

理 科

〔「物理基礎・物理」「化学基礎・化学」「生物基礎・生物」〕

(時間：2 出題科目で 120 分)

注 意 事 項

- 1 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
- 2 出題科目、ページ及び選択方法は、下表のとおりです。

出 題 科 目	ページ	選 択 方 法
「物理基礎・物理」	1～3	左の3出題科目のうちから、あらかじめ届け出た2出題科目について解答しなさい。
「化学基礎・化学」	4～6	
「生物基礎・生物」	7～9	

- 3 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁および解答用紙の汚れ等に気付いた場合は、手を挙げて監督者に知らせなさい。
- 4 解答は、すべて解答用紙の所定の欄に記入しなさい。
- 5 問題冊子の余白は計算等に用いて構いません。
- 6 試験終了後、解答用紙のみを回収します。

化学基礎・化学

〔1〕 以下の文章Ⅰ～Ⅲを読んで問い(問1～5)に答えよ。

Ⅰ 物質の構成粒子が規則的に配列している固体を結晶という。その配列の仕方を結晶構造といい、その結晶構造の繰り返した最小単位を単位格子という。結晶は構成粒子や粒子間の引力の違いにより、金属結晶、イオン結晶、共有結合の結晶、分子結晶の4つに分類される。^(a)

問1 下線部(a)について、表1に示した組合せ①～④の中から正しい番号を1つ選べ。

表1 結晶の分類

組合せ	金属結晶	イオン結晶	共有結合の結晶	分子結晶
①	硫黄	酸化カルシウム	ケイ素	グラフェン
②	亜鉛	塩化アンモニウム	ダイヤモンド	ナフタレン
③	アルミニウム	酸化銅(I)	ガラス	二酸化炭素
④	ナトリウム	四塩化炭素	炭化ケイ素	ヨウ素

Ⅱ 結晶中の原子を球と仮定し、原子どうしが接しているとする、単位格子の一辺の長さから原子半径を求めることができる。図1と図2はそれぞれ体心立方格子と面心立方格子を表し、単位格子中の暗部は原子が接触する切断面を示している。それぞれの単位格子の一辺の長さを a 、原子半径を r としたとき、体心立方格子の単位格子の切断面より原子半径は $r = \frac{\text{ア}}{\text{イ}} a$ と、また、面心立方格子の単位格子の切断面より原子半径は $r = \frac{\text{イ}}{\text{イ}} a$ と導かれる。

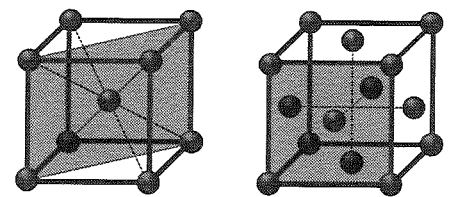


図1

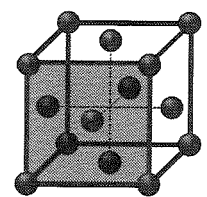


図2

単位格子の体積に含まれる原子の体積の割合を充填率といい、次の式で与えられる。

$$\text{充填率}(\%) = \frac{\text{単位格子に含まれる原子の体積}}{\text{単位格子の体積}} \times 100$$

体心立方格子の単位格子には $\frac{\text{ウ}}{\text{ウ}}$ 個の原子が含まれるため、体心立方格子の充填率(%)は $\frac{\text{エ}}{\text{エ}} \pi \times 100$ と、また、面心立方格子の単位格子には $\frac{\text{オ}}{\text{オ}}$ 個の原子が含まれるため、面心立方格子の充填率(%)は $\frac{\text{カ}}{\text{カ}} \pi \times 100$ と表される。

問2 文章中の $\frac{\text{ア}}{\text{ア}}$ ~ $\frac{\text{カ}}{\text{カ}}$ に入る適切な数値を次の①～⑩の中からそれぞれ選べ。

- ① 1 ② 2 ③ 3 ④ 4 ⑤ $\frac{\sqrt{2}}{4}$
 ⑥ $\frac{\sqrt{3}}{4}$ ⑦ $\frac{\sqrt{2}}{6}$ ⑧ $\frac{\sqrt{3}}{6}$ ⑨ $\frac{\sqrt{2}}{8}$ ⑩ $\frac{\sqrt{3}}{8}$

問3 銅は面心立方格子の構造をもち、単位格子の一辺の長さが 3.6×10^{-8} cm である。銅の原子半径は何 cm か、また、その密度は何 g/cm^3 か。有効数字2桁で求めよ。必要があれば次の値を用いること。アボガドロ定数 $6.0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 、銅の原子量 63.5、 $\sqrt{2} = 1.4$ 、 $\sqrt{3} = 1.7$

Ⅲ 図3に示す塩化ナトリウムの結晶において、ナトリウムイオン(Na^+)と塩化物イオン(Cl^-)は三次元的に規則正しく配列し、その単位格子はそれぞれのイオンについて面心立方格子の構造をもち、したがって、単位格子に含まれる Na^+ 、 Cl^- の数はそれぞれ $\frac{\text{キ}}{\text{キ}}$ 個ずつである。また、ある1個の Na^+ に注目すると、最近接の位置にある Cl^- の個数(配位数)は $\frac{\text{ク}}{\text{ク}}$ 個であり、 Cl^- も同じ個数の Na^+ に囲まれている。

表2に塩化ナトリウムと同じ結晶構造をもちハロゲン化ナトリウムのイオン半径と融点との関係を示す。ハロゲン化ナトリウムの陰イオン半径が大きくなるほど、融点が低くなる傾向がある。

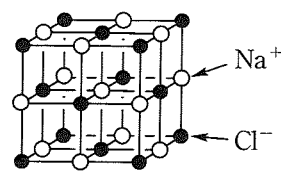


図3

表2 ハロゲン化ナトリウムのイオン半径と融点

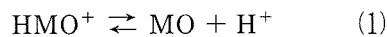
化合物	陽イオン半径(cm)	陰イオン半径(cm)	融点(°C)
NaF	1.2×10^{-8}	1.2×10^{-8}	993
NaCl	1.2×10^{-8}	1.7×10^{-8}	801
NaBr	1.2×10^{-8}	1.8×10^{-8}	747
NaI	1.2×10^{-8}	2.1×10^{-8}	651

問4 文章中の $\frac{\text{キ}}{\text{キ}}$ と $\frac{\text{ク}}{\text{ク}}$ に適切な数値を記せ。

問5 下線部(b)について、融点が低くなる理由を簡潔に説明せよ。

〔2〕 以下の文章を読んで問い(問1～4)に答えよ。

メチルオレンジ(Methyl Orange: MO)は、スルファニル酸ナトリウムをジアゾ化させた後、ジメチルアニリンのパラ位で^(a)ジアゾカップリングさせることで得られるアゾ染料である。MOは、酸性水溶液中において、 H^+ と結合した状態(HMO^+)としても存在し、式(1)の電離平衡の状態となる。式(1)の電離平衡における酸の電離定数 K_a は式(2)で表される。式(2)の K_a の値が $3.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ であるとき、 pK_a 値($-\log_{10} K_a$ の値)は(A)となる。この pK_a 値は HMO^+ とMOの存在比を考えるための指標となる。



$$K_a = \frac{[MO][H^+]}{[HMO^+]} \quad (2)$$

HMO^+ とMOは水溶液中で異なる色を示す分子であるため、その存在比によって水溶液の色調が変わる。ここでは、 HMO^+ とMOの存在比による水溶液の色調変化について、一方の濃度がもう一方の濃度の10倍以上になると片方の色だけが見えるものとする。pHの値が pK_a 値よりも1小さいときは、 $[HMO^+] : [MO] = \text{ア} : \text{イ}$ となるため、水溶液は 色に見える。一方、pHの値が pK_a 値よりも1大きいときは、 $[HMO^+] : [MO] = \text{エ} : \text{オ}$ となるため、水溶液は 色に見える。

中和滴定では、中和点付近の急激なpH変化に の範囲が重なるpH指示薬を用いる。例えば、0.10 mol/L塩酸10 mLを0.10 mol/Lアンモニア水で中和滴定する場合、生じる塩の水溶液の液性により、中和点におけるpHの値は(B)となる。急激なpH変化も(B)付近に偏るため、このpH変化の範囲に をもつメチルオレンジがpH指示薬として適している。一般に、加えるpH指示薬の量は微量にとどめ、必要以上に用いてはならない。

問1 下線部(a)に関して、メチルオレンジ(MO)の構造式を記せ。ただし、MOの構造式は図1を参考にし、ナトリウム塩($-SO_3^- Na^+$)として記すこと。また、アゾ基により生じる立体異性体は考慮しなくてよい。

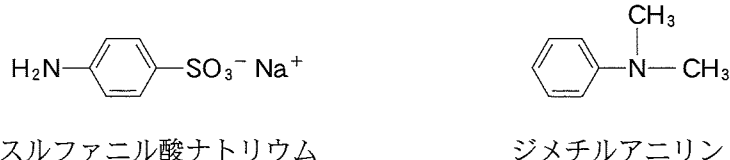


図1

問2 文章中の ~ に適した語句または数値を記せ。ただし、比率を表す数値は最も簡単な整数比で記すこと。

問3 文章中の(A)と(B)に入る数値を小数第2位まで求めよ。ただし、水溶液中のアンモニアの電離平衡における塩基の電離定数 $K_b = 1.8 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ 、水のイオン積 $K_w = 1.0 \times 10^{-14} (\text{mol/L})^2$ 、 $\log_{10} 2 = 0.30$ 、 $\log_{10} 3 = 0.48$ とする。また、アンモニウムイオンが加水分解する割合(h)は、1に比べて著しく小さく、 $1 - h \approx 1$ とする。

問4 下線部(b)に関して、過剰量のpH指示薬を加えてはいけない理由を簡潔に説明せよ。

〔 3 〕 以下の文章 I ～ III を読んで問い(問 1 ～ 7)に答えよ。

- I 試験管に酢酸 2 mL, エタノール 2 mL, 濃硫酸 0.5 mL を入れた。図 1 のように, 試験管内の突沸を防ぐために ア を加え、^(a)ガラス管付きのゴム栓を取り付け、湯浴に浸してときどき振り混ぜながら数分間加熱した。試験管を冷却させた後、^(b)炭酸ナトリウム水溶液を少しずつ加えてかき混ぜると、^(c)試験管内の液体から気泡が発生した。しばらく静置すると、^(d)液体は有機層と水層の 2 層に分かれ、芳香をもつ揮発性の有機化合物が生成した。
- II 酸素の イ である ^{18}O を含むエタノールを原料として、文章 I と同様に酢酸との反応をおこなうと、^(e)生成した有機化合物に ^{18}O が含まれていた。
- III 酢酸を原料とする化学反応には、図 2 に示す方法も知られている。酢酸に十酸化四リンなどの脱水剤を加えて加熱すると、刺激臭の液体で中性を示す有機化合物(A)を生じた。(A)にサリチル酸と濃硫酸を作用させると、水に溶けにくい白色の固体で融点 $135\text{ }^{\circ}\text{C}$ の有機化合物(B)が得られた。

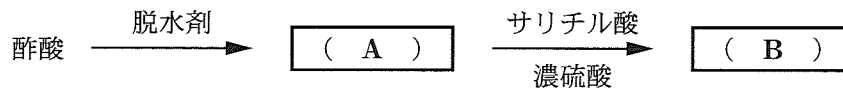
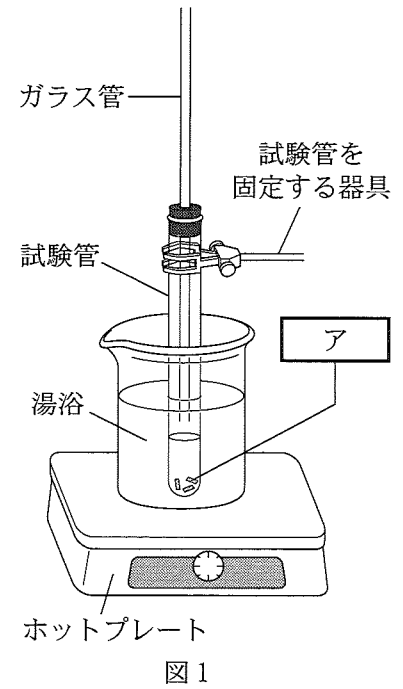


図 2

- 問 1 文章中の ア と イ に該当する適切な語句を書け。
- 問 2 下線部(a)に関して、文章 I の化学反応における濃硫酸の主な役割を 2 つ選べ。
 ① 酸化作用 ② 還元作用 ③ 脱水作用
 ④ 触媒作用 ⑤ 不揮発性
- 問 3 下線部(b)に関して、ガラス管付きのゴム栓を取り付ける適切な理由を 1 つ選べ。
 ① 試験管内の液体を大気中の水分と接触させる必要があるため
 ② 加熱により生じた試験管内の蒸気を大気中に逃がすため
 ③ 試験管の冷却後に加える水溶液の導入口として利用するため
 ④ 加熱により生じた試験管内の蒸気を冷却し、液体として戻すため
- 問 4 下線部(c)に関して、次の問い(i)と(ii)に答えよ。
 (i) 気泡が発生した理由について、酢酸との反応で生じる化学反応式を示せ。
 (ii) 炭酸ナトリウム水溶液の代わりに、過剰量の水酸化ナトリウム水溶液を加えると、文章 I で述べた有機化合物の生成量を下げる可能性がある。その理由を簡潔に説明せよ。説明には、必要に応じて化学反応式などを用いてよい。
- 問 5 下線部(d)に関して、有機層と水層の液体混合物を分離精製する適切な実験器具を図 3 から 1 つ選べ。

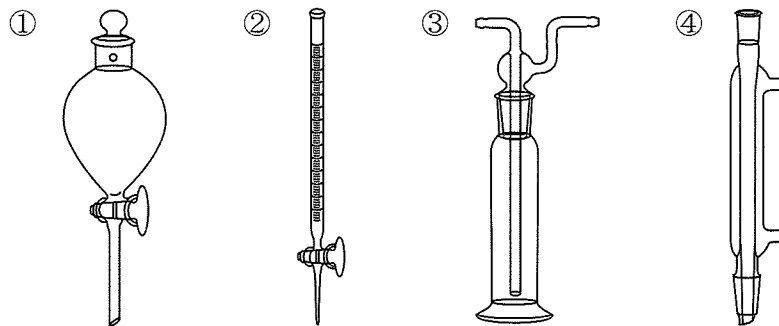


図 3

- 問 6 下線部(e)の実験結果から明らかになった化学反応のしくみについて、 ^{18}O を含めた化学反応式を用いて簡潔に説明せよ。
- 問 7 文章中の(A)と(B)に該当する有機化合物の構造式を示せ。ただし、構造式は図 4 を参考にせよ。

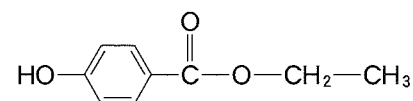


図 4

