

ドリルの解答

A 分子を構成する原子の原子量の総和が分子量となる。

(1) $\text{H}_2 = 1.0 \times 2 = 2.0$ (2) $\text{He} = 4.0$ (3) $\text{H}_2\text{O} = 1.0 \times 2 + 16 = 18$

(4) $\text{CH}_4 = 12 + 1.0 \times 4 = 16$

B イオンを構成する原子の原子量の総和がイオンの式量となる^①。

(1) $\text{Al}^{3+} = 27$ (2) $\text{OH}^- = 16 + 1 = 17$ (3) $\text{NO}_3^- = 14 + 16 \times 3 = 62$

(4) $\text{Fe} = 56$ (5) $\text{CaCl}_2 = 40 + 35.5 \times 2 = 111$

(6) $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 56 \times 2 + 16 \times 3 = 160$

C 物質質量[mol] = $\frac{\text{粒子の個数}}{\text{アボガドロ定数[/mol]}}$

(1) $\frac{3.0 \times 10^{23}}{6.0 \times 10^{23}/\text{mol}} = 0.50 \text{ mol}$ (2) $\frac{6.0 \times 10^{24}}{6.0 \times 10^{23}/\text{mol}} = 10 \text{ mol}$

(3) $\frac{1.5 \times 10^{24}}{6.0 \times 10^{23}/\text{mol}} = 2.5 \text{ mol}$

D 粒子の個数 = アボガドロ定数[/mol] × 物質質量[mol]

(1) $6.0 \times 10^{23}/\text{mol} \times 1.5 \text{ mol} = 9.0 \times 10^{23}$ **9.0 × 10²³ 個**

(2) $6.0 \times 10^{23}/\text{mol} \times 3.0 \text{ mol} = 1.8 \times 10^{24}$ **1.8 × 10²⁴ 個**

(3) $6.0 \times 10^{23}/\text{mol} \times 0.40 \text{ mol} = 2.4 \times 10^{23}$ **2.4 × 10²³ 個**

E 質量[g] = モル質量[g/mol] × 物質質量[mol]

物質質量[mol] = $\frac{\text{質量[g]}}{\text{モル質量[g/mol]}}$

(1) $4.0 \text{ g/mol} \times 0.50 \text{ mol} = 2.0 \text{ g}$

(2) $63.5 \text{ g/mol} \times 4.0 \text{ mol} = 2.54 \times 10^2 \text{ g} = 2.5 \times 10^2 \text{ g}$

(3) $\frac{27 \text{ g}}{108 \text{ g/mol}} = 0.25 \text{ mol}$ (4) $\frac{27 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = 1.5 \text{ mol}$

F (1) 1 mol の NaCl には Na^+ 、 Cl^- がいずれも 1 mol 含まれる。

$6.0 \times 10^{23}/\text{mol} \times 2.0 \text{ mol} = 1.2 \times 10^{24}$ **1.2 × 10²⁴ 個**

(2) 1 個の水分子 H_2O には、酸素原子 O は 1 個含まれる。

$6.0 \times 10^{23}/\text{mol} \times 0.25 \text{ mol} \times 1 = 1.5 \times 10^{23}$ **1.5 × 10²³ 個**

(3) 1 個のメタン分子 CH_4 には、水素原子 H は 4 個含まれる。

$6.0 \times 10^{23}/\text{mol} \times 4.0 \text{ mol} \times 4 = 9.6 \times 10^{24}$ **9.6 × 10²⁴ 個**

G 0℃, $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ における気体のモル体積は 22.4 L/mol である。

物質質量[mol] = $\frac{\text{気体の体積[L]}}{\text{気体のモル体積[L/mol]}}$

気体の体積[L] = 気体のモル体積[L/mol] × 物質質量[mol]

(1) $\frac{11.2 \text{ L}}{22.4 \text{ L/mol}} = 0.500 \text{ mol}$ (2) $\frac{5.6 \text{ L}}{22.4 \text{ L/mol}} = 0.25 \text{ mol}$

(3) $22.4 \text{ L/mol} \times 2.5 \text{ mol} = 56 \text{ L}$

(4) $22.4 \text{ L/mol} \times 0.300 \text{ mol} = 6.72 \text{ L}$

(5) 1 個の二酸化炭素分子 CO_2 には、2 個の酸素原子 O が含まれる。

$\frac{78.4 \text{ L}}{22.4 \text{ L/mol}} \times 2 = 7.00 \text{ mol}$

① 電子の質量は、陽子や中性子の質量に比べて極めて小さいので無視できる。

② 酸素 3.0 mol には酸素分子が 3.0 mol 含まれる。

③ H_2O のモル質量は 18 g/mol である。

$$\text{H} \quad (1) \text{ 質量パーセント濃度} = \frac{\text{溶質の質量}[\text{g}]}{\text{溶液の質量}[\text{g}]} \times 100$$

$$= \frac{25 \text{ g}}{100 \text{ g} + 25 \text{ g}} \times 100 = 20 \quad \text{20\%}$$

$$(2) \text{ 溶質の質量}[\text{g}] = \text{溶液の質量}[\text{g}] \times \frac{\text{質量パーセント濃度}}{100}$$

$$= 200 \text{ g} \times \frac{5.0}{100} = 10 \text{ g}$$

$$(3) \text{ モル濃度}[\text{mol/L}] = \frac{\text{溶質の物質量}[\text{mol}]}{\text{溶液の体積}[\text{L}]} = \frac{1.0 \text{ mol}}{0.500 \text{ L}} = 2.0 \text{ mol/L}$$

$$(4) \text{ 溶質の物質量}[\text{mol}] = \text{モル濃度}[\text{mol/L}] \times \text{溶液の体積}[\text{L}]$$

$$= 0.10 \text{ mol/L} \times 0.100 \text{ L} = 1.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

72. 原子の相対質量

解答 (1) 9.0 (2) 2.3倍

解説 原子の相対質量は、質量数 12 の炭素原子 ^{12}C の質量を 12(基準)として表される。したがって、相対質量の比は原子の質量の比に等しい。

$$(1) \quad 12 \times \frac{1.5 \times 10^{-23} \text{ g}}{2.0 \times 10^{-23} \text{ g}} = 9.0$$

$$(2) \quad \frac{27}{12} = 2.25$$

73. 同位体と原子量

解答 (1) 63.6 (2) 550個

解説 (1) 同位体の相対質量はその原子の質量数に等しいとすると、 $^{63}\text{Cu} = 63$, $^{65}\text{Cu} = 65$ となる。これらがそれぞれ 69.2%, 30.8% 存在しているので、これらの値から平均値を求める。

$$63 \times \frac{69.2}{100} + 65 \times \frac{30.8}{100} = 63.61 \quad \text{①}$$

(2) 銀原子 1000 個中に ^{107}Ag が x [個] あるとすると、 ^{109}Ag は $1000 - x$ [個] 存在する。相対質量と天然存在比にもとづく平均値が Ag の原子量 107.9 になるので、次式が成立する。

$$107 \times \frac{x}{1000} + 109 \times \frac{1000 - x}{1000} = 107.9 \quad x = 550 \text{ 個}$$

74. 分子量・式量

解答 (1) 28 (2) 36.5 (3) 34 (4) 96 (5) 61 (6) 250

解説 分子量や式量は、化学式を構成する原子の原子量の総和として求められる。結晶水を含む物質では、結晶水の分子量の総和を加える。

$$(1) \quad \text{N}_2 \quad 14 \times 2 = 28$$

$$(2) \quad \text{HCl} \quad 1.0 + 35.5 = 36.5$$

$$(3) \quad \text{H}_2\text{S} \quad 1.0 \times 2 + 32 = 34$$

$$(4) \quad \text{SO}_4^{2-} \quad 32 + 16 \times 4 = 96 \quad \text{①}$$

$$(5) \quad \text{HCO}_3^- \quad 1.0 + 12 + 16 \times 3 = 61 \quad \text{①}$$

$$(6) \quad \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \quad 64 + 32 + 16 \times 4 + (1.0 \times 2 + 16) \times 5 = 250$$

①天然存在比を用いるとき、次のようにすると、計算が簡単になる。

$$\begin{aligned} & 63 \times \frac{69.2}{100} + 65 \times \frac{30.8}{100} \\ &= 63 \times \frac{69.2}{100} \\ & \quad + (63 + 2) \times \frac{30.8}{100} \\ &= 63 \times \frac{(69.2 + 30.8)}{100} \\ & \quad + 2 \times \frac{30.8}{100} \\ &= 63 + 0.616 = 63.616 \end{aligned}$$

①イオンでは電子の出入りがあるが、電子の質量は陽子や中性子に比べてきわめて小さいため、式量の計算では無視できる。

75. 物質量

解答

物質	化学式	物質量[mol]	質量[g]	粒子数[個]	気体の体積[L]
ネオン	(ア) Ne	0.50	(イ) 10	(ウ) 3.0×10^{23}	(エ) 11
カルシウムイオン	(オ) Ca²⁺	(カ) 0.20	(キ) 8.0	1.2×10^{23}	—
二酸化炭素	(ク) CO₂	(ケ) 0.15	6.6	(コ) 9.0×10^{22}	(サ) 3.4

解説 物質量, 質量, 粒子数, 0℃, $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ における気体の体積の間には, 次のような関係が成り立つ。

$$\text{物質量}[\text{mol}] = \frac{\text{質量}[\text{g}]}{\text{モル質量}[\text{g/mol}]} = \frac{\text{粒子数}}{\text{アボガドロ定数}[\text{/mol}]} = \frac{\text{気体の体積}[\text{L}]}{22.4 \text{ L/mol}}$$

(イ) ネオン^①のモル質量は 20 g/mol なので, その 0.50 mol の質量は,
 $20 \text{ g/mol} \times 0.50 \text{ mol} = 10 \text{ g}$

(ウ) ネオン 0.50 mol の粒子数は, アボガドロ定数が $6.0 \times 10^{23} / \text{mol}$ ^② なので, 次のように求められる。

$$6.0 \times 10^{23} / \text{mol} \times 0.50 \text{ mol} = 3.0 \times 10^{23}$$

(エ) 0℃, $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ における気体のモル体積は 22.4 L/mol なので, 0.50 mol のネオンの体積は,

$$22.4 \text{ L/mol} \times 0.50 \text{ mol} = 11.2 \text{ L}$$

(カ) カルシウムイオンの粒子数 1.2×10^{23} 個から, その物質量は,

$$\frac{1.2 \times 10^{23}}{6.0 \times 10^{23} / \text{mol}} = 0.20 \text{ mol}$$

(キ) カルシウムイオンのモル質量は 40 g/mol なので, その 0.20 mol の質量は,

$$40 \text{ g/mol} \times 0.20 \text{ mol} = 8.0 \text{ g}$$

(ケ) 二酸化炭素のモル質量は 44 g/mol であり, その 6.6 g の物質量は,

$$\frac{6.6 \text{ g}}{44 \text{ g/mol}} = 0.15 \text{ mol}$$

(コ) 二酸化炭素 0.15 mol に含まれる粒子数は, アボガドロ定数が

$6.0 \times 10^{23} / \text{mol}$ なので,

$$6.0 \times 10^{23} / \text{mol} \times 0.15 \text{ mol} = 9.0 \times 10^{22}$$

(サ) 0℃, $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ における気体のモル体積は 22.4 L/mol なので, 0.15 mol の二酸化炭素の体積は,

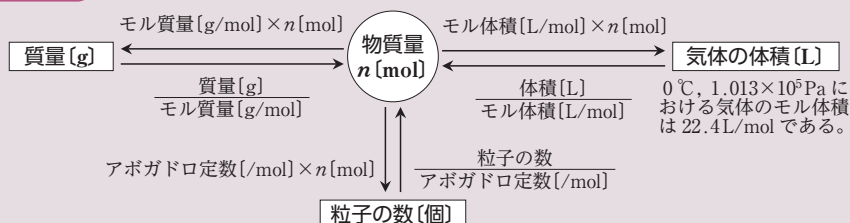
$$22.4 \text{ L/mol} \times 0.15 \text{ mol} = 3.36 \text{ L}$$

^①ネオンは貴ガスであり, 単原子分子として存在する。

^②アボガドロ定数 $6.0 \times 10^{23} / \text{mol}$ は, 「1 mol あたりの個数」を表す。「個」は単位に記さないが, これを補って考えると, 計算の意味が理解しやすい。(例)

$$\begin{aligned} &6.0 \times 10^{23} \text{ 個/mol} \times 1.0 \text{ mol} \\ &= 6.0 \times 10^{23} \text{ 個} \\ &\frac{6.0 \times 10^{23} \text{ 個}}{6.0 \times 10^{23} \text{ 個/mol}} \\ &= 1.0 \text{ mol} \end{aligned}$$

Check 物質量



76. 質量・粒子の個数と物質量

解答 (1) 54 g, 6.0 mol (2) 0.10 mol, 0.40 g(3) 0.20 mol, 3.6×10^{23} 個 (4) 1.0 mol, 48 g**解説** (1) 水 H_2O のモル質量は 18 g/mol なので, 3.0 mol の水の質量は, 次のように求められる。

$$18 \text{ g/mol} \times 3.0 \text{ mol} = 54 \text{ g}$$

また, 1 個の水分子 H_2O に水素原子 H は 2 個含まれるので, 3.0 mol の H_2O に含まれる H の物質量は, 次のように求められる^①。

$$3.0 \text{ mol} \times 2 = 6.0 \text{ mol}$$

(2) メタノール CH_4O のモル質量は 32 g/mol なので, 3.2 g のメタノールの物質量は, 次のように求められる。

$$\frac{3.2 \text{ g}}{32 \text{ g/mol}} = 0.10 \text{ mol}$$

1 mol のメタノール CH_4O には, 水素原子 H が 4 mol 含まれるので, 0.10 mol の CH_4O に含まれる H の物質量は $0.10 \text{ mol} \times 4 = 0.40 \text{ mol}$ となる。H のモル質量は 1.0 g/mol なので, その質量は, 次のようになる。

$$1.0 \text{ g/mol} \times 0.40 \text{ mol} = 0.40 \text{ g}$$

(3) アンモニア NH_3 のモル質量は 17 g/mol なので, 3.4 g のアンモニアの物質量は,

$$\frac{3.4 \text{ g}}{17 \text{ g/mol}} = 0.20 \text{ mol}$$

1 mol の NH_3 には, 水素原子 H が 3 mol 含まれるので, 0.20 mol の NH_3 に含まれる H の物質量は $0.20 \text{ mol} \times 3 = 0.60 \text{ mol}$ であり, その個数は, アボガドロ定数が $6.0 \times 10^{23} / \text{mol}$ なので,

$$6.0 \times 10^{23} / \text{mol} \times 0.60 \text{ mol} = 3.6 \times 10^{23}$$

(4) 1 mol の硝酸マグネシウム $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ に硝酸イオン NO_3^- は 2 mol 含まれるので, 0.50 mol の $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ に含まれる NO_3^- の物質量は,

$$0.50 \text{ mol} \times 2 = 1.0 \text{ mol}$$

1 mol の硝酸マグネシウム $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ に酸素原子 O は 6 mol 含まれる。したがって, 0.50 mol の $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ に含まれる O の物質量は, $0.50 \text{ mol} \times 6 = 3.0 \text{ mol}$ であり, O のモル質量が 16 g/mol なので, その質量は,

$$16 \text{ g/mol} \times 3.0 \text{ mol} = 48 \text{ g}$$

77. 元素の含有量と原子量

解答 (1) (ア) 50% (イ) 40% (2) 55**解説** (1) (ア) SO_2 のモル質量は 64 g/mol であり, 1 mol の SO_2 に S (モル質量 32 g/mol) は 1 mol 含まれるので, その質量パーセントは,

$$\frac{\text{S のモル質量}}{\text{SO}_2 \text{ のモル質量}} \times 100 = \frac{32 \text{ g/mol}}{64 \text{ g/mol}} \times 100 = 50$$

(イ) $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ のモル質量は 180 g/mol であり, 1 mol の $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ に C (モル質量 12 g/mol) は 6 mol 含まれるので, その質量パーセントは,

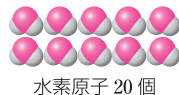
$$\frac{\text{C のモル質量} \times 6}{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \text{ のモル質量}} \times 100 = \frac{12 \text{ g/mol} \times 6}{180 \text{ g/mol}} \times 100 = 40$$

①

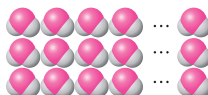
1 個の水分子



10 個の水分子



1 mol の水分子



(1) 原子量や分子量などは各粒子の相対質量を表すので, 次のように解いてもよい。

$$\frac{\text{S の原子量}}{\text{SO}_2 \text{ の分子量}} \times 100$$

(2) ある金属の酸化物 MO_2 1 mol には、金属Mが 1 mol 含まれるので、1 mol の MO_2 を還元すると、1 mol のMが得られる。Mのモル質量を $x[\text{g/mol}]$ とすると、 MO_2 のモル質量は $x+32\text{g/mol}$ となる。したがって、17.4g の MO_2 の物質質量、11.0g のMの物質質量は、

$$\text{MO}_2 \text{ の物質質量} = \frac{17.4\text{g}}{x+32\text{g/mol}} \quad \text{M の物質質量} = \frac{11.0\text{g}}{x}$$

MO_2 とMの物質質量が等しいので、次式が成り立つ。

$$\frac{17.4\text{g}}{x+32\text{g/mol}} = \frac{11.0\text{g}}{x} \quad x=55.0\text{g/mol}$$

別解1 モル質量(化学式量)の比が質量の比になるので、金属Mのモル質量 $x[\text{g/mol}]$ 、 MO_2 のモル質量 $x+32\text{g/mol}$ から、

$$\frac{\text{Mのモル質量}}{\text{MO}_2 \text{ のモル質量}} = \frac{x[\text{g/mol}]}{x+32\text{g/mol}} = \frac{11.0\text{g}}{17.4\text{g}} \quad x=55.0\text{g/mol}$$

別解2 17.4g の MO_2 から 11.0g のMが得られたので、この MO_2 にはOが $17.4\text{g}-11.0\text{g}=6.4\text{g}$ 含まれていたことがわかる。組成式が MO_2 なので、MとOの物質質量の比は、原子数の比1:2に等しくなる^①。したがって、次式が成り立つ。

$$\frac{11.0\text{g}}{x[\text{g/mol}]} : \frac{6.4\text{g}}{16\text{g/mol}} = 1:2 \quad x=55.0\text{g/mol}$$

78. 気体の体積の比較

解答 (ア)

解説 気体の体積は、気体のモル体積 $[\text{L/mol}]$ ^① × 物質質量 $[\text{mol}]$ で求められる。したがって、気体のモル質量を $x[\text{g/mol}]$ とすると、10g の気体の体積は、次のように表される。

$$\text{気体の体積}[\text{L}] = \text{モル体積}[\text{L/mol}] \times \frac{10\text{g}}{x[\text{g/mol}]}$$

モル体積、および質量 10g は一定なので、この式から、モル質量 $x[\text{g/mol}]$ が小さいほど、気体の体積が大きくなるのがわかる。

(ア)~(エ)の気体のモル質量は、次のようになる。

(ア) H_2 : 2.0 g/mol (イ) N_2 : 28 g/mol

(ウ) CH_4 : 16 g/mol (エ) C_3H_8 : 44 g/mol

したがって、(ア)の H_2 のモル質量が最も小さく、体積は最も大きい。

79. 気体の体積と物質質量

解答 (1) 4.0g, 5.6L (2) 19.2g (3) 30.0 (4) 8.0

解説 (1) メタン CH_4 のモル質量は 16g/mol なので、0.25mol の質量は、 $16\text{g/mol} \times 0.25\text{mol} = 4.0\text{g}$ である。一方、気体 1 mol は 22.4L の体積を占める。したがって、0.25mol の体積は、

$$22.4\text{L/mol} \times 0.25\text{mol} = 5.6\text{L}$$

(2) 各気体の体積から物質質量を求め、モル質量と物質質量から各気体の質量を算出して、質量の総和を求める。窒素 N_2 、酸素 O_2 のモル質量は 28g/mol, 32g/mol なので、質量の総和は、

$$28\text{g/mol} \times \frac{8.96}{22.4} \text{mol} + 32\text{g/mol} \times \frac{5.60}{22.4} \text{mol} = 19.2\text{g}$$

^① 1 mol の MO_2 には、1 mol のMと2 mol のOが含まれる。

^① 気体のモル体積は、同温・同圧であれば、気体の種類によらず一定である。



0℃, $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ における気体のモル体積は、気体の種類によらず 22.4L/mol である。

(3) この気体 22.4 L の質量は、 $1.34 \text{ g/L} \times 22.4 \text{ L} = 30.0 \text{ g}$ なので、分子量は 30.0 である^①。

(4) 混合気体の平均分子量は、各成分気体のモル質量 $\times$ 体積比の和から求められる。 H_2 , O_2 のモル質量は、 2.0 g/mol , 32 g/mol なので、混合気体 1 mol の質量は次式で求められる。

$$2.0 \text{ g/mol} \times \frac{80}{100} + 32 \text{ g/mol} \times \frac{20}{100} = 8.0 \text{ g/mol}$$

したがって、平均分子量は 8.0 となる。

80. 質量パーセント濃度

解答 (1) **10%** (2) **6.0 g** (3) **14%**

解説 (1) 質量パーセント濃度[%]^①は、次のようになる。

$$\frac{\text{溶質の質量}[\text{g}]}{\text{溶液の質量}[\text{g}]} \times 100 = \frac{5.0 \text{ g}}{5.0 \text{ g} + 45 \text{ g}} \times 100 = 10$$

(2) 尿素水溶液に質量で 5.0% の尿素が含まれるので、120 g の尿素水溶液に含まれる尿素の質量は、次のようになる。

$$120 \text{ g} \times \frac{5.0}{100} = 6.0 \text{ g}$$

(3) 10% の塩化ナトリウム水溶液 180 g, 20% の塩化ナトリウム水溶液 120 g に含まれる塩化ナトリウムの質量は、それぞれ次のようになる。

$$180 \text{ g} \times \frac{10}{100} = 18 \text{ g} \quad 120 \text{ g} \times \frac{20}{100} = 24 \text{ g}$$

混合後の水溶液の質量は $180 \text{ g} + 120 \text{ g} = 300 \text{ g}$ となるので、混合水溶液の質量パーセント濃度[%]は、次のように求められる。

$$\frac{18 \text{ g} + 24 \text{ g}}{300 \text{ g}} \times 100 = 14$$

81. モル濃度

解答 (1) **0.25 mol/L** (2) **$5.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$** , **2.0 g** (3) **25 mL**

(4) **0.250 mol/L**

解説 (1) モル濃度^①[mol/L]は、溶液 1 L 中に含まれる溶質の物質質量[mol]で表される。グルコース $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ のモル質量は 180 g/mol なの

で、その 9.0 g は $\frac{9.0 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}} = 0.050 \text{ mol}$ となる。これが水溶液 200 mL

中に存在するので、モル濃度は次のように求められる。

$$\frac{0.050 \text{ mol}}{\frac{200}{1000} \text{ L}} = 0.25 \text{ mol/L}$$

(2) $c[\text{mol/L}]$ の水溶液 $V[\text{L}]$ 中に含まれる溶質の物質質量は、 $c \times V[\text{mol}]$ で表される。したがって、 0.25 mol/L の NaOH 水溶液 200 mL^② 中に含まれる NaOH は、

$$0.25 \text{ mol/L} \times \frac{200}{1000} \text{ L} = 0.050 \text{ mol}$$

NaOH のモル質量は 40 g/mol なので、その 0.050 mol の質量は、

$$40 \text{ g/mol} \times 0.050 \text{ mol} = 2.0 \text{ g}$$

^① 気体 22.4 L の質量が
気体 1 mol の質量となる。

^① 質量パーセント濃度[%]

$$= \frac{\text{溶質の質量}[\text{g}]}{\text{溶液の質量}[\text{g}]} \times 100$$

^① モル濃度[mol/L]

$$= \frac{\text{溶質の物質質量}[\text{mol}]}{\text{溶液の体積}[\text{L}]}$$

^② 1 L = 1000 mL なので、

$$200 \text{ mL} = \frac{200}{1000} \text{ L}$$

(3) 溶液を水でうすめても、もともと含まれていた溶質の物質量は変化しない。このことから、12 mol/L の塩酸の体積を $V[\text{L}]$ とすると、溶質の塩化水素 HCl について次式が成り立つ。

$$12 \text{ mol/L} \times V[\text{L}] = 2.0 \text{ mol/L} \times \frac{150}{1000} \text{ L} \quad V = \frac{25}{1000} \text{ L}$$

うすめる前の塩酸中の HCl うすめたあとの塩酸中の HCl

したがって、25 mL である。

(4) 0.10 mol/L の硫酸水溶液 100 mL、0.30 mol/L の硫酸水溶液 300 mL に含まれる硫酸の物質量はそれぞれ次のようになる。

$$0.10 \text{ mol/L} \times \frac{100}{1000} \text{ L} = 0.010 \text{ mol} \quad 0.30 \text{ mol/L} \times \frac{300}{1000} \text{ L} = 0.090 \text{ mol}$$

混合後の水溶液の体積は 400 mL なので、混合水溶液のモル濃度は、

$$\frac{0.010 \text{ mol} + 0.090 \text{ mol}}{\frac{400}{1000} \text{ L}} = 0.250 \text{ mol/L} \quad \textcircled{3}$$

$\textcircled{3}$ $0.010 \text{ mol} + 0.090 \text{ mol} = 0.100 \text{ mol}$ となるため、有効数字が 3 桁になる。

Check 質量パーセント濃度とモル濃度

質量パーセント濃度(%)…溶液の質量に対する溶質の質量の割合

$$\frac{\text{溶質の質量}[\text{g}]}{\text{溶液の質量}[\text{g}]} \times 100$$

モル濃度[mol/L]…溶液 1 L あたりに含まれる溶質の物質量

$$\frac{\text{溶質の物質量}[\text{mol}]}{\text{溶液の体積}[\text{L}]}$$

82. 質量パーセント濃度とモル濃度の変換

解答 (ア) 1.20×10^3 (イ) 4.38×10^2 (ウ) 12.0 (エ) 12.0

(オ) 1.04×10^3 (カ) 73.0 (キ) 7.02

解説 塩酸は塩化水素 HCl の水溶液である。

(ア) 1 L = 1000 mL = 1000 cm^3 なので、1.00 L の塩酸の質量は、

$$\text{密度} \times \text{体積} = 1.20 \text{ g/cm}^3 \times 1.00 \times 10^3 \text{ cm}^3 = 1.20 \times 10^3 \text{ g}$$

(イ) 質量パーセント濃度が 36.5% なので、 $1.20 \times 10^3 \text{ g}$ の塩酸に含まれる HCl の質量は、

$$1.20 \times 10^3 \text{ g} \times \frac{36.5}{100} = 4.38 \times 10^2 \text{ g}$$

(ウ) HCl のモル質量は 36.5 g/mol なので、塩酸 1.00 L に含まれる HCl の物質量は、

$$\frac{4.38 \times 10^2 \text{ g}}{36.5 \text{ g/mol}} = 12.0 \text{ mol}$$

(エ) 塩酸 1.00 L に含まれる HCl の物質量が 12.0 mol なので、この塩酸のモル濃度は 12.0 mol/L である。

(オ) この塩酸 1.00 L (= $1.00 \times 10^3 \text{ cm}^3$) の質量は、

$$\text{密度} \times \text{体積} = 1.04 \text{ g/cm}^3 \times 1.00 \times 10^3 \text{ cm}^3 = 1.04 \times 10^3 \text{ g}$$

(カ) この中に 2.00 mol の HCl が含まれるので、その質量は、

$$36.5 \text{ g/mol} \times 2.00 \text{ mol} = 73.0 \text{ g}$$

(キ) 溶液 $1.04 \times 10^3 \text{ g}$ 中に溶質が 73.0 g 含まれるので、質量パーセント濃度は、

$$\frac{73.0 \text{ g}}{1.04 \times 10^3 \text{ g}} \times 100 = 7.019$$



濃度の変換では、水溶液の体積を 1 L と仮定して考えるとよい。

$\textcircled{1}$ $4.38 \times 10^2 \text{ g}$ は(イ)から、

$$1.20 \times 10^3 \text{ g} \times \frac{36.5}{100}$$

なので、これを用いると簡単に計算できる。

83. 濃度の変換

解答 (1) 18.4 mol/L (2) 1.87% **解説** 硫酸水溶液は、溶質が硫酸、溶媒が水である。

(1) 98.0% の硫酸水溶液の密度が 1.84 g/cm^3 なので^①、水溶液 1.00 L ($=1.00 \times 10^3 \text{ mL} = 1.00 \times 10^3 \text{ cm}^3$) の質量は $1.84 \text{ g/cm}^3 \times 1.00 \times 10^3 \text{ cm}^3 = 1.84 \times 10^3 \text{ g}$ と求められる。したがって、水溶液に含まれる H_2SO_4 の質量は、

$$1.84 \times 10^3 \text{ g} \times \frac{98.0}{100}$$

H_2SO_4 のモル質量は 98.0 g/mol なので、この硫酸水溶液 1.00 L 中の H_2SO_4 の物質量は、

$$\frac{1.84 \times 10^3 \text{ g} \times \frac{98.0}{100}}{98.0 \text{ g/mol}} = 18.4 \text{ mol}$$

したがって、この硫酸水溶液のモル濃度は 18.4 mol/L である。

(2) 0.200 mol/L の硫酸水溶液 1.00 L 中に、 H_2SO_4 は 0.200 mol 含まれる。 H_2SO_4 のモル質量が 98.0 g/mol なので、その質量は、

$$98.0 \text{ g/mol} \times 0.200 \text{ mol} = 19.6 \text{ g}$$

一方、水溶液の密度が 1.05 g/cm^3 なので、水溶液 1.00 L ($=1.00 \times 10^3 \text{ cm}^3$) の質量は、

$$1.05 \text{ g/cm}^3 \times 1.00 \times 10^3 \text{ cm}^3 = 1.05 \times 10^3 \text{ g}$$

したがって、この硫酸水溶液の質量パーセント濃度は、

$$\frac{19.6 \text{ g}}{1.05 \times 10^3 \text{ g}} \times 100 = 1.866$$

84. 水溶液の希釈

解答 (ア) $x \times \frac{10}{100}$ (イ) 4.9 (ウ) $x \times \frac{10}{100} = 4.9 \text{ g}$ (エ) 49

解説 (ア) 10% 硫酸水溶液を $x[\text{g}]$ 用いるので、この中に溶けている H_2SO_4 の質量は、

$$x[\text{g}] \times \frac{10}{100}$$

(イ) 0.50 mol/L 硫酸水溶液 100 mL 中の H_2SO_4 の物質量は、

$$0.50 \text{ mol/L} \times \frac{100}{1000} \text{ L}$$

H_2SO_4 のモル質量が 98 g/mol なので、その質量は、

$$98 \text{ g/mol} \times 0.50 \text{ mol/L} \times \frac{100}{1000} \text{ L} = 4.9 \text{ g}$$

(ウ), (エ) うすめても溶質の H_2SO_4 の量は変化しないので、次式が成り立つ。

$$x[\text{g}] \times \frac{10}{100} = 4.9 \text{ g} \quad x = 49 \text{ g}$$

したがって、 10% 硫酸水溶液 49 g を水でうすめて 100 mL とすれば、 0.50 mol/L 硫酸水溶液 100 mL を調製できる。

①モル濃度と質量パーセント濃度の変換には、密度の値が必要になる。
密度 $[\text{g/cm}^3] \times$ 体積 $[\text{cm}^3] =$ 質量 $[\text{g}]$

Check 溶液の希釈

水溶液に水を加えて濃度をうすくしても、水溶液に含まれる溶質の量は変化しない。

85. 物質・濃度と文字式

解答 (1) $\frac{adN_A}{n}$ (2) $\frac{wV_m}{M}$, $\frac{wN_A}{M}$ (3) $\frac{w}{MV}$

解説 (1) 金属 a [cm^3] の質量は、 d [g/cm^3] $\times a$ [cm^3] $= ad$ [g] であり、この中に n [個] の原子が含まれるので、原子 1 個の質量は、 ad/n [g] となる。したがって、1 mol (N_A 個) では、

$$\frac{ad}{n} [\text{g}] \times N_A [\text{mol}] = \frac{adN_A}{n} [\text{g/mol}]$$

(2) 質量 w [g] の気体 (モル質量 M [g/mol]) の物質量は、 w/M [mol] となり^①、0℃、 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ における気体 1 mol の体積は V_m [L/mol] なので、その体積は、

$$V_m [\text{L/mol}] \times \frac{w}{M} [\text{mol}] = \frac{wV_m}{M} [\text{L}]$$

また、アボガドロ定数が N_A [mol] なので、その個数は、

$$N_A [\text{mol}] \times \frac{w}{M} [\text{mol}] = \frac{wN_A}{M}$$

(3) モル質量 M [g/mol] の物質 w [g] の物質量は w/M [mol] であり^②、これを水に溶かして V [L] にしたので、そのモル濃度は、

$$\frac{\frac{w}{M} [\text{mol}]}{V [\text{L}]} = \frac{w}{MV} [\text{mol/L}]$$

Check 気体の体積

気体の体積が V [L]、モル体積が V_m [L/mol]^②、モル質量が M [g/mol]、アボガドロ定数が N_A [mol] のとき、次の関係がある。

$$\text{気体の物質量} = \frac{V}{V_m} [\text{mol}] \begin{cases} \rightarrow \text{質量} = M \times \frac{V}{V_m} [\text{g}] \\ \rightarrow \text{分子数} = N_A \times \frac{V}{V_m} [\text{個}] \end{cases}$$

0℃、 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ の気体の密度が d [g/L] のとき、次の関係がある。

$$d [\text{g/L}] \times V_m [\text{L/mol}] = \text{モル質量} [\text{g/mol}] \rightarrow \text{分子量}$$

86. 溶解度曲線

解答 (1) 60℃ (2) 10℃ (3) C

解説 溶解度は水 100 g に溶けうる溶質の最大質量 [g] の数値で表される。水溶液の温度を下げていくと、溶質が飽和状態に達したのち、結晶が析出しはじめる。

(1) 水 50 g に 50 g の A を加えた溶液は、水 100 g に 100 g の A を加えた溶液と同じ濃度である。したがって、A の溶解度が 100 になる温度をグラフ^①から読み取ると、60℃になる。



計算途中では、単位は分数のように考えて、約分してよい。計算結果が、求める答えの単位と一致することを確認する。

^① w [g] の物質の物質量は、次のように求められる。

$$\frac{w [\text{g}]}{M [\text{g/mol}]} = \frac{w}{M} [\text{mol}]$$

^② 0℃、 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ における気体のモル体積は 22.4 L/mol である。

^① 物質の溶解度と温度の関係を表したグラフを、**溶解度曲線**という。

(2) 10gのBが溶けた水溶液50gに含まれる水は $50\text{g}-10\text{g}=40\text{g}$ である。この水溶液と同じ濃度で、水が100gのときのBの質量を求めると、次のようになる。

$$10\text{g} \times \frac{100}{40} = 25\text{g}$$

したがって、Bの溶解度が25になるときの温度をグラフから読み取ると、 10°C になる。

(3) 温度変化による溶解度の変化が小さい物質は、再結晶^②に適さない。これは、冷却しても得られる結晶が少ないためである。グラフから、Cが、溶解度の変化が最も小さく、再結晶に適さない。

87. 溶解度

解答 (1) 31% (2) 32g (3) 38g (4) 43g

解説 (1) 30°C における硝酸カリウムの溶解度が45なので、水100gに硝酸カリウム45gが溶けた水溶液の濃度を求めればよい。

$$\text{質量パーセント濃度}[\%] = \frac{45\text{g}}{100\text{g}+45\text{g}} \times 100 = 31.0$$

(2) 50°C における硝酸カリウムの飽和溶液70g中の溶質の質量を $x[\text{g}]$ とすると、次式が成り立つ。

$$\frac{\text{溶質の質量}}{\text{溶液の質量}} = \frac{85\text{g}}{100\text{g}+85\text{g}} = \frac{x[\text{g}]}{70\text{g}} \quad x=32.1\text{g}$$

(3) 水100gに硝酸カリウムは 70°C で135g、 30°C で45g溶けるので、 70°C の飽和溶液 $(100+135)\text{g}$ を 30°C に冷却すると、 $(135-45)\text{g}$ の結晶が析出する。飽和溶液100gからの析出量を $y[\text{g}]$ とすると、次式が成り立つ。

$$\frac{\text{析出量}}{\text{溶液の質量}} = \frac{y[\text{g}]}{100\text{g}} = \frac{(135-45)\text{g}}{(100+135)\text{g}} \quad y=38.2\text{g}$$

(4) 50°C における硝酸カリウムの飽和水溶液200gに含まれる水の質量を $x[\text{g}]$ とすると、次式が成り立つ。

$$\frac{\text{水の質量}}{\text{溶液の質量}} = \frac{100\text{g}}{100\text{g}+85\text{g}} = \frac{x[\text{g}]}{200\text{g}} \quad x=108.1\text{g}$$

このうち、50gの水を蒸発させたので、残った水の質量は $108.1\text{g}-50\text{g}=58.1\text{g}$ となる。したがって、 50°C の水58.1gに溶ける硝酸カリウムの質量を $y[\text{g}]$ とすると、次式が成り立つ。

$$\frac{\text{溶質の質量}}{\text{水の質量}} = \frac{85\text{g}}{100\text{g}} = \frac{y[\text{g}]}{58.1\text{g}} \quad y=49.3\text{g}$$

一方、200gの飽和水溶液に溶けていた硝酸カリウムの質量は、 $(200-108.1)\text{g}$ なので、析出量は次のように求められる。

$$\text{析出量} = (200-108.1)\text{g}-49.3\text{g}=42.6\text{g}$$

別解 蒸発した水50gに溶けていた硝酸カリウムが析出すると考えてもよい。 50°C の水50gに溶ける硝酸カリウムの質量を $z[\text{g}]$ とすると、次式が成り立つ。

$$\frac{\text{溶質の質量}}{\text{水の質量}} = \frac{85\text{g}}{100\text{g}} = \frac{z[\text{g}]}{50\text{g}} \quad z=42.5\text{g}$$

②溶解度の差を利用して、純粋な結晶を得る操作を再結晶という。

88. 同位体と原子量

解答 (1) ^{63}Cu : 75% ^{65}Cu : 25%

(2) 右表

解説 (1) ^{63}Cu の存在比を $x[\%]$ とおくと、 ^{65}Cu の存在比は $(100-x)[\%]$ となり、Cu の原子量について、次式が成立する。

$$63 \times \frac{x}{100} + 65 \times \frac{100-x}{100} = 63.5 \quad x = 75$$

したがって、 ^{63}Cu は75%、 ^{65}Cu は25%となる。

(2) 各同位体の組み合わせを考える。各同位体の天然存在比は、 $^{79}\text{Br} : ^{81}\text{Br} = 50 : 50$ 、 $^{107}\text{Ag} : ^{109}\text{Ag} = 50 : 50$ なので、AgBr の組み合わせ、「質量」、および存在比は、表のようになる。したがって、「質量」186、188、190の存在比は25 : 50 : 25となる^①。

AgBr の「質量」分布

「質量」	存在比[%]
186	25
188	50
190	25

組み合わせ	「質量」	存在比[%]
$^{107}\text{Ag}^{79}\text{Br}$	186	25
$^{107}\text{Ag}^{81}\text{Br}$	188	25
$^{109}\text{Ag}^{79}\text{Br}$	188	25
$^{109}\text{Ag}^{81}\text{Br}$	190	25

① AgBr の組み合わせごとに各同位体の天然存在比の積をとる。

$$\frac{50}{100} \times \frac{50}{100} = \frac{25}{100}$$

質量が同じ組み合わせは、天然存在比の積を足し合わせる。

$$\frac{25}{100} + \frac{25}{100} = \frac{50}{100}$$

89. 同位体と天然存在比

解答 (1) $2.0 \times 10^{-23} \text{ g}$ (2) 1.008

(3) $^1\text{H}^1\text{H}$ 、 $^1\text{H}^2\text{H}$ 、 $^1\text{H}^3\text{H}$ 、 $^2\text{H}^2\text{H}$ 、 $^2\text{H}^3\text{H}$ 、 $^3\text{H}^3\text{H}$ の6種類があると考えられる。 $^1\text{H}^2\text{H}$ と $^2\text{H}^1\text{H}$ は質量がまったく同じなので、同じ分子であるが、 $^1\text{H}^3\text{H}$ と $^2\text{H}^2\text{H}$ は質量数の合計は同じであるが、質量が異なるので、違う分子である。

(4) $1.0 : 2.3 \times 10^{-4}$

解説 (1) 炭素原子 ^{12}C のモル質量が 12 g/mol なので、 6.0×10^{23} 個の炭素原子 ^{12}C が 12 g となる。したがって、1 個の ^{12}C の質量は、

$$\frac{12 \text{ g}}{6.0 \times 10^{23}} = 2.0 \times 10^{-23} \text{ g}$$

(2) 原子量は、各同位体の相対質量と、天然存在比から次のように求められる。 ^3H については、極微量であるため、無視できる。

$$\begin{aligned} & 1.00785 \times \frac{99.9885}{100} + 2.014102 \times \frac{0.0115}{100} \\ &= 1.00785 \times \frac{99.9885}{100} + (1.00785 + 1.006252) \times \frac{0.0115}{100} \\ &= 1.00785 \times \frac{100}{100} + 1.006252 \times \frac{0.0115}{100} = 1.0079 \end{aligned}$$

(4) 最も多く存在するのは $^1\text{H}^1\text{H}$ であり、次いで $^1\text{H}^2\text{H}$ ($^2\text{H}^1\text{H}$) である。これらの分子が存在する比は、1 個目の原子の天然存在比と 2 個目の原子の天然存在比の積で表される。また、 $^1\text{H}^2\text{H}$ と $^2\text{H}^1\text{H}$ の存在する比は同じなので、 $^1\text{H}^2\text{H}$ の存在する比を 2 倍する。したがって、

$$\begin{aligned} & (^1\text{H}^1\text{H} \text{ の存在する比}) : (^1\text{H}^2\text{H} \text{ の存在する比}) \\ &= 0.999885 \times 0.999885 : 0.999885 \times 0.000115 \times 2 \\ &= 0.999885 : 0.000230 = 1.0 : 2.3 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

90. アボガドロ定数

解答 (1) $\frac{vw}{MV}$ (2) $\frac{S}{S_1}$ (3) $\frac{MSV}{vwS_1}$ (4) $\frac{vw}{dSV}$

解説 (1) モル質量 M [g/mol] の物質 X w [g] の物質量は w/M [mol] と求められる。水面に滴下した分子の量は v/V 倍なので、その物質量は、

$$\frac{w}{M} [\text{mol}] \times \frac{v}{V} = \frac{vw}{MV} [\text{mol}]$$

(2) 単分子膜中の分子数を求めるには、単分子膜の面積 S [cm²] を分子 1 個の断面積 S_1 [cm²] で割ればよい。

(3) アボガドロ定数 N_A [/mol] は、1 mol の物質 X 中の分子数に相当するので、単分子膜中の分子数について次式が成り立つ。

$$N_A \times \frac{vw}{MV} = \frac{S}{S_1} \quad \text{したがって、} N_A = \frac{MSV}{vwS_1} [\text{/mol}]$$

(4) 分子の長さ(単分子膜の厚み)を l [cm] とすると、単分子膜の体積は、底面積 $\times$ 高さから、 $S \times l$ [cm³] となる。単分子膜の質量は、密度 d [g/cm³] にこれにかけて $d \times Sl$ [g] となる^②。

一方、最初にはかり取った物質 X w [g] の v/V 倍が単分子膜に含まれているので、次式が成立する。

$$dSl = w \times \frac{v}{V} \quad \text{したがって、} l = \frac{vw}{dSV} [\text{cm}]$$

91. 金属の原子量

解答 (1) $\frac{AM_0}{B-A}$ (2) 40.0

解説 (1) 組成式 YO から、金属 Y と酸素原子 O の組成比が 1 : 1 である^①。 A [g] の Y の燃焼で B [g] の YO が生じたので、燃焼後に増加した質量 $(B-A)$ [g] は O の質量である。したがって、金属 Y のモル質量を x [g/mol] とすると、次式が成り立つ。

$$\frac{A}{x} : \frac{B-A}{M_0} = 1 : 1 \quad x = \frac{AM_0}{B-A}$$

別解 金属 Y のモル質量を x [g/mol] とすると、 YO のモル質量は $(x+M_0)$ [g/mol] となる。 A [g] の Y の燃焼で、 B [g] の YO が得られたので、次式が成り立つ。

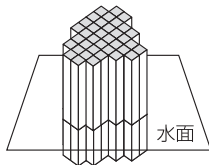
$$\frac{Y}{YO} = \frac{x}{x+M_0} = \frac{A}{B} \quad x = \frac{AM_0}{B-A}$$

(2) 金属 X の塩化物の水和物 $XC\text{Cl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 1 mol から、無水物 $XC\text{Cl}_2$ は 1 mol 生成する。金属 X のモル質量を x [g/mol] とすると、 $XC\text{Cl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ のモル質量は $x+107$ g/mol、 $XC\text{Cl}_2$ のモル質量は $x+71$ g/mol となる。882 mg (= 882×10^{-3} g) の $XC\text{Cl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ から 666 mg (= 666×10^{-3} g) の $XC\text{Cl}_2$ が得られたので、各物質の物質量について次式が成り立つ。

$$\frac{882 \times 10^{-3} \text{ g}}{x+107 \text{ g/mol}} = \frac{666 \times 10^{-3} \text{ g}}{x+71 \text{ g/mol}} \quad x = 40.0 \text{ g/mol}$$

したがって、 X の原子量は 40.0 である。

① 物質 X は、細長い分子構造をもつ。このような分子をシクロヘキサンなどの有機溶媒に溶かして水面に滴下し、溶媒を蒸発させると、分子 1 層からなる単分子膜ができる。分子を角柱で表すと、水面でこの分子がつくる単分子膜は、図のようになる。



② 密度 [g/cm³] $\times$ 体積 [cm³] = 質量 [g]

① 化合物の組成式は、含まれる原子の構成数の比を表す。したがって、その比は物質量の比と等しい。

別解1 金属Xのモル質量を x [g/mol] とすると, $\text{XCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ のモル質量は $x+107$ g/mol, XCl_2 のモル質量は $x+71$ g/mol となる。882 mg の $\text{XCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ の加熱によって 666 mg の XCl_2 が得られたので, 次式が成り立つ²。

$$\frac{\text{XCl}_2}{\text{XCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = \frac{x+71 \text{ g/mol}}{x+107 \text{ g/mol}} = \frac{666 \text{ mg}}{882 \text{ mg}} \quad x=40.0 \text{ g/mol}$$

別解2 化学式 $\text{XCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ から, 無水物 XCl_2 と水 H_2O の物質量の比は 1 : 2 である。はじめ $\text{XCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ が 882 mg あり, これを加熱すると XCl_2 が 666 mg 得られたので, 減少した水 H_2O の質量は $(882-666)$ mg である³。したがって, 金属Xのモル質量を x [g/mol] とすると, XCl_2 のモル質量は $x+71$ g/mol, 水のモル質量は 18 g/mol なので, 次式が成り立つ⁴。

$$\frac{666 \times 10^{-3} \text{ g}}{x+71 \text{ g/mol}} : \frac{(882-666) \times 10^{-3} \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = 1 : 2$$

$$x=40.0 \text{ g/mol}$$

92. 気体の密度とモル質量

解答 (1) 1.2×10^{-2} (2) 0.93%

解説 (1) 各気体 1 mol について考える。1 mol の純粋な窒素 N_2 の質量は, そのモル質量が 28 g/mol なので 28 g である。また, 窒素とアルゴン Ar (モル質量 40 g/mol) の混合気体 1 mol の質量は, アルゴンの混合割合が x なので, 次のように求められる。

$$\text{混合気体の質量} = 28 \text{ g} \times (1-x) + 40 \text{ g} \times x$$

1 mol の気体は純粋な気体でも混合気体でも 0℃, 1.013×10^5 Pa においては 22.4 L の体積を占める。また, 気体の密度は, 質量を体積で割って求められる。混合気体の密度が純粋な窒素の密度よりも 0.50% 大きかったので, 各気体の密度について次式が成り立つ。

$$\frac{28 \text{ g}}{22.4 \text{ L}} \times 1.005 = \frac{28 \text{ g} \times (1-x) + 40 \text{ g} \times x}{22.4 \text{ L}} \quad x=0.0116$$

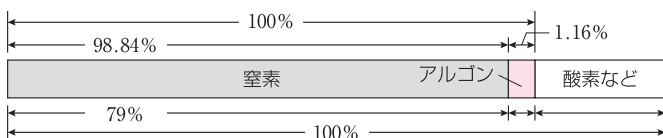
窒素の密度

混合気体の密度

別解 0℃, 1.013×10^5 Pa の気体の密度 [g/L] にモル体積 22.4 L/mol をかけると, モル質量 [g/mol] が得られる。このことから, 気体の密度の比は, その気体の分子量 (混合気体の場合は平均分子量) の比と等しくなることがわかる。したがって, 次式が成り立つ。

$$28 \times 1.005 = 28 \times (1-x) + 40 \times x \quad x=0.0116$$

(2) (1) の結果から, アルゴンと窒素の混合気体中の各気体の割合は, アルゴンが 1.16%, 窒素が $100\% - 1.16\% = 98.84\%$ である。この比は, 空気中の場合でも同じである。



空気中の窒素の割合が 79% なので, アルゴンの割合は,

$$\text{アルゴンの割合} = 1.16 \times \frac{79}{98.84} = 0.927 [\%]$$

2 化合物間のモル質量の比は質量の比に等しい。

3 水合物を無水物にすると, 水の分だけ質量が減少する。

4 水合物 : 無水物 = 1 : 1 や水合物 : 水 = 1 : 2 の関係からも式を導けるが, やや複雑な式となる。

93. 溶液の調製

解答 ④

解説 水和水をもつ物質 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ の水溶液では、溶質は無水塩 CuSO_4 となる。 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 中の CuSO_4 の質量は次式で求められる。

$$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \text{ の質量 [g]} \times \frac{\text{CuSO}_4 \text{ のモル質量 [g/mol]}}{\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \text{ のモル質量 [g/mol]}}$$

- ① (誤) 2.5 g の $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ に含まれる CuSO_4 の質量は、

$$2.5 \text{ g} \times \frac{160 \text{ g/mol}}{250 \text{ g/mol}} = 1.6 \text{ g}$$

したがって、この水溶液の質量パーセント濃度 [%] は、

$$\frac{\text{溶質の質量}}{\text{溶液の質量}} \times 100 = \frac{1.6 \text{ g}}{2.5 \text{ g} + 97.5 \text{ g}} \times 100 = 1.6$$

- ② (誤) 5.0% の硫酸銅 (Ⅱ) 水溶液 8.0 g 中の溶質 CuSO_4 の質量は、

$$8.0 \text{ g} \times \frac{5.0}{100} = 0.40 \text{ g}$$

5.0% の硫酸銅 (Ⅱ) 水溶液 8.0 g に水 20 mL ($=20 \text{ g}$)^① を加えたので、その溶液の質量パーセント濃度は、

$$\frac{\text{溶質の質量}}{\text{溶液の質量}} \times 100 = \frac{0.40 \text{ g}}{8.0 \text{ g} + 20 \text{ g}} \times 100 = 1.42$$

- ③ (誤) 16 g の $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ を水に溶かして 500 mL ($=0.500 \text{ L}$) とした水溶液のモル濃度は次のようになる。

$$\frac{\text{溶質の物質量}}{\text{溶液の体積}} = \frac{16 \text{ g}}{250 \text{ g/mol}} = 0.128 \text{ mol/L}^{\text{②}}$$

- ④ (正) $2.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$ の水溶液 25 mL に含まれる溶質の物質量は、

$$2.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L} \times \frac{25}{1000} \text{ L}$$

この水溶液に水を加えて 100 mL にしたので、そのモル濃度は、

$$\frac{\text{溶質の物質量}}{\text{溶液の体積}} = \frac{2.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L} \times \frac{25}{1000} \text{ L}}{\frac{100}{1000} \text{ L}} = 5.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

別解 溶液の体積を 25 mL から 100 mL にしたので、モル濃度は $25/100$ 倍になる。したがって、モル濃度は、

$$2.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L} \times \frac{25}{100} = 5.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

94. 溶液の希釈

解答 (1) 18.4 mol/L (2) 濃硫酸 : 48.9 mL 水 : 264 g

解説 濃硫酸および希硫酸において、溶質は硫酸 H_2SO_4 、溶媒は水 H_2O である。

(1) 密度 1.84 g/cm^3 の濃硫酸 1 L ($=1000 \text{ cm}^3$) の質量は、質量 $[\text{g}] =$ 密度 $[\text{g/cm}^3] \times$ 体積 $[\text{cm}^3]$ から、次のように求められる。

$$1.84 \text{ g/cm}^3 \times 1000 \text{ cm}^3 = 1.84 \times 10^3 \text{ g}$$

この中に 98.0% の質量パーセント濃度で H_2SO_4 (モル質量 98.0 g/mol)

① 水の密度が 1.0 g/cm^3 なので、水 20 mL ($=20 \text{ cm}^3$) の質量は、
 $1.0 \text{ g/cm}^3 \times 20 \text{ cm}^3 = 20 \text{ g}$

② 0.20 mol/L 水溶液 500 mL をつくるには、 25 g の $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ を水に溶かして 500 mL とすればよい。



モル濃度と質量パーセント濃度の変換では、水溶液 1 L について考えるとよい。

が含まれるので、その質量は $1.84 \times 10^3 \text{ g} \times 98.0/100$ となる。したがって、この H_2SO_4 の物質量は、

$$\frac{1.84 \times 10^3 \text{ g} \times \frac{98.0}{100}}{98.0 \text{ g/mol}} = 18.4 \text{ mol}$$

1 L 中に 18.4 mol の H_2SO_4 が溶けているので、濃硫酸のモル濃度は 18.4 mol/L となる。

(2) <濃硫酸の体積> 3.00 mol/L の希硫酸 300 mL (=0.300 L) に含まれる H_2SO_4 の物質量は、

$$3.00 \text{ mol/L} \times 0.300 \text{ L} = 0.900 \text{ mol}$$

したがって、 H_2SO_4 の質量は、 $98.0 \text{ g/mol} \times 0.900 \text{ mol}$ となる。この希硫酸をつくるのに必要な 98.0% 濃硫酸の体積を $v[\text{cm}^3]$ とすると、濃硫酸の密度は 1.84 g/cm^3 なので、そこに含まれる H_2SO_4 の質量は次のようになる。

$$1.84 \text{ g/cm}^3 \times v[\text{cm}^3] \times \frac{98.0}{100}$$

これが $(98.0 \times 0.900) \text{ g}$ に相当するので、次式が成り立つ。

$$1.84 \text{ g/cm}^3 \times v[\text{cm}^3] \times \frac{98.0}{100} = (98.0 \times 0.900) \text{ g} \quad \text{①}$$

$$v = 48.91 \text{ cm}^3$$

$1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ mL}$ なので、48.91 mL となる。

別解 必要な 98.0% 濃硫酸の質量を $w[\text{g}]$ とすると、濃硫酸 $w[\text{g}]$ に含まれる H_2SO_4 の物質量と、3.00 mol/L の希硫酸 300 mL に含まれる H_2SO_4 の物質量が等しいので、次式が成り立つ。

$$\frac{w[\text{g}] \times \frac{98.0}{100}}{98.0 \text{ g/mol}} = 3.00 \text{ mol/L} \times 0.300 \text{ L} \quad w = 90.0 \text{ g}$$

濃硫酸は密度が 1.84 g/cm^3 なので、その 90.0 g は、

$$\text{体積} = \frac{\text{質量}}{\text{密度}} = \frac{90.0 \text{ g}}{1.84 \text{ g/cm}^3} = 48.91 \text{ cm}^3 = 48.91 \text{ mL}$$

<加える水の質量> この濃硫酸の質量は、 $1.84 \text{ g/cm}^3 \times 48.91 \text{ cm}^3$ であり、①式から 90.0 g とわかる^①。また、3.00 mol/L 希硫酸の密度が 1.18 g/cm^3 なので、その 300 mL (=300 cm^3) の質量は $1.18 \text{ g/cm}^3 \times 300 \text{ cm}^3 = 354 \text{ g}$ となる。したがって、加える水の質量は、次のように求められる^②。

$$\text{水の質量} = \text{希硫酸の質量} - \text{濃硫酸の質量} = 354 \text{ g} - 90.0 \text{ g} = 264 \text{ g}$$

95. 溶液の濃度

解答 0.43 mg

解説 ラットの体重 200 g のうち、8.0% が血液なので、血液の質量は、

$$200 \text{ g} \times \frac{8.0}{100} = 16 \text{ g}$$

血液の密度が 1.0 g/mL なので、血液の体積は次のように求められる。

$$\text{体積} = \frac{\text{質量}}{\text{密度}} = \frac{16 \text{ g}}{1.0 \text{ g/mL}} = 16 \text{ mL}$$

投与する薬剤(モル質量 270 g/mol)の質量を $x[\text{g}]$ とすると、血液中の薬



水を加えて希釈しても、溶質である硫酸の質量は変化しない。

① ①式を変形すると、次のようになる。

$$\begin{aligned} 1.84 \text{ g/cm}^3 \times v[\text{cm}^3] \\ &= \frac{(98.0 \times 0.900) \text{ g} \times 100}{98.0} \\ &= 90.0 \text{ g} \end{aligned}$$

② 液体の混合では、質量の和は成り立つが、体積の和は成り立たないことに注意する。

剤濃度が $1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ なので、次式が成り立つ。

$$\frac{\frac{x[\text{g}]}{270 \text{ g/mol}}}{\frac{16}{1000} \text{ L}} = 1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L} \quad x = 4.32 \times 10^{-4} \text{ g}$$

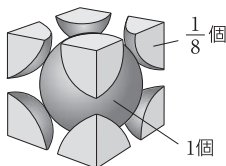
したがって、 0.432 mg となる。

96. 金属結晶と原子量・密度

解答 (1) 23 (2) 9.1 g/cm^3

解説 (1) 体心立方格子は、図のような構造をしている。単位格子に含まれる原子の数は、次のようになる。

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



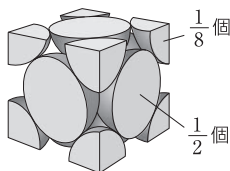
単位格子の質量は、結晶の密度 $\times$ 体積で求められる。単位格子中に 2 個の原子があるので、原子 1 個の質量は、単位格子の質量 $\div 2$ となる。原子 1 個の質量にアボガドロ定数をかけると、モル質量が求められるので、

$$\begin{aligned} \text{モル質量} &= \frac{\text{結晶の密度} \times \text{体積}}{2} \times \text{アボガドロ定数} \\ &= \frac{0.97 \text{ g/cm}^3 \times (4.3 \times 10^{-8})^3 \text{ cm}^3}{2} \times 6.0 \times 10^{23} / \text{mol} = 23.1 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

したがって、原子量は 23 となる^❶。

(2) 面心立方格子は、図のような構造である。単位格子に含まれる原子の数は、

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



単位格子に 4 個の原子が含まれるので、単位格子の質量は、原子量(モル質量)とアボガドロ定数から、(原子量 $\div$ アボガドロ定数) $\times 4$ と求められる。結晶の密度を $d[\text{g/cm}^3]$ とすると、結晶の密度は、単位格子の質量 $\div$ 単位格子の体積で求められるので、

$$d = \frac{\frac{64 \text{ g/mol}}{6.0 \times 10^{23} / \text{mol}} \times 4}{(3.6 \times 10^{-8})^3 \text{ cm}^3} = 9.14 \text{ g/cm}^3$$

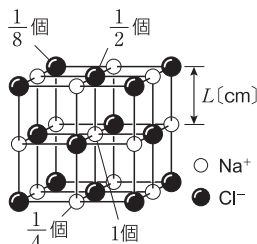
97. イオン結晶と式量

解答 (1) Na^+ : 4 個, Cl^- : 4 個 (2) $M = 2dL^3N_A$

解説 (1) 単位格子内の塩化物イオン Cl^- は、立方体の各頂点に $1/8$ 個、各面の中心に $1/2$ 個が含まれる。また、ナトリウムイオン Na^+ は、各辺の中心に $1/4$ 個、単位格子の中心に 1 個が含まれる。したがって、各イオンの数は、次のようになる。

$$\text{Na}^+ : \frac{1}{4} \text{ 個} \times 12 + 1 \text{ 個} = 4 \text{ 個}$$

$$\text{Cl}^- : \frac{1}{8} \text{ 個} \times 8 + \frac{1}{2} \text{ 個} \times 6 = 4 \text{ 個}$$



❶ 原子量の値から、この金属はナトリウム Na と考えられる。

ナトリウムの結晶は体心立方格子の結晶で、密度は水よりも小さい。

(2) 塩化ナトリウム NaCl 単位 1 個の質量 [g] にアボガドロ定数 N_A [/mol] をかけると、モル質量が得られる。

単位格子の一边は $2L$ [cm] であり、その体積は $(2L)^3$ [cm³] である^①。単位格子の質量は、結晶の密度 d [g/cm³] に単位格子の体積をかけて求められ、 d [g/cm³] $\times$ $(2L)^3$ [cm³] となる。(1) から、単位格子には NaCl 単位が 4 個含まれることがわかるので、単位格子の質量を 4 で割れば、NaCl 単位 1 個の質量が求められる。以上のことから、次式が成り立つ。

$$M [\text{g/mol}] = \frac{d [\text{g/cm}^3] \times 8L^3 [\text{cm}^3]}{4} \times N_A [\text{1/mol}] = 2dL^3 N_A [\text{g/mol}]$$

98. イオン結晶と密度

解答 (1) Cs⁺ : 1 個 Cl⁻ : 1 個 (2) 4.1 g/cm³

解説 (1) セシウムイオン Cs⁺ は中心に 1 個あるので、単位格子に 1 個含まれる。塩化物イオン Cl⁻ は 8 つの頂点に 1/8 個ずつあるので、単位格子に含まれる Cl⁻ の数は、

$$\frac{1}{8} \text{ 個} \times 8 = 1 \text{ 個}$$

(2) (1) から、単位格子に CsCl 単位は 1 個含まれるので、単位格子の質量は CsCl 単位 1 個分の質量に等しく、(モル質量 $\div$ アボガドロ定数) $\times 1$ で求められる。塩化セシウム CsCl の式量は $133 + 35.5 = 168.5$ なので、モル質量は 168.5 g/mol である。したがって、結晶の密度は、

$$\text{密度} = \frac{\text{単位格子の質量} [\text{g}]}{\text{単位格子の体積} [\text{cm}^3]} = \frac{\frac{168.5 \text{ g/mol}}{6.0 \times 10^{23} / \text{mol}} \times 1}{(4.1 \times 10^{-8})^3 \text{ cm}^3} = 4.07 \text{ g/cm}^3$$

99. フラーレンの結晶格子

解答 (1) 面心立方格子 (2) 240 個 (3) 1.7 g/cm³

解説 (1) 立方体の各頂点および各面の中心にフラーレン分子 C₆₀^① が位置していることから、図のような面心立方格子型となっている(図はフラーレン分子を 1 つの球体で表している)。

(2) フラーレン分子を 1 つの粒子と考えると、単位格子に含まれるフラーレン分子の数は、

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

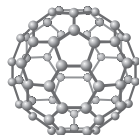
フラーレン分子 1 個に炭素原子は 60 個含まれるので、炭素原子の数は、
60 個 $\times$ 4 = 240 個

(3) フラーレンの単位格子の密度(結晶の密度)は、単位格子の質量 [g] $\div$ 単位格子の体積 [cm³] で求められる。ここで、単位格子中に炭素原子が 240 個あるので、単位格子の質量は炭素原子 240 個分の質量に等しい。炭素原子 240 個の質量は(炭素原子のモル質量 $\div$ アボガドロ定数) $\times$ 240 で求められる。また、1 nm = 10^{-9} m = 10^{-7} cm から、単位格子の体積は $(1.41 \times 10^{-7})^3$ cm³^② となり、次式が成立する。

$$\text{密度} = \frac{\text{炭素原子 240 個の質量}}{\text{単位格子の体積}} = \frac{\frac{12 \text{ g/mol}}{6.0 \times 10^{23} / \text{mol}} \times 240}{(1.41 \times 10^{-7})^3 \text{ cm}^3} = 1.71 \text{ g/cm}^3$$

① 立方体の体積は立方体の一边の長さを a とすると、 a^3 と求められる。

① フラーレン分子 C₆₀ はサッカーボールと同様に、正五角形を正六角形が取り囲む形状をしている。



② $\sqrt{2} = 1.4142 \dots$ なので、 $1.41^2 \approx 2.0$ を用いると、計算が少し簡略化される。

100. ケイ素の結晶格子



2019年5月、物質量の定義が「 $6.02214076 \times 10^{23}$ 個の粒子を含む集団を 1 mol とする」と改定された。

解答 (1) 8 個 (2) $r = \frac{\sqrt{3}}{8}a$ (3) $\frac{8M}{a^3 N_A}$

解説 (1) 単位格子中の原子の数は、立方体の各頂点の原子が $1/8$ 個、各面の中心の原子が $1/2$ 個に相当し、中心にケイ素原子 1 個を含む小さい立方体が 4 個あるので、次のように求められる。

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

(2) 中心にケイ素原子 1 個を含む小さい立方体で考える。単位格子の一边の長さを a とすると、小さい立方体の一边は $a/2$ となる。この小さい立方体において、原子半径 r を、 $\triangle ABC$ の各辺の長さから求めると、次のようになる。

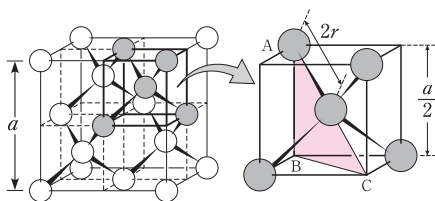
$$AB = \frac{a}{2} \quad BC = \frac{\sqrt{2}}{2}a \quad AC = 4r$$

三平方の定理から、

$$(4r)^2 = \left(\frac{a}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{2}}{2}a\right)^2 \quad r = \frac{\sqrt{3}}{8}a$$

(3) モル質量 $M[\text{g/mol}]$ をアボガドロ定数 $N_A[\text{mol}]$ で割ると、ケイ素原子 1 個の質量 $[\text{g}]$ が求められ、 $\frac{M}{N_A}[\text{g}]$ となる。ここで、(1) から、単位格子に 8 個のケイ素原子が含まれるので、単位格子の質量は、 $\frac{M}{N_A}[\text{g}] \times 8$ と求められる。単位格子の体積は $a^3[\text{cm}^3]$ と表されるので、結晶の密度を $d[\text{g/cm}^3]$ とすると、次式が成り立つ。

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



① $\frac{AC}{2} = 2r$ なので、

$AC = 4r$ と求められる。

Check ダイヤモンド、金属原子のモル質量 $M[\text{g/mol}]$ の求め方

$$M = \frac{a^3 \times d}{n} \times N_A$$

a : 単位格子の一边の長さ $[\text{cm}]$

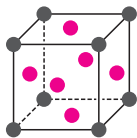
d : 結晶の密度 $[\text{g/cm}^3]$

n : 単位格子に含まれる原子の数

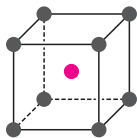
N_A : アボガドロ定数 $[\text{mol}]$

101. 金属結晶の単位格子

解答 (1)



アルミニウム



ナトリウム

- (2) (a) ×
(b) ×
(c) ○
(d) ○

解説 (1) 面心立方格子は立方体の8つの各頂点と、6つの各面の中心に原子が位置している。体心立方格子は立方体の8つの各頂点と、立方体の中心に原子が位置している。

(2) (a) (誤) 面心立方格子の単位格子中の原子数は、

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

一方、体心立方格子の単位格子中の原子数は、

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

したがって、面心立方格子であるアルミニウムの結晶の方が多い。

(b) (誤) 面心立方格子の配位数は12、体心立方格子の配位数は8である。したがって、アルミニウムの結晶の方が配位数は大きい。

(c) (正) 面心立方格子は最密充填構造であるが、体心立方格子は最密充填ではない。したがって、充填率^①は面心立方格子の方が大きい。

補足 面心立方格子では、各頂点に位置する原子と面の中心に位置する原子が、図のように接している。したがって、原子半径を r 、単位格子の一辺の長さを a とおくと、対角線の長さは $4r$ となり、一辺の長さ a と r の関係は、三平方の定理から、

$$a^2 + a^2 = (4r)^2 \quad r = \frac{\sqrt{2}}{4} a$$

面心立方格子には4個の原子が含まれるので、充填率は、次のように求められる。

$$\begin{aligned} \text{充填率} &= \frac{\text{原子4個の体積}^{\text{②}}}{\text{単位格子の体積}} \times 100 = \frac{(4/3)\pi r^3 \times 4}{a^3} \times 100 \\ &= \frac{(4/3) \times \pi \times (\sqrt{2} a/4)^3 \times 4}{a^3} \times 100 = 73.8^{\text{③}} \end{aligned}$$

したがって、充填率は73.8%である。

体心立方格子では、各頂点に位置する原子と格子の中心に位置する原子が、図のように断面で接している。したがって、原子半径を r 、単位格子の一辺の長さを a とおくと、対角線の長さは $4r$ となり、一辺の長さ a と r の関係は、三平方の定理から、

$$a^2 + (\sqrt{2} a)^2 = (4r)^2 \quad r = \frac{\sqrt{3}}{4} a$$

体心立方格子には原子が2個含まれるので、充填率は次のように求められる。

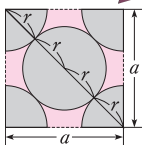
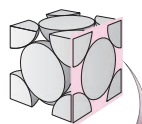
$$\begin{aligned} \text{充填率} &= \frac{\text{原子2個の体積}}{\text{単位格子の体積}} \times 100 = \frac{(4/3)\pi r^3 \times 2}{a^3} \times 100 \\ &= \frac{(4/3) \times \pi \times (\sqrt{3} a/4)^3 \times 2}{a^3} \times 100 = 67.9 \end{aligned}$$

したがって、充填率は67.9%である。

(d) (正) (c)から、アルミニウムの原子半径は、

$$r = \frac{\sqrt{2}}{4} a \text{なので、} a = 0.405 \text{nmを代入して、}$$

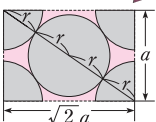
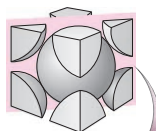
$$r = \frac{1.41}{4} \times 0.405 \text{nm} = 0.143 \text{nm}$$



① 単位格子において、粒子が単位格子の空間を占める体積の割合を**充填率**という。

② 原子1個の体積は球の体積の公式 $\frac{4}{3}\pi r^3$ から求められる。

③ 面心立方格子と六方最密構造はどちらも**最密充填構造**であり、充填率は同じ数値となる。



ナトリウムの原子半径は、 $r = \frac{\sqrt{3}}{4}a$ なので、 $a = 0.428 \text{ nm}$ を代入して、

$$r = \frac{1.73}{4} \times 0.428 \text{ nm} = 0.185 \text{ nm}$$

したがって、アルミニウムの原子半径の方が短い^④。

102. 六方最密構造

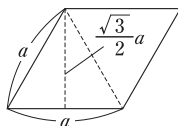
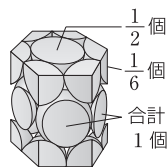
解答 (ア) 2 (イ) 23

解説 (ア) 六角柱に含まれる原子の数は、

$$\frac{1}{6} \text{ 個} \times 12 + \frac{1}{2} \text{ 個} \times 2 + 1 \times 3 = 6 \text{ 個}$$

単位格子は六角柱の $1/3$ なので、単位格子に含まれる原子の数は 2 個となる。

(イ) 六方最密構造の単位格子の底辺のひし形は、図のように 2 つの正三角形を向かい合わせた形状である。したがって、高さ $c [\text{cm}]$ の四角柱の体積は、底面積^① × 高さから、次のように求められる。



$$\text{体積} = a [\text{cm}] \times \frac{\sqrt{3}}{2} a [\text{cm}] \times c [\text{cm}] = \frac{\sqrt{3}}{2} a^2 c [\text{cm}^3]$$

ここで、 $a = 3.2 \times 10^{-8} \text{ cm}$ 、 $c = 5.2 \times 10^{-8} \text{ cm}$ なので、

$$\begin{aligned} \text{体積} &= \frac{\sqrt{3}}{2} a^2 c [\text{cm}^3] = \frac{\sqrt{3}}{2} \times (3.2 \times 10^{-8} \text{ cm})^2 \times (5.2 \times 10^{-8} \text{ cm}) \\ &= \frac{\sqrt{3}}{2} \times 3.2^2 \times 5.2 \times 10^{-24} \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

単位格子には 2 個の原子が含まれ、密度 d が 1.7 g/cm^3 なので、求める金属のモル質量を $M [\text{g/mol}]$ とすると、次式が成り立つ。

$$d = \frac{\text{単位格子の質量} [\text{g}]}{\text{単位格子の体積} [\text{cm}^3]} = \frac{\frac{M [\text{g/mol}]}{6.0 \times 10^{23} / \text{mol}} \times 2}{\frac{\sqrt{3}}{2} \times 3.2^2 \times 5.2 \times 10^{-24} \text{ cm}^3} = 1.7 \text{ g/cm}^3$$

$$M = 23.0 \text{ g/mol}$$

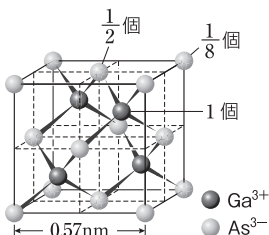
103. 閃亜鉛型格子

解答 (1) Ga^{3+} : 4 個 As^{3-} : 4 個 (2) 4 個 (3) 0.200 nm

(4) 74

解説 (1) ガリウムイオン Ga^{3+} は、単位格子の $1/8$ に相当する 8 つの小さい立方体のうちの 4 つの中央に存在するので、単位格子に 4 個含まれる。
ヒ化物イオン As^{3-} は、単位格子の各頂点に $1/8$ 個、各面の中心に $1/2$ 個含まれるので、単位格子中に含まれる数は、

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



④ Na と Al はいずれも第 3 周期の元素で、最外電子殻は同じ M 殻である。Al の方が陽子の数が多く、電子がより強く原子核に引かれるため、原子半径は Al の方が小さくなる。

① ひし形の面積は、底辺 × 高さで求められる。

② 原子のモル質量をアボガドロ定数で割ると、原子 1 個の質量が求められる。

(2) 単位格子を2つ並べると、●で示した As^{3-} に Ga^{3+} が4個接していることがわかる。

(3) 図に示した小さい立方体に着目する。単位格子の一边の長さを $a[\text{nm}]$ とすると、この立方体の一边の長さ AB は $a/2[\text{nm}]$ になる。したがって、 BC および AC は、次のようになる。

$$BC = \frac{\sqrt{2}}{2} a[\text{nm}]$$

$$AC = \frac{\sqrt{3}}{2} a[\text{nm}]$$

一方、 Ga^{3+} の半径を $r_+[\text{nm}]$ 、 As^{3-} の半径を $r_-[\text{nm}]$ とすると、 AC の長さは $2(r_+ + r_-)$ なので、次式が成り立つ。

$$2(r_+ + r_-) = \frac{\sqrt{3}}{2} a$$

$a = 0.57 \text{ nm}$ 、 $r_+ = 0.047 \text{ nm}$ を代入すると、次のようになる。

$$2(0.047 \text{ nm} + r_-) = \frac{\sqrt{3}}{2} \times 0.57 \text{ nm} \quad r_- = 0.1995 \text{ nm}$$

(4) ヒ素 As のモル質量を $M[\text{g/mol}]$ とすると、ガリウム Ga のモル質量は 70 g/mol なので、ヒ化ガリウム GaAs のモル質量は $M + 70 \text{ g/mol}$ となる。単位格子の一边の長さは $0.57 \text{ nm} = 0.57 \times 10^{-7} \text{ cm}$ で、単位格子に各イオンが4個含まれるので、結晶の密度について次式が成り立つ。

$$\text{密度} = \frac{\text{単位格子の質量}[\text{g}]}{\text{単位格子の体積}[\text{cm}^3]} = \frac{\frac{M + 70 \text{ g/mol}}{6.0 \times 10^{23} / \text{mol}} \times 4}{(0.57 \times 10^{-7} \text{ cm})^3} = 5.2 \text{ g/cm}^3$$

$$M = 74.3 \text{ g/mol}$$

したがって、ヒ素の原子量は74となる。

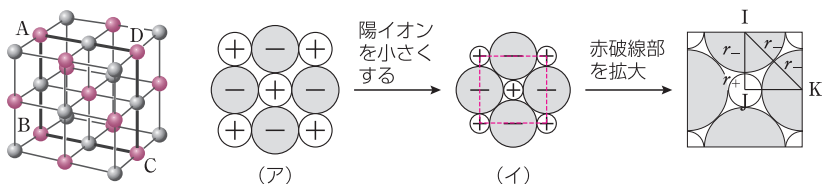
104. 限界半径比

解答 (X) 0.41 (Y) 0.73

解説 陽イオンと陰イオンの半径比によって、イオン結晶がどの結晶構造をとるかを推測できる。

(X) 塩化ナトリウム型の限界半径比

塩化ナトリウム NaCl の結晶では、(ア)のように Na^+ と Cl^- が接し、 Cl^- どうしは離れている。ここで、仮に陽イオンが小さくなり、ちょうど陰イオンどうしが接した場合(イ)を考える。



(イ)では、陰イオンどうしが接しているので、 $IK = 2r_-$ となる。また、 $IJ = JK = r_+ + r_-$ である。三平方の定理から、 $IK = \sqrt{2} IJ$ なので、次式

が成り立つ。

$$2r_- = \sqrt{2}(r_+ + r_-)$$

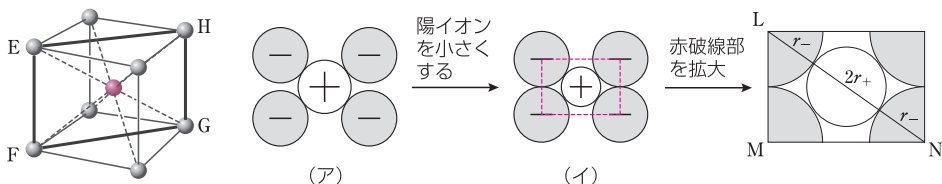
したがって、半径比について、次式が成り立つ。

$$\frac{r_+}{r_-} = \sqrt{2} - 1 = 1.41 - 1 = 0.41$$

NaCl 型では、陽イオンがさらに小さくなって $\frac{r_+}{r_-}$ が 0.41 よりも小さくなると、安定な構造を保てなくなる。

(Y) 塩化セシウム型の限界半径比

塩化セシウム CsCl の結晶では、(ア)のように Cs^+ と Cl^- が接し、 Cl^- どうしは離れている。ここで、仮に陽イオンを小さくしていき、ちょうど陰イオンどうしが接した場合(イ)を考える。



(イ)では、陰イオンどうしが接しているの、 $LM = 2r_-$ となる。また、 $LN = 2(r_+ + r_-)$ である。三平方の定理から、 $LN = \sqrt{2} LM$ なので、次式が成り立つ。

$$2(r_+ + r_-) = \sqrt{2} \times 2r_-$$

したがって、半径比について、次式が成り立つ。

$$\frac{r_+}{r_-} = \sqrt{2} - 1 = 1.73 - 1 = 0.73$$

CsCl 型では、陽イオンがさらに小さくなってイオンの半径比が

$\frac{r_+}{r_-} = 0.73$ よりも小さくなると、安定な構造を保てなくなる。

以上のことから、この考え方によると、 $\frac{r_+}{r_-}$ が 0.73 以上では CsCl 型、0.41 と 0.73 の間では NaCl 型、0.41 以下では ZnS 型の構造をとると推測できる。

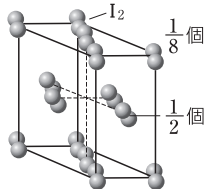
105. 分子結晶と密度

解答 (ア) 8 (イ) $\frac{13A}{xyz}$

解説 (1) ヨウ素 I_2 は、図のような直方体の単位格子をもつ分子結晶である。この単位格子中には、直方体の 8 つの頂点に分子の $\frac{1}{8}$ 個、6 つの面に分子の $\frac{1}{2}$ 個ずつが含まれる^❶ので、単位格子内のヨウ素分子 I_2 の数は、次のように求められる。

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

したがって、ヨウ素原子 I の数は、4 個 $\times 2 = 8$ 個となる。



❶ 分子結晶であっても、考え方は金属の結晶格子と同じである。

(2) 単位格子の体積は、底面積×高さ^②から、

$$x \times 10^{-8} \text{ cm} \times y \times 10^{-8} \text{ cm} \times z \times 10^{-8} \text{ cm} = xyz \times 10^{-24} \text{ cm}^3$$

単位格子中には、4個のヨウ素分子 I_2 (モル質量 $2A \text{ g/mol}$) が含まれるので、単位格子の質量は、次式で求められる。

$$\begin{aligned} \text{単位格子の質量 [g]} &= \frac{\text{ヨウ素分子のモル質量 [g/mol]}^{\text{③}}}{\text{アボガドロ定数 [1/mol]}} \times 4 \\ &= \frac{2A \text{ g/mol}}{6.0 \times 10^{23} / \text{mol}} \times 4 = \frac{4A}{3.0} \times 10^{-23} \text{ g} \end{aligned}$$

したがって、ヨウ素の結晶の密度は、

$$\text{密度} = \frac{\text{単位格子の質量 [g]}}{\text{単位格子の体積 [cm}^3]} = \frac{\frac{4}{3.0} A \times 10^{-23} \text{ g}}{xyz \times 10^{-24} \text{ cm}^3} = \frac{13A}{xyz} \text{ g/cm}^3$$

106. 共有結合の結晶

解答 (1) 8個 (2) $7.7 \times 10^{-9} \text{ cm}$ (3) $\frac{a^3 d N_A}{8}$

解説 ダイヤモンドは共有結合の結晶の代表的なものであり、すべての炭素原子が共有結合によって正四面体状に連なっている^①。ケイ素 Si や炭化ケイ素 SiC など同じような配列をもち、このような結晶構造はダイヤモンド型格子ともよばれる。

(1) 単位格子内に炭素原子が4個含まれ^②、立方体の各頂点には1/8個、各面の中心には1/2個含まれるので、原子の総数は次のようになる。

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

(2) 図に示した小さい立方体に注目すると、この立方体の一辺の長さ AB は $a/2 [\text{cm}]$ になる。また、 $BC^2 = (a/2)^2 + (a/2)^2$ から、 $BC = \sqrt{2} a/2 [\text{cm}]$ である。

一方、炭素原子の原子半径を $r [\text{cm}]$ とすると、小立方体の対角線 AC の長さは $4r [\text{cm}]$ なので、 $\triangle ABC$ について次式が成り立つ。

$$(4r)^2 = \left(\frac{a}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{2}a}{2}\right)^2 \quad r = \frac{\sqrt{3}}{8} a [\text{cm}]$$

$a = 3.6 \times 10^{-8} \text{ cm}$ を代入すると、

$$r = \frac{\sqrt{3}}{8} a = \frac{1.7}{8} \times 3.6 \times 10^{-8} \text{ cm} = 7.65 \times 10^{-9} \text{ cm}$$

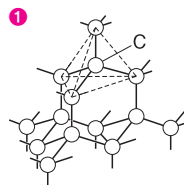
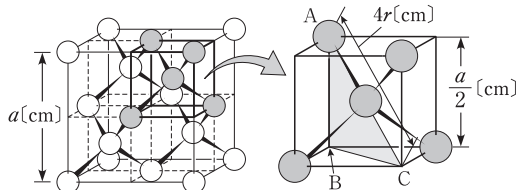
(3) 炭素の原子量を M とすると、モル質量は $M [\text{g/mol}]$ であり、単位格子に原子が8個含まれるので、密度 $d [\text{g/cm}^3]$ に関して次式が成り立つ。

$$d = \frac{\text{単位格子の質量 [g]}}{\text{単位格子の体積 [cm}^3]} = \frac{\frac{M [\text{g/mol}]}{N_A [\text{1/mol}]} \times 8}{a^3 [\text{cm}^3]} \quad M = \frac{a^3 d N_A}{8} [\text{g/mol}]$$

^② 密度の単位が g/cm^3 なので、一辺の長さを cm 単位で表す。

^③ 分子1個の質量は次式で求められる。

$$\frac{\text{モル質量 [g/mol]}}{\text{アボガドロ定数 [1/mol]}}$$



^② 1/8 に相当する小さい立方体のうちの4個には中心に炭素原子が存在するが、残りの4個の小立方体の中心には炭素原子が存在しない。