

クラス		受験番号		解答用紙番号・コード ※解答用紙冊子記載の番号とコードを転記してください。			
出席番号		氏名					

2021年度 第1回 全統記述模試

学習の手引き【解答・解説集】

数 学 ・ 理 科

模擬試験の問題および解答解説は著作物であり，著作権法およびその他の法律で保護されています。法律上で認められている範囲を超えて，無断でコピーしたり，WEB上に掲載したりするなどの行為ならびに，その他厳正な試験の運営を妨げる行為を固く禁止します。

● 数 学	1
● 理 科	
物理基礎	42
化学基礎	53
生物基礎	59
地学基礎	65
物 理	75
化 学	92
生 物	107
地 学	123

※ 英語冊子巻末に「自己採点シート」を掲載していますので，復習のためにご活用ください。

📖 **模試ナビ** 河合塾 全統模試 学習ナビゲータ を使って，効率的に模試の復習を行うことができます。詳しくは裏表紙をご覧ください。

河合塾

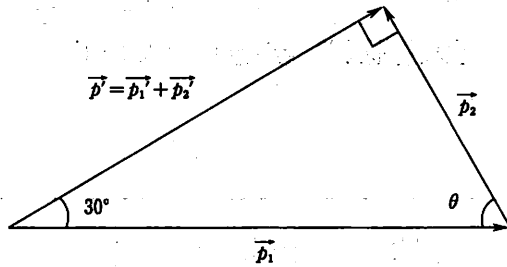


2161210119501040

これを図で表すと次図のようになる。ここで、 $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$ とすると、 $|\vec{p}_1| = mv$ 、 $|\vec{p}_2| = 3m \cdot \frac{\sqrt{3}}{6}v = \frac{\sqrt{3}}{2}mv$ であるので、辺の長さの比から、この三角形は直角三角形であり、 $\theta = 60^\circ$ とわかる。また、 $|\vec{p}_2| = \frac{1}{2}|\vec{p}_1| = \frac{1}{2}mv$ であり、 $|\vec{p}_2| = 2mv_R$ より、

$$2mv_R = \frac{1}{2}mv$$

$$\therefore v_R = \frac{1}{4}v$$



(別解終わり)

(3) **知識・技能**

失われた力学的エネルギーを ΔE とすると、

$$\Delta E = \left\{ \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2} \cdot 2mv_R^2 \right\} - \frac{1}{2} \cdot 3m \left(\frac{\sqrt{3}}{6}v \right)^2$$

$v_R = \frac{1}{4}v$ を代入して、

$$\Delta E = \underline{\underline{\frac{7}{16}mv^2}}$$

化学

<化学における学力要素>

知識 技能	化学の原理・法則に関する理解、物質の性質・反応に関する知識、化学式と反応式の作成および実験操作の技術
思考力 判断力	化学の知識・技能に基づいて、情報を抽出・分析・統合したり、問題解決のプロセスを設定して結論を導く力
表現力	知識や思考の過程および結論を、文章や数式、グラフなどで論理的・客観的に表現する力

設問で主に問われている学力要素(知識・技能) (思考力・判断力) (表現力)を設問ごとに記載しています。

1 化学結合、結晶格子

▶ 解答 ◀

問1	あ	静電気(クーロン)	い	自由	問2	H:Ö:H				
問3	金属結晶	(オ)	イオン結晶	(イ)	問4	(1)	(イ)	(2)	(ウ)	
問5	(1)	Na ⁺	8個	O ²⁻	4個	(2)	4	(3)	8	
	(4)	$a = \frac{4\sqrt{3}}{3}(R+r)$ [cm]		(5)	2.3 g/cm ³					

▶ 配点 ◀ (29点)

問1 各2点×2 問2 2点 問3 各2点×2 問4 (1) 2点 (2) 2点

問5 (1) 各2点×2 (2) 2点 (3) 2点 (4) 3点 (5) 4点

出題のねらい

化学結合と物質の性質に関する知識を確認するとともに、イオン結晶に関する思考力を試す問題である。

▶ 解説 ◀

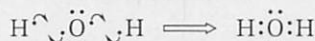
問1 知識・技能

あ イオン結合は陽イオンと陰イオンが静電気力(クーロン力)で引き合っできる結合である。

い 金属結晶中では、各原子の価電子が特定の原子間で共有されることなく、結晶全体を動き回ることができる。このような電子を自由電子という。

問2 知識・技能

O原子には2個の対電子があり、H原子には1個の対電子がある。H₂O分子では、O原子とH原子がそれぞれの対電子を出し合っ電子対をつくり共有結合を形成している。



整理

化学結合

共有結合…対になっ電子を共有してできる結合。

イオン結合…陽イオンと陰イオンが静電気力(クーロン力)で引き合っできる結合。

金属結合…価電子(自由電子)を全原子で共有することによってできる結合。

分子間力…分子どうしの間にはたらく弱い力。非常に弱いファンデルワールス力のほかに、やや強い水素結合がはたらく場合がある。

問3 知識・技能

金属結晶は、自由電子が結晶中を自由に移動できるため、電気伝導性や熱伝導性を示す。また、展性(薄く広げられる性質)や延性(引き延ばされる性質)が大きい。よって、(オ)が正解である。

イオン結晶は、陽イオンと陰イオンが自由に動くことができないため、電気伝導性を示さない。しかし、融解して液体になったり、水に溶けて水溶液になったりすると、陽イオンと陰イオンが自由に動けるようになるので、電気伝導性を示す。よって、(イ)が正解である。なお、(ア)はダイヤモンドのような共有結合の結晶の性質であり、(ウ)はドライアイスのような分子結晶の性質である。(ニ)は黒鉛の性質である。

問4 思考力・判断力

分子からなる物質では、分子間にはたらく引力(分子間力)が強いほど沸点は高い。分子間力にはファンデルワールス力と水素結合があり、一般に、それらの強さには次のような傾向がある。

- ・構造が類似した分子の場合、分子量が大きい分子ほどファンデルワールス力が強い。
- ・分子量が同程度の分子の場合、極性分子間には静電的な引力が余分に加わるため、極性分子の間にはたらく力の方が、無極性分子の間にはたらく力より強い。
- ・電気陰性度が大きく、原子半径が小さい原子(F, O, N)とH原子が結合してできたHF, H₂O, NH₃では、分子間に水素結合が形成される。水素結合はファンデルワールス力より強い。

(1) H₂, F₂はともに2原子分子であり、どちらも無極性分子である。分子量はF₂(38)>H₂(2.0)だから、沸点がF₂>H₂となる主な理由は、(イ)「構造が類似した分子の場合、分子量が大きい分子ほどファンデルワールス力が強い。」である。

(2) F₂とHClの分子量はF₂(38), HCl(36.5)と同程度である。しかし、HClは極性分子であるのに対し、F₂は無極性分子である。したがって、沸点がHCl>F₂となる主な理由は、(ウ)「分子量が同程度の分子の場合、極性分子の間にはたらく力の方が、無極性分子の間にはたらく力より強い。」である。

問5 (1) 知識・技能

Na⁺は、単位格子を8等分した小立方体のすべての中心に1個ずつ含まれるので、その総数は、

$$1 \times 8 = 8 \text{ (個)}$$

単位格子中のNa⁺だけを図示すると、次のようになる。

整理

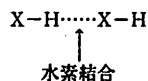
結晶の性質

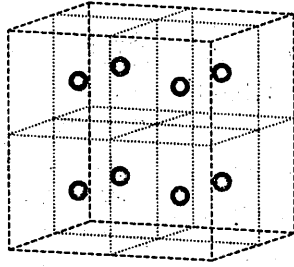
- ① 金属結晶
固体でも融解液でも電気を通す。展性や延性が大きい。
- ② イオン結晶
固体では電気を通さないが、融解液、水溶液は電気を通す。
- ③ 分子結晶
融点が低く、軟らかい。昇華しやすいものもある。
- ④ 共有結合の結晶
非常に硬く、融点が高い。

整理

水素結合

電気陰性度が大きく、原子半径が小さい原子X(F, O, N)と共有結合して正電荷を帯びたH原子が、そのH原子と直接結合していない負電荷を帯びた原子Xと引き合っできる結合。

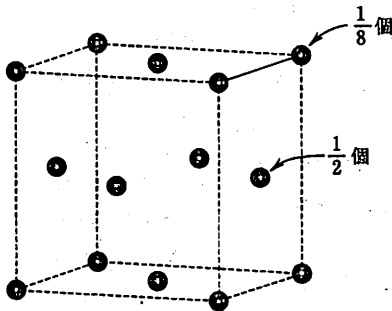




O^{2-} は、面心立方格子と同じ配列になっており、単位格子の各頂点に位置するものが $\frac{1}{8}$ 個ずつ、各面の中心に位置するものが $\frac{1}{2}$ 個ずつ単位格子に含まれる。よって、その総数は、

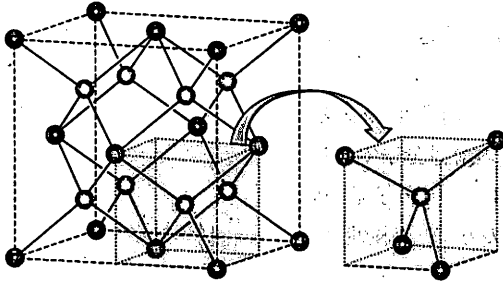
$$\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4 \text{ (個)}$$

単位格子中の O^{2-} だけを図示すると、次のようになる。



(2) **知識・技能**

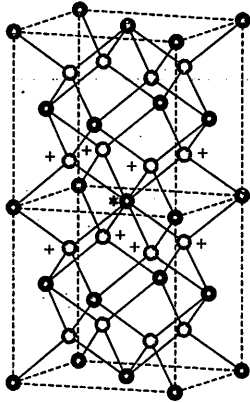
次の図は、単位格子の8分の1に相当する小立方体を切り出した構造を示している。



小立方体の中心にある Na^+ のまわりには4個の O^{2-} が正四面体形に配置している。したがって、 Na^+ を取り囲む O^{2-} の数(配位数)は4である。

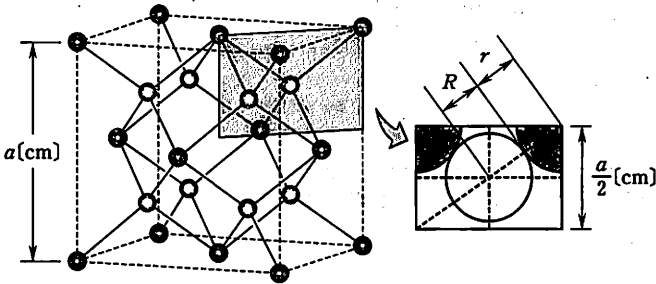
(3) **思考力・判断力**

2つの単位格子を次ページの図のように上下に並べ、*印を付けた O^{2-} に着目すると、その O^{2-} は + 印を付けた8個の Na^+ に囲まれていることがわかる。したがって、 O^{2-} を取り囲む Na^+ の数(配位数)は8である。



(4) **思考力・判断力**

次の図のように、単位格子の対角線を含む断面で考える。



最近接の陽イオンと陰イオンは互いに接しているので、そのイオン間距離 $(R+r)$ [cm] は、右上の断面図の対角線の長さの $\frac{1}{2}$ だから、

$$\frac{a}{2} [\text{cm}] \times \frac{1}{2} : (R+r) [\text{cm}] = 1 : \sqrt{3}$$

$$\text{よって、} a = \frac{4\sqrt{3}}{3} (R+r) [\text{cm}]$$

(5) **思考力・判断力**

Na_2O のモル質量は 62 g/mol だから、 Na^+ 2個と O^{2-} 1個の質量の合計は、

$$\frac{62 \text{ g/mol}}{6.0 \times 10^{23} / \text{mol}} = \frac{62}{6.0} \times 10^{-23} \text{ g}$$

また、(1)より、単位格子中には Na^+ が8個、 O^{2-} が4個含まれる。すなわち、 Na_2O の単位 (Na^+ 2個と O^{2-} 1個) が4組合まれるので、 Na_2O の結晶の密度は、

$$\begin{aligned} \frac{\frac{62}{6.0} \times 10^{-23} \text{ g} \times 4}{(5.65 \times 10^{-8} \text{ cm})^3} &= \frac{\frac{62}{6.0} \times 10^{-23} \text{ g} \times 4}{180 \times 10^{-24} \text{ cm}^3} \\ &= 2.29 \text{ g/cm}^3 \approx 2.3 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

整理

結晶の密度

$$\text{密度} = \frac{\text{単位格子中の粒子の質量の総和}}{\text{単位格子の体積}}$$

② 酸・塩基

▶ 解答 ◀

問1	(ア), (エ)				
問2	$C_2H_5OH + O_2 \longrightarrow CH_3COOH + H_2O$				
問3	(イ)	問4	(1)	(ア)	(2) (ア)
問5	$CH_3COOH + NaOH \longrightarrow CH_3COONa + H_2O$				
問6	無色 から 赤色				
問7	(1)	酢酸	$4.8 \times 10^{-1} \text{ mol/L}$	リンゴ酸	$1.2 \times 10^{-1} \text{ mol/L}$
	(2)	4.4 %			

▶ 配点 ◀ (24点)

問1 2点(順不同) 問2 3点 問3 2点 問4 (1) 2点 (2) 2点
 問5 2点 問6 2点 問7 (1) 各3点×2 (2) 3点

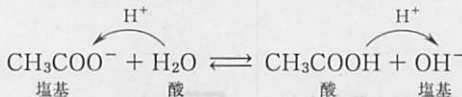
出題のねらい

酸と塩基の定義、中和滴定に関する知識を確認するとともに、リンゴ酢の定量を題材に、中和の量的関係についての思考力を試す問題である。

▶ 解説 ◀

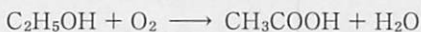
問1 知識・技能

次式の正反応では、 H_2O から CH_3COO^- に H^+ が移動しており、 H_2O は酸、 CH_3COO^- は塩基としてはたらいている。一方、逆反応では、 CH_3COOH から OH^- に H^+ が移動しており、 CH_3COOH は酸、 OH^- は塩基としてはたらいている。



問2 知識・技能

酢酸菌のはたらきによって、エタノール C_2H_5OH から酢酸 CH_3COOH が生じる変化は、次のように表される。



問3 知識・技能

一定体積の液体を正確にはかり取る際には、ホールピペットを用いる。

整理

酸・塩基の定義

アレニウスの定義

酸：水に溶けて水素イオン H^+ を生じる物質

塩基：水に溶けて水酸化物イオン OH^- を生じる物質

ブレンステッド・ローリーの定義

酸：水素イオン H^+ を与える物質

塩基：水素イオン H^+ を受け取る物質

整理

滴定実験で用いる実験器具

メスフラスコ

一定体積の溶液を正確に調製するとき用いる。内部が純水で濡れていてもそのまま使用してよい。



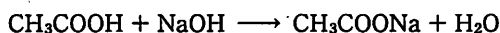
問4 思考力・判断力

(1) ビュレットの内壁が純水で濡れたままの状態ではNaOH水溶液をビュレットに入れたとき、NaOH水溶液の濃度が小さくなってしまふ。中和に必要なNaOHの物質量は変化しないため、終点までに必要なNaOH水溶液の滴下量は大きくなる。

(2) 誤った操作によってNaOH水溶液の濃度が小さくなっていることに気付かないまま酸の濃度を計算すると、終点までに必要なNaOH水溶液の滴下量が大きくなっているため、酸の濃度を大きく見積もることになる。

問5 知識・技能

CH₃COOHとNaOHは次式のように中和反応し、CH₃COONaとH₂Oが生じる。



問6 知識・技能

弱酸の水溶液を強塩基の水溶液で滴定する場合、その中和点の水溶液は塩の加水分解により弱塩基性になるため、滴定の終点を知るには、塩基性側に変色域をもつ指示薬を用いる。フェノールフタレインの変色域はpH 8.0～9.8であり、pHが8.0よりも小さいときは無色、pHが9.8よりも大きいときは赤色を呈する。よって、終点の前後で水溶液の色は無色から赤色に変化する。なお、実際の操作では、水溶液の色が淡赤色になったところを滴定の終点とする。

問7 思考力・判断力

(1) リンゴ酢中の酢酸のモル濃度を x (mol/L)、リンゴ酸のモル濃度を y (mol/L) とする。実験1では、リンゴ酢中の酢酸とリンゴ酸の両方をNaOHで中和滴定している。酢酸は1価の酸、リンゴ酸は2価の酸であり、NaOHは1価の塩基だから、中和の量的関係より、

$$1 \times x \text{ (mol/L)} \times \frac{2.00}{1000} \text{ L} + 2 \times y \text{ (mol/L)} \times \frac{2.00}{1000} \text{ L} \\ = 1 \times 0.100 \text{ mol/L} \times \frac{14.40}{1000} \text{ L} \quad \dots (i)$$

実験2では、リンゴ酢中の酢酸とリンゴ酸のうち一方が完全に蒸発し、他方はすべて固体として残っている。表の沸点、融点より、25℃において、酢酸は液体、リンゴ酸は固体だから、蒸発せずに固体として残ったのはリンゴ酸である。したがって、実験2ではリンゴ酸のみをNaOHで中和滴定していることになる。リンゴ酸は2価の酸であり、NaOHは1価の塩基だから、中和の量的関係より、

$$2 \times y \text{ (mol/L)} \times \frac{2.00}{1000} \text{ L} = 1 \times 0.100 \text{ mol/L} \times \frac{4.80}{1000} \text{ L} \quad \dots (ii)$$

(i)、(ii)式より、

$$x = 4.8 \times 10^{-1} \text{ mol/L}, \quad y = 1.2 \times 10^{-1} \text{ mol/L}$$

ホールビュレット

一定体積の液体を正確にはかり取る際に用いる。内部が純水で濡れているときは、使用する溶液で内部を2～3回すすいで(共洗いして)から使用する。

ビュレット

滴下した溶液の体積をはかる器具。内部が純水で濡れているときは、使用する溶液で内部を2～3回すすいで(共洗いして)から使用する。

コニカルピーカー

滴定の際に、^{撹拌}しても中に入れた溶液が外に出ないように、開口部を狭くしたピーカー。三角フラスコで代用してもよい。内部が純水で濡れていてもそのまま使用してよい。



整理

指示薬

フェノールフタレイン

変色域: (無色) pH 8.0 ~ pH 9.8 (赤色)

メチルオレンジ

変色域: (赤色) pH 3.1 ~ pH 4.4 (黄色)

整理

中和の量的関係

酸が放出する H⁺ の物質量 (mol)
 = 塩基が受け取る H⁺ の物質量 (mol)
 (塩基が放出する OH⁻ の物質量 (mol))
 n 価の酸の c (mol/L) 溶液 v (mL) と、
 n' 価の塩基の c' (mol/L) 溶液 v' (mL) が過不足なく中和反応するとき、

$$n \times c \times \frac{v}{1000} = n' \times c' \times \frac{v'}{1000}$$

(2) リンゴ酢 1 L (1000 cm³) 中に、酢酸 (分子量 60.0) 4.8 × 10⁻¹ mol とリンゴ酸 (分子量 134.0) 1.2 × 10⁻¹ mol が含まれているから、リンゴ酢中の酸成分 (酢酸とリンゴ酸) の質量パーセント濃度は、

$$\frac{60.0 \text{ g/mol} \times 4.8 \times 10^{-1} \text{ mol} + 134.0 \text{ g/mol} \times 1.2 \times 10^{-1} \text{ mol}}{1.02 \text{ g/cm}^3 \times 1000 \text{ cm}^3} \times 100 \%$$

$$= 4.4 \%$$

3 酸化還元

▶ 解答 ◀

問1	あ	2	い	4	問2	う	還元	え	酸化
問3	$\text{Sn}^{2+} \longrightarrow \text{Sn}^{4+} + 2\text{e}^-$								
問4	$\text{Cl}_2 + 2\text{KBr} \longrightarrow 2\text{KCl} + \text{Br}_2$								
問5	(1)	$+3 \longrightarrow +4$							
	(2)	$5\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + 2\text{MnO}_4^- + 6\text{H}^+ \longrightarrow 10\text{CO}_2 + 2\text{Mn}^{2+} + 8\text{H}_2\text{O}$							
	(3)	$1.1 \times 10^{-1}\text{L}$	(4)	12mL					

▶ 配点 ◀ (21点)

問1 各1点×2 問2 両方正解で 2点 問3 2点 問4 3点

問5 (1) 両方正解で 2点 (2) 3点 (3) 3点 (4) 4点

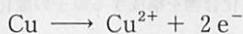
出題のねらい

酸化還元に関する知識を確認するとともに、量的関係に関する思考力を試す問題である。

▶ 解説 ◀

問1 知識・技能

CuとO₂が反応してCuOが生成するとき、CuはCu原子1個あたり電子e⁻を2個放出してCu²⁺になり、



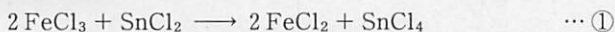
O₂はO原子1個あたりe⁻を2個、すなわち、O₂分子1個あたりe⁻を4個受け取って2O²⁻になる。



問2 知識・技能

Cuはe⁻を放出しているので還元剤としてはたらし、O₂はe⁻を受け取っているので酸化剤としてはたらいている。

問3 知識・技能

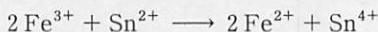


①式ではFe³⁺がe⁻を受け取ってFe²⁺になり(Fe³⁺ + e⁻ → Fe²⁺)、Sn²⁺がe⁻を放出してSn⁴⁺になる。すなわち、Fe³⁺が酸化剤、Sn²⁺が還元剤としてはたらいている。

したがって、**お**に適するイオン反応式は次のようになる。



なお、①式の変化をイオン反応式で表すと次のようになる。



整理

酸化還元の定義

	酸化される	還元される
酸素	化合する	失う
水素	失う	化合する
電子	失う	受け取る
酸化数	増加する	減少する

整理

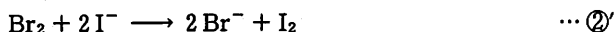
酸化剤・還元剤

	相手を	自分自身は
酸化剤	酸化する	還元される
還元剤	還元する	酸化される

問4 思考力・判断力

e^- を受け取るものが酸化剤だから、 e^- を受け取りやすいものほど酸化力が強い。

②式をイオン反応式で表すと、次の②'式になる。



②'式の反応では、 Br_2 が I^- から e^- を受け取って Br^- になり、 I^- が e^- を放出して I_2 になっているので、 Br_2 の酸化力は I_2 より強い($\text{Br}_2 > \text{I}_2$)ことがわかる。

よって、 Cl_2 、 Br_2 、 I_2 の酸化力の強さが $\text{Cl}_2 > \text{Br}_2 > \text{I}_2$ の順であることがわかるためには、 Cl_2 と Br_2 の酸化力の強さが $\text{Cl}_2 > \text{Br}_2$ の順であることがわかればよい。

そのためには、次の③'式の反応が右向きに進行することがわかればよい。



③'式を化学反応式に直すと、次の③式になる。



問5 (1) 知識・技能

$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 中のC原子の酸化数を x とすると、 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 中の原子の酸化数の総和は0だから、

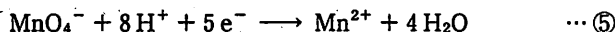
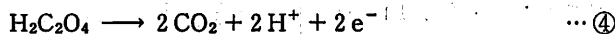
$$(+1) \times 2 + x \times 2 + (-2) \times 4 = 0 \quad \text{よって、} x = +3$$

CO_2 中のC原子の酸化数を y とすると、 CO_2 中の原子の酸化数の総和は0だから、

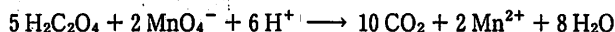
$$y + (-2) \times 2 = 0 \quad \text{よって、} y = +4$$

(2) 知識・技能

酸化剤と還元剤の e^- を含むイオン反応式(④式、⑤式)から e^- を消去すると、イオン反応式をつくることができる。



④式 $\times 5 +$ ⑤式 $\times 2$ より、



(3) 思考力・判断力

各水溶液中に含まれる $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ と KMnO_4 の物質量は、それぞれ、

$$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 : 0.10 \text{ mol/L} \times \frac{50}{1000} \text{ L} = 5.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

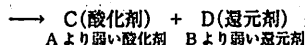
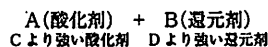
$$\text{KMnO}_4 : 0.020 \text{ mol/L} \times \frac{50}{1000} \text{ L} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

(2)より、 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ と KMnO_4 は物質質量比5:2で反応するが、各水溶液中の $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ と KMnO_4 の物質質量比は5.0:1.0だから、 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ が過剰であり、これらを混合すると、 $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$ の KMnO_4 はすべて反応してなくなり、 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ が残る。

整理

酸化剤、還元剤の強弱と反応の方向

酸化剤と還元剤の反応は、より強い酸化剤と還元剤が反応して、より弱い酸化剤と還元剤が生成する方向に進む。



整理

酸化数の決め方

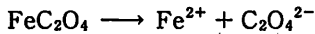
- ① 単体中の原子の酸化数は0
- ② 単原子イオンの酸化数は、イオンの電荷に等しい
- ③ 化合物中のH原子は+1、O原子は-2(ただし、 H_2O_2 のO原子は-1、NaH中のH原子は-1)
- ④ 化合物を構成する原子の酸化数の総和は0
- ⑤ 多原子イオンを構成する原子の酸化数の総和は、イオンの電荷に等しい

(2)より、 KMnO_4 が1 mol 反応すると、 CO_2 が $5\left(=\frac{10}{2}\right)$ mol 発生するので、発生する CO_2 の標準状態における体積は、

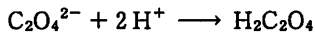
$$22.4 \text{ L/mol} \times 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \times 5 = 1.12 \times 10^{-1} \text{ L} \doteq 1.1 \times 10^{-1} \text{ L}$$

(4) **思考力・判断力**

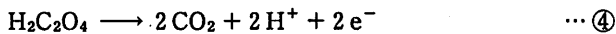
シュウ酸鉄(II)二水和物を希硫酸に溶かした水溶液中で FeC_2O_4 は次式のように電離している。



また、硫酸酸性の水溶液中では、 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ は次式のように $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ になっている。



$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ は、次の④式のように還元剤としてはたらくため、



$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ と MnO_4^- は物質比5:2で反応する。

また、 Fe^{2+} も、次の⑤式のように還元剤としてはたらくため、



Fe^{2+} と MnO_4^- は物質比5:1で反応する。

$\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 1 mol から $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 1 mol と Fe^{2+} 1 mol が生じるので、これらと過不足なく反応する KMnO_4 の物質量は、

$$\frac{2}{5} \text{ mol} + \frac{1}{5} \text{ mol} = \frac{3}{5} \text{ mol}$$

$\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (モル質量 180 g/mol) 0.180 g の物質量は、

$$\frac{0.180 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}} = 1.00 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

したがって、これと過不足なく反応する0.050 mol/L の KMnO_4 水溶液の体積を v (mL) とすると、

$$1.00 \times 10^{-3} \text{ mol} \times \frac{3}{5} = 0.050 \text{ mol/L} \times \frac{v}{1000} \text{ [L]}$$

$$v = 12 \text{ mL}$$

4 浸透圧, コロイド

▶ 解答 ◀

問1	(ウ)	問2	(ア)
問3	(1) 大きくなる	(2) 変わらない	(3) 小さくなる
問4	23 g	問5	(1) 2.5×10^4 Pa (2) 1.8 L
問6	(1) (イ) (2) (ウ) (3) 変わらない		

▶ 配点 ◀ (26点)

問1 2点 問2 2点 問3 各2点×3 問4 3点
 問5 (1) 3点 (2) 4点 問6 (1) 2点 (2) 2点 (3) 2点

出題のねらい

浸透圧およびコロイドに関する知識を確認するとともに、U字管や逆浸透装置を用いた実験における思考力を試す問題である。

▶ 解説 ◀

問1 知識・技能

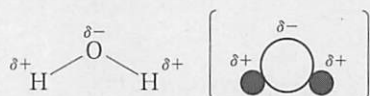
1886年、オランダのファントホッフは、「希薄溶液の浸透圧 Π は、溶質のモル濃度 C および絶対温度 T に比例する」ことを見出した。これをファントホッフの法則といい、気体定数 R を用いて次式で表される。

$$\Pi = CRT \quad \text{または} \quad \Pi V = nRT$$

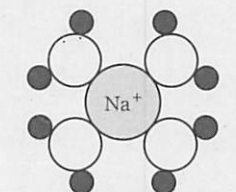
(V : 溶液の体積, n : 溶質の物質質量)

問2 思考力・判断力

H_2O 分子は次のような折れ線形であり、O-H間の共有電子対は電気陰性度の大きなO原子に引きつけられているため、O原子が負、H原子が正に帯電している。



Na^+ は正の電荷をもつため、負に帯電しているO原子が接近して安定な水和イオンを形成する。



Na^+ の水和イオン(模式図)

整理

ファントホッフの法則

非電解質の希薄溶液の浸透圧 Π (Pa) は、溶媒や溶質の種類には関係なく、溶液のモル濃度 C (mol/L) と絶対温度 T (K) に比例する。

$$\Pi = CRT$$

R : 気体定数 (Pa·L/(K·mol))

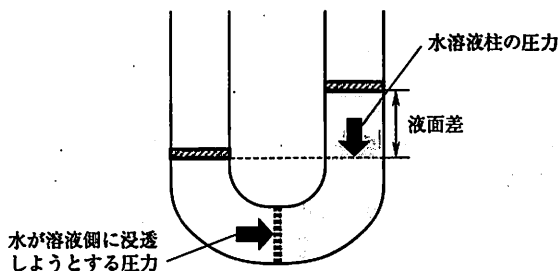
また、溶液の体積を V (L)、溶質の物質質量を n (mol) とすると、

$$\Pi V = nRT$$

問3 思考力・判断力

状態2では、半透膜を通して水が溶液側に浸透しようとする圧力(浸透圧)と水溶液柱の圧力が等しく、つり合っている。

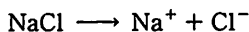
したがって、浸透圧が大きいほど、液面差が大きくなる。



(1) $\Pi = CRT$ より、溶液の浸透圧は絶対温度に比例する。したがって、温度を高くすると、浸透圧が大きくなるため、液面差は大きくなる。

(2) U字管の両側には外圧が等しくかかっているため、外圧を大きくしても液面差は変化しない。

(3) 溶質が電解質の場合、溶液の浸透圧は、電離によって生じたイオンを含むすべての溶質粒子のモル濃度に比例する。NaClは次のように完全に電離するので、



C [mol/L] の NaCl 水溶液の溶質粒子 (Na^+ と Cl^-) の総モル濃度は $2C$ [mol/L] となる。一方、 C [mol/L] のグルコース水溶液の場合には、溶質のグルコース $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ が非電解質だから、溶質粒子のモル濃度は C [mol/L] のままである。したがって、グルコース水溶液の方が NaCl 水溶液よりも浸透圧が小さいため、液面差は小さくなる。

問4 思考力・判断力

状態2における水溶液の浸透圧は、20 cm の水溶液柱がその底面に及ぼす圧力に等しく、

$$100 \text{ Pa} \times \frac{20 \text{ cm}}{1.0 \text{ cm}} = 2.0 \times 10^3 \text{ Pa}$$

状態2の水溶液側におもりを載せたところ、左右の液面差がゼロになったので、右側の液面が 10 cm 下がり(左側の液面が 10 cm 上がり)、状態4では水溶液と純水の体積はともに、

$$90 \text{ mL} - 10 \text{ cm} \times 1.0 \text{ cm}^2 = 80 \text{ mL}$$

になっている。

おもりを載せる前後で、水溶液側の溶質の物質量は変化しないので、 $\Pi V = nRT$ より、 ΠV の値はおもりを載せる前後で等しくなる。

したがって、おもりを載せて左右の液面差がゼロになったとき(状態4)の浸透圧を Π_0 [Pa] とすると、

$$2.0 \times 10^3 \text{ Pa} \times \frac{90}{1000} \text{ L} = \Pi_0 (\text{Pa}) \times \frac{80}{1000} \text{ L}$$

$$\Pi_0 = 2.25 \times 10^3 \text{ Pa}$$

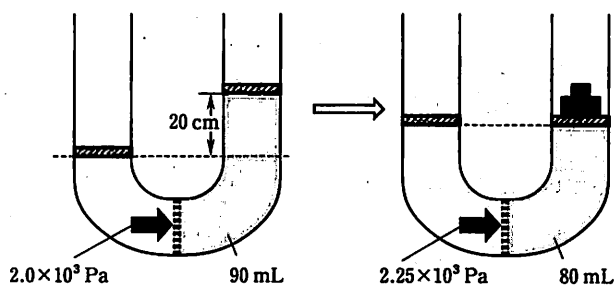
1.0 cm の水溶液柱がその底面に及ぼす圧力が 100 Pa だから、おもりを載せたことで生じる圧力 ($2.25 \times 10^3 \text{ Pa}$) は、

$$\left(\frac{1.0 \text{ cm}}{100 \text{ Pa}} \times 2.25 \times 10^3 \text{ Pa} \right) 22.5 \text{ cm の水溶液柱がその底面に及$$

ぼす圧力に等しい。

U字管の断面積は 1.0 cm^2 だから、載せたおもりの質量は、 $1.0 \text{ cm}^2 \times 22.5 \text{ cm} = 22.5 \text{ cm}^3$ の水溶液の質量に等しく、

$$1.0 \text{ g/cm}^3 \times 22.5 \text{ cm}^3 = 22.5 \text{ g} \doteq 23 \text{ g}$$



別解

U字管の断面積が 1.0 cm^2 だから、1.0 cm の水溶液柱の質量は、 $(1.0 \text{ g/cm}^3 \times 1.0 \text{ cm}^2 \times 1.0 \text{ cm}) = 1.0 \text{ g}$ である。

このことは、次のことを意味する。

(1.0 cm の水溶液柱がその底面に及ぼす圧力)

$$= (1.0 \text{ cm}^2 \text{ あたりに質量 } 1.0 \text{ g のおもりが及ぼす圧力})$$

これを利用すれば、次のようにして、解くことができる。

状態 2 における水溶液の浸透圧を Π_2 とすると、

$$\Pi_2 = (20 \text{ cm の水溶液柱がその底面に及ぼす圧力})$$

おもりを載せて左右の液面差がゼロになったとき(状態 4)の浸透圧を Π_0 とすると、 $\Pi V = nRT$ より、 $\Pi V = \text{一定}$ だから、

$$\Pi_2 \times \frac{90}{1000} \text{ L} = \Pi_0 \times \frac{80}{1000} \text{ L}$$

$$\Pi_0 = \Pi_2 \times \frac{90}{80}$$

$$= (20 \text{ cm の水溶液柱がその底面に及ぼす圧力}) \times \frac{90}{80}$$

$$= \left(20 \times \frac{90}{80} \text{ cm} = 22.5 \text{ cm の水溶液柱がその底面に及ぼす圧力} \right)$$

断面積は 1.0 cm^2 だから、おもりの質量はこの水溶液柱の質量に等しい。よって、

$$1.0 \text{ g/cm}^3 \times 1.0 \text{ cm}^2 \times 22.5 \text{ cm} = 22.5 \text{ g} \doteq 23 \text{ g}$$

問5 思考力・判断力

(1) Xは電離しないので、0.010 mol/LのXの水溶液の浸透圧を Π' [Pa] とすると、 $\Pi=CRT$ より、

$$\begin{aligned}\Pi' &= 0.010 \text{ mol/L} \times 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol}) \times 300 \text{ K} \\ &= 2.49 \times 10^4 \text{ Pa}\end{aligned}$$

これと等しい圧力を水溶液側に加えれば水の浸透を抑えて水溶液の体積を1.0 Lに保つことができる。したがって、 P_0 [Pa] は、

$$P_0 = 2.49 \times 10^4 \text{ Pa} \approx 2.5 \times 10^4 \text{ Pa}$$



(2) $2.49 \times 10^4 \text{ Pa}$ より大きい圧力を水溶液側に加えると、水溶液側から純水側に水の移動が起こる。 $P = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ のとき、水溶液の浸透圧は加えた圧力に等しく、 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ になっている。



Xは半透膜を通過できないので、水溶液中のXの物質量 n は一定である。よって、 $\Pi V = nRT$ より、 ΠV の値は P [Pa] の値によらず一定である。

したがって、 $P = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ のときの水溶液の体積を V' [L] とすると、

$$\begin{aligned}2.49 \times 10^4 \text{ Pa} \times 1.0 \text{ L} &= 1.0 \times 10^5 \text{ Pa} \times V' [\text{L}] \\ V' &= 0.249 \text{ L}\end{aligned}$$

以上より、求める純水の体積は、

$$1.0 \text{ L} + (1.0 \text{ L} - 0.249 \text{ L}) = 1.751 \text{ L} \approx 1.8 \text{ L}$$

問6 (1) 知識・技能

コロイド粒子の大きさ(直径)は、およそ $10^{-7} \sim 10^{-5} \text{ cm}$ ($10^{-9} \sim 10^{-7} \text{ m}$) であり、原子の大きさ(直径)のおよそ10倍 \sim 10³倍である。

(2) 知識・技能

(ア) 正しい。コロイド溶液に光束を当てると、光がコロイド粒子によって散乱されるため、光の通路が輝いて見える。これをチンダル現象という。

(イ) 正しい。コロイド溶液において、熱運動している溶媒(分散媒)分子が様々な方向からコロイド粒子に衝突するため、コロイド粒子は不規則に運動する。この運動をブラウン運動という。

(ウ) 誤り。コロイド溶液(ゾル)が流動性を失って固まった状態をゲルという。

整理

コロイド

直径 $10^{-7} \sim 10^{-5} \text{ cm}$ 程度の粒子(コロイド粒子)が均一に分散している状態。

コロイド粒子は通常分子やイオンより大きく、セロハン膜などを通過できない。

(エ) 正しい。正に帯電したコロイド粒子(正コロイド)は、電気泳動によって陰極側に移動する。

(3) **思考力・判断力**

問題文に、「小さい分子やイオンは通過できるが、コロイド粒子のような大きい粒子は通過できない半透膜」とあるので、デンプンは、この半透膜を通過できないが、 Na^+ や Cl^- などのイオンは、この半透膜を自由に通過できる。よって、これらのイオンはU字管の両側の溶液に均等に拡散するため、これらのイオンが存在していても液面差は生じない。したがって、左側に純水の代わりにNaCl水溶液を50 mL(同体積)入れて十分な時間放置した後の液面差は、純水を入れたときの液面差と同じである。