underbrace{1}_{\text{[価]}}$$

$$\underbrace{\hspace{10em}}_{\text{H}^+ \text{ [mol]}} \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{\text{OH}^- \text{ [mol]}}$$

$$x = \underline{0.20 \text{ mol/L}}$$

酢酸は弱酸だけど、中和反応の量的関係に酸・塩基の強さは関係ないよ

- (2) $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
 溶かした水酸化ナトリウムを x [g] とする。中和点では H^+ [mol] = OH^- [mol] が成立している。

$$\underbrace{\underbrace{0.50}_{\text{[mol/L]}} \times \underbrace{\frac{10}{1000}}_{\text{[L]}}}_{\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ [mol]}} \times \underbrace{2}_{\text{[価]}} = \underbrace{\frac{x}{40}}_{\text{[mol]}} \times \underbrace{1}_{\text{[価]}}$$

$$\underbrace{\hspace{10em}}_{\text{H}^+ \text{ [mol]}} \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{\text{OH}^- \text{ [mol]}}$$

$$x = \underline{0.40 \text{ g}}$$

固体の場合でも、 H^+ [mol] と OH^- [mol] を合わせればいいんだよ

ポイント

酸と塩基が反応して水と塩を生じる反応を中和反応、完全に中和が起こったときを中和点というんだよ。中和点では、

酸が出した H^+ [mol] = 塩基が出した OH^- [mol]

が成立しているんだ。これを利用して、水溶液の濃度や体積を求めることができるんだよ。

中和の計算は、公式にあてはめようとするんじゃなく、 H^+ [mol] = OH^- [mol] を意識すればどんな問題でも解けるよ。そのためには、単位をしっかりと意識すればいいんだ。

解答 (1) 0.20 mol/L (2) 0.40 g

水素イオン濃度①(強酸と強塩基の pH)

問題

★★★★

強酸、強塩基の電離度は 1.0、また水のイオン積は $K_w = 1.0 \times 10^{-14} (\text{mol/L})^2$ とし、小数第 1 位まで求めよ。

- ☑(1) 0.050 mol/L の硫酸水溶液の pH はいくらか。
- ☑(2) 0.10 mol/L の酢酸水溶液の pH はいくらか。ただし、電離度は 0.010 とする。
- ☑(3) 0.010 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液の pH はいくらか。

解説

[] はモル濃度を表すよ

酸・塩基の $[\text{H}^+]$ 、 $[\text{OH}^-]$ は、次のように求められる。

$$[\text{H}^+] = (\text{価数}) \times (\text{酸の濃度}) \times (\text{電離度 } \alpha)$$

$$[\text{OH}^-] = (\text{価数}) \times (\text{塩基の濃度}) \times (\text{電離度 } \alpha)$$

- (1) $\text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$

$$[\text{H}^+] = 2 \times 0.050 \times 1 = 1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/L}$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} [\text{mol/L}] \text{ より、pH} = \underline{1.0}$$
- (2) $\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+$

$$[\text{H}^+] = 1 \times 0.10 \times 0.010 = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$\text{pH} = \underline{3.0}$$

(3) $\text{NaOH} \longrightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$

$$[\text{OH}^-] = 1 \times 0.010 \times 1 = 1.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$$

$[\text{H}^+]$ を求める。
 $[\text{H}^+][\text{OH}^-] = K_w$ より、 $[\text{H}^+] = \frac{K_w}{[\text{OH}^-]}$

$$[\text{H}^+] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.0 \times 10^{-2}} = 1.0 \times 10^{-12} \text{ mol/L}$$

$$\text{pH} = \underline{12}$$

別解

$$[\text{OH}^-] = 1 \times 0.010 \times 1 = 1.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$$

$[\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}} [\text{mol/L}]$ より、 $\text{pOH} = 2.0$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 2.0 = \underline{12}$$

$K_w = 1.0 \times 10^{-14} (\text{mol/L})^2$ のとき、 $\text{pH} + \text{pOH} = 14$ が成立するよ



化学基礎の範囲では、電離度は与えられているけれど、化学になると計算するよ (85)。log を用いた計算は、(85)~(87) で出てくるよ。

小数第 1 位まで数値を書くのを忘れないでね!



解答 (1) 1.0 (2) 3.0 (3) 12.0

問題



- 空欄 (1), (2) に適切な数値を入れよ。

強酸 HA は、水溶液中でほぼ完全に H⁺ と A⁻ に電離している。したがって、水の電離によって生じる [H⁺] が無視できる範囲、たとえば 1.0×10^{-2} mol/L の塩酸の [H⁺] は (1) mol/L となる。

しかし、非常に希薄な強酸の水溶液では、水の電離による [H⁺] が無視できない。たとえば、25℃で 1.0×10^{-8} mol/L の塩酸において、水の電離によって生じる [H⁺] を x [mol/L] とし、水のイオン積 $K_w = [H^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}$ (mol/L)² を利用すると x が求まる。これより、全水素イオン濃度は (2) mol/L と計算される。

解説

- (1) 塩酸は 1 価の強酸より、
 $[H^+] = \underbrace{1}_{\text{[価]}} \times \underbrace{1.0 \times 10^{-2}}_{\text{[mol/L]}} \times \underbrace{1}_{\alpha} = 1.0 \times 10^{-2}$ mol/L

pH = 2だよ

- (2) 塩酸より生じた [H⁺] は、
 $[H^+] = 1 \times 1.0 \times 10^{-8} \times 1 = 1.0 \times 10^{-8}$ mol/L
 水の電離により生じた [H⁺]、[OH⁻] は、
 $H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$ より、 $[H^+] = [OH^-] = x$ [mol/L]

pH = 8には
ならないよ

水溶液中の全水素イオン濃度は、 $x + 1.0 \times 10^{-8}$ [mol/L]
 水溶液中の水酸化物イオン濃度 [OH⁻] は、水の電離より生じた x [mol/L]。水溶液中では、 $K_w = [H^+][OH^-]$ が成立していることより、 x を求める。

$$1.0 \times 10^{-14} = (x + 1.0 \times 10^{-8}) \times x \text{ より,}$$

$$x^2 + 10^{-8}x - 10^{-14} = 0$$

解の公式より、

$$x = \frac{-10^{-8} \pm \sqrt{(10^{-8})^2 - 4 \times 1 \times (-10^{-14})}}{2 \times 1}$$

$$= \frac{-10^{-8} \pm \sqrt{4.01 \times 10^{-14}}}{2}$$

$\sqrt{4.01} \approx 2$
として計算
していいよ

$$= \frac{-0.1 \times 10^{-7} \pm 2 \times 10^{-7}}{2}$$

$$= 0.95 \times 10^{-7}, -1.05 \times 10^{-7}$$

$x > 0$ より、 $x = 0.95 \times 10^{-7}$ mol/L pH は約 6.98 になるよ
 よって、水溶液中の全水素イオン濃度は、

$$0.95 \times 10^{-7} + 0.10 \times 10^{-7} = 1.05 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$$

ポイント

強酸をうすめても、pH が 7 を超えることはないぞ。濃度のうすい強酸 (目安は $[H^+] < 1.0 \times 10^{-6}$ mol/L) では、水の電離による [H⁺] を考えなければならないよ!

解答 (1) 1.0×10^{-2} (2) 1.1×10^{-7}

問題

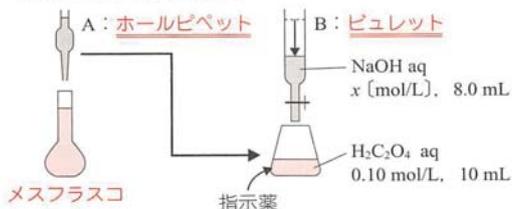
★★★★

0.10 mol/L のシュウ酸 10 mL を、器具 A を用いてコニカルビーカーにとり、指示薬を数滴加えた。次に濃度のわからない水酸化ナトリウム水溶液を器具 B より滴下したところ、中和点までに 8.0 mL 必要であった。

- (1) 器具 A, B の名称を答えよ。
 (2) 指示薬として適当なものを答えよ。また、選んだ理由を簡潔に答えよ。
 (3) 水酸化ナトリウム水溶液は何 mol/L か。

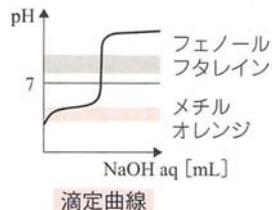
解説

(1) 実験の様子を図で表す。



(2) $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + \text{NaOH} \longrightarrow \text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
 弱酸と強塩基による中和滴定なので、生じた塩の加水分解により中和点は弱塩基性を示す。指示薬にメチルオレンジを用いると、中和点を超える前に色が変化してしまう。

フェノールフタレインでは中和点を超えているが、1滴で大きく変化するので問題ない。



(3) 水酸化ナトリウム水溶液の濃度を x [mol/L] とする。中和点では H^+ [mol] = OH^- [mol] が成立している。

$$\underbrace{\underbrace{0.10}_{\text{[mol/L]}} \times \underbrace{\frac{10}{1000}}_{\text{[L]}}}_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \text{ [mol]}} \times 2 = \underbrace{\underbrace{x}_{\text{[mol/L]}} \times \underbrace{\frac{8.0}{1000}}_{\text{[L]}}}_{\text{NaOH [mol]}} \times 1$$

$$\text{H}^+ \text{ [mol]} \qquad \text{OH}^- \text{ [mol]}$$

$$x = 0.25 \text{ mol/L}$$

ポイント

中和滴定の問題を解くとき、簡単な図をかくと、数字のミスなどが防げるので効果的！ (2)の選んだ理由については、**解答** のように書くとまとめやすいぞ！

- 解答** (1) 器具 A : ホールピペット 器具 B : ビュレット
 (2) 指示薬 : フェノールフタレイン 理由 : 生じた塩の加水分解により、中和点は塩基性を示すので、変色域が塩基性側にあるフェノールフタレインが適当である。
 (3) 0.25 mol/L

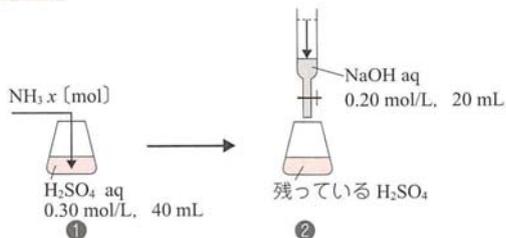
逆滴定① (塩基を塩基で調べる)

問題

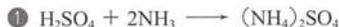
★★

- ある量の気体のアンモニアを、 0.30 mol/L の硫酸 40 mL に加え、よく振ってアンモニアをすべて吸収させた。反応せずに残った硫酸を 0.20 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液で中和滴定したところ、 20 mL を要した。初めのアンモニアの体積は、標準状態で何 mL か。

解説

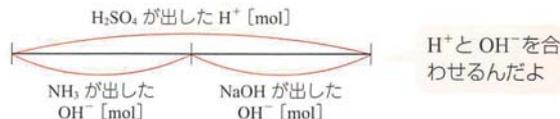


起きている反応は次のとおり。



吸収された NH_3 の物質量を $x \text{ [mol]}$ とする。

中和の量的関係を示す。



$\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ より、
アンモニアは 1 価の塩基だよ

よって、 1 つの式にすると計算ミスしにくいぞ

$$\underbrace{0.30 \times \frac{40}{1000}}_{\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ が出した } \text{H}^+ \text{ [mol]}} \times \underbrace{2}_{\text{NH}_3 \text{ が出した } \text{OH}^- \text{ [mol]}}} = \underbrace{x}_{\text{NaOH が出した } \text{OH}^- \text{ [mol]}} \times \underbrace{1}_{\text{NH}_3 \text{ が出した } \text{OH}^- \text{ [mol]}}} + \underbrace{0.20 \times \frac{20}{1000}}_{\text{NaOH が出した } \text{OH}^- \text{ [mol]}} \times \underbrace{1}_{\text{NaOH が出した } \text{OH}^- \text{ [mol]}} \times \underbrace{1}_{\text{NaOH が出した } \text{OH}^- \text{ [mol]}}$$

$$x = 2.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

吸収された NH_3 の体積 $[\text{L}]$ は、モル体積 22.4 L/mol より、

$$\underbrace{2.0 \times 10^{-2}}_{\text{[mol]}} \times \underbrace{22.4 \times 10^3}_{\text{[mL/mol]}} = \underbrace{448}_{\text{1 L} = 10^3 \text{ mL だよ}} \text{ mL}$$

ポイント

ふつうの中和滴定は、塩基を調べるのに酸を用いるけれど、この(22)のように、塩基を塩基で調べる操作を逆滴定というんだ。

逆滴定は、気体や水に溶けにくい固体などの量を調べるときに用いるんだよ。

解答 $4.5 \times 10^2 \text{ mL}$

逆滴定② (酸を酸で調べる)

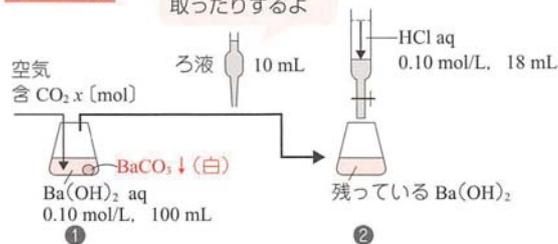
問題

★★

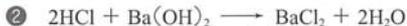
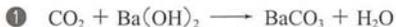
☑ 実験室で発生させた二酸化炭素を 0.10 mol/L の水酸化バリウム水溶液 100 mL の中に通じたところ、炭酸バリウムの白色沈殿が生じた。この沈殿をろ過し、ろ液のうち 10 mL を 0.10 mol/L の塩酸で中和したところ、18 mL を要した。この二酸化炭素の質量は何 g か。

解説

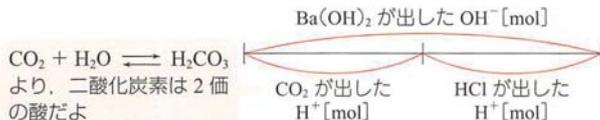
ホールビペットで
取ったりするよ



起きている反応は、次のとおり。



発生させた CO_2 の物質量を x (mol) とする。
中和の量的関係を示す。



Ba(OH)₂ aq 100 mL の出した OH⁻ [mol] に合わせるので、

HCl aq は $\frac{100}{10}$ 倍必要になる。 忘れないでね

$$0.10 \times \frac{100}{1000} \times 2 = x \times 2 + 0.10 \times \frac{18}{1000} \times 1 \times \frac{100}{10}$$

[mol/L] [L] [価] [mol] [価] [mol/L] [L] [価] [倍]

Ba(OH)₂ が出した OH⁻ [mol] CO₂ が出した H⁺ [mol] HCl が出した H⁺ [mol]

$$x = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

発生させた CO₂ の質量を求める。CO₂ = 44 より、

$$1.0 \times 10^{-3} \times 44 = 4.4 \times 10^{-2} \text{ g}$$

[mol] [g/mol]

ポイント

この問題も(22)と同じく、酸を調べるのに酸を用いているので逆滴定というんだよ。

今回はろ液の一部を塩酸で調べたから、用意した Ba(OH)₂ に合わせるには塩酸を 10 倍する必要があったね。

このように、分け取る操作が入ったときは量的関係を合わせるときに気をつけなければいけないよ！

解答 $4.4 \times 10^{-2} \text{ g}$

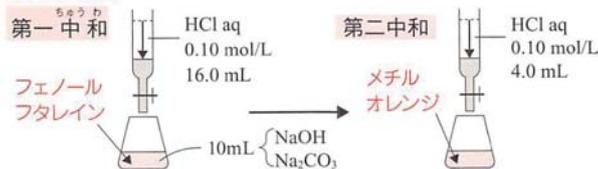
二段滴定① (NaOH と Na₂CO₃ の混合物)

問題

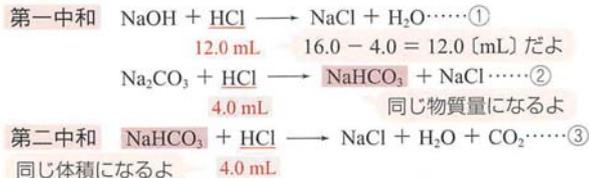
★★

- ☑ NaOH と Na₂CO₃ を含む水溶液 10 mL に、フェノールフタレインを加え、濃度 0.10 mol/L の塩酸を滴下したところ、16.0 mL 加えたところで 1 回目の中和点に達した。さらに、メチルオレンジを加え、同じ濃度の塩酸で滴定を続けると、4.0 mL 加えたところで 2 回目の中和点に達した。混合水溶液中の NaOH は何 mol/L か。

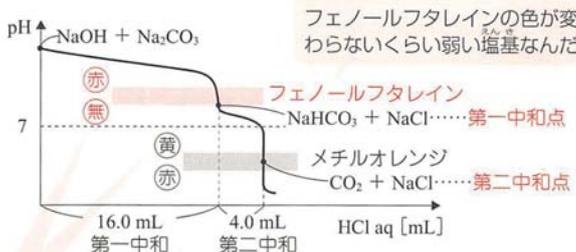
解説



第一中和、第二中和での反応の量的関係は、次のとおり。



滴定曲線を示す。



指示薬の違いで区別できるよ

②と③の NaHCO₃ の物質量は等しいので、反応に要した HCl aq の体積は等しい。よって、第一中和で要した塩酸 16.0 mL のうち、NaOH との反応に使われたのは 12.0 mL。

NaOH aq を x [mol/L] とする。NaOH : HCl = 1 : 1 より、

$$x \times \frac{10}{1000} = 0.10 \times \frac{12.0}{1000} \quad x = \underline{0.12} \text{ mol/L}$$

ポイント

NaOH と Na₂CO₃ が混合している場合、第一中和の方が第二中和より塩酸の滴下量が多くなるよ。②③との違いを比べてみよう。

解答 0.12 mol/L

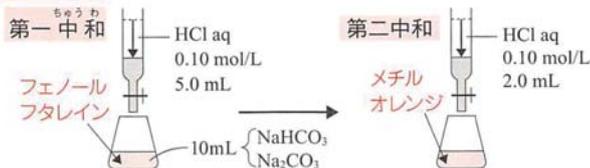
二段滴定② (Na₂CO₃とNaHCO₃の混合物)

問題

★★

☑ Na₂CO₃とNaHCO₃の混合物を水に溶かして10 mLの水溶液にした。この水溶液にフェノールフタレイン溶液を加えて、0.10 mol/Lの希塩酸で滴定したところ5.0 mL要した。引き続き、この溶液にメチルオレンジ溶液を加えて、0.10 mol/Lの希塩酸で再び滴定したところ20.0 mL要した。混合物に含まれているNaHCO₃は何gか。

解説



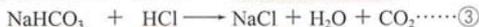
第一中和、第二中和での反応の量的関係は、次のとおり。



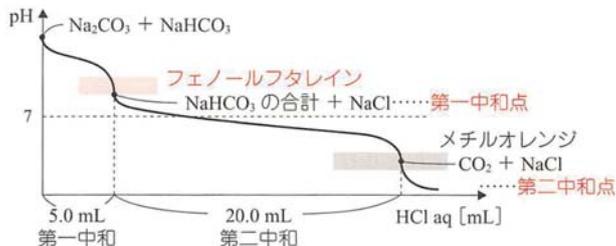
5.0 mL 1 molのNa₂CO₃は1 molのNaHCO₃になるよ



Na₂CO₃より生じた 5.0 mL 1 molのNaHCO₃は1 molのCO₂になるよ



初めからあった 15.0 mL 20.0 - 5.0 = 15.0 mL



第二中和で塩酸と反応したのは、Na₂CO₃より生じたNaHCO₃と初めからあったNaHCO₃の合計。①と②のNaHCO₃の物質量は等しいので、滴下した20.0 mLのうち、5.0 mLはNa₂CO₃より生じたNaHCO₃と反応し、残りの15.0 mLは初めからあったNaHCO₃と反応した。

10 mL中のNaHCO₃をx [g]とする。NaHCO₃ : HCl = 1 : 1、NaHCO₃ = 84より、

$$\frac{x}{84} = 0.10 \times \frac{15.0}{1000} \quad x = \underline{\underline{0.126 \text{ g}}}$$



Na₂CO₃とNaHCO₃の二段滴定では、第二中和に要する塩酸の体積が多いのが特徴だよ。②と比べてみよう！

解答 0.13 g

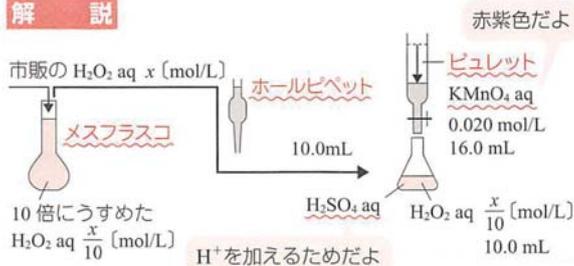
過マンガン酸滴定

問題

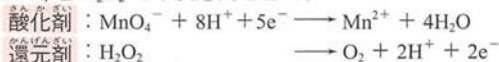
★★★

市販の過酸化水素水をメスフラスコを用いて10倍にうすめた。その水溶液 10.0 mL をホールピペットで正確に三角フラスコにとり、硫酸を加えて酸性にした。この溶液に 0.020 mol/L の過マンガン酸カリウム水溶液をビュレットに入れ、少しずつ滴下していくと、16.0 mL 加えたところで終点となった。過酸化水素水のモル濃度を求めよ。

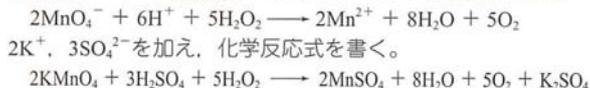
解説



KMnO_4 と H_2O_2 の半反応式を書く。



酸化剤 $\times 2$ + 還元剤 $\times 5$ より、イオン反応式を書く。



MnO_4^- の赤紫色が消えなくなり、うすい赤紫色に着色したときが終点になる。市販の H_2O_2 aq を x [mol/L] とすると、10倍にうすめた後は $\frac{x}{10}$ [mol/L]。

⑥を見よう

e^- の物質量を合わせる方法

MnO_4^- の得た e^- [mol] = H_2O_2 が出した e^- [mol]

$$\underbrace{0.020}_{\text{[mol/L]}} \times \underbrace{\frac{16.0}{1000}}_{\text{[L]}} \times 5 = \underbrace{\frac{x}{10}}_{\text{[mol/L]}} \times \underbrace{\frac{10.0}{1000}}_{\text{[L]}} \times 2$$

半反応式を合わせるときは異なるよ

$$x = 0.80 \text{ mol/L}$$

化学反応式の係数を用いる方法

化学反応式より、 $\text{KMnO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 = 2 : 5$

$$2 : 5 = \left(\underbrace{0.020}_{\text{[mol/L]}} \times \underbrace{\frac{16.0}{1000}}_{\text{[L]}} \right) : \left(\underbrace{\frac{x}{10}}_{\text{[mol/L]}} \times \underbrace{\frac{10.0}{1000}}_{\text{[L]}} \right)$$

$$x = 0.80 \text{ mol/L}$$

ポイント

2つの求め方のどちらでもできるようになると、スピードアップにつながるぞ！

解答 0.80 mol/L

ヨウ素滴定① (酸化剤を調べる)

問題

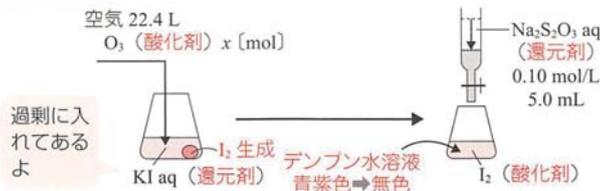
★★★

標準状態で 22.4 L の空気をヨウ化カリウム水溶液に通じて、空気中に含まれているオゾン^{しょうじやく}を完全に吸収させ、指示薬としてデンプン水溶液を少量加えた。次に、この水溶液に 0.10 mol/L のチオ硫酸ナトリウム $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 水溶液を加えていったところ、5.0 mL 加えたときに水溶液の色が変化した。



- (1) オゾンとヨウ化カリウムの反応を、化学反応式で示せ。
- (2) 空気中に含まれているオゾンの体積百分率 [%] を求めよ。

解説



- (1) O_3 と KI の半反応式を書く。



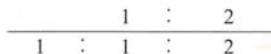
酸化剤 + 還元剤 より、イオン反応式を書く。



2OH^- , 2K^+ を加えて、化学反応式を書く。



- (2) 反応の量的関係を示す。



酸性条件じゃないから
左辺の H^+ は H_2O から
生じたと考えるんだよ

I_2 は O_3 (酸化剤) と $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (還元剤) の仲介役として働いているんだね

空気中の O_3 を x [mol] とする。

$\text{O}_3 : \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 1 : 2$ より、

$$1 : 2 = x : 0.10 \times \frac{5.0}{1000} \quad x = 2.5 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

[mol/L] [L]

O_3 の体積百分率を求める。

$$\begin{aligned} [\%] &= \frac{\text{O}_3 \text{ [L]}}{\text{空気 [L]}} \times 100 = \frac{2.5 \times 10^{-4} \times 22.4}{22.4} \times 100 \\ &= 2.5 \times 10^{-2} \% \end{aligned}$$

ポイント

28) と異なったヨウ素滴定で、酸化剤 (O_3) を還元剤 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) で調べる操作だよ。解法が違うから確認してね。



(2) $2.5 \times 10^{-2} \%$

ヨウ素滴定② (還元剤を調べる)

問題

★★★

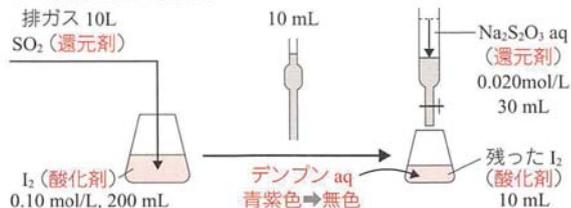
排ガス10 Lに含まれる二酸化硫黄^{にさんかいおう}の量を求めるため、0.10 mol/Lのヨウ素溶液200 mLに通じ、すべての二酸化硫黄^{りおうきゅう}を硫酸に酸化した。次に、この溶液から10 mLをとって、デンプンを指示薬として0.020 mol/Lのチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定したところ、30 mLを必要とした。ヨウ素とチオ硫酸ナトリウムは次の化学反応式に従って反応するとして、以下の問いに答えよ。



- (1) 下線部の変化を化学反応式で示せ。
 (2) 排ガス10 Lに含まれる二酸化硫黄は何 mol か。

解説

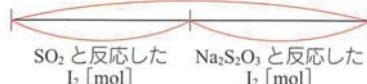
この反応を図で表す。



- (1) 酸化剤 : $I_2 + 2e^- \longrightarrow 2I^-$
 還元剤 : $SO_2 + 2H_2O \longrightarrow SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^-$
 酸化剤 + 還元剤 より、
 $I_2 + SO_2 + 2H_2O \longrightarrow 2HI + H_2SO_4$

- (2) 反応の量的関係を示す。

用意した I₂ [mol]



排ガス10 L 中の SO₂ を x [mol] とする。I₂ : SO₂ = 1 : 1、
 I₂ : Na₂S₂O₃ = 1 : 2 より、

$$\underbrace{0.10}_{\text{[mol/L]}} \times \underbrace{\frac{200}{1000}}_{\text{[L]}} = x + \underbrace{0.020}_{\text{[mol/L]}} \times \underbrace{\frac{30}{1000}}_{\text{[L]}} \times \frac{1}{2} \times \frac{200}{10}$$

用意した I₂ [mol] 反応した I₂ [mol] Na₂S₂O₃と反応した I₂ [mol]

Na₂S₂O₃と反応した I₂は、200 mL 中の 10 mL 分だけ。用意した I₂ で合わせているので、これを忘れちゃいけないよ!

$$x = 1.4 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

ポイント

式を1つにすると、計算ミスが防げるよ。
 ヨウ素滴定は2パターンあるけれど、図をかいて酸化剤と還元剤をチェックすれば、すぐにわかるぞ!

- 解答 (1) $I_2 + SO_2 + 2H_2O \longrightarrow 2HI + H_2SO_4$
 (2) $1.4 \times 10^{-2} \text{ mol}$

問題



☑ CODとは、試料水 1.0 L に含まれる有機物を酸化するのに要した KMnO_4 の量を、 O_2 の質量 (mg 単位) で表した数値である。

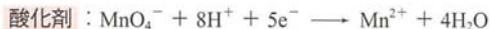
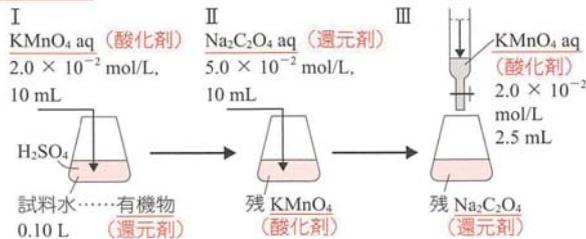
I 試料水を 0.10 L とり、硫酸酸性にして、 $2.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$ の KMnO_4 水溶液 10 mL を加え、混合し加熱した。加熱後も混合溶液は赤紫色であった。

II $5.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$ の $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 水溶液 10 mL を加えると、無色となった。

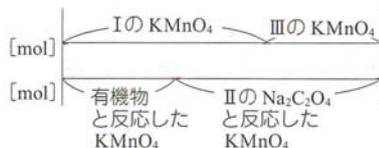
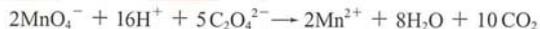
III さらに $2.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$ の KMnO_4 で滴定したところ、2.5 mL 必要であった。

試料水の COD [mg/L] を求めよ。

解説



酸化剤 $\times 2$ + 還元剤 $\times 5$ より、イオン反応式を書く。



よって、有機物と反応した KMnO_4 [mol] は、

$\text{KMnO}_4 : \text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4 = 2 : 5$ より、

$$2.0 \times 10^{-2} \times \frac{10+2.5}{1000} - 5.0 \times 10^{-2} \times \frac{10}{1000} \times \frac{2}{5} = 5.0 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

O_2 の酸化剤としての半反応式は、 $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$
 KMnO_4 $5.0 \times 10^{-5} \text{ mol}$ に相当する O_2 [mol] は、

KMnO_4	:	O_2	:	e^-
1	:		:	5
	:	1	:	4
4	:	5	:	20

$5.0 \times 10^{-5} \times \frac{5}{4} = 6.25 \times 10^{-5} \text{ mol}$

COD [mg/L] を求める。 $\text{O}_2 = 32$ より、

$$\underbrace{6.25 \times 10^{-5}}_{\text{O}_2 \text{ [mol]}} \times \underbrace{32 \times 10^3}_{\text{[mg/mol]}} \times \underbrace{\frac{1.0}{0.10}}_{\text{[L]}} = \underline{20 \text{ mg/L}}$$



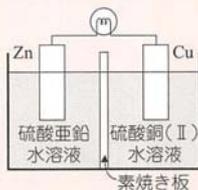
COD の問題は、このパターン以外にもあるから注意してね。

解答 20 mg/L

問題

★★★

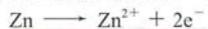
ダニエル電池は、亜鉛板を浸した硫酸亜鉛水溶液と、銅板を浸した硫酸銅(Ⅱ)水溶液からなっている。それらの溶液は、素焼き板でしきられている。



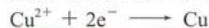
- (1) 正極と負極で起こる反応を、イオン反応式でそれぞれ示せ。
- (2) 下線部の素焼き板の役割を2つ答えよ。
- (3) $1.93 \times 10^4 \text{ C}$ の電気量が流れたとき、正極の増加量は何gか。
- (4) 亜鉛板をニッケル板に、硫酸亜鉛水溶液を硫酸ニッケル(Ⅱ)水溶液にかえたとき、電池の起電力はどのようなになるか。

解説

- (1) イオン化傾向は $\text{Zn} > \text{Cu}$ なので、 Zn が溶解する。



亜鉛板上に生じた電子は導線を伝わって銅板に移動し、硫酸銅(Ⅱ)水溶液中の Cu^{2+} が受け取り、 Cu として析出する。



電子は亜鉛板から銅板に流れるので、亜鉛板が負極、銅板が正極となる。

- (2) $\text{ZnSO}_4 \text{ aq}$ と $\text{CuSO}_4 \text{ aq}$ が混合すると、 Zn と Cu^{2+} の間で直接反応してしまい、導線に電子が流れなくなる。また、電気的中性を保つように、 Zn^{2+} が $\text{CuSO}_4 \text{ aq}$ 側へ、 SO_4^{2-} が $\text{ZnSO}_4 \text{ aq}$ 側へ素焼き板を通して移動する。

- (3) 流れた e^- [mol] は、

$$\frac{1.93 \times 10^4 [\text{C}]}{9.65 \times 10^4 [\text{C/mol}]} = 0.20 \text{ mol}$$

正極には Cu が析出する。 $\text{e}^- : \text{Cu} = 2 : 1$ 、 $\text{Cu} = 64$ より、

$$\frac{0.20 \times \frac{1}{2} \times 64}{\text{Cu [mol]} \quad [\text{g/mol}]} = \underline{6.4 \text{ g}}$$

- (4) 電池の起電力は、両極間のイオン化傾向の差が大きくなるほど大きくなる。イオン化傾向は、 $\text{Zn} > \text{Ni} > \text{Cu}$ より、両極間のイオン化傾向の差が小さくなったので、起電力は小さくなる。

ポイント

電池では、正極と負極で起こる反応をちゃんと書けるかがカギだよ！

解答 (1) 正極： $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}$

負極： $\text{Zn} \longrightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$

- (2) ●硫酸亜鉛水溶液と硫酸銅(Ⅱ)水溶液の混合を防ぐ。
●電気が流れるようにする。
- (3) 6.4 g (4) 小さくなる

問題

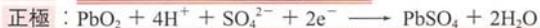
★★★★

鉛蓄電池に関して次の問いに答えよ。

- ☑(1) 放電のとき、正極および負極で起こる変化を、電子 e^- を用いたイオン反応式で示せ。
- ☑(2) 質量パーセント濃度 30% の希硫酸 1000 g を、電解質溶液とする鉛蓄電池で、 3.86×10^4 C の電気を放電させた。放電後の希硫酸の質量パーセント濃度は何% か。
- ☑(3) (2)のとき、負極は何 g 増加または減少したか。

解説

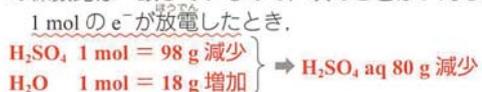
- (1) 鉛蓄電池では、Pb が負極で還元剤、PbO₂ が正極で酸化剤となる。負極と正極での反応は次のとおり。



両極の変化を 1 つにまとめると次のようになる。



- (2) 2 式を合わせたときの電子の係数 $2e^-$ と、合わせた反応式の係数比は一致しているので、次のことがいえる。



放電したとき流れた電子の物質量は、

$$\frac{3.86 \times 10^4 \text{ C}}{9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}} = 0.40 \text{ mol}$$

希硫酸 1000 g 中の H₂SO₄ の質量は、

$$1000 \times \frac{30}{100} = 300 \text{ g}$$

放電後の希硫酸の質量パーセント濃度は、

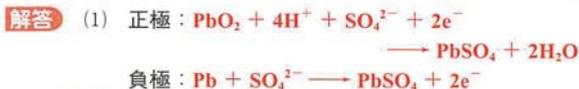
$$\frac{\text{H}_2\text{SO}_4 [\text{g}]}{\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ aq} [\text{g}]} \times 100 = \frac{300 - 98 \times 0.40}{1000 - 80 \times 0.40} \times 100 \doteq \underline{26.9 \%}$$

- (3) 負極では Pb が溶解して PbSO₄ が析出した。つまり、電子が 2 mol 流れたとき、鉛板は SO₄ 分の 96 g が増加したことになる。電子の物質量は 0.40 mol だから、増加した質量は、

$$\frac{96}{2} \times 0.40 = \underline{19.2 \text{ g}}$$

ポイント

鉛蓄電池に関してよく出る問題は、「希硫酸の濃度の変化」と「極板の質量の変化」だよ。充電時は逆に考えよう！「希硫酸の濃度の変化」を考えると、水の変化量を忘れるな！



- (2) 27% (3) 19 g の増加

問題

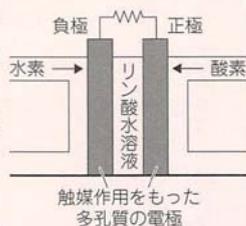
★★

図は、水素-酸素燃料電池の概略図である。1時間放電したところ、水が1.8g生成した。

☑(1) この燃料電池の各電極において起こる反応をイオン反応式で示せ。

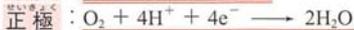
☑(2) 放電した電気量は何Cか。

☑(3) 水素を完全燃焼させることによって発生する化学エネルギーに対する電気エネルギーの比率をエネルギー変換効率という。(2)の放電中における平均電圧を1.0Vとして、この電池のエネルギー変換効率[%]を求めよ。ただし、水素の燃焼熱を286kJ/molとし、発生した電気エネルギー[J]は、電気量[C]と電圧[V]との積で求められる。

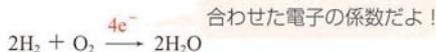


解説

(1) 電解液にリン酸水溶液を用いた水素-酸素燃料電池の各電極における反応は次のとおり。



両極の変化を1つにまとめると次のようになる。



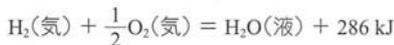
(2) 放電した電気量は、 $\text{e}^- : \text{H}_2\text{O} = 2 : 1$ 、 $\text{H}_2\text{O} = 18$ より、

$$\frac{1.8}{18} \times 2 \times 9.65 \times 10^4 = 1.93 \times 10^4 \text{ C}$$

(3) (2)の放電によって生じた電気エネルギー [kJ] は、 $Q [\text{C}] \times V [\text{V}] = E [\text{J}]$ より、

$$1.93 \times 10^4 \text{ C} \times 1.0 \text{ V} = 1.93 \times 10^4 \text{ J} = 19.3 \text{ kJ}$$

水素の燃焼熱より、熱化学方程式は次のとおり。



発生した化学エネルギーは、生じた水1.8gより、

$$286 \times \frac{1.8}{18} = 28.6 \text{ kJ}$$

エネルギー変換効率を求める。

$$\frac{19.3}{28.6} \times 100 \doteq 67.4 \%$$

ポイント

(1), (2)は基本的だけど、(3)のエネルギー変換効率の問題がちよつと難しいね。でも、よく問われるから知っておいてね。

解答 (1) 正極: $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

負極: $\text{H}_2 \longrightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$

(2) $1.9 \times 10^4 \text{ C}$ (3) 67%

問題

★★★★

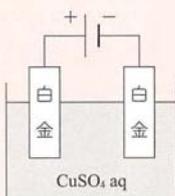
図のように、白金電極を用いて、硫酸銅(II)水溶液に2.0 Aの電流を32分10秒間通じて電気分解を行った。

☑(1) 両極で起こる変化を、それぞれイオン反応式で示せ。

☑(2) 流れた電気量は何Cか。

☑(3) 陽極で発生した気体は、標準状態で何Lか。

☑(4) 陰極の質量は、何g増加するか。

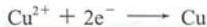


解説

(1) 陽極の極板は白金なので反応しない。また、硫酸イオンは電子を放出しないので、水が電子を放出し酸素を発生する。



陰極では、銅(II)イオンが電子を受け取って銅が析出する。陰極は極板の種類によらない。



(2) 2.0 Aの電流で32分10秒間電気分解したので、流れた電気量は、 $2.0 \times (32 \times 60 + 10) = 3860 \text{ C}$

(3) ファラデー定数 $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$ より、流れた電子の物質量は、

$$\frac{3860 \text{ C}}{9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}} = 0.040 \text{ mol}$$

発生した O_2 の体積は、陽極での反応の量的関係 $\text{e}^- : \text{O}_2 = 4 : 1$ 、標準状態での気体のモル体積 22.4 L/mol より、

$$\underbrace{0.040 \times \frac{1}{4}}_{\text{O}_2 [\text{mol}]} \times \underbrace{22.4}_{[\text{L/mol}]} = \underline{0.224 \text{ L}}$$

(4) 析出した Cu の質量は、陰極での反応の量的関係 $\text{e}^- : \text{Cu} = 2 : 1$ 、 Cu のモル質量 64 g/mol より、

$$\underbrace{0.040 \times \frac{1}{2}}_{\text{Cu} [\text{mol}]} \times \underbrace{64}_{[\text{g/mol}]} = \underline{1.28 \text{ g}}$$

ポイント

電気分解の計算は、各電極でのイオン反応式(半反応式)をちゃんと書けるようにしないと解けないぞ。反応の起こりやすさは、電極がPtやCのときは、



だよ。

解答 (1) 陽極: $2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$

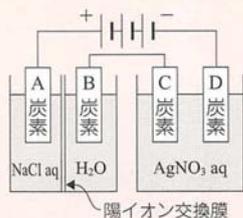
陰極: $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}$

(2) $3.9 \times 10^3 \text{ C}$ (3) 0.22 L (4) 1.3 g

問題

★★★★

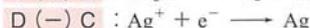
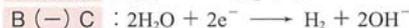
図のような回路をつくり、電気分解を行った。このとき、電極 A と電極 B の間には隔膜をおき、電極付近の溶液が互いに混ざり合わないようにした。0.50 A の一定電流を流して電気分解したところ、電極 D の質量が 2.16 g 増加した。



- (1) 電気分解には何分かかったか。
 (2) 電極 A から発生した気体は何 mol か。
 (3) 電極 C から発生した気体は標準状態で何 L か。

解説

各電極で起こった反応は、次のとおり。



NaOH が
生じるよ

この装置は直列回路なので、すべての電極に流れる電子の物質量は等しい。

- (1) 電極 D での変化より、流れた e^- の物質量 [mol] を求める。
 $\text{e}^- : \text{Ag} = 1 : 1$, $\text{Ag} = 108$ より、

$$\frac{2.16}{108} = 0.020 \text{ mol}$$

電気分解にかかった時間を x [分] とする。

$$\text{e}^- \text{ [mol]} = \frac{(i \text{ [A]} \times t \text{ [秒]}) [\text{C}]}{F \text{ [C/mol]}} \text{ より、}$$

$$0.020 = \frac{0.50 \times x \times 60}{9.65 \times 10^4} \quad x \doteq \underline{64.3 \text{ 分}}$$

- (2) 電極 A から発生した Cl_2 の物質量 [mol] を求める。

$\text{e}^- : \text{Cl}_2 = 2 : 1$ より、

$$0.020 \times \frac{1}{2} = \underline{0.010 \text{ mol}}$$

- (3) 電極 C から発生した O_2 の体積 [L] を求める。

$\text{e}^- : \text{O}_2 = 4 : 1$ より、

$$0.020 \times \frac{1}{4} \times 22.4 = \underline{0.112 \text{ L}}$$

ポイント

直列回路のときは、1 か所の電極での変化から回路に流れた電子を求められるよ。

Na^+ は、陽イオン交換膜を通して、A 側から B 側へ移動して NaOH になるよ。

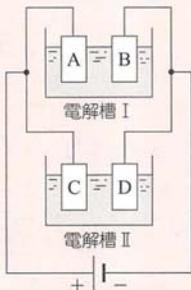
解答 (1) 64分 (2) $1.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$ (3) 0.11 L

電気分解③ (並列回路)

問題

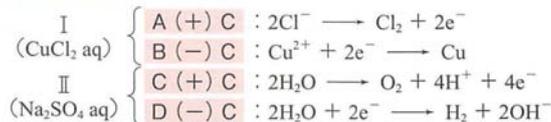


CuCl₂ 水溶液の入った電解槽 I、
Na₂SO₄ 水溶液の入った電解槽 II
を図のように接続し、12.0 A の電
流を16分5秒間流して電気分解
を行った。また、電極 B の質量
は1.27 g 増加した。電極はすべて
炭素とする。



- (1) 回路全体に流れた電子は何 mol か。
- (2) 電解槽 II を流れた電子は何 mol か。Cu = 63.5
- (3) 電解槽 I から発生した気体は標準状態で何 mL か。
- (4) 電解槽 II から発生した気体は標準状態で何 mL か。

解説



(1) 回路全体に流れた e⁻ [mol] は、

$$e^- [\text{mol}] = \frac{12.0 \times (16 \times 60 + 5)}{9.65 \times 10^4} = 1.2 \times 10^{-1} \text{ mol}$$

(2) 電解槽 I に流れた e⁻ [mol] は、

$$e^- : \text{Cu} = 2 : 1 \text{ より、} \frac{1.27}{63.5} \times 2 = 4.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

並列回路なので、回路全体に流れた e⁻ は、電解槽 I と II に流れた e⁻ の合計になるので、電解槽 II に流れた e⁻ [mol] は、

$$1.2 \times 10^{-1} - 4.0 \times 10^{-2} = 8.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

(3) 電解槽 I から発生した Cl₂ [mL] は、

e⁻ : Cl₂ = 2 : 1 より、

$$\underbrace{4.0 \times 10^{-2} \times \frac{1}{2}}_{\text{Cl}_2 [\text{mol}]} \times \underbrace{22.4 \times 10^3}_{[\text{mL/mol}]} = \underline{4.48 \times 10^2 \text{ mL}}$$

(4) 電解槽 II での発生した気体は、

e⁻ : O₂ = 4 : 1, e⁻ : H₂ = 2 : 1 より、

$$\underbrace{8.0 \times 10^{-2} \times \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{2}\right)}_{\text{O}_2 + \text{H}_2 [\text{mol}]} \times \underbrace{22.4 \times 10^3}_{[\text{mL/mol}]} = \underline{1.344 \times 10^3 \text{ mL}}$$

発生した気体 [mL]

ポイント

並列回路全体に流れた電子は、電解槽 I と II に流れた電子の合計になるよ！

- 解答 (1) $1.2 \times 10^{-1} \text{ mol}$ (2) $8.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$
(3) $4.5 \times 10^2 \text{ mL}$ (4) $1.3 \times 10^3 \text{ mL}$

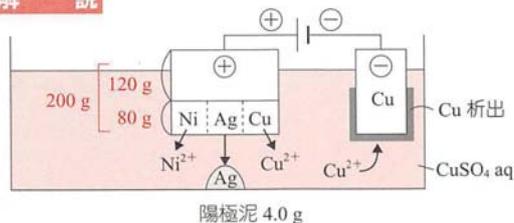
問題



ニッケルと銀を含む粗銅 200 g を陽極に、純銅を陰極に用いて硫酸銅(II)水溶液中で銅の電解精錬を行った。9.65 A の電流を400分間流したところ、陽極の質量が 120 g となり、陽極の下方に陽極泥が 4.0 g 沈殿した。次の問いに答えよ。ただし、陽極の組成は電解精錬中変化しないものとする。

- ☑(1) 陰極の質量は何 g 増加したか。
 ☑(2) 粗銅中の銅の質量パーセント濃度を求めよ。

解説



(1) 流れた電子の物質量は、

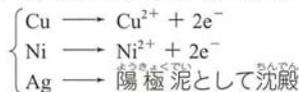
$$e^- [\text{mol}] = \frac{(i [\text{A}] \times t [\text{秒}]) [\text{C}]}{F [\text{C/mol}]} \text{より,}$$

$$\frac{9.65 \times 400 \times 60}{9.65 \times 10^4} = 2.4 \text{ mol}$$

陰極での反応は、 $\text{Cu}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Cu}$
 析出した Cu の質量は、 $e^- : \text{Cu} = 2 : 1$ 、 $\text{Cu} = 64$ より、

$$2.4 \times \frac{1}{2} \times 64 = \underline{76.8 \text{ g}}$$

(2) 陽極での反応は、次のとおり。



減少した粗銅は $200 - 120 = 80 \text{ g}$ 。

80 g 中の Cu を $x [\text{g}]$ 、Ni を $y [\text{g}]$ とすると、

$$x + y + 4.0 = 80 \text{ より, } x + y = 76 \cdots \cdots \textcircled{1}$$

電子の物質量を x 、 y で表すと、 $\text{Cu} = 64$ 、 $\text{Ni} = 59$ より、

$$\frac{x}{64} \times 2 + \frac{y}{59} \times 2 = 2.4 \text{ より, } \frac{x}{64} + \frac{y}{59} = 1.2 \cdots \cdots \textcircled{2}$$

①、②より、 $x = 66.56$ 、 $y = 9.44$

よって、粗銅中 Cu の質量パーセント濃度は、

$$\frac{66.56}{80} \times 100 = \underline{83.2 \%}$$

ポイント

陽極での変化をちゃんと把握できるかがポイントだよ。
 図をかいて反応の様子を確かめよう。

解答 (1) 77 g (2) 83 %

アルミニウムの融解塩電解

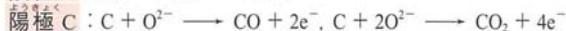
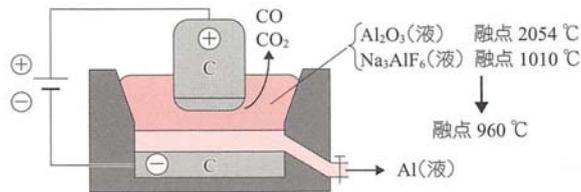
問題



ボーキサイトから精製したアルミナ Al_2O_3 に氷晶石 Na_3AlF_6 を加えて融解させ、炭素を陽極および陰極として電解すると、陰極でアルミニウムが溶融状態で析出する。一方、陽極では、生じた酸素がただちに炭素電極と反応して二酸化炭素および一酸化炭素を発生するので、陽極の炭素電極はしだいに消耗する。

- (1) アルミナに氷晶石を加える理由を簡潔に答えよ。
- (2) 融解塩電解によって、アルミニウムを 18 g 析出させた。この電気分解に要した電気量 [C] を求めよ。
- (3) (2)において、陽極の消耗量は 9.6 g であった。発生した気体の物質量の比は、二酸化炭素を 1 とすると一酸化炭素はいくつになるか。

解説



- (1) アルミナは融点が 2054°C と高いので、融点が 1010°C である氷晶石に加えると、融点降下(凝固点降下)により融点 が下がり、約 960°C で融解する。

- (2) 電気分解に要した電子の物質量は、

$$\text{e}^- : \text{Al} = 3 : 1, \text{Al} = 27 \text{ より}, \frac{18}{27} \times 3 = 2.0 \text{ mol}$$

電気分解に要した電気量は、 $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$ より、
 $2.0 \times 9.65 \times 10^4 = \underline{1.93 \times 10^5 \text{ C}}$

- (3) 陽極で反応した炭素 C の物質量は、C = 12 より、

$$\frac{9.6}{12} = 0.80 \text{ mol}$$

CO を生じた C を x [mol]、CO₂ を生じた C を y [mol] として、反応した C を x, y で表すと、 $x + y = 0.80 \dots\dots$ ①

一方、電気分解に要した電子の物質量を x, y で表すと、
 $x \times 2 + y \times 4 = 2.0 \dots\dots$ ②

①、②より、 $x = 0.60, y = 0.20$

したがって、CO と CO₂ の物質量の比は、

$$\text{CO} : \text{CO}_2 = 0.60 : 0.20 = \underline{3 : 1}$$

ポイント

アルミニウムの融解塩電解で起こる反応を覚えておこう。

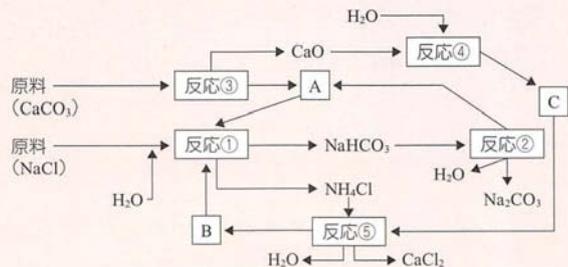
解答 (1) アルミナの融点を下げるため。

(2) $1.9 \times 10^5 \text{ C}$ (3) 3

問題

★★★

炭酸カルシウムを原料として炭酸ナトリウムを工業的に製造するアンモニアソーダ法の工程の概略を下に示した。反応①では、飽和塩化ナトリウム水溶液に物質Aと物質Bを通じると、炭酸水素ナトリウムと塩化アンモニウムが生じる。なお、反応器②、③および⑤の反応を進行させるためには、加熱が必要である。



- (1) 物質A, B, Cを、それぞれ化学式で示せ。
 □(2) ①～⑤で起こる反応をそれぞれ化学反応式で示せ。
 □(3) ①～⑤で起こる反応を、1つの化学反応式にまとめて示せ。
 □(4) 反応効率が100%であるとするとき、炭酸カルシウム100kgから、理論上何kgの炭酸ナトリウムが得られるか。

解説

(3) ①×2 + ② + ③ + ④ + ⑤で求められる。

(4) (3)より、 $\text{CaCO}_3 : \text{Na}_2\text{CO}_3 = 1 : 1$ で、得られた Na_2CO_3 を x [kg]とすると、 $\text{CaCO}_3 = 100$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 106$ より、

$$\frac{100 \times 10^5}{100} = \frac{x \times 10^5}{106}$$

$$\text{CaCO}_3 [\text{mol}] \quad \text{Na}_2\text{CO}_3 [\text{mol}]$$

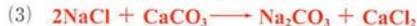
$$x = \underline{106} \text{ kg}$$

[mol]で考えたから、[g]にするために $\times 10^5$ をつけたけれど、ともに[kg]だから約分できるね

ポイント

工業的製法の問題は、質量の単位が[kg]になるなど、数値が大きくなるから注意してね。アンモニアソーダ法の反応式を書けるようにしよう！

解答 (1) A : CO_2 B : NH_3 C : $\text{Ca}(\text{OH})_2$



(4) 106 kg

問題

★★★

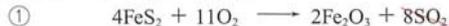
硫酸の工業的製法の1つに接触法がある。①純度が100%の黄鉄鉱 FeS_2 を空气中で燃焼させて酸化鉄(Ⅲ)と二酸化硫黄にする。②二酸化硫黄を触媒存在下で空気酸化し、三酸化硫黄にする。③三酸化硫黄を濃硫酸に吸収させて発煙硫酸とし、これを希硫酸でうすめて濃硫酸を得る。

- ☑(1) ①～③の反応を化学反応式で示せ。
 ☑(2) ②で用いられる触媒を1つあげ、化学式で示せ。
 ☑(3) ①～③の反応が完全に進行するものとして、黄鉄鉱 162 kg から密度が 1.8 g/cm^3 の98%濃硫酸は何Lできるか。

解説

(3) ①～③の反応を1つにまとめる。

① + ② × 4 + ③ × 8より、



FeS_2 162 kg より生じた H_2SO_4 を x [kg] とする。

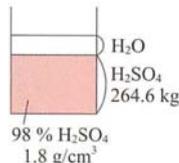
$\text{FeS}_2 : \text{H}_2\text{SO}_4 = 1 : 2$ 、 $\text{FeS}_2 = 120$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_4 = 98$ より、

$$1 : 2 = \frac{162 \times 10^3}{120} : \frac{x \times 10^3}{98}$$

$$x = 264.6 \text{ kg}$$

H_2SO_4 264.6 kg を含んだ98%濃硫酸の質量 [kg] を求める。

$$264.6 \times \frac{100}{98} = 270 \text{ kg}$$



98%濃硫酸 270 kg の体積は、密度 $1.8 \text{ g/cm}^3 = 1.8 \text{ kg/L}$ より、

$$\frac{270}{1.8} = 150 \text{ L}$$

[kg] [L/kg]

$$1 \text{ kg} = 10^3 \text{ g}$$

$$1 \text{ L} = 10^3 \text{ cm}^3$$

ポイント

数値が大きくなっているから、計算に気をつけてね。濃度の計算のときは図をかこう。④で確認してね。



(2) V_2O_5 (3) 150 L

問題

★★★

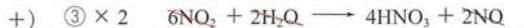
硝酸はアンモニアを原料として、次の3段階を経るオストワルト法により、工業的に製造される。①アンモニアを、白金触媒を用いて800℃程度で空気中の酸素と反応させ、一酸化窒素にする。②一酸化窒素をさらに空気中の酸素と反応させて二酸化窒素にする。③二酸化窒素を温水に吸収させて硝酸を製造する。

- ☑(1) ①～③の反応をそれぞれ化学反応式で示せ。
 ☑(2) ①～③の反応を1つにまとめて示せ。
 ☑(3) 70%の硝酸90L(密度1.4g/cm³)をアンモニアから製造するのに必要なアンモニアは何kgか。

解説

NO₂を消去するよう
に合わせるとう
まくいくよ!

(2) (① + ② × 3 + ③ × 2) × $\frac{1}{4}$ を行う。



- (3) 70%硝酸90Lの質量[kg]は、密度1.4g/cm³ = 1.4kg/Lより。

$$90 \times 1.4 = 126 \text{ kg}$$

$$\boxed{\text{L}} \quad \boxed{\text{kg/L}}$$

その中に含まれるHNO₃の質量[kg]

は、

$$126 \times \frac{70}{100} = 88.2 \text{ kg}$$

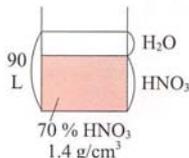
必要なNH₃をx[kg]とする。NH₃:HNO₃ = 1:1,
 NH₃ = 17, HNO₃ = 63より、

$$\frac{x \times 10^3}{17} = \frac{88.2 \times 10^3}{63}$$

$$\text{NH}_3 [\text{mol}] \quad \text{HNO}_3 [\text{mol}]$$

$$x = \underline{\underline{23.8 \text{ kg}}}$$

10³は約分できるね



ポイント

オストワルト法を1つにまとめるやり方は覚えておこう。
 ②と③に出てくるNO₂の係数を同じにするのがコツだよ。
 この問題も数値が大きいので、注意してね。



問題

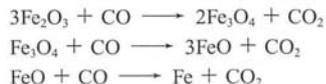
★★★★

鉄は、溶鉱炉の上部から鉄鉱石(赤鉄鉱)、コークス、石灰石を入れ、下部より熱風を送り込んでつくる。赤鉄鉱はコークスが燃焼してできた気体により還元され、金属の鉄になる。この鉄は、不純物として「ア」を3～5%含んでおり、「イ」とよばれ、硬くてもろい。これを転炉に入れて「ウ」を吹き込み、「ア」の含有量を減らすと「エ」が得られる。溶鉱炉内では、石灰石は熱分解し、鉄鉱石中の不純物(SiO₂)と反応して「オ」を形成し、「イ」の上に浮かぶ。

- (1) 文中の空欄「ア」～「オ」に適切な語を入れて文章を完成させよ。
- (2) 下線部の反応の化学反応式を示せ。
- (3) 鉄鉱石(赤鉄鉱の含有量80%)1.0tより得られる純鉄は何tか。

解説

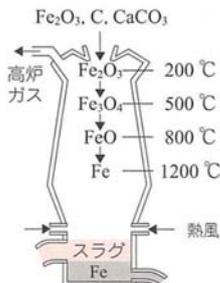
(1), (2) 溶鉱炉(高炉)中では、鉄鉱石がコークスより生じたCOによって段階的に還元され、鉄の単体が得られる。



これらの反応を1つにまとめると、



生じた鉄は銑鉄とよばれ、炭素を含むため硬くてもろく、鋳物などに用いられる。鉄鉱石中に含まれるSiO₂やAl₂O₃などは、石灰石CaCO₃と反応してスラグ(CaSiO₃など)となって取り除かれる。融解した銑鉄に転炉で酸素を吹き込むと、炭素が0.02～2%になり、硬くてもろい強い鋼ができる。



(3) 鉄鉱石中に含まれるFe₂O₃の質量は、

$$1.0 \times \frac{80}{100} = 0.80 \text{ [t]} = 0.80 \times 10^6 \text{ g}$$

得られるFeをx[t]とする。(2)の式より、Fe₂O₃:Fe=1:2で、Fe₂O₃=160、Fe=56より、

$$1:2 = \frac{0.80 \times 10^6}{160} : \frac{x \times 10^6}{56} \quad x = \underline{0.56 \text{ t}}$$

ポイント

Fe₂O₃からFeを得る反応は覚えておこうね!

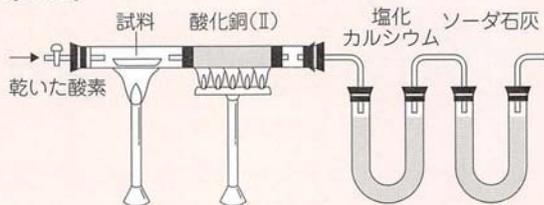
解答 (1) ア:炭素 イ:銑鉄 ウ:酸素 エ:鋼
オ:スラグ

(2) $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \longrightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$ (3) 0.56 t

問題

★★★

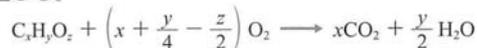
炭素、水素および酸素からなる化合物 45 mg を試料皿にとり、図のような装置を用いて完全燃焼させたところ、ソーダ石灰が 66 mg と塩化カルシウムが 27 mg 増加した。また、この化合物の分子量は 60 であった。



- (1) この化合物の組成式を求めよ。
 (2) この化合物の分子式を求めよ。

解説

- (1) $C_xH_yO_z$ からなる化合物を完全燃焼させると、 CO_2 と H_2O が生じる。



$C_xH_yO_z$ 中の炭素原子は CO_2 になり、ソーダ石灰に吸収され、水素原子は H_2O になり塩化カルシウムに吸収される。それぞれの化合物の生成量から各元素の質量を求める。

原子の質量を求める。

$$C : 66 \times \frac{12}{44} = 18 \text{ mg} \quad \frac{C}{CO_2} \text{ だよ}$$

$$H : 27 \times \frac{2.0}{18} = 3.0 \text{ mg} \quad \frac{2H}{H_2O} \text{ だよ}$$

$$O : 45 - 18 - 3.0 = 24 \text{ mg}$$

次に、組成式を求める。

$$C : H : O = \frac{18}{12} : \frac{3.0}{1.0} : \frac{24}{16} = 1 : 2 : 1$$

よって、組成式は CH_2O

(個数比) = (モル比) だから、原子の物質 [mol] を求めれば いいんだよ!

- (2) $(CH_2O)_n = 60$ より、 $n = 2$

よって、分子式は $(CH_2O)_2 = C_2H_4O_2$

ポイント

CO_2 の発生量はソーダ石灰 ($NaOH + CaO$) の増加量、 H_2O の発生量は塩化カルシウムの増加量で調べることができるよ。でも、ソーダ石灰は H_2O も吸収しやすいから、塩化カルシウムの後ろに置かなくちゃダメだよ。

酸化銅(II)は、試料である有機物を完全に酸化して、 CO_2 と H_2O にするためにしているんだよ。

$C_xH_yO_z$ の化合物では、「H原子数 y は $2x + 2$ を超えない」、「H原子数 y は必ず偶数」、「分子量は必ず偶数」だよ!

解答 (1) CH_2O (2) $C_2H_4O_2$

問題

★★★

- (1) ある芳香族化合物の分子量は 123 であり、元素分析値は質量百分率で炭素 58.5%、水素 4.1%、窒素 11.4%、酸素 26.0% であった。この化合物の構造式を示せ。
- (2) 分子式 $C_8H_nO_2$ で示される有機化合物がある。この化合物 34 mg を完全燃焼させたところ 18 mg の水が生じた。この分子式中の水素原子の数 n はいくつか。
- (3) 不飽和脂肪酸の分子式が $C_{18}H_{30}O_2$ であるとき、炭素間の二重結合はいくつか。

解説

- (1) $\frac{\text{分子量} \times \text{存在比}}{\text{原子量}}$ より、分子内にある各原子の個数を求める。直接、分子内の原子の個数が求まるよ

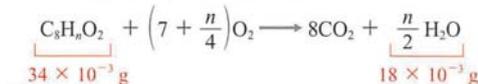
$$C: \frac{123 \times 0.585}{12} \doteq 6 \quad H: \frac{123 \times 0.041}{1.0} \doteq 5$$

$$N: \frac{123 \times 0.114}{14} \doteq 1 \quad O: \frac{123 \times 0.260}{16} \doteq 2$$

したがって、この化合物の分子式は、 $C_6H_5NO_2$

よって、構造式は、

- (2) この化合物の燃焼反応を示す。



有機化合物の分子量は、 $12 \times 8 + n + 16 \times 2 = 128 + n$

これと、 $C_8H_nO_2 : H_2O = 1 : \frac{n}{2}$ より、 n を求める。

$$1 : \frac{n}{2} = \frac{34 \times 10^{-3}}{128 + n} : \frac{18 \times 10^{-3}}{18} \quad n = 8$$

$C_8H_8O_2$ [mol] H_2O [mol]

したがって、この有機化合物の分子式は、 $C_8H_8O_2$

化合物の H 数
飽和の H 数

- (3) $C_{18}H_{30}O_2$ で表せる分子の不飽和度 I_u は、 $I_u = \frac{2x + 2 - y}{2}$ で求められる。

よって、この分子の不飽和度は、 $\frac{18 \times 2 + 2 - 30}{2} = 4$

脂肪酸なので、 $-C(=O)-OH$ で不飽和度を 1 つ消費する。

よって、 $C=C$ の数は 3

不飽和度は
 $C=C \cdots 1$
 $C \equiv C \cdots 2$
 環 $\cdots 1$
 $\cdots 4$ だよ

ポイント

不飽和度は、化合物中の水素原子の不足数から存在する結合を推測する数値だよ。

ベンゼンは、 $C=C \times 3 + \text{環} \times 1$ なので 4 になるよ。

解答 (1)  (2) 8 (3) 3

有機化合物の分子量①
(付加反応, 中和反応)

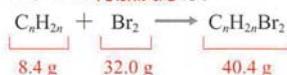
問題

★★★

- (1) 8.4 g のアルケン C_nH_{2n} に臭素を完全に付加させたところ、40.4 g の化合物 $C_nH_{2n}Br_2$ を得た。このアルケンの分子量はいくらか。
- (2) 飽和1価アルコール 3.0 g に十分な量のナトリウムを反応させると、標準状態で 560 mL の水素が発生した。このアルコールの分子量はいくらか。
- (3) 1 価のカルボン酸 0.44 g を水に溶かして 100 mL とした。この水溶液に 0.20 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液で滴定したところ、25 mL を要した。このカルボン酸の分子量はいくらか。

解説

(1) アルケンの付加反応は、



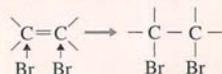
反応した Br_2 の質量は、 $40.4 - 8.4 = 32.0$ g

$C_nH_{2n} : Br_2 = 1 : 1$ 、分子量は $C_nH_{2n} = 14n$ 、 $Br_2 = 160$ より、

$$\frac{8.4}{14n} = \frac{32.0}{160} \quad n = 3$$

よって、アルケンの分子量は、 $14 \times 3 = 42$

$C = C$ 1 つにつき
 Br_2 1 分子付加するよ



(2) 飽和1価アルコールと Na との反応は、

1 価アルコールとは OH 基を
1 つもつアルコールのことだよ



アルコールの分子量を M とすると、 $R-OH : H_2 = 2 : 1$ より、

$$2 : 1 = \frac{3.0}{M} : \frac{0.56}{22.4} \quad M = 60$$

(3) 1 価のカルボン酸と NaOH の中和反応は、

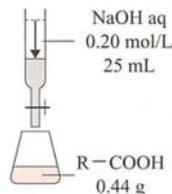


1 価のカルボン酸の分子量を M とする。中和点で、 $H^+ [\text{mol}] = OH^- [\text{mol}]$ が成立しているので、

$$\frac{0.44}{M} \times 1 = 0.20 \times \frac{25}{1000} \times 1$$

$\underbrace{[mol]}_{H^+ [mol]} \quad \underbrace{[価]}_{[価]} \quad \underbrace{[mol/L]}_{[mol/L]} \quad \underbrace{[L]}_{[L]} \quad \underbrace{[価]}_{[価]}$

$M = 88$



100 mL は計算には
使わないよ



有機反応の計算問題では、まずどんな反応が起こっているかを考えて反応式を書こう。そのあとで量的関係をあわせて分子量を決めるんだよ。

解答 (1) 42 (2) 60 (3) 88

有機化合物の分子量②
(けん化, 置換反応)

問題

★★★

- ☑(1) エステル結合を1つもつエステル3.7gを、水酸化ナトリウムでけん化したところ2.0gを要した。このエステルの分子量はいくらか。
- ☑(2) 分子量94の芳香族化合物は、塩化鉄(Ⅲ)水溶液を加えると紫色の呈色反応を示す。この化合物に十分な量の臭素水を加えると置換反応が起こった。得られた分子量はいくらか。

解説

- (1) エステルのけん化は、



エステル結合1molをけん化するのにNaOH1mol要する。
エステルの分子量をMとすると、NaOH = 40より、

$$\frac{3.7}{M} = \frac{2.0}{40} \quad M = 74$$

エステル[mol] NaOH[mol]

- (2) FeCl₃ aqを加えると紫色を示す芳香族化合物は、フェノール性OH基をもっている。したがってこの化合物は、分子量よりフェノールであることがわかる。

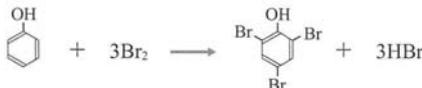
構造式



示性式



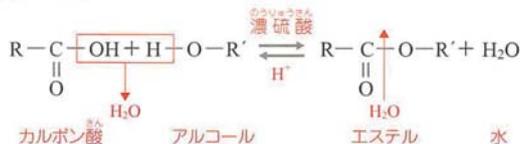
フェノールと臭素が反応すると、置換反応が起こり、2,4,6-トリブロモフェノールが生じる。



よって、2,4,6-トリブロモフェノールの分子量は、
C₆H₂Br₃OH = 331

ポイント

けん化、置換反応……有機化合物の反応にはいろいろあるから、覚えるのは大変かな？ 有機化合物の反応は形がイメージできれば覚えやすいぞ。例えば、エステル化と加水分解では、



だよ。

解答 (1) 74 (2) 331

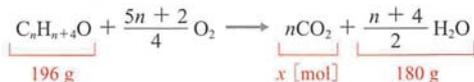
問題

★★

- ☑(1) 分子式が $C_nH_{n+4}O$ であるケトン 196 g を完全燃焼させたところ、水が 180 g 生成した。このとき、何 mol の二酸化炭素が生成したか。
- ☑(2) 次の条件 a ~ c を満たす炭化水素 1.0 mol を完全燃焼させたとき、消費される酸素は何 mol か。
- 1 つの環からなる脂環式炭化水素である。
 - 二重結合を 2 つもち、残りはすべて単結合。
 - 水素原子の数は炭素原子の数より 4 個多い。
- ☑(3) 炭化カルシウム (CaC_2) 3.2 g を水と反応させてアセチレンを得た。このアセチレンを完全燃焼させたとき、消費される酸素は標準状態で何 L か。

解説

(1) ケトンの燃焼反応は、



$C_nH_{n+4}O : H_2O = 1 : \frac{n+4}{2}$ 、分子量はケトンが $13n + 20$ 、 $H_2O = 18$ より、

$$1 : \frac{n+4}{2} = \frac{196}{13n+20} : \frac{180}{18} \quad n = 6$$

ケトンの分子量は、 $13 \times 6 + 20 = 98$

生成した CO_2 は、

$$1 : 6 = \frac{196}{98} : x \text{ より、} x = \underline{12 \text{ mol}}$$

(2) この炭化水素の不飽和度は 3 である。よって、一般式は、

$$C_nH_{2n+2-2 \times 3} = C_nH_{2n-4} \quad \begin{array}{l} \text{環} \cdots \cdots 1 \\ C = C \cdots \cdots 2 \end{array}$$

$$n \text{ を求める。} \quad \text{なので 3 だよ}$$

$$2n - 4 = n + 4 \text{ より、} n = 8$$

したがって、この炭化水素の分子式は、 C_8H_{12}

この炭化水素の燃焼反応は、



よって、 C_8H_{12} を 1.0 mol 燃焼するのに必要な O_2 は 11 mol

(3) CaC_2 3.2 g より得られた C_2H_2 の物質量は、



$$CaC_2 = 64 \text{ より、} \frac{3.2}{64} = 0.050 \text{ mol}$$

C_2H_2 の燃焼のときに消費された O_2 の体積 [L] は、



$$0.050 \times \frac{5}{2} \times 22.4 = \underline{2.8 \text{ L}}$$

$$C_2H_2 \text{ [mol]} \quad O_2 \text{ [mol]} \quad O_2 \text{ [L]}$$

ポイント

有機反応の計算問題を得意にすれば試験はバッチリだね!

解答 (1) 12 mol (2) 11 mol (3) 2.8 L

問題

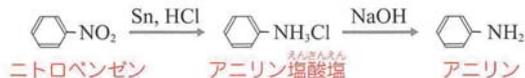
★★

収率とは、理論上得られる生成物の量に対する実験で得られた生成物の量の割合をいう。

- (1) ニトロベンゼン(分子量123) 12.3 g をスズと塩酸で還元し、生じた化合物に水酸化ナトリウム水溶液を加えたところ、6.51 g のアニリン(分子量93) が得られた。この反応の収率は何%か。
- (2) 安息香酸(分子量122) 2.44 g を少量の濃硫酸の存在下、過剰量のメタノールと反応させたとき、エステルAを80%の収率で得た。得られたエステルAは何gか。

解説

(1) ここで生じた反応は、



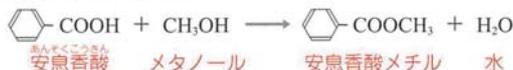
$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2 : \text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2 = 1 : 1$ なので、ニトロベンゼン 12.3 g より、理論上生じたアニリンの質量を x [g] とすると、

$$\frac{12.3}{123} = \frac{x}{93} \quad x = 9.3 \text{ g}$$

$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$ [mol] $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$ [mol]

しかし、実際には 6.51 g しか得られなかったので、この反応の収率は、 $\frac{6.51}{9.3} \times 100 = \underline{70\%}$

(2) ここで生じた反応は、



$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH} : \text{C}_6\text{H}_5\text{COOCH}_3 = 1 : 1$ 、エステルA(安息香酸メチル)の分子量136より、安息香酸 2.44 g より生じたエステルAを x [g] とすると、

$$\frac{2.44}{122} = \frac{x}{136} \quad x = 2.72 \text{ g}$$

$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ [mol] $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOCH}_3$ [mol]

今回の反応では、収率が80%だったので、実際に得られたエステルAは、 $2.72 \times \frac{80}{100} = \underline{2.176 \text{ g}}$

ポイント

収率って聞き慣れないだろうけど、難しくないのでね!

$$\text{収率} [\%] = \frac{\text{実際の収量} [\text{g}]}{\text{理論上の収量} [\text{g}]} \times 100$$

で求められるよ! センター試験にも出たことがあるぞ!

解答 (1) 70% (2) 2.2 g

問題

★★★

1種類の不飽和脂肪酸からなる油脂A $C_3H_5(OCOR)_3$ がある。油脂A 1.0 gをけん化するのに水酸化カリウムを0.19 g必要とした。また、油脂A 1.0 gの不飽和結合部分にヨウ素を付加させるのに0.88 g必要とした。

- (1) 油脂Aの分子量はいくらか。
 (2) 油脂Aを構成する不飽和脂肪酸の示性式をかけ。

解説

(1) 油脂Aのけん化の反応式は次のとおり。



油脂Aの分子量を M とする。

$A : KOH = 1 : 3$, $KOH = 56$ より、

$$1 : 3 = \frac{1.0}{M} : \frac{0.19}{56} \quad M = \frac{1.0 \times 3 \times 56}{0.19} = \underline{884.2}$$

(2) $C=C$ 1個につき、 I_2 1分子が付加する。

油脂A 1分子中にある $C=C$ を x [個] とすると、付加に要した I_2 も x [個] である。

$A : I_2 = 1 : x$ より、

$$1 : x = \frac{1.0}{884} : \frac{0.88}{254} \quad x = 3.0$$

したがって、油脂A 1分子中に $C=C$ は3個ある。油脂Aは1種類の脂肪酸からなるので、Rそれぞれに $C=C$ が1個ずつある。よって、油脂Aの一般式は、 $C_3H_5(OCOC_nH_{2n-1})_3$ と表せる。

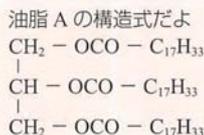
脂肪酸の炭素数 n を求める。

$$C_3H_5(OCOC_nH_{2n-1})_3 = 884 \text{ より, } n = 17$$

したがって不飽和脂肪酸の示性式は、



示性式は $-COOH$ を強調した式だよ



ポイント

油脂の分子量は KOH によるけん化、 $C=C$ は I_2 の付加によって求められるよ。どちらも公式ではなく、油脂 : KOH 、油脂 : I_2 で求められるから、難しく考えないでね!

炭化水素基の一般式は、右の表のようになるよ。 $C=C$ が1個増えると H が2個ずつ減っていくんだね。

$C=C$	一般式
0	$C_nH_{2n+1}-$
1	$C_nH_{2n-1}-$
2	$C_nH_{2n-3}-$

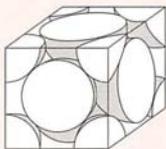
解答 (1) 884 (2) $C_{17}H_{33}COOH$

問題

★★★

アルミニウムの結晶の単位格子は図に示す面心立方格子である。

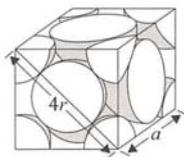
- ☑(1) 単位格子中に含まれる原子は何個か。
- ☑(2) 単位格子の1辺を a [cm]、原子半径を r [cm] として、 r を a で表せ。
- ☑(3) この結晶の密度 d [g/cm³] を、単位格子の1辺 a [cm]、原子量 M および、アボガドロ定数 N_A [/mol] を用いて表せ。
- ☑(4) $a = 4.0 \times 10^{-8}$ cm として、 r [cm] および d [g/cm³] を求めよ。 $\sqrt{2} = 1.4$



解説

- (1) 立方体の頂点に $\frac{1}{8}$ 個、面心に $\frac{1}{2}$ 個の原子が存在するので、単位格子中に含まれる原子の個数は、

$$\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4 \text{ 個}$$



- (2) 立方体の面(正方形)の対角線が原子半径4つ分の長さになる。

$$\sqrt{2}a = 4r \text{ より、} r = \frac{\sqrt{2}}{4}a$$

$$(3) \text{ 結晶の密度 [g/cm}^3\text{]} = \frac{\text{含まれる原子の質量 [g]}}{\text{単位格子の体積 [cm}^3\text{]}}$$

Al原子において、1 mol すなわち N_A (個) 集めたときの質量は M [g] になる。よって、Al原子1個の質量は、 $\frac{M}{N_A}$ [g] と表せる。

単位格子中に4個の原子を含む。 d を表す式は、

$$d = \frac{M}{N_A} \times 4 \times \frac{1}{a^3} = \frac{4M}{a^3 N_A} \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

$$(4) r = \frac{\sqrt{2}}{4} \times 4.0 \times 10^{-8} = 1.4 \times 10^{-8} \text{ cm}$$

Alの原子量27より、

$$d = \frac{4 \times 27}{(4.0 \times 10^{-8})^3 \times 6.0 \times 10^{23}} \doteq 2.81 \text{ g/cm}^3$$

ポイント

原子半径や密度を求めるとき、文字式を立ててから計算していくと、求めたい数値を見失わないぞ！正方形の対角線の長さが、1辺の長さの $\sqrt{2}$ 倍になることを覚えておこう！

解答 (1) 4個 (2) $r = \frac{\sqrt{2}}{4}a$ (3) $d = \frac{4M}{a^3 N_A}$

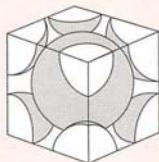
(4) $r = 1.4 \times 10^{-8}$ cm, $d = 2.8$ g/cm³

問題

★★★★

ある金属の結晶の単位格子は、
図に示す体心立方格子である。

- (1) 単位格子中に含まれる原子は何個か。
- (2) 単位格子の1辺を a [nm]、原子半径を r [nm] とし、 r を a で表せ。
- (3) 原子量 M を、単位格子の1辺 a [nm]、アボガドロ定数 N_A [mol] および、この結晶の密度 d [g/cm³] を用いて表せ。1 nm = 10⁻⁷ cm
- (4) $a = 0.43$ nm, $d = 0.96$ g/cm³ とし、 r [nm] および M を求めよ。0.43³ = 0.080, $\sqrt{3} = 1.7$



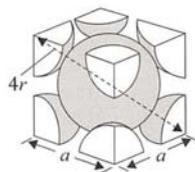
解説

- (1) 立方体の頂点に $\frac{1}{8}$ 個、体心に1個の原子が存在するので、単位格子中に含まれる原子の個数は、

$$\frac{1}{8} \times 8 + 1 = \underline{2 \text{ 個}}$$

- (2) 立方体の対角線が原子半径4つ分の長さになる。

$$\sqrt{3}a = 4r \text{ より、} r = \underline{\frac{\sqrt{3}}{4} a}$$



- (3) まず、この結晶の密度 d を、 a 、 N_A 、 M で表す。
 a [nm] = $a \times 10^{-7}$ [cm]、単位格子中に2個の原子を含む。

$$d = \frac{M}{N_A} \times \underbrace{2}_{\text{[g/個]}} \times \frac{1}{\underbrace{(a \times 10^{-7})^3}_{\text{[cm}^3]}}$$

上式を変形し、 M を表す。

$$M = \frac{a^3 d N_A}{2} \times 10^{-21}$$

(4) $r = \frac{\sqrt{3}}{4} \times 0.43 = 0.182 \approx \underline{0.18 \text{ nm}}$

$$M = \frac{0.43^3 \times 0.96 \times 6.0 \times 10^{23}}{2} \times 10^{-21} = \underline{23.0}$$

ポイント

結晶の密度から、原子量やアボガドロ定数を求める問題のとき、まず密度を求める式を文字式で表してから変形すると迷わないぞ！立方体の体対角線の長さが、1辺の長さの $\sqrt{3}$ 倍になることを覚えておこう。

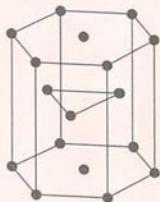
解答

- (1) 2 個 (2) $r = \frac{\sqrt{3}}{4} a$
 (3) $M = \frac{a^3 d N_A}{2} \times 10^{-21}$ (4) $r = 0.18 \text{ nm}$, $M = 23$

問題

★★★

- (1) 面心立方格子において、原子の体積が単位格子の体積を占有する割合（充填率）はいくらか。 $\sqrt{}$ 、 π のまま答えよ。
- (2) 体心立方格子において、原子の体積が単位格子の体積を占有する割合（充填率）はいくらか。 $\sqrt{}$ 、 π のまま答えよ。
- (3) マグネシウムの結晶構造は、図に示す六方最密構造である。単位格子中には何個のマグネシウム原子が含まれるか。



解説

$$(1) \quad \text{充填率} = \frac{\text{含まれる原子の体積}}{\text{単位格子の体積}}$$

単位格子の1辺を a [cm]、原子半径を r [cm] とする。原子を硬い球と見なして計算すると、原子1個の体積は球の体積より、 $\frac{4}{3}\pi r^3$ と表せる。

49 を参考に!

$$r = \frac{\sqrt{2}}{4}a, \text{ 単位格子中に4個の原子を含む。}$$

$$\frac{4}{3}\pi \left(\frac{\sqrt{2}}{4}a\right)^3 \times 4 \times \frac{1}{a^3} = \frac{\sqrt{2}}{6}\pi$$

含まれる原子 / 単位格子

約74%だよ

- (2) (1)と同様に考える。

50 を参考に!

$$r = \frac{\sqrt{3}}{4}a, \text{ 単位格子中に2個の原子を含む。}$$

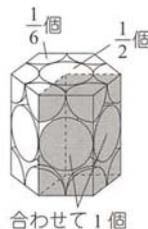
$$\frac{4}{3}\pi \left(\frac{\sqrt{3}}{4}a\right)^3 \times 2 \times \frac{1}{a^3} = \frac{\sqrt{3}}{8}\pi$$

含まれる原子 / 単位格子

約68%だよ

- (3) 六方最密構造の単位格子は、六角柱の $\frac{1}{3}$ にあたる。よって、含まれる原子の個数は、

$$\left(\frac{1}{6} \times 12 + \frac{1}{2} \times 2 + 1 \times 3\right) \times \frac{1}{3} = 2 \text{ 個}$$



ポイント

充填率は変わらないから、解き方をしっかりとマスターすれば大丈夫！ ちなみに、六方最密構造の充填率は、面心立方格子と同じ約74%だよ！

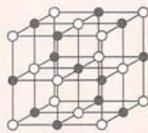
解答 (1) $\frac{\sqrt{2}}{6}\pi$ (2) $\frac{\sqrt{3}}{8}\pi$ (3) 2個

問題

★★★

NaCl の結晶は、 Na^+ と Cl^- がそれぞれ面心立方格子をつくっている。

- ☑(1) 単位格子中に含まれる Cl^- は何個か。
- ☑(2) 結晶中の 1 個の陽イオンに着目すると、その最も近い位置にある陰イオンは何個か。
- ☑(3) Na^+ と Cl^- のイオン半径をそれぞれ 1.0×10^{-8} cm, 1.8×10^{-8} cm とすると、NaCl の結晶格子の 1 辺の長さは何 cm か。
- ☑(4) NaCl の結晶の密度は何 g/cm^3 か。



● : Na^+ ○ : Cl^-

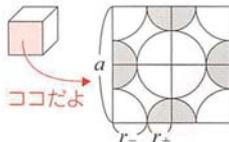
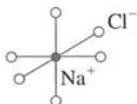
解説

$$(1) \quad \underbrace{\frac{1}{8} \times 8}_{\text{頂点}} + \underbrace{\frac{1}{2} \times 6}_{\text{面心}} = 4 \text{ 個}$$

(2) 右上図のように、1 個の Na^+ は上、下、左、右、前、後にある 6 個の Cl^- に囲まれている。

(3) 単位格子の 1 辺を a [cm]、 Na^+ 、 Cl^- のイオン半径をそれぞれ

Na^+ も 4 個あるよ



r_+ [cm], r_- [cm] とする。 a と r の関係: $a = 2(r_+ + r_-)$ より,
 $a = 2 \times (1.0 \times 10^{-8} + 1.8 \times 10^{-8}) = 5.6 \times 10^{-8}$ cm

(4) Na と Cl の原子量をそれぞれ M_{Na} , M_{Cl} 、アボガドロ定数を N_A [1/mol] とし、密度 d [g/cm^3] を表す。単位格子中に NaCl は 4 つ含まれるので、

$$d = \underbrace{\frac{M_{\text{Na}} + M_{\text{Cl}}}{N_A}}_{[\text{g}]} \times 4 \times \underbrace{\frac{1}{a^3}}_{[\text{cm}^3]} = \frac{4(M_{\text{Na}} + M_{\text{Cl}})}{a^3 N_A} \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

d を求める。Na の原子量 23, Cl の原子量 35.5 より、

$$d = \frac{4 \times (23 + 35.5)}{(5.6 \times 10^{-8})^3 \times 6.0 \times 10^{23}} \doteq 2.22 \text{ g/cm}^3$$

ポイント

NaCl 型イオン結晶は、面心立方格子の応用と考えると理解しやすいぞ。ただし、単位格子の 1 辺とイオン半径の関係を考えるときは気をつけてね。面心立方格子では面の対角線に注目したけれど、NaCl 型では格子 1 辺に注目するからね。

また、単位格子中に含まれるイオンの個数比と、化学式の原子数比は一致しているよ。

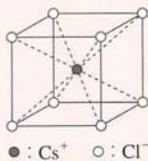
$\text{Na}^+ : \text{Cl}^- = 1 : 1$ より、化学式は NaCl。

- 解答 (1) 4 個 (2) 6 個 (3) 5.6×10^{-8} cm
 (4) 2.2 g/cm^3

問題

★★★

CsCl の結晶は、 Cs^+ が中心にあり、 Cl^- が 8 つの頂点を占めている体心立方格子形の単位格子が、三次元的に規則正しく配列してできている。

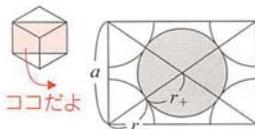


- (1) 単位格子中に含まれる Cl^- は何個か。
- (2) 結晶中の 1 個の陽イオンに着目すると、その最も近い位置にある陰イオンは何個か。
- (3) CsCl の結晶格子の 1 辺の長さを 4.12×10^{-8} cm とする。 Cl^- のイオン半径を 1.81×10^{-8} cm とすると、 Cs^+ のイオン半径は何 cm か。有効数字 3 桁で答えよ。 $\sqrt{3} = 1.73$ とする。
- (4) CsCl の結晶の密度は何 g/cm^3 か。 $4.12^3 = 70$ とする。

解説

(1) $\frac{1}{8} \times 8 = 1$ 個 Cs^+ も 1 個あるよ

(2) 1 個の Cs^+ は、上 4 個、下 4 個の計 8 個の Cl^- に囲まれている。



(3) 単位格子の 1 辺を a [cm]、 Cs^+ 、 Cl^- のイオン半径をそれぞれ r_+ [cm]、 r_- [cm] とすると、 a と r の関係：
 $\sqrt{3}a = 2(r_+ + r_-)$ より、

$$\sqrt{3} \times 4.12 \times 10^{-8} = 2 \times (r_+ + 1.81 \times 10^{-8})$$

$$r_+ \doteq 1.753 \times 10^{-8} \text{ cm}$$

(4) Cs と Cl の原子量をそれぞれ M_{Cs} 、 M_{Cl} 、アボガドロ定数を N_A [/mol] とし、密度 d [g/cm^3] を表す。単位格子中に CsCl は 1 つ含まれるので、

$$d = \frac{M_{\text{Cs}} + M_{\text{Cl}}}{N_A} \times \frac{1}{a^3} = \frac{M_{\text{Cs}} + M_{\text{Cl}}}{a^3 N_A} \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

d を求める。Cs の原子量 133、Cl の原子量 35.5 より、

$$d = \frac{133 + 35.5}{(4.12 \times 10^{-8})^3 \times 6.0 \times 10^{23}} \doteq 4.01 \text{ g/cm}^3$$

ポイント

CsCl 型イオン結晶は、体心立方格子の応用と考えると理解しやすいぞ！ Cs^+ と Cl^- が接しているのは立方体の体対角線上だよ。

「イオン間距離(イオンの中心間距離)を求めよ」とあつたら、陽イオン半径 + 陰イオン半径を求めれば OK だよ。

例えば、CsCl のイオン間距離は、

$$(1.75 + 1.81) \times 10^{-8} = 3.56 \times 10^{-8} \text{ cm}$$

になるんだよ。

- 解答 (1) 1 個 (2) 8 個 (3) 1.75×10^{-8} cm
 (4) 4.0 g/cm^3

問題

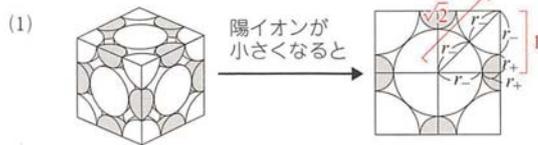


イオン結晶は、反対符号のイオンが接触して、同符号のイオンが接触しないとき、安定な構造を保つ。

- ☑(1) ある陽イオンが Cl^- と NaCl 型の結晶構造をつくるとき、陽イオンの半径が何 nm より大きければ安定な構造をとることができるか。 $\sqrt{2} = 1.41$
- ☑(2) ある陽イオンが Cl^- と CsCl 型の結晶構造をつくるとき、陽イオンの半径が何 nm より大きければ安定な構造をとることができるか。 $\sqrt{3} = 1.73$
- ただし、 Cl^- のイオン半径は陽イオンの種類、結晶構造によらず 0.18 nm で一定で、ある陽イオンの半径より大きいものとする。

解説

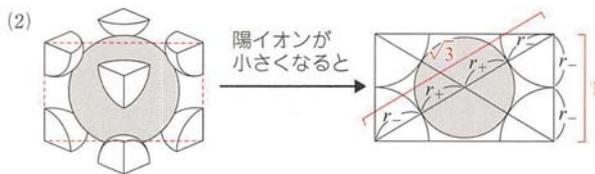
陰イオンどうしおよび、陽イオンと陰イオンが接しているときが安定な状態の限界になる。このときの半径比を **限界半径比** といい、 $\frac{r_+}{r_-}$ で表される。



図より、 $1 : \sqrt{2} = (r_+ + r_-) : 2r_-$
 $\sqrt{2}(r_+ + r_-) = 2r_-$

限界半径比は、 $\frac{r_+}{r_-} = \sqrt{2} - 1 = 0.41$

よって、陽イオンの半径が、 $0.18 \times 0.41 = 0.0738 \text{ nm}$ より大きければ、安定な構造をとることができる。



図より、 $1 : \sqrt{3} = 2r_- : 2(r_+ + r_-)$
 $2(r_+ + r_-) = \sqrt{3} \times 2r_-$

限界半径比は、 $\frac{r_+}{r_-} = \sqrt{3} - 1 = 0.73$

よって、陽イオンの半径が、 $0.18 \times 0.73 = 0.131 \text{ nm}$ より大きければ、安定な構造をとることができる。

ポイント

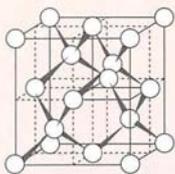
一般に、反対符号のイオンと接している数 (**配位数**) が大きいほど安定な構造なんだ (NaCl 型: 6, CsCl 型: 8)。でも配位数が大きいほど限界半径比も大きくなるので、イオンの組合せも限られてしまうんだよ。

解答 (1) 0.074 nm (2) 0.13 nm

問題

★★

ダイヤモンドは、炭素原子が共有結合した巨大分子であり、1個の炭素原子のまわりを4個の炭素原子と正四面体形に結合している。この共有結合は強い

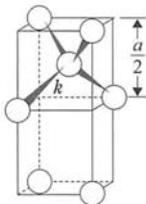


- ため、ダイヤモンドは非常に硬く、密度が比較的大きい。
- (1) 単位格子中に含まれる炭素原子は何個か。
- (2) 単位格子の1辺を $3.6 \times 10^{-8} \text{ cm}$ とすると、炭素原子間の結合距離は何 cm か。 $\sqrt{3} = 1.7$ とする。
- (3) ダイヤモンドの密度は何 g/cm^3 か。ただし、 $3.6^3 = 47$ とする。

解説

- (1) 単位格子内にある炭素原子は、面心立方格子と同じ位置にある原子と、単位格子を8分割にした小立方体のうち、4か所の中心にある原子を合わせた個数となる。

$$\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 + 1 \times 4 = \underline{8 \text{ 個}}$$



- (2) 単位格子の1辺を $a \text{ [cm]}$ とすると、小立方体の1辺の長さは $\frac{a}{2} \text{ [cm]}$ 。

炭素原子間の結合距離を $k \text{ [cm]}$ とすると、 a と k の関係は、

$$\frac{a}{2} \times \sqrt{3} = 2k$$

k を求める。

$$k = \frac{\sqrt{3} \times 3.6 \times 10^{-8}}{4} = \underline{1.53 \times 10^{-8} \text{ cm}}$$

- (3) 単位格子の1辺 $a \text{ [cm]}$ 、原子量 M 、アボガドロ定数 N_A [mol] を用いて密度 $d \text{ [g/cm}^3]$ を表す。

$$d = \frac{M}{N_A} \times 8 \times \frac{1}{a^3} = \frac{8M}{a^3 N_A} \text{ [g/cm}^3]$$

d を求める。Cの原子量 12 より、

$$d = \frac{8 \times 12}{(3.6 \times 10^{-8})^3 \times 6.0 \times 10^{23}} \doteq \underline{3.40 \text{ g/cm}^3}$$

ポイント

ダイヤモンドの結晶構造も、面心立方格子と体心立方格子の組合せと考えれば構造が理解できるよね!

原子間の結合距離の考え方は、53の「イオン間距離」と同じだよ。ここで、小立方体の体対角線に原子間距離が2つ分あることに気づいてね。実際に原子はなくても空間があいているんだよ。

解答 (1) 8個 (2) $1.5 \times 10^{-8} \text{ cm}$ (3) 3.4 g/cm^3

問題

★★

- ☑ 0℃の水90gをすべて100℃の水蒸気にするのに必要な熱量は何kJか。水の融解熱は6.0kJ/mol、水の蒸発熱は44kJ/mol、水1gの温度を1℃上昇させるのに必要な熱量は温度によらず4.2Jとする。

解説

温度とエネルギーの関係をグラフに示す。



- ① 0℃の水90g → 0℃の水90g
 $\text{H}_2\text{O}(\text{固})$ の融解に必要な熱量を、融解熱を用いて求める。
 90gの H_2O (分子量18)の物質量は、 $\frac{90}{18} = 5.0 \text{ mol}$ より、

$$\underbrace{6.0}_{[\text{kJ/mol}]} \times \underbrace{5.0}_{[\text{mol}]} = 30 \text{ kJ}$$

- ② 0℃の水90g → 100℃の水90g
 $\text{H}_2\text{O}(\text{液})$ の温度上昇に必要な熱量を、水の比熱を用いて求める。

比熱とは、物質1gの温度を1℃上昇させるのに必要な熱量をいう。水の比熱は4.2J/(g・℃)である。

$$\underbrace{4.2}_{[\text{kJ}/(\text{g}\cdot\text{C})]} \times \underbrace{90}_{[\text{g}]} \times \underbrace{(100 - 0)}_{[\text{C}]} = 37.8 \text{ kJ}$$

- ③ 100℃の水90g → 100℃の水蒸気90g
 $\text{H}_2\text{O}(\text{液})$ の蒸発に必要な熱量を、蒸発熱を用いて求める。

$$\underbrace{44}_{[\text{kJ/mol}]} \times \underbrace{5.0}_{[\text{mol}]} = 220 \text{ kJ}$$

- ①～③より、0℃の水90gを100℃の水蒸気にするのに必要な熱量は、

$$30 + 37.8 + 220 = \underline{287.8 \text{ kJ}}$$

ポイント

変化によって用いる熱の種類が異なるから気をつけよう。計算は単位を意識すると求めやすいぞ！融解と蒸発が行われているときは、状態変化に熱量が使われているから、温度変化は起こらないよ。

解答 $2.9 \times 10^2 \text{ kJ}$

ボイルの法則, シャルルの法則

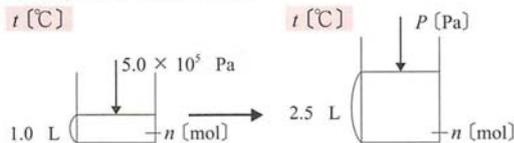
問題

★★★

- ☑(1) 一定温度で 5.0×10^5 Pa, 1.0 L の気体を 2.5 L にすると, 圧力は何 Pa になるか。
- ☑(2) 一定圧力で 27 °C, 2.0 L の気体を 4.0 L にすると, 温度は何 °C になるか。整数で答えよ。

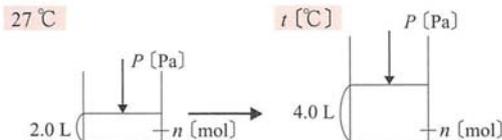
解説

(1) 求める圧力を P [Pa] とする。



n, T が一定なので $PV = P'V'$ (ボイルの法則) が成立する。
 $5.0 \times 10^5 \times 1.0 = P \times 2.5$ $P = \underline{2.0 \times 10^5 \text{ Pa}}$

(2) 求める温度を t [°C] とする。



n, P が一定なので $\frac{V}{T} = \frac{V'}{T'}$ (シャルルの法則) が成立する。

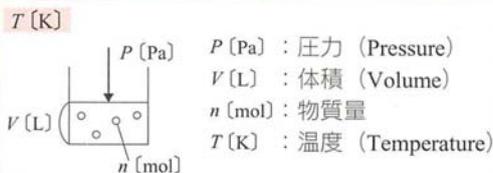
$$\frac{2.0}{27 + 273} = \frac{4.0}{t + 273}$$

$$t + 273 = 600 \text{ [K]}$$

$$t = \underline{327 \text{ [°C]}}$$

ポイント

気体の問題を解くとき, まず図をかいてみよう。僕は次のようにかいているよ。容器内の圧力と外から支える圧力は同じと考えて ↓ としているんだ。また, いつもは気体のつづつづを省略しているよ。



容器の大きさや圧力の矢印の長さはだいたいでもいいからね。大切なのは, 気体のつづつづの動きを視覚的にとらえることだよ。目で見てどんなことが起こっているのか確認できれば, とっても解きやすいよ!



解答 (1) $2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ (2) 327 °C

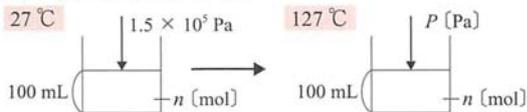
問題

★★★

- ☑(1) 27℃, 1.5×10^5 Pa で 100 mL の気体を, 体積を変えずに 127℃ にすると, 圧力は何 Pa になるか。
 ☑(2) 27℃, 760 mmHg で 4.0 L の気体を, 87℃, 608 mmHg にすると体積は何 L になるか。
 ☑(3) 0℃, 2.0×10^5 Pa で 25 mL の気体を, 1.0×10^5 Pa, 100 mL にすると温度は何℃ になるか。

解説

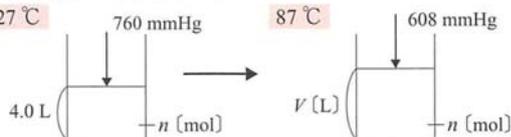
(1) 求める圧力を P [Pa] とする。



V, n が一定なので, $\frac{P}{T} = \frac{P'}{T'}$ が成立する。

$$\frac{1.5 \times 10^5}{27 + 273} = \frac{P}{127 + 273} \quad P = \underline{2.0 \times 10^5 \text{ Pa}}$$

(2) 求める体積を V [L] とする。

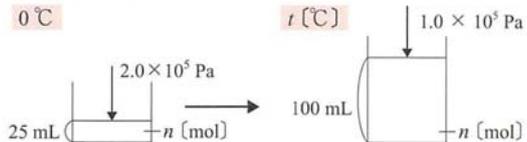


n が一定なので, $\frac{PV}{T} = \frac{P'V'}{T'}$ (ボイル・シャルルの法則)

が成立する。

$$\frac{760 \times 4.0}{27 + 273} = \frac{608 \times V}{87 + 273} \quad V = \underline{6.0 \text{ L}}$$

(3) 求める温度を t [℃] とする。



n が一定なので, $\frac{PV}{T} = \frac{P'V'}{T'}$ (ボイル・シャルルの法則)

が成立する。

$$\frac{2.0 \times 10^5 \times 25}{273} = \frac{1.0 \times 10^5 \times 100}{t + 273} \quad t + 273 = 546 \text{ K} \quad t = \underline{273 \text{ }^\circ\text{C}}$$

ポイント

ボイル・シャルルの法則で計算するとき, 圧力と体積の単位は, 変化の前後が同じであればどんな単位を使っても大丈夫だよ。ただし, 温度は絶対温度を使わないとダメだよ。

解答 (1) $2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ (2) 6.0 L (3) $273 \text{ }^\circ\text{C}$

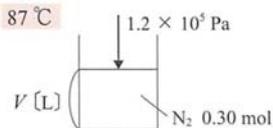
問題

★★★

- ☑(1) 窒素 0.30 mol を 87℃, 1.2×10^5 Pa に保ったとき, 体積は何 L か。
- ☑(2) 二酸化炭素 5.5 g を, 47℃ で 4.15 L の容器に入れた。この容器の圧力は何 Pa か。
- ☑(3) 27℃, 1.0×10^5 Pa での密度が 1.3 g/L の気体の分子量はいくつか。

解説

- (1) 求める窒素の体積を V [L] とする。

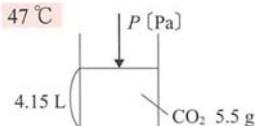


$PV = nRT$ に代入して V を求める。

$$1.2 \times 10^5 \times V = 0.30 \times 8.3 \times 10^3 \times (87 + 273)$$

$$V = \underline{7.47 \text{ L}}$$

- (2) 求める二酸化炭素の圧力を P [Pa] とする。



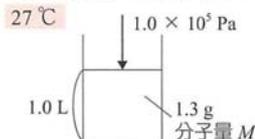
CO_2 の分子量は 44。

$PV = \frac{w}{M} RT$ に代入して P を求める。

$$P \times 4.15 = \frac{5.5}{44} \times 8.3 \times 10^3 \times (47 + 273)$$

$$P = \underline{8.0 \times 10^4 \text{ Pa}}$$

- (3) この気体の密度は 1.3 g/L だから, 体積を 1.0 L としたとき, 気体の質量は, $1.0 \text{ L} \times 1.3 \text{ g/L} = 1.3 \text{ g}$ となる。求める気体の分子量を M とする。



$PV = \frac{w}{M} RT$ に代入して M を求める。

$$1.0 \times 10^5 \times 1.0 = \frac{1.3}{M} \times 8.3 \times 10^3 \times (27 + 273)$$

$$M \doteq \underline{32.3}$$

ポイント

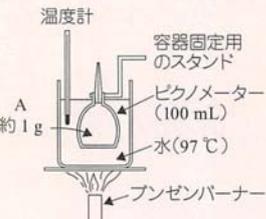
(3)のように気体の密度が与えられているときは, 気体の体積を 1.0 L として質量を求めると解きやすいぞ!

解答 (1) 7.5 L (2) 8.0×10^4 Pa (3) 32

問題

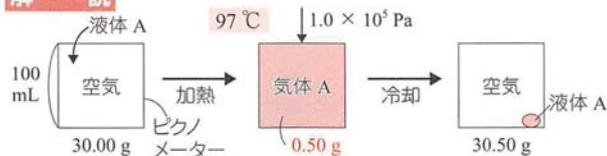


蒸気密度の測定により揮発性液体 A の分子量を求める実験を行った。図のような、乾燥したときの質量が 30.00 g で内容積が 100 mL のピクノメーターを用いた。約 1 g の液体 A をピクノメーターに入れ、97 °C の湯浴に浸し、完全に液体が蒸発し終わったのち、ピクノメーターを冷却し、秤量したところ 30.50 g であった。この実験中を通じて、大気圧は 1.0×10^5 Pa であった。



実験に使用した A の分子量を整数で求めよ。ただし、ピクノメーターの内容積は変わらないものとし、室温での A の蒸気圧は無視できるものとする。

解説



液体 A 約 1 g は、加熱していくと気体となって容器内の空気を追い出すとともに余分な A も放出される。97 °C における気体 A の圧力 P 、体積 V 、質量 w をもとに、 $PV = \frac{w}{M} RT$ を用いて気体 A の分子量 M を求める。

$P: 1.0 \times 10^5$ Pa 大気圧と同じだよ
 $V: 100$ mL = 0.10 L
 $w: 30.50 - 30.00 = 0.50$ g A の蒸気圧が無視できるので、空気の質量変化もな
 $R: 8.3 \times 10^3$ Pa·L/(K·mol) いと考えるよ
 $T: 97 + 273 = 370$ K

$$1.0 \times 10^5 \times 0.10 = \frac{0.50}{M} \times 8.3 \times 10^3 \times 370$$

$$M \approx 153.5$$

ポイント

まず実験の様子を理解しよう。加熱するとピクノメーターから空気や A が放出されるけれど、冷却すると A は空气中に散らばってどこかへいってしまうから、空気しか戻ってこないよ。
状態方程式は、A がすべて気体の 97 °C のとき成立しているからね！

分圧の法則① (燃焼反応の量的関係)

問題

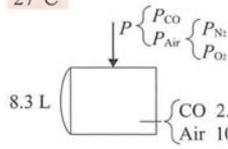
★★★

温度が 27℃ で体積が 8.3 L の容器に CO を 2.0 mol、空気を 10 mol 封入した。ただし、空気は N₂ と O₂ が体積比 4 : 1 で混合しているものとする。

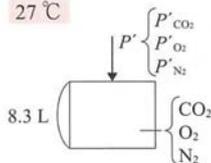
- ☑(1) 混合した気体の全圧、および存在している気体の分圧はそれぞれ何 Pa か。
- ☑(2) 混合気体に点火して燃焼させた後、27℃ まで戻した。燃焼後の混合気体の全圧は何 Pa か。

解説

27℃



27℃



- (1) 全圧 P を求める。 $PV = nRT$ より、

$$P \times 8.3 = (2.0 + 10) \times 8.3 \times 10^3 \times (27 + 273)$$

$$P = 36 \times 10^5 \text{ Pa} \quad \text{解答には } 3.6 \times 10^6 \text{ Pa と表そう}$$

CO、O₂、N₂ の分圧を求める。1つの容器内にあるので、(分圧比) = (モル比) = (体積比) が成立する。

$$\text{CO 分圧} : 36 \times 10^5 \times \frac{2.0}{12} = 6.0 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\text{O}_2 \text{ 分圧} : 36 \times 10^5 \times \frac{10}{12} \times \frac{1}{5} = 6.0 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\text{N}_2 \text{ 分圧} : (36 - 6.0 - 6.0) \times 10^5 = 24 \times 10^5 \text{ Pa}$$

- (2) 反応の量的関係を示す。(モル比) = (分圧比) より、圧力を用いて計算できる。

圧力の単位を書くといいぞ

反応しないけれど書いておくと忘れないよ

[$\times 10^5 \text{ Pa}$]	2CO	+	O ₂	→	2CO ₂	+	N ₂
反応前	6.0		6.0		0		24
変化量	-6.0		-3.0		+6.0		—
反応後	0		3.0		6.0		24

反応後、混合気体の全圧は、

係数比に一致するぞ

$$(\underbrace{3.0}_{\text{O}_2} + \underbrace{6.0}_{\text{CO}_2} + \underbrace{24}_{\text{N}_2}) \times 10^5 = 33 \times 10^5 \text{ Pa}$$

O₂ CO₂ N₂

(全圧) = (分圧の和) だよ

ポイント

CO と O₂ の過不足がわからないので、バランスシートで確認しよう!

圧力を表すとき、「 $\times 10^5$ 」と「 $\times 10^6$ 」を混在させるのは間違いのもと。どちらかに統一して(今回は「 $\times 10^5$ 」)計算しよう!

解答 (1) 全圧: $3.6 \times 10^6 \text{ Pa}$ CO 分圧: $6.0 \times 10^5 \text{ Pa}$

O₂ 分圧: $6.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ N₂ 分圧: $2.4 \times 10^6 \text{ Pa}$

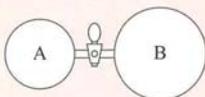
(2) $3.3 \times 10^6 \text{ Pa}$

分圧の法則② (二連球, 平均分子量)

問題

★★★

2.0 L の容器 A に, 27°C で 1.5×10^5 Pa の CH_4 を, 3.0 L の容器 B に, 27°C で 4.0×10^5 Pa の O_2 を入れ, コックを開いて 27°C を保ったまま, 両気体を混合した。

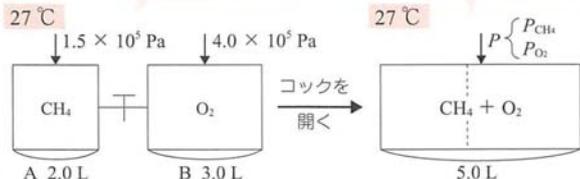


- ☑(1) 容器内の圧力が均一になるまで放置したとき, 容器 A 内の圧力は何 Pa になるか。
- ☑(2) 混合気体の平均分子量を求めよ。
- ☑(3) コックを開いたまま, 混合気体中の CH_4 を完全燃焼させた。その後, A, B 内を 127°C にした。燃焼後の混合気体の全圧は何 Pa か。ただし, 127°C において, 水はすべて気体とする。

解説

僕は, 四角形の容器が好き!

だってコックを開いたときくっつけやすいから!



(1) コックを開いた後の分圧 P_{CH_4} , P_{O_2} を求める。 n , $T = (\text{一定})$

より, $PV = P'V'$ が成立する。

$$1.5 \times 10^5 \times 2.0 = P_{\text{CH}_4} \times 5.0 \quad P_{\text{CH}_4} = 0.6 \times 10^5 \text{ [Pa]}$$

$$4.0 \times 10^5 \times 3.0 = P_{\text{O}_2} \times 5.0 \quad P_{\text{O}_2} = 2.4 \times 10^5 \text{ [Pa]}$$

全圧 P を求める。(全圧) = (分圧の和) より,

$$P = (0.6 + 2.4) \times 10^5 = \underline{3.0 \times 10^5 \text{ Pa}}$$

全圧 P と容器 A 内の圧力は同じだよ

- (2) 平均分子量 (見かけの分子量) は, (分子量) \times (モル分率) の総和で求まる。 CH_4 の分子量 16, O_2 の分子量 32, (モル比) = (分圧比) が成立するので,

$$16 \times \frac{0.6}{3.0} + 32 \times \frac{2.4}{3.0} = \underline{28.8}$$

CH_4 に合わせよう。係数比に一致するよ

- (3) 反応の量的関係を示す。(モル比) = (分圧比) より,

[$\times 10^5$ Pa]	CH_4	+	2O_2	\longrightarrow	CO_2	+	$2\text{H}_2\text{O}$
反応前	0.6		2.4		0		0
変化量	-0.6		-1.2		+0.6		+1.2
反応後	0		1.2		0.6		1.2

27°C ですべて気体と仮定したときの圧力だよ

求められた値は 27°C での圧力なので, 127°C での圧力に

する。 n , $V = (\text{一定})$ より, $\frac{P}{T} = \frac{P'}{T'}$ が成立する。

$$(1.2 + 0.6 + 1.2) \times 10^5 \times \frac{127 + 273}{27 + 273} = \underline{4.0 \times 10^5 \text{ Pa}}$$

ポイント

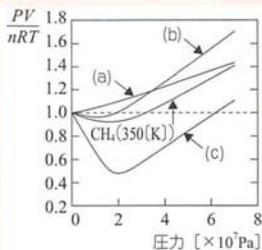
自分がわかりやすい図にかき直すと解きやすいぞ!

解答 (1) $3.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ (2) 29 (3) $4.0 \times 10^5 \text{ Pa}$

問題



図は、実在気体における圧力との関係を表している。ただし、 P は圧力、 V は体積、 n は物質質量、 R は気体定数、 T は絶対温度とする。



実在気体における圧力と $\frac{PV}{nRT}$ との関係

- (1) 理想気体は仮想的な気体である。どのような仮定をしているか2つあげよ。
- (2) 図の曲線(a), (b), (c)は次の①~③のいずれかを表している。適切なものを選び、記号で答えよ。
① $N_2(250\text{ K})$ ② $N_2(500\text{ K})$ ③ $CO_2(350\text{ K})$
- (3) 内容積 10 L の容器に、温度 350 K、圧力 2.0×10^7 Pa でメタンが充填されている。メタンの $\frac{PV}{nRT}$ の値を 0.92 とすると、充填されているメタンは何 kg か。

解説

- (1) 理想気体は分子間力が働かず、分子自身の体積がないと考えた仮想的な気体で、低温・高圧の下でも気体の状態方程式が完全に成り立つ。

一方、実際に存在する気体を実在気体という。高温・低圧の下では、理想気体に近いふるまいをする。

(2) (a)と(b)は、 $\frac{PV}{nRT} > 1.0$ より、分子自身の体積の影響が大きく、(c)は、 $\frac{PV}{nRT} < 1.0$ より、分子間力の影響が大きい。したがって、分子間力が大きい③が(c)になる。①と②のうち、(a)は理想気体に近いので、①より高温である②になる。

- (3) 問題文より、 $\frac{PV}{nRT} = 0.92$ となるので、ここに、 P, V, R, T の値を代入してメタンの物質質量 n [mol] を求める。

$$n = \frac{PV}{0.92RT} = \frac{2.0 \times 10^7 \text{ Pa} \times 10 \text{ L}}{0.92 \times 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \times 350 \text{ K}} = 74.8 \text{ mol}$$

したがって、充填されているメタンの質量は、 $CH_4 = 16$ より、

$$74.8 \text{ mol} \times 16 \times 10^{-3} \text{ kg/mol} = 1.2 \text{ kg}$$

ポイント

グラフは、右へいけばいくほど圧力が大きくなり、理想気体からのずれも大きくなるんだよ。 $\frac{PV}{nRT}$ が 1.0 より大きいときと小さいときの影響を正確に理解してね!

解答 (1) 分子間力が働かない。分子自身の体積がない。

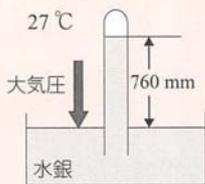
- (2) (a) ② (b) ① (c) ③ (3) 1.2 kg

蒸気圧① (トリチェリーの水銀柱)

問題

★★

27℃で長さ1.0 mの一端を閉じたガラス管に水銀を満たして水銀槽に倒立させたところ、右図のように水銀柱の高さが760 mmを示した。ただし、水銀の密度は 13.6 g/cm^3 、大気圧は $1.0 \times 10^5 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg}$ とする。

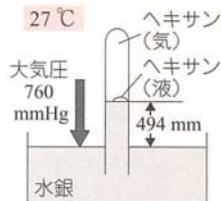


- ☑(1) 水銀槽の水銀表面 1 cm^2 に加えられている空気(大気)の質量は何 kg か。
- ☑(2) 管の下からヘキサンを注入したところ、水銀柱は494 mmに下がり、上方に少量のヘキサンの液体が残った。27℃のヘキサンの蒸気圧は何 Pa か。
- ☑(3) (2)において、大気圧が $8.0 \times 10^4 \text{ Pa}$ であれば、水銀柱の高さは何 mm になるか。整数で答えよ。

解説

- (1) 大気圧 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ は、水銀柱 76 cm に相当するので、 1 cm^2 あたりかかる水銀の質量 $[\text{g/cm}^2]$ を求めると、
- $$13.6 \times 76 \doteq 1034 \text{ g/cm}^2$$
- $[\text{g/cm}^3]$ $[\text{cm}]$ 密度×高さだよ。単位に注目！
- よって 1 cm^2 あたりかかる空気の質量も同じなので 1.0 kg

- (2) 大気圧が $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ のとき、水銀柱の高さが760 mmでつり合っており、管の上部の空間は真空になっている。ここにヘキサンを注入すると、空間はヘキサンの蒸気で満たされる。ヘキサンの液体が残っているので、空間はヘキサンの蒸気圧を示す。このとき、ヘキサンの蒸気圧と水銀柱による圧力の和が大気圧とつり合っているため、ヘキサンの蒸気圧は、



$$760 - 494 = 266 \text{ mmHg}$$

よって、[Pa] に換算すると、

$$1.0 \times 10^5 \times \frac{266}{760} = \underline{0.35 \times 10^5 \text{ Pa}}$$

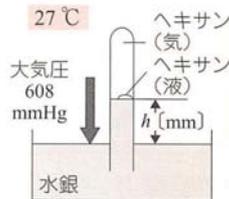
- (3) 大気圧 $8.0 \times 10^4 \text{ Pa}$ を水銀柱に換算すると、

$$\frac{0.80 \times 10^5}{1.0 \times 10^5} \times 760 = 608 \text{ mmHg}$$

ヘキサンの蒸気圧は変わらないので、水銀柱による圧力は、

$$h = 608 - 266 = 342 \text{ mmHg}$$

水銀柱による圧力と水銀柱の高さは等しいので、342 mm



ポイント

水銀柱の高さが圧力になるんだよ！ どこで圧力がつり合っているかを考えると、水銀柱の問題もコワくないぞ！

- 解答 (1) 1.0 kg (2) $3.5 \times 10^4 \text{ Pa}$ (3) 342 mm

問題



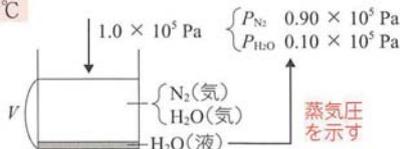
ピストン付きの容器に、一定量の窒素と水 0.18 g を入れ、温度を 47℃ に保った。47℃ の蒸気圧を 1.0×10^4 Pa とし、水の体積は無視できるものとする。



- ☑(1) 全圧を 1.0×10^5 Pa にしたところ、液体の水が残っていた。窒素の分圧は何 Pa か。
- ☑(2) 体積を(1)の半分にしたところ、容器内の圧力は何 Pa になるか。
- ☑(3) 容器内の水をすべて蒸発させるには、容器内の体積を何 L 以上にすればよいか。

解説

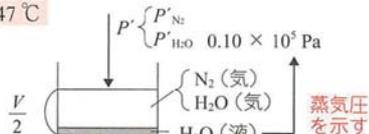
(1) 47℃



H_2O (液) が残っているので、 P_{H_2O} は蒸気圧 1.0×10^5 Pa を示す。 N_2 の分圧 P_{N_2} は、(分圧の和) = (全圧) より、

$$(1.0 - 0.10) \times 10^5 = \underline{0.90 \times 10^5 \text{ Pa}}$$

(2) 47℃



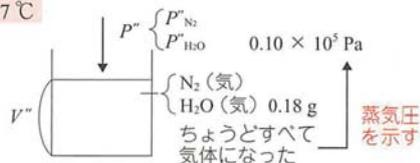
H_2O (液) が残っているので、 P'_{H_2O} は蒸気圧 0.10×10^5 Pa を示す。 N_2 の分圧 P'_{N_2} は、(1)との間で $PV = P'V'$ が成立する。

$$0.90 \times 10^5 \times V = P'_{N_2} \times \frac{V}{2} \quad P'_{N_2} = 1.8 \times 10^5 \text{ Pa}$$

(全圧) = (分圧の和) より、このときの全圧を求める。

$$(1.8 + 0.10) \times 10^5 = \underline{1.9 \times 10^5 \text{ Pa}}$$

(3) 47℃



P''_{H_2O} は 47℃ の蒸気圧を示し、 H_2O はすべて気体である。このときの体積 V'' は $PV = nRT$ より、

$$0.10 \times 10^5 \times V'' = \frac{0.18}{18} \times 8.3 \times 10^3 \times (47 + 273)$$

$$V'' = \underline{2.65 \text{ L}}$$

H_2O だけで計算しても全体の体積が求まるよ!



H_2O (液) が残っていたら P_{H_2O} は蒸気圧を示すよ!

解答 (1) 9.0×10^4 Pa (2) 1.9×10^5 Pa (3) 2.7 L

蒸気圧③ (グラフを読み取る)

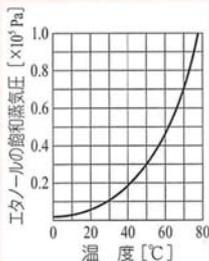
問題

★★

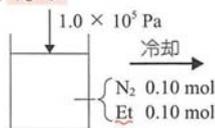
温度と体積が調節可能な容器に窒素とエタノールをそれぞれ 0.10 mol ずつ入れ、 1.0×10^5 Pa、 78°C に保った。

☑(1) 容器内を 1.0×10^5 Pa に保ったまま徐々に冷却すると、液体のエタノールが生じ始めるのは何℃か。

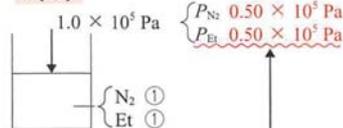
☑(2) 容器内を 1.0×10^5 Pa に保ったまま、さらに冷却して 42°C にしたとき、何%のエタノールが液体となっているか。



解説

(1) 78°C 

エタノールの略

 $t [^\circ\text{C}]$ 

Et(液)が生じ始めた
Et はすべて気体
 P_{Et} は蒸気圧

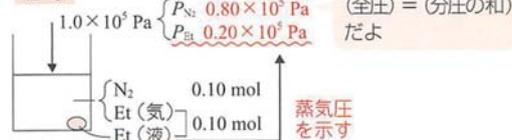
同時に成立するよ

$$\begin{cases} P_{\text{N}_2} & 0.50 \times 10^5 \text{ Pa} \\ P_{\text{Et}} & 0.50 \times 10^5 \text{ Pa} \end{cases}$$

エタノールがすべて気体のときの分圧 P_{Et} を求める。
(モル比) = (分圧比) より、

$$1.0 \times 10^5 \times \frac{1}{2} = 0.50 \times 10^5 \text{ Pa}$$

この圧力が、蒸気圧を示す温度の 62°C であるとき、エタノールの液体が生じ始める。

(2) 42°C 

エタノールの液体が存在するので、 P_{Et} は蒸気圧 0.20×10^5 Pa を示す。(全圧) = (分圧の和) より、 P_{N_2} は、 $(1.0 - 0.2) \times 10^5 = 0.8 \times 10^5$ Pa を示す。

この体積において、エタノールがすべて気体と仮定すると、容器内にある物質量は N_2 と等しいので、分圧は、 0.80×10^5 Pa を示す。液体となったエタノールは蒸気圧との差になるので、その割合 [%] は(分圧比) = (モル比) より、

$$\frac{0.80 - 0.20}{0.80} \times 100 = \underline{75} \%$$

ポイント

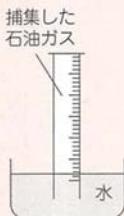
液体が生じ始めたとき、液体が存在しているときに示す圧力を整理しておこう。図を書いて考えれば、解けない問題はないぞ！

解答 (1) 62°C (2) 75%

問題

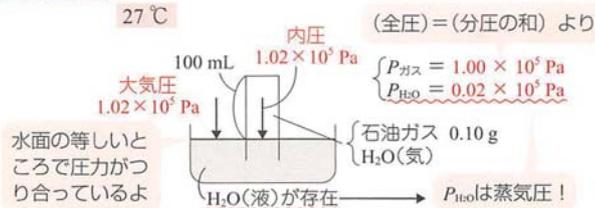
★★

0.10 g の石油ガスを水上捕集した。図のように、メスシリンダー内の水面を外の水面と一致させて、気体の体積を測定したところ、100 mL であった。気温を 27℃、大気圧を 1.02×10^5 Pa、27℃における水の蒸気圧を 2.0×10^3 Pa とする。



- ☑(1) メスシリンダー内の水面と外の水面を一致させて、体積の測定を行ったのはなぜか。
- ☑(2) 石油ガスの平均分子量はいくらか。
- ☑(3) この石油ガスはメタン CH_4 とエタン C_2H_6 の混合物である。メタンの体積百分率を求めよ。

解説



(1) メスシリンダーの内と外の水面を一致させると、内圧が大気圧と等しくなるので、大気圧を測定することによって内圧が求まる。

(2) メスシリンダー内には H_2O (気) が存在し、その分圧 $P_{\text{H}_2\text{O}}$ は、27℃の蒸気圧である、 0.02×10^5 Pa (2.0×10^3 Pa) を示す。よって、石油ガスの分圧 $P_{\text{ガス}}$ は(全圧) = (分圧の和) より、

$$P_{\text{ガス}} = (1.02 - 0.02) \times 10^5 = 1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$$

石油ガスの平均分子量を M とすると、 $PV = \frac{W}{M}RT$ より、

$$1.00 \times 10^5 \times \frac{100}{1000} = \frac{0.10}{M} \times 8.3 \times 10^3 \times (27 + 273)$$

$$M = \underline{24.9}$$

(3) 平均分子量は、(分子量) × (モル分率) の総和で求まる。 CH_4 (分子量 16) の割合を x とすると、 C_2H_6 (分子量 30) の割合は $1 - x$ より、

$$16 \times x + 30 \times (1 - x) = 24.9 \quad x = 0.364$$

$P = (\text{一定})$ より、(モル比) = (体積比) なので、 CH_4 の体積百分率は 36%

ポイント

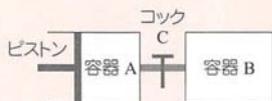
メスシリンダー内の水蒸気を忘れないこと。あと、メスシリンダーの内と外の水面を一致させることも忘れずに!

解答 (1) メスシリンダー内の圧力を大気圧と等しくするため。 (2) **25** (3) **36%**

問題

★★★

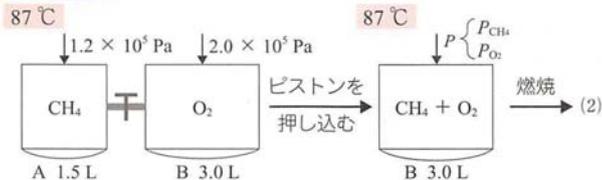
コック C を閉じた状態で、容器 A には CH_4 が $1.2 \times 10^5 \text{ Pa}$ で 1.5 L、容



器 B には O_2 が $2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 入っている。容器 A、B の温度は 87°C とし容器 B の体積は 3.0 L で一定である。

- ☑(1) コック C を開き、 87°C を保ちながら容器 A のピストンを押し込み、 CH_4 をすべて容器 B に注入した。このとき容器 B の圧力は何 Pa を示すか。
- ☑(2) (1) の操作後、 CH_4 を完全燃焼させた。温度が 87°C まで下がったとき、容器 B の圧力は何 Pa を示すか。ただし、 87°C での水の飽和蒸気圧は $6.2 \times 10^4 \text{ Pa}$ とする。

解説



- (1) ピストンを押し込んだ後の容器 B 内の分圧を求める。
 $P_{\text{CH}_4} : n$ 、 $T = \text{一定}$ より、 $PV = P'V'$ が成立している。

$$1.2 \times 10^5 \times 1.5 = P_{\text{CH}_4} \times 3.0$$

$$P_{\text{CH}_4} = 0.6 \times 10^5 \text{ Pa}$$

P_{O_2} : 体積が変わらないので、圧力も変わらない。

$$P_{\text{O}_2} = 2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$$

全圧 P を求める。(全圧) = (分圧の和) より、

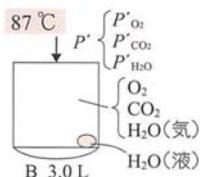
$$P = P_{\text{CH}_4} + P_{\text{O}_2} = (0.6 + 2.0) \times 10^5 = \underline{2.6 \times 10^5 \text{ Pa}}$$

- (2) 反応の量的関係を示す。

	CH_4	$+ 2\text{O}_2$	\longrightarrow	CO_2	$+ 2\text{H}_2\text{O}$	
$[\times 10^5 \text{ Pa}]$	0.6	2.0		0	0	係数比に一致するよ
変化量	-0.6	-1.2		+0.6	+1.2	
反応後	0	0.8		0.6	1.2	> 0.62 (87°C の蒸気圧)

87°C ですべて気体と仮定したときの圧力だよ

生じた H_2O が 87°C ですべて気体と仮定したときの圧力は $1.2 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。この値は、 87°C の蒸気圧より大きいので、一部が液体となり、 H_2O の分圧は 87°C の蒸気圧である $6.2 \times 10^4 \text{ Pa}$ を示す。



反応後の全圧 P' を求める。

(全圧) = (分圧の和) より、

$$(0.8 + 0.6 + 0.62) \times 10^5 = \underline{2.02 \times 10^5 \text{ Pa}}$$

P'_{O_2} P'_{CO_2} $P'_{\text{H}_2\text{O}}$



反応後の H_2O の状態を確認しよう!

解答 (1) $2.6 \times 10^5 \text{ Pa}$ (2) $2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$

問題

★★★★

KClの水100gに対する溶解度は、10℃で30g、80℃で52gである。次の問いに答えよ。

- ☑(1) 80℃の飽和水溶液200gから水80gを蒸発させたとき、析出するKClは何gか。
- ☑(2) 80℃の飽和水溶液100gを10℃に冷却したとき、何gのKClの結晶が析出するか。

解説

溶解度の表をかく。

[g]	KCl	H ₂ O	飽和 KCl aq
10℃	30	100	130
80℃	52	100	152

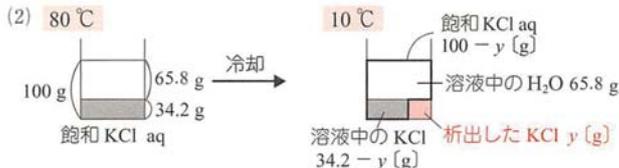
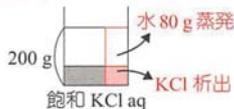
初めに書くとき解きやすいぞ!!

- (1) 蒸発した水と析出したKClは、80℃での溶解度の比に等しい。析出量をx[g]とすると、

$$\frac{\text{KCl [g]}}{\text{H}_2\text{O [g]}} = \frac{52}{100} = \frac{x}{80}$$

$$x = \underline{41.6 \text{ g}}$$

KCl [g] : H₂O [g] = 52 : 100
と同じ意味だよ



80℃飽和溶液中のKCl、H₂Oの質量は、

$$\text{KCl } 100 \times \frac{52}{152} = 34.2 \text{ g} \quad \text{H}_2\text{O } 100 - 34.2 = 65.8 \text{ g}$$

冷却によって析出したKClをy[g]とする。残っている溶液は10℃飽和溶液。10℃の溶解度より、

$$\frac{\text{KCl [g]}}{\text{H}_2\text{O [g]}} = \frac{30}{100} = \frac{34.2 - y}{65.8} \quad y = \underline{14.4 \text{ g}}$$

別解

冷却しても水の量は変わらないので、80℃飽和溶液の質量と10℃まで冷却したときの析出量は比例する。水100gのとき析出量は52 - 30 = 22 gより、

$$\frac{\text{析出量 [g]}}{80^\circ\text{C飽和溶液 [g]}} = \frac{22}{152} = \frac{y}{100} \quad y = \underline{14.4 \text{ g}}$$

ポイント

固体の溶解度の問題は、溶解度の表と図で攻略可能だ！
わかったことをドンドン図に書いていくと、答えの求め方が見えてくるぞ。

解答 (1) 42 g (2) 14 g

問題

★★★

無水硫酸銅(II)の溶解度は、水 100 g に対して 60℃で 40 g、20℃で 20 g であるとして、次の各問いに整数で答えよ。

- (1) 硫酸銅(II)五水和物の結晶 100 g を完全に溶解させて 60℃の飽和水溶液をつくるには何 g の水を加えればよいか。
- (2) 60℃硫酸銅(II)飽和水溶液 140 g を 20℃まで冷却すると、何 g の硫酸銅(II)五水和物の結晶が析出するか。

解説

無水物の値だよ

溶解度の表をかく。

[g]	CuSO ₄	H ₂ O	飽和 CuSO ₄ aq
60℃	40	100	140
20℃	20	100	120

式量は、CuSO₄ · 5H₂O = 160 + 18 × 5 = 250

- (1) CuSO₄ · 5H₂O 100 g の内訳は、

$\frac{\text{CuSO}_4}{\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}$ だよ	60℃
--	-----

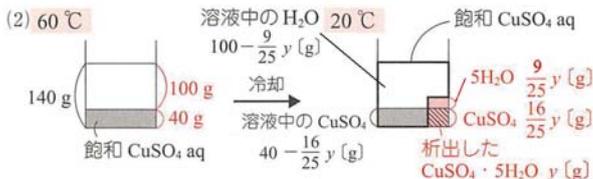
	x [g]	+		+	100 g	=	140 g
	160	+		+	180	=	250

加えた H₂O
5H₂O
CuSO₄
飽和 CuSO₄ aq

{	CuSO ₄ : 100 × $\frac{160}{250}$ = 64 g
{	H ₂ O : 100 - 64 = 36 g

加えた水を x [g] とする。

$$\frac{\text{CuSO}_4 [\text{g}]}{\text{H}_2\text{O} [\text{g}]} = \frac{40}{100} = \frac{64}{36 + x} \quad x = \underline{124 \text{ g}}$$



60℃飽和 CuSO₄ aq 140 g 中の CuSO₄、H₂O の質量は、

$$\text{CuSO}_4 \quad 140 \times \frac{40}{140} = 40 \text{ g} \quad \text{H}_2\text{O} \quad 140 - 40 = 100 \text{ g}$$

冷却によって析出した CuSO₄ · 5H₂O を y [g] とすると、その中に含まれる CuSO₄ の質量は $\frac{16}{25}y$ [g]、5H₂O の質量は $\frac{9}{25}y$ [g]。残っているのは 20℃飽和 CuSO₄ aq より、

$$\frac{\text{CuSO}_4 [\text{g}]}{\text{H}_2\text{O} [\text{g}]} = \frac{20}{100} = \frac{40 - \frac{16}{25}y}{100 - \frac{9}{25}y} \quad y = \underline{35.2 \text{ g}}$$

ポイント

結晶水を含んだ結晶が析出する問題も、水と溶質で比を立てて計算するんだよ！

解答 (1) 124 g (2) 35 g

気体の溶解度① (ヘンリーの法則)

問題

★★★

47℃, 1.0×10^5 Paにおいて, O_2 は1.0 Lの水に, 標準状態に換算して22.4 mL溶ける。次の問いに答えよ。

- ☑(1) 47℃, 2.0×10^5 Paで2.0 Lの水に溶ける O_2 は何 mol か。
- ☑(2) 47℃, 2.0×10^5 Paで2.0 Lの水に溶ける O_2 の体積は, 標準状態の下ではかると何 mLになるか。
- ☑(3) (2)で溶けている O_2 の体積を, その温度と圧力の下ではかると何 mLになるか。

解説

溶解度の表をかく。基準になる圧力と水の体積を書こう

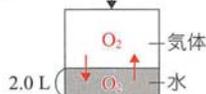
1.0×10^5 Pa, 水 1.0 L	O_2	O_2
47℃	22.4 mL	$\frac{22.4}{22400}$ mol

標準状態換算だから22400 mL/molを使うよ

内圧のことだよ。この圧力で水と接しているよ

47℃ 2.0×10^5 Pa

- (1) 水に溶ける O_2 の物質量は, 圧力, 水の体積に比例する。



$$\frac{22.4}{22400} \times \frac{2.0 \times 10^5}{1.0 \times 10^5} \times \frac{2.0}{1.0} = 4.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

基準の O_2 [mol] 圧力比 水の体積比

ヘンリーの法則だよ

- (2) 溶けている O_2 は, (1)より 4.0×10^{-3} mol。この O_2 の標準状態での体積 v [mL]は,

$$v = 4.0 \times 10^{-3} \times 22.4 \times 10^3 = 89.6 \text{ mL}$$

- (3) (2)より, 溶けている O_2 は, 標準状態 (0℃, 1.0×10^5 Pa)の下ではかると89.6 mLである。47℃, 2.0×10^5 Paに換算した体積 v' [mL]は,

$$\frac{PV}{T} = \frac{P'V'}{T'} \text{ より,}$$

$$\frac{1.0 \times 10^5 \times 89.6}{273} = \frac{2.0 \times 10^5 \times v'}{47 + 273} \quad v' = 52.5 \text{ mL}$$

ポイント

47℃, 1.0×10^5 Paにおいて, 水1.0 Lに溶けている O_2 を取り出して, 標準状態の下ではかっていた体積が22.4 mLになるんだよ。

気体の溶解度の問題のときも, 溶解度の表をかくと解きやすくなるぞ。気体の溶解量を求めるとき, 圧力のほかに水の体積にも比例することを忘れるな!

解答 (1) 4.0×10^{-3} mol (2) 90 mL (3) 53 mL

問題

★★

CO₂ は 0℃, 1.0×10^5 Pa において水 1.0 L に 0.080 mol 溶ける。0℃ において, 1.0 L のフラスコに CO₂ を 0.036 mol, 水を 0.20 L 入れ, 密閉した後, CO₂ を溶解させたところ, 溶解平衡に達した。ヘンリーの法則が成り立つとして次の問いに答えよ。

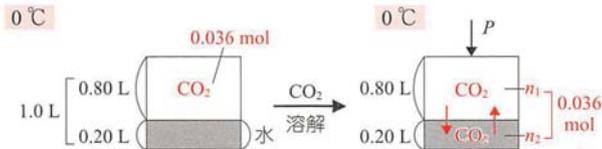
- (1) 気体の CO₂ の分圧は何 Pa になるか。
 (2) 水に溶けている CO₂ の物質量は何 mol か。

解説

溶解度の表をかく。基準になる圧力と水の体積を書こう

1.0×10^5 Pa, 水 1.0 L	CO ₂
0℃	0.080 mol

- (1) CO₂ が溶解平衡に達したときの CO₂ の分圧を P [Pa] とし, 気体の CO₂ を n_1 [mol], 水に溶けている CO₂ を n_2 [mol] とし, n_1, n_2 を P で表す。



気体の CO₂ n_1 [mol] は, $PV = nRT$ より,

$$P \times 0.80 = n_1 \times 8.3 \times 10^3 \times 273$$

$$n_1 \doteq 3.53 \times 10^{-7} P \text{ [mol]} \cdots \cdots \textcircled{1}$$

水に溶けている CO₂ n_2 [mol] は, 圧力, 水の体積に比例する。

$$n_2 = \frac{0.080}{1.0 \times 10^5} \times \frac{P}{1.0 \times 10^5} \times \frac{0.20}{1.0}$$

基準の CO₂ [mol] 圧力比 水の体積比

$$n_2 = 1.6 \times 10^{-7} P \text{ mol} \cdots \cdots \textcircled{2}$$

容器内の CO₂ の物質量は変化しないので,

$$n_1 + n_2 = 0.036 \cdots \cdots \textcircled{3}$$

①, ②, ③より, P を求める。

$$3.53 \times 10^{-7} P + 1.6 \times 10^{-7} P = 0.036$$

$$P = 7.01 \times 10^4 \text{ [Pa]}$$

- (2) 水に溶けている CO₂ の物質量は, ②式に $P = 7.01 \times 10^4$ を代入する。

$$n_2 = 1.6 \times 10^{-7} \times 7.01 \times 10^4 = 1.12 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

ポイント

容器内の CO₂ の物質量が変わらないことに気づけば解けるよ。このパターンの問題は気体の溶解度では有名なものだから, ちょっと難しいけれどできるようにしよう!

解答 (1) 7.0×10^4 Pa (2) 1.1×10^{-2} mol

問題

★★★

水 1 kg にグルコース $C_6H_{12}O_6$ を 1 mol 溶かした溶液の沸点は水の沸点に比べて 0.52 K 高かった。

- (1) 3.0 g の尿素 $CO(NH_2)_2$ を、水 100 g に溶かした溶液の沸点は何℃か。小数第 2 位まで求めよ。
- (2) 水 200 g にある量の NaCl を溶かした溶液の沸点は、水の沸点に比べて 0.156 K 高かった。溶かした NaCl は何 g か。
- (3) 水 1 kg に分子量が未知の非電解質を 24 g 溶かした溶液の沸点は、100.104℃であった。この非電解質の分子量はいくらか。

解説

b は boil だよ モル沸点上昇 [K·kg/mol]

[kg] は
溶媒だよ

$$\Delta t_b = K_b \cdot m$$

沸点上昇度 [K] 粒子の質量モル濃度 [mol/kg]

上式より、 $0.52 = K_b \times 1$ $K_b = 0.52 \text{ K} \cdot \text{kg/mol}$

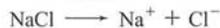
(1) この溶液の Δt_b を求める。 $\Delta t_b = K_b \cdot m$ 、 $CO(NH_2)_2 = 60$

$$\text{より、} \Delta t_b = \frac{0.52}{[K]} \times \frac{3.0}{[K \cdot \text{kg/mol}]} \times \frac{1}{\frac{60}{[mol]} \times \frac{1}{[kg]}} \quad \Delta t_b = 0.26 \text{ K}$$

水の沸点が 100℃より、この溶液の沸点は、

$$100 + 0.26 = \underline{100.26} \text{ } ^\circ\text{C} \quad [K] = [^\circ\text{C}] \text{ としていいよ}$$

(2) NaCl は電解質なので、水に溶かすと次のように電離する。



よって、溶液中の粒子数は溶かした NaCl の 2 倍である。

溶かした NaCl を x [g] とする。 $\Delta t_b = K_b \cdot m$ 、 $NaCl = 58.5$ より、

$$\frac{0.156}{[K]} = \frac{0.52}{[K \cdot \text{kg/mol}]} \times \frac{x}{58.5} \times \frac{2}{[mol]} \times \frac{1}{\frac{0.20}{[kg]}}$$

$$x = \underline{1.75} \text{ g}$$

(3) この溶液の沸点上昇度 Δt_b は、

$$100.104 - 100 = 0.104 \text{ } ^\circ\text{C}$$

非電解質の分子量を M とする。 $\Delta t_b = K_b \cdot m$ より、

$$\frac{0.104}{[K]} = \frac{0.52}{[K \cdot \text{kg/mol}]} \times \frac{24}{\frac{M}{[mol/kg]}} \quad M = \underline{120}$$

ポイント

電解質溶液では、溶質の電離によって粒子が増えるので注意しよう。絶対温度 [K] とセルシウス温度 [℃] の目盛間隔は同じなので、温度変化のときは [K] = [℃] としていいぞ。

解答 (1) 100.26℃ (2) 1.8 g (3) 120

問題

★★★

水 100 g にスクロース $C_{12}H_{22}O_{11}$ (分子量 342) を 3.42 g 溶かした溶液の凝固点は -0.19°C であった。

- ☑(1) このスクロース水溶液と凝固点が等しいグルコース $C_6H_{12}O_6$ (分子量 180) 水溶液をつくりたい。水 500 g に何 g のグルコースを溶かせばよいか。
- ☑(2) 100 g の水に 0.71 g の Na_2SO_4 (式量 142) を溶かした溶液の凝固点は何 $^\circ\text{C}$ か。
- ☑(3) (2)の溶液をさらに冷却し、氷 50 g を析出させるには、何 $^\circ\text{C}$ まで温度を下げればよいか。

解説

f は freeze だよ モル凝固点降下 $[\text{K}\cdot\text{kg/mol}]$ [kg] は溶媒だよ

$$\Delta t_f = K_f \cdot m$$

凝固点降下度 $[\text{K}]$ 粒子の質量モル濃度 $[\text{mol/kg}]$

水の凝固点は 0°C より Δt_f は 0.19°C 。 K_f を求める。

$$\frac{0.19}{[\text{K}]} = \frac{K_f}{[\text{K}\cdot\text{kg/mol}]} \times \frac{3.42}{[\text{mol}]} \times \frac{1}{[\text{kg}]}$$

$$K_f = 1.9 \text{ K}\cdot\text{kg/mol}$$

- (1) スクロース溶液とグルコース溶液の凝固点が等しいので、溶液中の粒子の質量モル濃度は等しい。溶かしたグルコースを x [g] とする。

$$\frac{3.42}{[\text{mol}]} \times \frac{1}{[\text{kg}]} = \frac{x}{[\text{mol}]} \times \frac{1}{[\text{kg}]} \quad x = \underline{9.0 \text{ g}}$$

- (2) Na_2SO_4 は電解質なので、水に溶かすと次のように電離する。
 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{Na}^+ + \text{SO}_4^{2-}$
 よって、溶液中の粒子数は溶かした Na_2SO_4 の 3 倍である。
 Δt_f を求める。 $\Delta t_f = K_f \cdot m$ より、

$$\Delta t_f = 1.9 \times \frac{0.71}{142} \times 3 \times \frac{1}{0.10} \quad \Delta t_f = 0.285 \text{ K}$$

溶液の凝固点 $[\text{C}]$ は、 $0 - 0.285 = \underline{-0.285^\circ\text{C}}$

- (3) 氷 50 g が析出したとき、溶液中の水は $100 - 50 = 50 \text{ g}$ 。この濃度での Δt_f を求める。 $\Delta t_f = K_f \cdot m$ より、

$$\Delta t_f = 1.9 \times \frac{0.71}{142} \times 3 \times \frac{1}{0.050} \quad \Delta t_f = 0.57 \text{ K}$$

溶液の凝固点 $[\text{C}]$ は、 $0 - 0.57 = \underline{-0.57^\circ\text{C}}$

ポイント

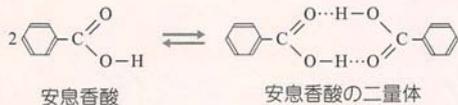
沸点上昇と同様、電解質の電離による粒子数の増加に気をつけよう。

解答 (1) **9.0 g** (2) **-0.29°C** (3) **-0.57°C**

問題

★★

安息香酸をベンゼンに溶かすと、安息香酸の一部はその2分子間で水素結合して二量体を形成する。この二量体は1分子のようにふるまう。



ベンゼンの凝固点を 5.53°C 、モル凝固点降下を $5.12 \text{ K}\cdot\text{kg/mol}$ として、次の問いに答えよ。

- (1) 安息香酸 (分子量 122) 3.66 g をベンゼン 100 g に溶かすと、その凝固点は 4.25°C となった。このときの安息香酸の見かけの分子量はいくらになるか。整数で答えよ。
- (2) (1)の結果から、安息香酸はベンゼン中で何%が二量体を形成しているか。

解説

- (1) 見かけの分子量を M とする。この溶液の質量モル濃度 m [mol/kg] を、 M を用いて表すと、

$$m = \frac{3.66}{M} \times \frac{1}{0.10} = \frac{36.6}{M} \text{ mol/kg}$$

[mol] [kg]

この溶液の凝固点降下度 Δt_f [K] は、
 $5.53 - 4.25 = 1.28$ [$^{\circ}\text{C}$] より 1.28 K 。

$\Delta t_f = K_f \cdot m$ に代入し、 M を求める。

$$1.28 = 5.12 \times \frac{36.6}{M} \quad M = \underline{146.4}$$

[$^{\circ}\text{C}$] と [K] の温度目盛は等しいから、変化した温度はいっしょだよ

- (2) 安息香酸の量谷反応の量的関係を示す。初めの安息香酸を n [mol]、重合度を α とする。



反応前	n	0
変化量	$-n\alpha$	$+\frac{n}{2}\alpha$
反応後	$n(1-\alpha)$	$\frac{n}{2}\alpha$

係数比に一致するよ

反応後の粒子の合計の物質量は、

$$n(1-\alpha) + \frac{n}{2}\alpha = n\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)$$

(見かけの分子量) = (分子量) \times (モル分率) より、

$$146 = 122 \times \frac{n(1-\alpha)}{n\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)} + 244 \times \frac{\frac{n}{2}\alpha}{n\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)}$$

$$\alpha \doteq 0.328 \quad \therefore \underline{33\%}$$



解答 (1) 146 (2) 33%

問題

★★★

不揮発性の溶質を含む希薄溶液の体積を V [L]、絶対温度を T [K]、溶質の全物質量を n [mol] とすると、浸透圧 Π [Pa] には、理想気体の状態方程式と同じ関係式 $\Pi V = nRT$ (R は気体定数) が成立する。

- ☑(1) 血液を希薄溶液と考え、正常な血液 37°C における浸透圧を 7.72×10^5 Pa とすると、血液の濃度は何 mol/L か。
- ☑(2) この血液と同じ浸透圧を示す食塩水を調整するには、何 g の NaCl を水に溶かして 1.0 L とすればよいか。ただし、NaCl は完全に電離しているものとする。
- ☑(3) ある有機化合物 5.4 g を水に溶かして 100 mL にした溶液は 37°C で血液と同じ浸透圧を示した。この化合物の分子量はいくらか。

解説

- (1) モル濃度は $\frac{n}{V}$ で表せる。 $\Pi = \frac{n}{V}RT$ より、
 $7.72 \times 10^5 = \frac{n}{V} \times 8.3 \times 10^3 \times (37 + 273)$
 $\frac{n}{V} = \underline{0.300 \text{ mol/L}}$

- (2) 浸透圧の等しい溶液どうしは、溶液中の粒子のモル濃度が等しい。

NaCl は完全に電離しているので、



より、生じた Na^+ と Cl^- の物質量の合計は、溶かした NaCl の物質量の 2 倍である。

溶かした NaCl を x [g] とする。NaCl の式量 58.5 より、

計算では 3 桁を使うよ

$$\frac{0.300}{\text{血液 [mol/L]}} = \frac{x}{58.5} \times 2$$

$$x = \underline{8.77 \text{ g}}$$

- (3) 有機化合物の分子量を M とする。有機化合物は非電解質なので、溶かした粒子の物質量と、溶液中の物質量は等しい。

$$\frac{0.300}{\text{血液 [mol/L]}} = \frac{5.4}{M} \times \frac{1}{0.10}$$

$$M = \underline{180}$$

ポイント

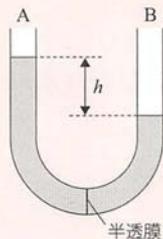
浸透圧は、溶液中の粒子のモル濃度と絶対温度に比例するよ。非電解質は電離しないけれど、電解質は電離して粒子の数が変わるから、注意してね。

解答 (1) 0.30 mol/L (2) 8.8 g (3) 180

問題

★★

図のような断面積 1.0 cm^2 の U 字管の A 側, B 側のうち, 一方には非電解質 2.2 g を溶かした水溶液 100 mL を入れ, もう一方には水 100 mL を入れた。 27°C でしばらく放置すると, A 側の液面が B 側よりも高くなり, その差は h となった。

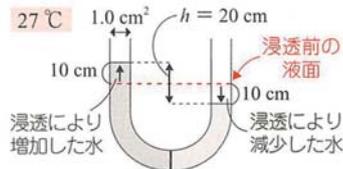


- (1) 水溶液を入れたのは A, B のどちら側か。
- (2) 液面差 h が 20 cm のとき, A 側の水溶液の体積は何 mL になるか。
- (3) (2) のとき, 非電解質の分子量はいくらになるか。ただし, $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ は 1000 cm の水柱の示す圧力に等しいものとする。

解説

- (1) 溶媒は半透膜を境にして, 濃度のうすい方から濃い方へ浸透する。よって, B から A へ水が浸透しているので, 水溶液は A 側に入れた。
- (2) 浸透後の液面差 h が 20 cm なので, 浸透によって変化したのは半分の 10 cm 。移動した水の体積は,

$1.0 \times 10 = 10 \text{ cm}^3$
 $\left[\text{cm}^2 \right] \left[\text{cm} \right]$
 A 側の水溶液の体積は, 水の浸透により 10 cm^3 増加した。よって, 浸透後の体積 $[\text{mL}]$ は,
 $100 + 10 = 110 \text{ mL}$



- (3) 液面差 $h = 20 \text{ cm}$ が浸透圧に相当する水溶液になる。問題文より, 圧力と水柱の高さは比例するので, 浸透圧 Π $[\text{Pa}]$ は,

$$1.0 \times 10^5 \text{ [Pa]} : \Pi \text{ [Pa]} = 1000 \text{ cm} : 20 \text{ cm}$$

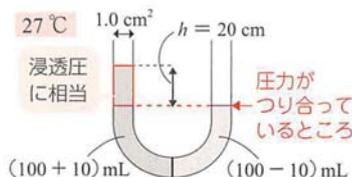
$$\Pi = 2.0 \times 10^3 \text{ Pa}$$

非電解質の分子量を M とする。

ファンツホッフの法則 $\Pi V = \frac{w}{M} RT$ より,

$$2.0 \times 10^3 \times \frac{110}{1000} = \frac{2.2}{M} \times 8.3 \times 10^3 \times (27 + 273)$$

$$M = 2.49 \times 10^4$$



ポイント

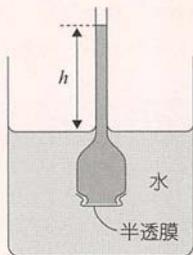
(2)で, 液面差の半分が水の変化した高さになるよ。

解答 (1) A (2) 110 mL (3) 2.5×10^4

問題

★★

塩化ナトリウム水溶液の浸透圧を、 27°C で図のような装置を用いて測定したところ、高さ h が 52 cm になった。水溶液および水銀の密度をそれぞれ 1.0 g/cm^3 、 13.6 g/cm^3 として、次の各問いに答えよ。ただし、水溶液の濃度変化はないものとし、 $1.0 \times 10^5\text{ Pa} = 760\text{ mmHg}$ とする。



- (1) 水溶液の浸透圧は何 Pa か。
- (2) この水溶液 1.0 L には、塩化ナトリウムが何 mol 溶けているか。

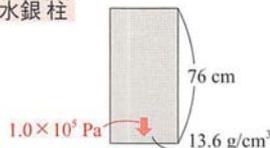
解説

- (1) 単位面積あたりにかかる質量 $[\text{g/cm}^2]$ と圧力 $[\text{Pa}]$ は比例する。浸透圧 Π $[\text{Pa}]$ を求める。

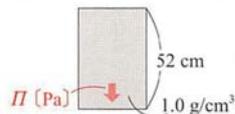
「気体」と「溶液」は、化学計算のヤマ場だね～。つらいかもしれないけど、がんばって！



水銀柱



水柱

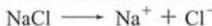


$$\frac{[\text{Pa}]}{[\text{g/cm}^2]} = \frac{1.0 \times 10^5}{13.6 \times 76} = \frac{\Pi}{1.0 \times 52}$$

$[\text{g/cm}^3] \times [\text{cm}]$ で求まるよ！

$$\Pi = \underline{5.03 \times 10^3\text{ Pa}}$$

- (2) NaCl は電解質なので、水溶液中で次のように電離する。



溶液中の粒子数は、溶かした NaCl の 2 倍である。浸透圧は粒子のモル濃度と絶対温度に比例する。溶かした NaCl を、 x $[\text{mol}]$ とする。ファンツホッフの法則 $\Pi V = nRT$ より、

$$5.03 \times 10^3 \times 1.0 = x \times 2 \times 8.3 \times 10^3 \times (27 + 273)$$

$$x = \underline{1.01 \times 10^{-3}\text{ mol}}$$

ポイント

この装置は細いガラス管を使っているので、溶媒の浸透による水溶液の濃度変化がないよ。77と違うので注意してね。

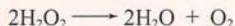
解答 (1) $5.0 \times 10^3\text{ Pa}$ (2) $1.0 \times 10^{-3}\text{ mol}$

反応速度① (濃度と時間の変化)

問題

★★★

過酸化水素 H_2O_2 は、触媒の存在下で次のように分解する。



いま、 0.72 mol/L の過酸化水素水 100 mL に触媒を加えて反応を開始させ、1分ごとに発生した酸素の量を測定し、その結果をもとに計算して求めた過酸化水素濃度 $[\text{H}_2\text{O}_2]$ の変化を表に示す。

時間 [min]	0	1	2	3
$[\text{H}_2\text{O}_2]$ [mol/L]	0.72	0.56	0.44	0.34

- (1) 3分後に捕集された酸素は何 mol か。
- (2) 1～2分の間における H_2O_2 の平均の分解速度 v [$\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{min})$] と平均のモル濃度 $[\text{H}_2\text{O}_2]$ を求めよ。
- (3) v と $[\text{H}_2\text{O}_2]$ の関係より、反応速度式は、 $v = k[\text{H}_2\text{O}_2]$ と表せる。(2)で求めた値を用いて反応速度定数 k を求め、単位をつけて答えよ。

解説

(1) 3分間で反応した H_2O_2 の物質量は、

$$(0.72 - 0.34) \text{ mol/L} \times \frac{100}{1000} \text{ L} = 0.038 \text{ mol}$$

反応式より、 $\text{H}_2\text{O}_2 : \text{O}_2 = 2 : 1$ なので、発生した O_2 の物質量は、

$$0.038 \times \frac{1}{2} = \underline{0.019 \text{ mol}}$$

(2) H_2O_2 の平均の分解速度 v [$\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{min})$] を求める。

$$v = - \frac{[\text{H}_2\text{O}_2] \text{ の変化量 } [\text{mol/L}]}{\text{反応時間 } [\text{min}]} = - \frac{0.44 - 0.56}{2 - 1} = \underline{0.12 \text{ mol}/(\text{L}\cdot\text{min})}$$

v を正にするために
マイナスをつけるよ

平均のモル濃度 $[\text{H}_2\text{O}_2]$ を求める。

1分後と2分後の濃度の平均値としていいんだよ

$$[\text{H}_2\text{O}_2] = \frac{0.56 + 0.44}{2} = \underline{0.50 \text{ mol/L}}$$

(3) k を求める。

単位どうし計算すると、

$$k = \frac{v \text{ } [\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{min})]}{[\text{H}_2\text{O}_2] \text{ } [\text{mol/L}]} = \frac{0.12}{0.50} \frac{[\text{mol}]}{[\text{L}\cdot\text{min}]} \times \frac{[\text{L}]}{[\text{mol}]} = \frac{1}{\text{min}} = \underline{0.24 \text{ min}^{-1} \text{ または } 1/\text{min}}$$

ポイント

濃度と反応時間との変化から反応速度を求める問題だよ。反応の次数は、今回のように問題に与えられていたり、平均の反応速度と平均の濃度の関係から求められる数値だよ。

解答 (1) $1.9 \times 10^{-2} \text{ mol}$

(2) $v = 0.12 \text{ mol}/(\text{L}\cdot\text{min})$, $[\text{H}_2\text{O}_2] = 0.50 \text{ mol/L}$

(3) 0.24 min^{-1} または 0.24 1/min

問題

★★★

$2A + B \rightarrow 2C$ で表される反応がある。A と B の濃度を変えて、それぞれ反応速度を求めたところ、表のような結果が得られた。

実験	[A] [mol/L]	[B] [mol/L]	v [mol/(L·s)]
1	0.10	0.10	2.0×10^{-2}
2	0.10	0.20	4.0×10^{-2}
3	0.20	0.20	1.6×10^{-1}

- (1) C の生成速度 v は、反応速度定数を k とすると、 $v = k[A]^x[B]^y$ で表される。 x, y を求めよ。
- (2) C の生成速度が $2.0 \times 10^{-2} \text{ mol/(L·s)}$ のとき、B の消失速度は何 mol/(L·s) になるか。
- (3) [A] = 0.20 mol/L, [B] = 0.40 mol/L のとき、C の生成速度は何 mol/(L·s) になるか。

解説

(1) 実験 2 と 3 を比較する。[B] が等しいとき、[A] の変化は $\frac{0.20}{0.10} = 2$ 倍 に対して、 v の変化は $\frac{1.6 \times 10^{-1}}{4.0 \times 10^{-2}} = 4$ 倍 になる。よって、 v は [A] の 2 乗に比例しており、 $x = 2$ となる。

実験 1 と 2 を比較する。[A] が等しいとき、[B] の変化は $\frac{0.20}{0.10} = 2$ 倍 に対して、 v の変化は $\frac{4.0 \times 10^{-2}}{2.0 \times 10^{-2}} = 2$ 倍 に

なるので、 v は [B] に比例しており、 $y = 1$ となる。
よって、反応速度式は、 $v = k[A]^2[B]$

- (2) 化学反応式の係数から、C が 2 分子^{ぶんし}生じるとき、B が 1 分子^{ぶんし}消失する。よって、B の消失速度は C の生成速度の $\frac{1}{2}$ になる。

$$2.0 \times 10^{-2} \times \frac{1}{2} = \underline{1.0 \times 10^{-2} \text{ mol/(L·s)}}$$

- (3) 実験 1 のデータを $v = k[A]^2[B]$ に代入して、反応速度定数 k を求める。

$$k = \frac{v}{[A]^2[B]} = \frac{2.0 \times 10^{-2}}{0.10^2 \times 0.10} = 20 \text{ L}^2/(\text{mol}^2 \cdot \text{s})$$

したがって、この反応速度式は、 $v = 20[A]^2[B]$ 。ここに、[A] = 0.20 mol/L, [B] = 0.40 mol/L を代入し、 v を求める。
 $v = 20 \times 0.20^2 \times 0.40 = \underline{3.2 \times 10^{-1} \text{ mol/(L·s)}}$

ポイント

濃度と速度の変化から、反応の次数^{じすう} x, y と、反応速度定数 k を求めて、最終的に反応速度 v を求める問題だね。反応の次数は、一般に実験から求まる数値なんだよ。

- 解答 (1) $x = 2, y = 1$ (2) $1.0 \times 10^{-2} \text{ mol/(L·s)}$
(3) $3.2 \times 10^{-1} \text{ mol/(L·s)}$

問題



- ☑ 大気中には、炭素の放射性同位体である ^{14}C が ^{12}C に対して、ごく微量ではあるが一定の割合で存在する。生物は生きている間、呼吸、栄養素摂取などで大気中の炭素を体内に取り入れるため、大気中と同じ存在比で ^{14}C を保持している。生物が死ぬと、体外から炭素を取り入れることがなくなるので、体内の ^{14}C は死後時間の経過とともに崩壊し一定の割合で減少する。ある化石 ^{14}C の存在比を測定したところ、現在の存在比の $\frac{1}{10}$ であった。大気中の ^{14}C の存在比は時代に関係なくほぼ一定であるとして、この生物が生存していたのは今から何年前と考えられるか。ただし、 ^{14}C の半減期を 5730 年、 $\log_{10}2 = 0.30$ とする。

解説

大気中の ^{14}C の濃度を N_0 、生物体内の ^{14}C の濃度を N 、半減期を T 、経過年数を t とすると、生物体内の ^{14}C の存在比は、

$$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

ここに、 $\frac{N}{N_0} = \frac{1}{10}$ 、 $T = 5730$ を代入し、 t を求める。

$$\frac{1}{10} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{5730}}$$

両辺の常用対数をとって整理する。

$$\log_{10} \frac{1}{10} = \log_{10} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{5730}}$$

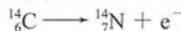
$$(-1) \times \log_{10} 10 = (-1) \times \frac{t}{5730} \times \log_{10} 2$$

$$t = \frac{5730}{\log_{10} 2} = \frac{5730}{0.30} = \underline{19100} \text{ 年}$$

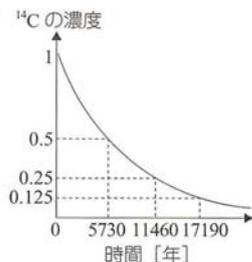
ポイント

$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$ の式は知っておこう。例えば、 $T = 5730$ で $t = 11460$ のとき、 $\frac{t}{T} = \frac{11460}{5730} = 2$ だから、 ^{14}C の存在比は $\left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4}$ になっているんだ。

このように、 ^{14}C は数万年前までの考古学試料の年代測定によく用いられるよ。これは、 ^{14}C がベータ線 (e^-) を原子核から放出して ^{14}N に変化する、放射性同位体であることを利用しているんだ。



ちょっと難しいけれど、覚えておいてね!



解答 1.9×10^4 年前

問題

★★★★

ある一定容積の容器に、6.0 mol の水素と 4.5 mol のヨウ素を入れて一定温度に保つと、



の平衡状態に達した。このとき、ヨウ化水素が 8.0 mol 生じていた。

- (1) この反応の平衡定数を求めよ。
- (2) 別の同じ体積の容器に水素 2.0 mol とヨウ素 2.0 mol を入れて同じ温度に保つと、平衡に達した。このとき生成するヨウ化水素は何 mol か。

解説

バランスシートを書こう！

- (1) 反応の量的関係を示す。

[mol]	H_2	+	I_2	\rightleftharpoons	2HI
反応前	6.0		4.5		0
変化量	-4.0		-4.0		+8.0
平衡時	2.0		0.5		8.0

係数比に一致するよ

すでにわかっている数値を黒、計算して導いた数値を赤で表すよ

容器の体積を V [L] として平衡定数 K を求める。

$$K = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} = \frac{\left(\frac{8.0}{V}\right)^2}{\frac{2.0}{V} \times \frac{0.5}{V}} = 64$$

V は約分できるよ

K の単位は $\frac{[\text{mol/L}]^2}{[\text{mol/L}]^2}$ となるため、無単位

- (2) 生成した HI を
- $2x$
- [mol] として、反応の量的関係を示す。

[mol]	H_2	+	I_2	\rightleftharpoons	2HI
反応前	2.0		2.0		0
変化量	- x		- x		+ $2x$
平衡時	$2.0 - x$		$2.0 - x$		$2x$

係数比に一致するよう、 $2x$ とおくよ

- (1) と同じ温度なので、平衡定数も同じになる。
両辺の係数の和が等しいので、 V は省略できる。

$$K = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]}$$

$$64 = \frac{(2x)^2}{(2.0 - x)^2}$$

分子と分母にそれぞれ V をかける回数と同じになるからだよ。毎回確認すると V を忘れないゾ！

両辺の平方根をとる。 $0 < x < 2.0$ より、

$$8 = \frac{2x}{2.0 - x} \quad x = 1.6 \text{ mol}$$

生成した HI は、 $1.6 \times 2 = 3.2 \text{ mol}$

ポイント

化学平衡の基本的な問題だよ。バランスシートの書き方、平衡定数を求める式は大丈夫かな？ この 82 で化学平衡の解き方をマスターしてね！

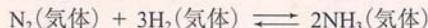


解答 (1) 64 (2) 3.2 mol

問題

★★

窒素と水素からアンモニアが生成する反応は、次式で表される平衡反応である。



- (1) 濃度平衡定数を K_c 、圧平衡定数を K_p としたとき、温度 T における K_p を K_c を用いて表せ。ただし気体定数は R とする。
- (2) 体積 V [L] の密閉容器に窒素 4.0 mol と水素 7.0 mol を入れ、一定温度に保ち平衡に達したとき、アンモニアは 2.0 mol 生成していた。このとき、容器内の全圧は 4.5×10^5 Pa であった。圧平衡定数 K_p はいくらか。単位をつけて答えよ。

解説

- (1) この反応の濃度平衡定数 K_c 、圧平衡定数 K_p を表す。

$$K_c = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3}, \quad K_p = \frac{P_{\text{NH}_3}^2}{P_{\text{N}_2} \cdot P_{\text{H}_2}^3}$$

$PV = nRT$ より、濃度 $\frac{n}{V}$ [mol/L] は、 $\frac{n}{V} = \frac{P}{RT}$ で表せる。

したがって K_c は、

$$K_c = \frac{\left(\frac{P_{\text{NH}_3}}{RT}\right)^2}{\frac{P_{\text{N}_2}}{RT} \cdot \left(\frac{P_{\text{H}_2}}{RT}\right)^3} = \frac{P_{\text{NH}_3}^2}{P_{\text{N}_2} \cdot P_{\text{H}_2}^3} (RT)^2 = K_p (RT)^2$$

$$K_p = K_c (RT)^{-2}$$

- (2) 反応の量的関係を示す。

[mol]	N_2	+	3H_2	\rightleftharpoons	2NH_3	
反応前	4.0		7.0		0	
変化量	-1.0		-3.0		+2.0	
平衡時	3.0		4.0		2.0	⇒ 合計 9.0 mol

(モル比) = (分圧比) より、各気体の分圧を求める。

$$P_{\text{N}_2} : 4.5 \times 10^5 \times \frac{3.0}{9.0} = 1.5 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$P_{\text{H}_2} : 4.5 \times 10^5 \times \frac{4.0}{9.0} = 2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$P_{\text{NH}_3} : (4.5 - 1.5 - 2.0) \times 10^5 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$$

K_p を求める。

$$K_p = \frac{(1.0 \times 10^5)^2}{1.5 \times 10^5 \times (2.0 \times 10^5)^3} = 8.33 \times 10^{-12} \text{ Pa}^{-2}$$

K_p の単位は、

$$\frac{[\text{Pa}]^2}{[\text{Pa}]^4} = [\text{Pa}^{-2}] \text{ だよ}$$

ポイント

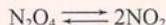
濃度と圧力は比例関係にあるんだよ。両辺の係数の和が等しいときは $K_p = K_c$ になるよ。

解答 (1) $K_p = K_c (RT)^{-2}$ (2) $K_p = 8.3 \times 10^{-12} \text{ Pa}^{-2}$

問題

★★

ある物質の四酸化二窒素 N_2O_4 を密閉容器に入れて 70°C に保ったところ、可逆反応



が起こり平衡状態に達した。このとき、圧力は $4.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ になった。 70°C におけるこの反応の圧平衡定数を、 $K_p = 2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ とする。

- (1) このときの解離度を求めよ。
 (2) 容器内の NO_2 の分圧は何 Pa になっているか。

解説

- (1) 用意した N_2O_4 を $x \times 10^5 \text{ [Pa]}$ 、解離度を α とし、反応の量の関係を示す。

$[\times 10^5 \text{ Pa}]$	$\text{N}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$	
反応前	x	0
変化量	$-x\alpha$	$+2x\alpha$
平衡時	$x(1-\alpha)$	$2x\alpha$

係数比に一致するよ

平衡状態における圧力より、

$$4.0 = x(1-\alpha) + 2x\alpha \cdots \cdots \textcircled{1}$$

圧平衡定数 $K_p = 2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ より、

$$K_p = \frac{P_{\text{NO}_2}^2}{P_{\text{N}_2\text{O}_4}} \text{ なので、 } 2.0 = \frac{(2x\alpha)^2}{x(1-\alpha)} \cdots \cdots \textcircled{2}$$

①, ②より α を求める。

$$\textcircled{1} \text{ より、 } x = \frac{4.0}{1+\alpha} \cdots \cdots \textcircled{1}'$$

$$\textcircled{2} \text{ より、 } 2.0(1-\alpha) = 4x\alpha^2 \cdots \cdots \textcircled{2}'$$

①' を ②' に代入する。

$$2.0(1+\alpha)(1-\alpha) = 16\alpha^2$$

$$2.0 - 2.0\alpha^2 = 16\alpha^2$$

$$18\alpha^2 = 2.0$$

$$\alpha > 0 \text{ より、 } \alpha = \frac{1}{3} \doteq \underline{0.333}$$

- (2) ①' より x を求める。

$$x = \frac{4.0}{1 + \frac{1}{3}} = 3.0$$

平衡状態の NO_2 分圧を求める。 $P_{\text{NO}_2} = 2x\alpha \times 10^5 \text{ [Pa]}$ より、

$$P_{\text{NO}_2} = 2 \times 3.0 \times \frac{1}{3} \times 10^5 = \underline{2.0 \times 10^5 \text{ Pa}}$$

ポイント

解離度を用いたときのバランスシートを書けるようにしよう！ 圧力も濃度も考え方は同じだからね。

N_2O_4 は無色で、 NO_2 は赤褐色の気体だよ。容器を圧縮すると、その直後は NO_2 濃度が大きくなるので、色は濃くなるけど、やがて平衡では分子数減少方向、すなわち左へ移動するので色は薄くなるよ！

解答 (1) 0.33 (2) $2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$

問題

★★★★

- ☑ 酢酸水溶液 0.10 mol/L の電離度と pH はそれぞれいくつか。電離度は1より十分に小さいものとし、酢酸の電離定数 $K_a = 1.0 \times 10^{-5}$ mol/L とする。

解説

酢酸水溶液の濃度を C [mol/L]、電離度を α として、水溶液の水素イオン濃度 $[H^+]$ を文字式で表す。

反応の量的関係を示す。

[mol/L]	CH_3COOH	\rightleftharpoons	CH_3COO^-	+	H^+
電離前	C		0		0
変化量	$-C\alpha$		$+C\alpha$		$+C\alpha$
平衡時	$C(1-\alpha)$		$C\alpha$		$C\alpha$

$$K_a = \frac{[CH_3COO^-][H^+]}{[CH_3COOH]} = \frac{C\alpha \cdot C\alpha}{C(1-\alpha)} = \frac{C\alpha^2}{1-\alpha}$$

弱酸の電離度が小さいとき ($\alpha < 0.05$)、 $1-\alpha \approx 1$ と近似できるので、 $K_a \approx C\alpha^2$

$\alpha > 0$ より、電離度 α は、

目安として考えてね

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}} \quad \text{濃度 } C \text{ が小さいほど、電離度 } \alpha \text{ は大きくなるね}$$

$[H^+] = C\alpha$ より、 $[H^+]$ を C と K_a で表すと、

$$[H^+] = C \times \sqrt{\frac{K_a}{C}} = \sqrt{CK_a}$$

電離度 α を求める。

$\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}}$ に、 $C = 0.10$ mol/L、 $K_a = 1.0 \times 10^{-5}$ mol/L を代入すると、

$$\alpha = \sqrt{\frac{1.0 \times 10^{-5}}{0.10}} = 1.0 \times 10^{-2}$$

水素イオン濃度 $[H^+]$ を求める。

$[H^+] = C\alpha$ より、

$$[H^+] = 0.10 \times 1.0 \times 10^{-2} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

または、 $[H^+] = \sqrt{CK_a}$ より、

$$[H^+] = \sqrt{0.10 \times 1.0 \times 10^{-5}} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$[H^+] = 10^{-\text{pH}}$ [mol/L] より、 $[H^+] = 1.0 \times 10^{-3}$ mol/L の pH は 3.0

ポイント

まずは、電離度 α と水素イオン濃度 $[H^+]$ を、導き出せるようにしよう！ 入試問題では、式を導く過程を穴うめさせることもあるからね。その上で、

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}}, \quad [H^+] = \sqrt{CK_a}$$

を覚えてしまうと、あとは代入するだけだから、計算問題はあっという間に解けちゃうぞ！ アンモニア水のような弱塩基の水溶液の場合でも同じ解き方だよ！

解答 電離度： 1.0×10^{-2} 、pH = 3.0

問題

★★

☑ 0.10 mol/L の酢酸ナトリウム水溶液の pH はいくつか。酢酸の電離定数 $K_a = 1.0 \times 10^{-5}$ mol/L、水のイオン積 $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$ (mol/L)² とする。

解説

酢酸ナトリウム水溶液の濃度を C [mol/L]、酢酸の電離定数 K_a 、水のイオン積 K_w として、水溶液の水素イオン濃度 $[H^+]$ を表す。

加水分解度を h として、酢酸ナトリウムの電離の量的関係を示す。

[mol/L]	CH_3COO^-	+	H_2O	\rightleftharpoons	CH_3COOH	+	OH^-
電離前	C		—		0		0
変化量	$-Ch$		—		$+Ch$		$+Ch$
平衡時	$C(1-h)$		—		Ch		Ch

(H_2O は多量に存在するので、濃度が一定と見なせる)

酢酸ナトリウムの加水分解定数 K_h を、酢酸の電離定数 K_a 、水のイオン積 K_w で表すと、

K_w だよ

$$K_h = \frac{[CH_3COOH][OH^-]}{[CH_3COO^-]} = \frac{[CH_3COOH][OH^-] \times [H^+]}{[CH_3COO^-] \times [H^+]}$$

$$= \frac{K_w}{K_a} \quad K_h \times K_a = K_w \text{ だよ} \quad \frac{1}{K_a} \text{ だよ}$$

加水分解定数 K_h を C 、 h で表すと、

$$K_h = \frac{[CH_3COOH][OH^-]}{[CH_3COO^-]} = \frac{Ch \cdot Ch}{C(1-h)} = \frac{Ch^2}{1-h}$$

h が 1 より十分に小さいとき、 $1-h \approx 1$ と見なせる。加水分解定数 K_h を C 、 h で表すと、

$$K_h \approx Ch^2$$

h を C と K_a と K_w で表すと、

$$h = \sqrt{\frac{K_h}{C}} = \sqrt{\frac{K_w}{CK_a}}$$

$[OH^-]$ を C と K_a と K_w で表すと、

$$[OH^-] = Ch = \sqrt{CK_h} = \sqrt{\frac{CK_w}{K_a}}$$

$[H^+]$ を C と K_a と K_w で表すと、

$$[H^+] = \frac{K_w}{[OH^-]} = K_w \times \sqrt{\frac{K_a}{CK_w}} = \sqrt{\frac{K_a K_w}{C}}$$

$[H^+]$ を求める。

$$[H^+] = \sqrt{\frac{1.0 \times 10^{-5} \times 1.0 \times 10^{-14}}{0.10}} = 1.0 \times 10^{-9} \text{ [mol/L]}$$

$[H^+] = 10^{-9}$ [mol/L] より、 $[H^+] = 1.0 \times 10^{-9}$ mol/L の pH は 9.0

ポイント

85

と同じように、文字式を導けるようにしよう！ 加水分解定数 K_h を K_a 、 K_w で表すときに、分子・分母に $[H^+]$ をかけると求められるよ！

解答 9.0

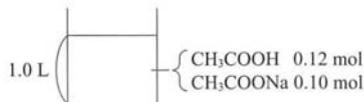
問題

★★★★

- ☑ 1.0 L 中に 0.12 mol の酢酸と 0.10 mol の酢酸ナトリウムを含む水溶液の $[H^+]$ と pH を求めよ。

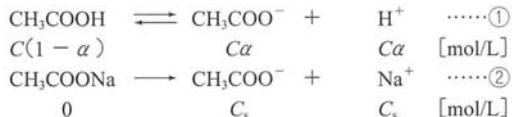
$K_a = 1.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ とする。

解説



この水溶液は CH_3COOH と CH_3COONa の緩衝液である。

C [mol/L] CH_3COOH , C_s [mol/L] CH_3COONa の場合、水溶液中での量的関係は次のようになる。酢酸の電離度を α とする。



CH_3COONa はほぼ完全に電離しているので、生じた CH_3COO^- により①式の平衡はほとんど左に偏るため、 $\alpha \ll 1$ となる。水溶液中の各物質の濃度は、

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = C(1-\alpha) \doteq C \quad \cdots \cdots \text{(a)}$$

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = C\alpha + C_s \doteq C_s \quad \cdots \cdots \text{(b)}$$

と見なすことができる。

酢酸の電離定数を K_a とすると、

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][H^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \text{ より, } [H^+] = K_a \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}$$

これに(a), (b)を代入すると、 $[H^+] = K_a \frac{C}{C_s}$

水溶液中の酢酸と酢酸ナトリウムの濃度を求める。

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = C = 0.12 \text{ mol/L}$$

$$[\text{CH}_3\text{COONa}] = C_s = 0.10 \text{ mol/L}$$

$[H^+] = K_a \frac{C}{C_s}$ に代入して、 $[H^+]$ を求める。

$$[H^+] = 1.0 \times 10^{-5} \times \frac{0.12}{0.10} = 1.2 \times 10^{-5} \text{ [mol/L]}$$

pH を求める。pH = $-\log [H^+]$ より、

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log (1.2 \times 10^{-5}) \\ &= -\log (2^2 \times 3 \times 10^{-6}) \\ &= -(2 \times 0.30 + 0.48 - 6 \times 1) \\ &= 4.92 \end{aligned}$$

ポイント

弱酸とその塩、弱塩基とその塩の混合水溶液が緩衝液になるよ。緩衝液中に存在する分子やイオンの濃度の求め方をちゃんと理解しないと、問題は解けないぞ！

解答 $1.2 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$, pH = 4.9

問題

★★★

1.0 L 中に 0.12 mol の酢酸と 0.10 mol の酢酸ナトリウムを含む水溶液を A 液として次の問いに答えよ。ただし、A 液の体積は変化しないものとし、 $K_a = 1.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ とする。

- (1) A 液に、10 mol/L の塩酸 2.0 mL を加えたときの $[\text{H}^+]$ を求めよ。
- (2) A 液に、10 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液 1.0 mL を加えたときの $[\text{H}^+]$ を求めよ。

解説

緩衝液に酸性水溶液や塩基性水溶液を加えると、 H^+ や OH^- の増加を抑えることができる。これを緩衝作用という。

- (1) HCl を A 液に加えたとき生じた H^+ の物質量は、

$$10 \text{ (mol/L)} \times \frac{2.0}{1000} \text{ (L)} \times 1 \text{ (価)} = 0.020 \text{ (mol)}$$

H^+ を加えたときの緩衝作用の量的関係を示す。

この反応が書けるようにね！

[mol]	H^+	+	CH_3COO^-	\longrightarrow	CH_3COOH
反応前	0.020		0.10		0.12
変化量	-0.020		-0.020		+0.020
平衡時	0		0.080		0.14

HCl を加えた後も、緩衝液となっている。

この水溶液の $[\text{H}^+]$ を求める。体積はともに 1.0 L より、

$$[\text{H}^+] = K_a \times \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} = 1.0 \times 10^{-5} \times \frac{0.14}{0.080}$$

$$= 1.75 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$$

pH = 4.8 だよ

- (2) NaOH を A 液に加えたとき生じた OH^- の物質量は、

$$10 \text{ mol/L} \times \frac{1.0}{1000} \text{ L} \times 1 \text{ 価} = 0.010 \text{ mol}$$

OH^- を加えたときの緩衝作用の量的関係を示す。

この反応が書けるようにね！

[mol]	OH^-	+	CH_3COOH	\longrightarrow	CH_3COO^-	+	H_2O
反応前	0.010		0.12		0.10		—
変化量	-0.010		-0.010		+0.010		—
平衡時	0		0.11		0.11		—

NaOH を加えた後も、緩衝液となっている。

この水溶液の $[\text{H}^+]$ を求める。体積はともに 1.0 L より、

$$[\text{H}^+] = K_a \times \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} = 1.0 \times 10^{-5} \times \frac{0.11}{0.11}$$

$$= 1.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$$

pH = 5.0 だよ



緩衝液に酸や塩基を加えるとき、バランスシートを書く
と量的関係がスッキリするよ！

解答 (1) $1.8 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ (2) $1.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$

問題

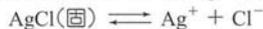
★★★

AgClの溶解度積 $K_{\text{AgCl}} = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-] = 1.69 \times 10^{-10}$ (mol/L)², AgCl = 143.5, PbCl₂ = 278とする。

- (1) AgCl飽和水溶液 1.0 L 中に, AgClは何g溶けているか。
- (2) 0.10 mol/L 塩酸水溶液 1.0 L に AgClは最大何g溶けるか。
- (3) PbCl₂が1.0 Lの水溶液に5.56 g溶け飽和水溶液になった。PbCl₂の溶解度積を求めよ。

解説

- (1) 1.0 L 中に溶けている AgCl を x (mol) とする。



より, 水溶液中のイオン濃度は,

$$[\text{Ag}^+] = [\text{Cl}^-] = x \text{ (mol/L)}$$

AgClの溶解度積 K_{AgCl} より,

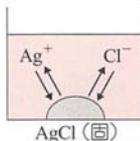
$$K_{\text{AgCl}} = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-]$$

$$1.69 \times 10^{-10} = x^2 \quad x = 1.3 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

溶液 1.0 L 中に溶けている AgCl の物質量は 1.3×10^{-5} mol である。よって, 溶解している AgCl の質量は,

$$143.5 \times 1.3 \times 10^{-5} \approx 1.86 \times 10^{-3} \text{ g}$$

- (2) AgClの水への溶解度は 1.3×10^{-5} mol/L であり, 塩酸への溶解度はこれより小さくなるので, 0.10 mol/L の塩酸 1.0 L に



AgCl が y (mol) 溶けても,

$[\text{Cl}^-] = 0.10 + y \approx 0.10$ (mol/L) と近似できる。このときの $[\text{Ag}^+]$ は,

$$[\text{Ag}^+] = \frac{K_{\text{AgCl}}}{[\text{Cl}^-]} = \frac{1.69 \times 10^{-10}}{0.10} = 1.69 \times 10^{-9} \text{ mol/L}$$

溶液中の Ag [mol] は, 溶かした AgCl [mol] と等しいので, この塩酸 1.0 L に溶解する AgCl の質量は,

$$1.69 \times 10^{-9} \times 143.5 = 2.42 \times 10^{-7} \text{ g}$$

- (3) PbCl₂ の飽和溶液のモル濃度は,

$$[\text{PbCl}_2] = \frac{5.56}{278} = 0.020 \text{ mol/L}$$

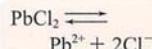
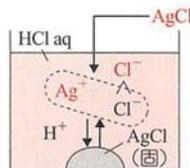
よって, この溶液中の $[\text{Pb}^{2+}]$, $[\text{Cl}^-]$ は,

$$[\text{Pb}^{2+}] = 0.020 \text{ mol/L}$$

$$[\text{Cl}^-] = 2 \times 0.020 = 0.040 \text{ mol/L}$$

したがって, PbCl₂ の溶解度積は次式で計算される。

$$[\text{Pb}^{2+}][\text{Cl}^-]^2 = 0.020 \times (0.040)^2 = 3.2 \times 10^{-5} \text{ (mol/L)}^3$$



より, $[\text{Pb}^{2+}]$ の2倍になるよ!

ポイント

難溶性の塩が沈殿している水溶液中では, 溶解度積が常に一定なんだよ。溶解度積の問題は, 解く量が少ないから苦手意識が強いんだね。89~91にある塩化物, 硫化物の問題をしっかりと理解しよう!

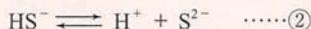
- 解答 (1) 1.9×10^{-3} g (2) 2.4×10^{-7} g
(3) 3.2×10^{-5} (mol/L)³

H₂S の電離平衡

問題

★★

H₂S は、次に示すような 2 段階の電離によって、硫化物イオン S²⁻ を生じる。



①, ②式の電離定数 K_1 , K_2 はそれぞれ,

$$K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HS}^-]}{[\text{H}_2\text{S}]} = 1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$$

$$K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{S}^{2-}]}{[\text{HS}^-]} = 1.0 \times 10^{-14} \text{ mol/L}$$

で与えられる。①, ②式をまとめると③式となる。



(1) ③式の電離定数式を書け。

(2) K_1 , K_2 より, ③式の電離定数 K を求めよ。

(3) $1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/L}$ の塩酸に H₂S を通じて飽和させたとき, 水溶液中の [S²⁻] は何 mol/L になるか。ただし, 飽和水溶液中の H₂S の濃度は常に $1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/L}$ とする。

解説

(1) 2 段階の電離平衡を 1 つにまとめた電離定数式は, $K_1 \times K_2$ で求められる。

$$K_1 \times K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{HS}^-]}{[\text{H}_2\text{S}]} \times \frac{[\text{H}^+][\text{S}^{2-}]}{[\text{HS}^-]} = \frac{[\text{H}^+]^2[\text{S}^{2-}]}{[\text{H}_2\text{S}]}$$

(2) (1)で求めた式に, K_1 , K_2 の値を代入する。

$$\begin{aligned} K &= K_1 \times K_2 = 1.0 \times 10^{-7} \times 1.0 \times 10^{-14} \\ &= \underline{1.0 \times 10^{-21} \text{ (mol/L)}^2} \end{aligned}$$

(3) 塩酸 $1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/L}$ 中の [H⁺] は,

$$[\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/L}$$

問題文より, H₂S の濃度は常に $1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/L}$ とするから,

$$[\text{H}_2\text{S}] = 1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/L}$$

[S²⁻] を求める。以上の数値を(1)の式に代入する。

$$K = \frac{[\text{H}^+]^2[\text{S}^{2-}]}{[\text{H}_2\text{S}]}$$

$$1.0 \times 10^{-21} = \frac{(1.0 \times 10^{-1})^2 \times [\text{S}^{2-}]}{1.0 \times 10^{-1}}$$

$$[\text{S}^{2-}] = \underline{1.0 \times 10^{-20} \text{ mol/L}}$$

[H₂S] は常に一定とするんだ!

ポイント

硫化物の沈殿を調べる問題を解くとき, 水溶液中の硫化物濃度を調べる問題が出てくるんだ。この(90)はその練習なんだよ。2段階にわたって電離平衡が起こるとき, $K_1 \times K_2$ をすると1つになることを覚えておこう!

解答

- (1) $\frac{[\text{H}^+]^2[\text{S}^{2-}]}{[\text{H}_2\text{S}]}$ (2) $1.0 \times 10^{-21} \text{ (mol/L)}^2$
 (3) $1.0 \times 10^{-20} \text{ mol/L}$

問題

★★

$[\text{Fe}^{2+}]$ および $[\text{Pb}^{2+}]$ がいずれも $1.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$ の混合水溶液を用意した。溶解度積は次のとおりである。

$$\text{FeS} : K_{\text{FeS}} = [\text{Fe}^{2+}] [\text{S}^{2-}] = 1.0 \times 10^{-16} (\text{mol/L})^2$$

$$\text{PbS} : K_{\text{PbS}} = [\text{Pb}^{2+}] [\text{S}^{2-}] = 1.0 \times 10^{-26} (\text{mol/L})^2$$

☑(1) H_2S を通じて $[\text{S}^{2-}]$ を $1.0 \times 10^{-20} \text{ mol/L}$ に保ったとき、 FeS および PbS のどちらの沈殿が生じているか。

☑(2) H_2S を通じて PbS だけを沈殿させるには、 $[\text{S}^{2-}]$ をどのような範囲に保てばよいか。

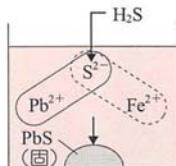
☑(3) (2)のとき、水溶液の $[\text{H}^+]$ は何 mol/L より大きくすればよいか。

$$\text{ただし、} K = \frac{[\text{H}^+]^2 [\text{S}^{2-}]}{[\text{H}_2\text{S}]} = 1.0 \times 10^{-21} (\text{mol/L})^2,$$

水溶液中の $[\text{H}_2\text{S}]$ は常に $1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/L}$ とする。

解説

- (1) $[\text{Fe}^{2+}] = [\text{Pb}^{2+}] = 1.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$
と、 $[\text{S}^{2-}] = 1.0 \times 10^{-20} \text{ mol/L}$ の積を求めると、



$$[\text{Fe}^{2+}] [\text{S}^{2-}] = [\text{Pb}^{2+}] [\text{S}^{2-}] = 1.0 \times 10^{-22} (\text{mol/L})^2$$

この値は $K_{\text{PbS}} < 1.0 \times 10^{-22} < K_{\text{FeS}}$ なので、 PbS の沈殿は生じていて、 FeS の沈殿は生じていない。

このときの水溶液中の $[\text{Pb}^{2+}]$ は、 $K_{\text{PbS}} = [\text{Pb}^{2+}] [\text{S}^{2-}]$ より、

$$[\text{Pb}^{2+}] = \frac{K_{\text{PbS}}}{[\text{S}^{2-}]} = \frac{1.0 \times 10^{-26}}{1.0 \times 10^{-20}} = 1.0 \times 10^{-6} \text{ mol/L} \text{ になるよ}$$

(2) FeS と PbS の沈殿が生じるための $[\text{S}^{2-}]$ は、

$$\text{FeS} : [\text{S}^{2-}] = \frac{K_{\text{FeS}}}{[\text{Fe}^{2+}]} = \frac{1.0 \times 10^{-16}}{1.0 \times 10^{-2}} = 1.0 \times 10^{-14} \text{ mol/L}$$

$$\text{PbS} : [\text{S}^{2-}] = \frac{K_{\text{PbS}}}{[\text{Pb}^{2+}]} = \frac{1.0 \times 10^{-26}}{1.0 \times 10^{-2}} = 1.0 \times 10^{-24} \text{ mol/L}$$

PbS は沈殿するが、 FeS が沈殿しないための条件は、

$$1.0 \times 10^{-14} \text{ mol/L} \geq [\text{S}^{2-}] > 1.0 \times 10^{-24} \text{ mol/L}$$

(3) (2)で求めた $[\text{S}^{2-}] = 1.0 \times 10^{-14} \text{ mol/L}$ を K に代入して求める。

$$1.0 \times 10^{-21} = \frac{[\text{H}^+]^2 \times 1.0 \times 10^{-14}}{1.0 \times 10^{-1}} \quad \text{テーマ90で導いた式だよ!}$$

$$[\text{H}^+]^2 = 1.0 \times 10^{-8} \quad [\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$$

ポイント

溶解度積より値が大きいと沈殿して、小さいと沈殿しないんだよ。

解答 (1) PbS

(2) $1.0 \times 10^{-14} \text{ mol/L} \geq [\text{S}^{2-}] > 1.0 \times 10^{-24} \text{ mol/L}$

(3) $1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$

問題



ヨウ素を四塩化炭素 CCl_4 で抽出するとき、 CCl_4 層の I_2 濃度 ($[\text{I}_2]_{\text{四}}$)、水層の I_2 濃度 ($[\text{I}_2]_{\text{水}}$) とは平衡にあり、この状態を分配平衡状態とよぶ。



濃度比 K は、 $K = \frac{[\text{I}_2]_{\text{四}}}{[\text{I}_2]_{\text{水}}} = 80$ で表され一定値となる。

- ☑(1) $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$ の I_2 が溶けている水溶液 1.0 L に、 CCl_4 100 mL を加えてよく振り混ぜたとき、何 % の I_2 が CCl_4 中に抽出されるか。
- ☑(2) $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$ の I_2 が溶けている水溶液 1.0 L に、 CCl_4 を 50 mL ずつ 2 回に分けて抽出を行うと、合わせて何 % の I_2 が CCl_4 中に抽出されるか。

解説

- (1) 水から抽出された I_2 を x [mol] とし量的関係を示す。

[mol]	$\text{I}_2(\text{水})$	\rightleftharpoons	$\text{I}_2(\text{四})$
混合前	1.0×10^{-3}		0
変化量	$-x$		$+x$
混合後	$1.0 \times 10^{-3} - x$		x
濃度	$1.0 \times 10^{-3} - x$		x
[mol/L]	1.0		0.10

濃度比 K より、 x を求める。

混ぜり合わないから体積は足さないよ!

$$80 = \frac{\frac{x}{0.1}}{1.0 \times 10^{-3} - x} = \frac{10x}{1.0 \times 10^{-3} - x} \quad x = \frac{8}{9} \times 10^{-3} \text{ mol}$$

よって、抽出された I_2 の割合は、

$$\frac{\frac{8}{9} \times 10^{-3}}{1.0 \times 10^{-3}} \times 100 = \underline{88.8 \%}$$

- (2) 1 回目に抽出された I_2 を y [mol]、2 回目の抽出された I_2 を z [mol] とする。(1)と同様に量的関係を考え、濃度比 K より y, z を求める。

$$80 = \frac{\frac{y}{0.05}}{1.0 \times 10^{-3} - y} \quad y = 0.80 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$80 = \frac{\frac{z}{0.05}}{1.0 \times 10^{-3} - 0.80 \times 10^{-3} - z} \quad z = 0.16 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

よって、抽出された I_2 の割合は、

$$\frac{(0.80 + 0.16) \times 10^{-3}}{1.0 \times 10^{-3}} \times 100 = \underline{96 \%}$$

抽出の効率は 2 回に分けた方がいいんだね!

ポイント

混ぜり合わない 2 液の間の平衡を分配平衡というよ。2 液が混ぜり合わないから、溶媒の体積は溶媒それぞれの体積になるぞ!

解答 (1) 89% (2) 96%

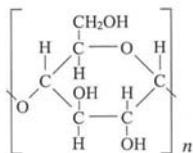
問 題



- ☑(1) 分子量 5.0×10^4 のアミロースは、およそ何個のグルコースが結合してできたものか。
- ☑(2) セルロースからグルコースを経てエタノールを生成する反応が完全に進行した場合、324 g のセルロースから得られるエタノールは何 g か。
- ☑(3) 81 g のセルロースのヒドロキシ基をすべてアセチル化するには何 g の無水酢酸が必要か。

解 説

- (1) アミロースはデンプンの1種でグルコースが直鎖状に結合している構造で、分子式は $(C_6H_{10}O_5)_n$ 。
n を求める。 $C_6H_{10}O_5 = 162$ より、

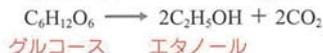


アミロース

$$\frac{5.0 \times 10^4}{162} = 308 \text{ 個}$$

分子量が大きいので末端の H_2O は無視できるよ

- (2) 起こっている反応は次のとおり。
 $(C_6H_{10}O_5)_n + nH_2O \longrightarrow nC_6H_{12}O_6$
 セルロース グルコース



セルロース 324 g 中に含まれる繰り返し単位 $C_6H_{10}O_5$ の物

質量は、 $C_6H_{10}O_5 = 162$ より、 $\frac{324}{162} = 2.0 \text{ mol}$

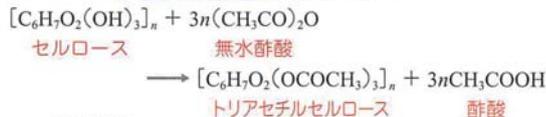
セルロースの加水分解により、 $C_6H_{10}O_5$ と同数の $C_6H_{12}O_6$ が生じる。得られたエタノールの質量は、
 $C_6H_{12}O_6 : C_2H_5OH = 1 : 2$ 、 $C_2H_5OH = 46$ より、

$$2.0 \times 2 \times 46 = 184 \text{ g}$$

C_2H_5OH [mol] [g/mol]

アセチル化とは、 $-OH$ が $-OCOCH_3$ になることだよ

- (3) セルロースのアセチル化反応は次のとおり。



必要な無水酢酸を x [g] とする。

セルロース : 無水酢酸 = $1 : 3n$ 、分子量は、
 セルロース = $162n$ 、無水酢酸 = 102 より、

$$1 : 3n = \frac{81}{162n} : \frac{x}{102} \quad n \text{ は約分できるぞ}$$

$$x = 153 \text{ g}$$

ポイント

デンプンやセルロースは繰り返し単位 $C_6H_{10}O_5$ で考えていくよ。分子量が大きいから、末端にある H 、 OH は無視できるんだね。

- 解答 (1) 3.1×10^2 個 (2) 1.8×10^2 g
 (3) 1.5×10^2 g

問題

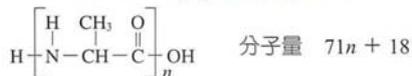


アラニン (分子式 $C_3H_7NO_2$) のみからなるポリペプチド (分子量約 3200) がある。このポリペプチド 0.71 g を濃硫酸とともに加熱して分解して硫酸アンモニウムにしたのち、過剰の水酸化ナトリウムを加えて加熱したところ、アンモニアを生じた。ただし、これらの操作によりポリペプチド中の窒素はすべてアンモニアに変換されたものとする。

- (1) このポリペプチドの重合度を求めよ。
 (2) このポリペプチドの窒素含有率は何 % か。
 (3) 得られたアンモニアは標準状態で何 mL か。

解説

(1) アラニンのみからなるポリペプチドの構造式と分子量は、



このポリペプチドの重合度 n は、

$$\frac{3200}{71} = 45.0 \quad \text{分子量が大きいので末端の } H_2O \text{ は無視できるよ}$$

(2) ポリペプチドの重合度が 45 より、1 分子中に 45 個の窒素原子を含んでいる。したがって窒素含有率は、 $N = 14$ より、

$$\frac{14 \times 45}{3200} \times 100 = 19.6 \%$$

(3) ポリペプチドからアンモニアを生じる反応は、次のとおり。



ポリペプチドの繰り返し単位に含まれる N 原子は 1 個。したがって、ポリペプチド 0.71 g に含まれる N 原子の物質量は、 $C_3H_7NO = 71$ より、

$$\frac{0.71}{71} \times 1 = 0.010 \text{ mol}$$

C_3H_7NO [mol] 含まれる N

これらがすべて NH_3 に変換された。 NH_3 1 分子に含まれる N 原子は 1 個なので、生じた NH_3 の体積は、

$$\frac{0.010}{1} \times \frac{22.4 \times 10^3}{1} = 2.24 \times 10^2 \text{ mL}$$

N [mol] = NH_3 [mol] [mL/mol]

ポイント

分子量が大きいときは、末端の H_2O は無視できるよ。その判断は難しいけれど、有効数字で切り捨てられてしまうものは無視してよいと考えよう。

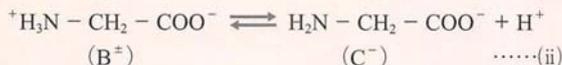
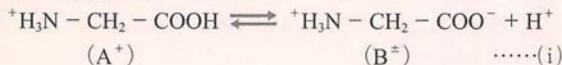


解答 (1) 45 (2) 20 % (3) 2.2×10^2 mL

問題

★★

グリシンは、水溶液中で次のような3種のイオンとして存在する。



(i), (ii)式の各電離定数を、 $K_1 = 1.0 \times 10^{-2.3}$ mol/L, $K_2 = 1.0 \times 10^{-9.7}$ mol/L とする。

- (1) 電離定数 K_1 , K_2 を、モル濃度 $[\text{A}^+]$, $[\text{B}^+]$, $[\text{C}^-]$ および、水素イオン濃度 $[\text{H}^+]$ を用いて表せ。
- (2) この水溶液では、陽イオン A^+ と陰イオン C^- のモル濃度が等しいときの pH が等電点である。グリシンの等電点はいくつか。
- (3) pH 3.0 のグリシン水溶液において、グリシンの陽イオン濃度 $[\text{A}^+]$ は、陰イオン濃度 $[\text{C}^-]$ の何倍か。

解説

(1) 化学平衡の法則 (質量作用の法則) より、

$$K_1 = \frac{[\text{B}^+][\text{H}^+]}{[\text{A}^+]} = 1.0 \times 10^{-2.3} \text{ mol/L}$$

$$K_2 = \frac{[\text{C}^-][\text{H}^+]}{[\text{B}^+]} = 1.0 \times 10^{-9.7} \text{ mol/L}$$

- (2) $K_1 \times K_2 = \frac{[\text{B}^+][\text{H}^+]}{[\text{A}^+]} \times \frac{[\text{C}^-][\text{H}^+]}{[\text{B}^+]} = \frac{[\text{C}^-][\text{H}^+]^2}{[\text{A}^+]} \dots\dots(1)$
 水溶液中の電荷が等しいときの pH を等電点というので、 $[\text{A}^+] = [\text{C}^-]$ のときの pH を求めればよい。(1)式を整理すると、
 $[\text{H}^+]^2 = K_1 \times K_2$ より、
 $[\text{H}^+] = \sqrt{K_1 \times K_2} = \sqrt{1.0 \times 10^{-2.3} \times 1.0 \times 10^{-9.7}}$
 $= 1.0 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$
 よって、pH は 6.0

- (3) pH 3.0 のとき、水溶液の水素イオン濃度は、
 $[\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$

(1)式を整理して、このときの $\frac{[\text{A}^+]}{[\text{C}^-]}$ を求める。

$$\frac{[\text{A}^+]}{[\text{C}^-]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{K_1 \times K_2} = \frac{(1.0 \times 10^{-3})^2}{1.0 \times 10^{-2.3} \times 1.0 \times 10^{-9.7}}$$

$$= 1.0 \times 10^6 \text{ 倍}$$

ポイント

アミノ酸の等電点を求める問題では、 $\text{pH} = \text{p}K_1$ と同様 $K_1 \times K_2$ を行うこと、 $[\text{A}^+] = [\text{C}^-]$ となるのがポイント!

解答 (1) $K_1 = \frac{[\text{B}^+][\text{H}^+]}{[\text{A}^+]}$, $K_2 = \frac{[\text{C}^-][\text{H}^+]}{[\text{B}^+]}$

- (2) 6.0 (3) 1.0×10^6 倍

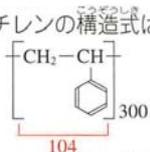
問題

★★

- ①(1) 重合度 300 のポリスチレンの分子量を求めよ。
 ②(2) 分子量が 45200 の ナイロン 66 の 1 分子中に含まれるアミド結合の数はいくつか。
 ③(3) 分子量が 4.8×10^4 のポリエチレンテレフタレート (PET) 120 g を、単量体にまで加水分解するのに必要な水は何 g か。

解説

(1) ポリスチレンの構造式は、



ポリスチレンの分子量は、 $104 \times 300 = 3.12 \times 10^4$

(2) ナイロン 66 の構造式は、



繰り返し単位 1 つにアミド結合は 2 つ含まれる。
 繰り返し単位の分子量 226 より、

(3) ポリエチレンテレフタレート (PET) の構造式は、



繰り返し単位 1 つにつき、エステル結合は 2 つ含まれる。
 エステル結合 1 つを加水分解するのに H_2O は 1 つ必要である。
 繰り返し単位の分子量 192, $H_2O = 18$ より、

$$\frac{120}{192} \times 2 \times 18 = 22.5 \text{ g}$$

繰り返し構造 [mol] エステル結合 [mol] H_2O [g/mol]

ポイント

高分子化合物は分子量が大きいので、末端の H や OH は無視できるぞ。

(3) では繰り返し単位で考えればよいので、分子量は使わなくても解けるよ。



解答 (1) 3.1×10^4 (2) 4.0×10^2 個 (3) 23 g

$$\frac{45200}{226} \times 2 = 400 \text{ 個}$$

正確には 1 分子中に $2n - 1$ 個だけけど 1 個は無視できるよ

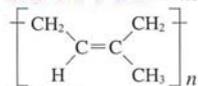
問題

★★

- (1) 分子量 2.5×10^5 のポリイソブレンは、およそ何個のイソブレン単位から構成されているか答えよ。
- (2) ブタジエンとアクリロニトリルを共重合させたアクリロニトリル-ブタジエンゴム(NBR)の元素分析を行ったところ、窒素の質量パーセントは6.6%であった。このゴム中でアクリロニトリル由来する質量は全体のおよそ何%であるか。

解説

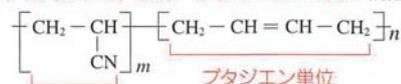
- (1) ポリイソブレンの構造式は、



分子量 $68n$ より、イソブレン単位の個数 n を求める。

$$\frac{2.5 \times 10^5}{68} = \underline{3.67 \times 10^3} \text{ 個}$$

- (2) アクリロニトリル-ブタジエンゴムの構造式は、



アクリロニトリル単位

ブタジエン単位

N原子1個を含む繰り返し単位の分子量は、

$$14 \times \frac{100}{6.6} = 212$$

アクリロニトリル単位1つにつきN原子1個含まれるので、繰り返し単位1つに含まれるアクリロニトリル単位は1つ。

したがって、繰り返し単位に含まれるアクリロニトリル分子量の割合は、全体に対するアクリロニトリル由来する質量の割合と等しい。

アクリロニトリル単位の分子量53より、

$$\frac{53}{212} \times 100 = \underline{25} \%$$

ポイント

ポリイソブレンは、イソブレン分子の二重結合が中央に移って両端の炭素原子どうしが付加重合した構造をしているよ。



イソブレン

ポリイソブレン (シス形)

ゴム弾性は、C-C結合が回転するため、引っ張って伸びた分子が縮まろうとして起こるんだよ。

解答 (1) 3.7×10^3 個 (2) 25%

問題

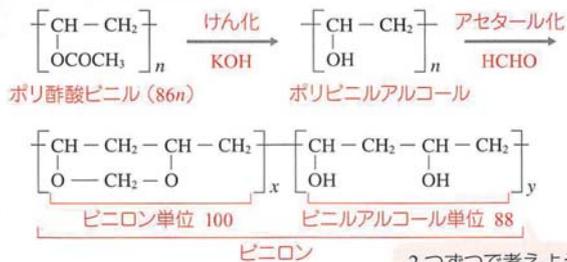
★★★

ポリ酢酸ビニル 516 g を完全にけん化して、ポリビニルアルコールとした。得られたポリビニルアルコールにホルムアルデヒド水溶液^{すいようえき}を作用させたところ、ヒドロキシ基の 30% が反応してビニロンが生じた。

- (1) 必要なホルムアルデヒドの質量は何 g か。
 □(2) 生成したビニロンの質量は何 g か。

解説

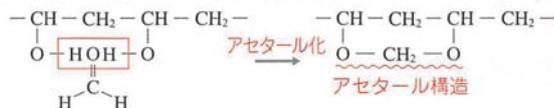
ビニロンの生成^{せいせい}反応は、



- (1) ポリ酢酸ビニル 516 g に含まれる酢酸ビニル単位^{ぶつご}の物質^{ぶつ}量は、 $\frac{516}{86} = 6.0 \text{ mol}$

それが完全にけん化されるので、ポリビニルアルコール中

の OH 基は酢酸ビニル単位の物質量と等しく 6.0 mol。



OH 基 2 つにつき HCHO は 1 分子必要。OH 基のうち 30% が反応したので、必要な HCHO の質量は $\text{HCHO} = 30$ より、

$$\underbrace{6.0 \times \frac{30}{100}}_{\text{反応した OH 基 [mol]}} \times \frac{1}{2} \times \underbrace{30}_{\text{[g/mol]}} = \underline{27 \text{ g}}$$

必要な HCHO [mol]

- (2) OH 基 2 つで 1 単位とする。ビニロン単位とビニルアルコール単位の物質量は、

$$\text{ビニロン単位} : 6.0 \times \frac{1}{2} \times \frac{30}{100} = 0.90 \text{ mol}$$

$$\text{ビニルアルコール単位} : 6.0 \times \frac{1}{2} - 0.90 = 2.1 \text{ mol}$$

生じたビニロンの質量を求める。分子量は、ビニロン単位が 100、ビニルアルコール単位が 88 より、

$$0.90 \times 100 + 2.1 \times 88 = \underline{274.8 \text{ g}}$$

ポイント

ビニロンは、ビニルアルコール 2 つで 1 つの単位になるので、2 つずつにすると計算しやすいぞ！

解答 (1) 27 g (2) $2.7 \times 10^2 \text{ g}$

問題

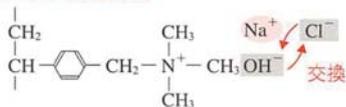
★★

陰イオン交換樹脂を詰めた円筒（カラム）に、濃度未知の塩化ナトリウム水溶液 50 mL を通し、完全にイオン交換させ、さらに純水を通して溶出液をすべて集めた。この溶出液を 0.10 mol/L の希硫酸で滴定したところ、25 mL を要した。

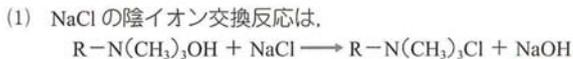
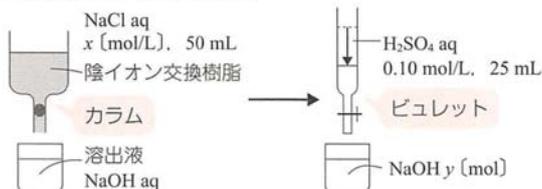
- (1) 溶出液に含まれる化合物は何か答えよ。
 (2) カラムに通す前の塩化ナトリウム水溶液は何 mol/L か。

解説

陰イオン交換樹脂の働きは、次のとおり。



実験の様子は、次のとおり。



- (2) 溶出液に含まれていた NaOH の物質量を y [mol] とする。中和点では、 H^+ [mol] = OH^- [mol] より、

$$\underbrace{0.10}_{\text{[mol/L]}} \times \underbrace{\frac{25}{1000}}_{\text{[L]}} \times 2 = \underbrace{y}_{\text{[mol]}} \times \underbrace{1}_{\text{[価]}}$$

H^+ [mol] OH^- [mol]

$$y = 5.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

カラムを通す前の NaCl aq を x [mol/L] とする。

NaCl : NaOH = 1 : 1 より、

$$\underbrace{x}_{\text{[mol/L]}} \times \underbrace{\frac{50}{1000}}_{\text{[L]}} = \underbrace{5.0 \times 10^{-3}}_{\text{NaOH [mol]}}$$

$$\text{NaCl [mol]}$$

$$x = \underline{1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/L}}$$

ポイント

陽イオン交換樹脂に CaCl_2 aq を通したときの反応は、

$$2\text{R}-\text{SO}_3\text{H} + \text{CaCl}_2 \longrightarrow (\text{R}-\text{SO}_3)_2\text{Ca} + 2\text{HCl}$$
 となるよ。イオンの価数に気をつけてね。

解答 (1) 水酸化ナトリウム (2) $1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/L}$