

2024 年度

理 科 問 題

(物理・化学・生物・地学)

物理：2～13ページ	解答用紙 4 枚
化学：14～27ページ	解答用紙 5 枚
生物：28～47ページ	解答用紙 4 枚
地学：48～52ページ	解答用紙 3 枚

注 意 事 項

- 1 問題冊子は、監督者が「解答始め」の指示をするまで開かないこと。
- 2 問題冊子や解答用紙に脱落のあった場合には申し出ること。
- 3 解答用紙の各ページ所定欄に、それぞれ受験番号（最後のページは、左右2箇所），氏名を必ず記入すること。なお、解答用紙は上部で接着してあるので、はがさず解答すること。
- 4 解答は、すべて解答用紙の所定欄に記入すること。
- 5 解答以外のことを書いたときは、該当箇所の解答を無効とすることがある。
- 6 解答用紙の裏面は計算等に使用してもよいが、採点はしない。
- 7 現代システム科学域の受験者は、「物理」・「化学」・「生物」・「地学」のうちから1科目を選択し、解答すること。
- 8 理学部の受験者は、次により解答すること。なお、第2・3志望がある場合、志望する学科についても確認すること。
 - (1) 数学科・生物学科・地球学科・生物化学科を志望する者は「物理」・「化学」・「生物」・「地学」のうちから2科目を選択し、解答すること。
 - (2) 物理学科を志望する者（第3志望までを含む）は、「物理」とその他に「化学」・「生物」・「地学」のうちから1科目を選択し、計2科目を解答すること。
 - (3) 化学科を志望する者（第3志望までを含む）は、「物理」・「化学」の計2科目を解答すること。
- 9 工学部の受験者は、「物理」・「化学」の計2科目を解答すること。
- 10 農学部・獣医学部・医学部医学科の受験者は、「物理」・「化学」・「生物」のうちから2科目を選択し、解答すること。
- 11 生活科学部栄養養学科の受験者は、「物理」・「化学」・「生物」のうちから1科目を選択し、解答すること。
- 12 問題冊子の余白は下書きに使用してもよい。
- 13 問題冊子及び選択しなかった科目の解答用紙は持ち帰ること。

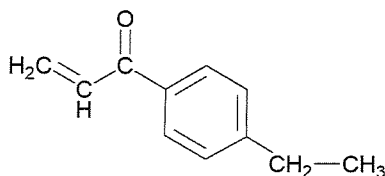
化 学

第 1 問 (33点)

次の問 1 と問 2 に答えよ。必要であれば次の原子量を用いよ。

H = 1.0, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0, S = 32.0

構造式は下の例にならって記せ。



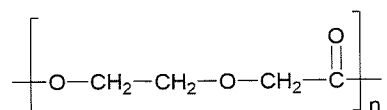
問 1 次の文章を読み、(1)～(6)の問いに答えよ。

合成高分子化合物は、我々の生活を支える重要な有機化合物である。ポリ酢酸ビニルは、酢酸ビニルの重合によって得られる合成高分子化合物である。原料となる酢酸ビニルは、触媒の存在下で化合物①に酢酸を付加させることで得られる。ただし、酢酸ビニルは、水が存在すると徐々に加水分解し、酢酸と化合物②となる。^[1]ポリ酢酸ビニルを完全に加水分解すると高分子 X が得られる。^[2]高分子 X をホルムアルデヒドと反応させると、X のヒドロキシ基が部分的にアセタール化された高分子 Y となる。^[3]ポリスチレンは、スチレンの付加重合によってつくられ、容器や包装材料として用いられている。

(1) 化合物①の名称を答えよ。

(2) 下線部 [1] について、化学反応式を答えよ。化学反応式中の有機化合物は、構造式で記せ。なお化合物②は、フェーリング液に加えて加熱することで赤色沈殿を生じる。

- (3) 下線部 [2] について、重合体を構成する繰り返し単位の数 n として、下の例にならって高分子 X の構造式を答えよ。



- (4) 20 g の高分子 X より Y を得た。その後、無水酢酸を用いて Y に含まれるすべてのヒドロキシ基をアセチル化したところ、34 g の高分子 Z を得た。この実験で X のヒドロキシ基のうち、アセタール化された割合 (%) はいくらか。最も近い値を (あ) ~ (こ) の中から選び記号で答えよ。

- | | | |
|----------|----------|---------|
| (あ) 2.4% | (い) 8.3% | (う) 11% |
| (え) 15% | (お) 19% | (か) 24% |
| (き) 31% | (く) 37% | (け) 45% |
| (こ) 56% | | |

- (5) ヒドロキシ基のアセチル化 (エステル化) には、酢酸と硫酸を作用させる方法が知られている。例えば、分子式 $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$ のアルコールと酢酸をフラスコに入れ、そこに少量の濃硫酸を加えて加熱すると、エステルが反応溶液中に生じる。溶液中で起こっている反応を化学反応式で答えよ。化学反応式中有機化合物は、構造式で記せ。なお、この反応は可逆反応である。また生成したエステルには不斉炭素原子が 1 つ含まれている。

- (6) 下線部 [3] について、付加重合反応の生成物の一つとして図 1 に示すスチレン 4 分子からなる重合体を得られた。この重合体に含まれる鏡像異性体の数は、最大でいくつか答えよ。

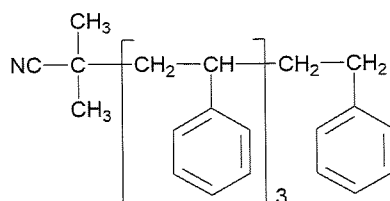


図 1

問2 次の文章を読み、問いに答えよ。

アミド結合をもつ天然高分子としてポリペプチドが知られている。ポリペプチドは生命の機能維持に重要な役割を果たしている。ペプチドPは、図2に示すように8個のアミノ酸がアミド結合でつながったものである。次ページの(i)～(ix)をもとに、ペプチドPを構成する、AA1からAA8にあてはまるアミノ酸を表1から選び、略号で答えよ。

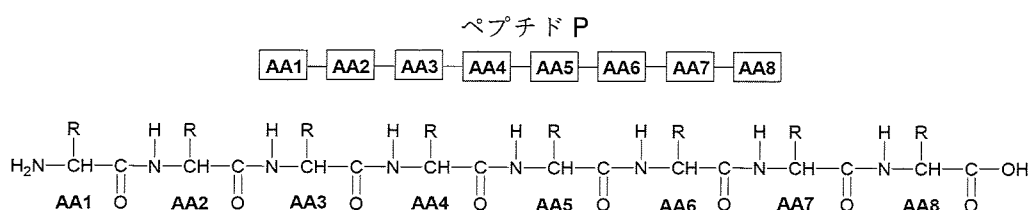
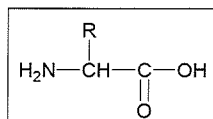


図2

表1

アミノ酸の基本構造式



名称	略号	—R	等電点
グリシン	Gly	—H	5.97
アラニン	Ala	—CH ₃	6.00
ロイシン	Leu	—CH ₂ —CH(CH ₃)—CH ₃	5.98
イソロイシン	Ile	—CH(CH ₃)—CH ₂ —CH ₃	6.02
セリン	Ser	—CH ₂ —OH	5.68
フェニルアラニン	Phe	—CH ₂ —	5.48
チロシン	Tyr	—CH ₂ —	5.66
メチオニン	Met	—CH ₂ —CH ₂ —S—CH ₃	5.74
グルタミン酸	Glu	—CH ₂ —CH ₂ —C(=O)—OH	3.22
リシン	Lys	—CH ₂ —CH ₂ —CH ₂ —CH ₂ —NH ₂	9.74

- (i) ペプチド **P** を完全に加水分解すると、7 種類のアミノ酸が得られた。
- (ii) 加水分解で得られた 7 種類のアミノ酸を pH 4 の緩衝液に溶解して電気泳動を行ったところ、移動したアミノ酸が陽極側、陰極側の双方で検出された。
- (iii) ペプチド **P** のカルボキシ基をもつ側の末端アミノ酸には、不斉炭素原子が存在しない。
- (iv) ペプチド **P** のアミノ基をもつ側の末端アミノ酸は、乳酸のヒドロキシ基をアミノ基に置換したものと同等であった。
- (v) 酵素 **I** は、ペプチドに含まれる芳香族アミノ酸のカルボキシ基側のアミド結合（図 3）を選択的に加水分解する。酵素 **I** を用いてペプチド **P** を加水分解したところ、トリペプチド **B**、ジペプチド **C**、トリペプチド **D** とともに、6 つのアミノ酸からなるペプチド **E**（酵素切断が不完全な生成物）が得られた。また、図 4 に示すようにペプチド **E** のアミノ基をもつ側の末端アミノ酸（**AAn**）から 3 つ目までのアミノ酸の配列 $[\text{AAn}-\text{AA}(n+1)-\text{AA}(n+2)]$ は、トリペプチド **D** と一致した。
- (vi) **B**～**D** のうち、トリペプチド **B** と **D** は、キサントプロテイン反応により呈色した。
- (vii) トリペプチド **D** を完全に加水分解し、3 種類のアミノ酸を得た。そのうちのひとつについて元素分析を行ったところ、炭素 59.66%，水素 6.12%，窒素 7.73% となった。トリペプチド **B** には、上記の組成のアミノ酸は含まれていなかった。
- (viii) ジペプチド **C** には、2 つの不斉炭素原子をもつアミノ酸が 1 つ含まれていた。
- (ix) 酵素 **II** は、ペプチドに含まれる塩基性アミノ酸のカルボキシ基側のアミド結合（図 3）を選択的に加水分解する。酵素 **II** を用いてペプチド **P** を加水分解したところ、トリペプチド 2 つとジペプチド 1 つが得られた。

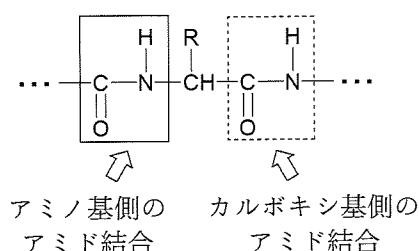


図 3

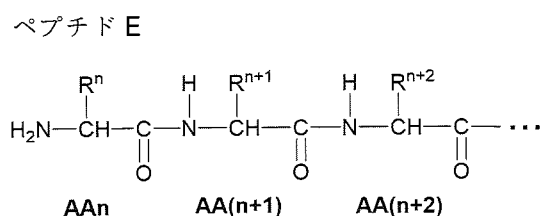


図 4

化 学

第 2 問 (34点)

次の問 1 と問 2 に答えよ。

問 1 2つの電解槽(I)と電解槽(II)を図1のように並列につなぎ、太陽電池を直流電源に用いて10.0 A (アンペア) で1時間電気分解したところ、電極(あ)で13.5 gの金属が析出した。各電解槽に一定の電流が流れたとして、(1)～(6)の問いに答えよ。必要であれば次の原子量を用いよ。H = 1.0, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0, Cl = 35.5, Na = 23.0, Ag = 108, Fe = 56.0, Pt = 195

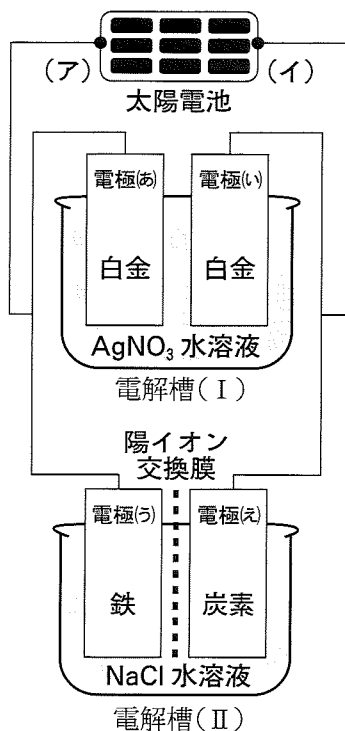


図 1

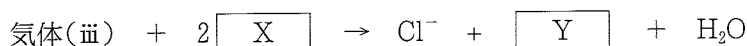
- (1) 用いた太陽電池の正極は (ア), (イ) のどちらか。記号で答えよ。
- (2) 電極(あ)で起こる反応を、電子 e^- を用いたイオン反応式で答えよ。

(3) 電極(い)と電極(う)では、気体(i)と気体(ii)がそれぞれ発生する。発生する気体の体積は、 27.0°C 、 $1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$ においてそれぞれ何Lか。有効数字三桁で答えよ。ただし気体(i)と気体(ii)は、すべて理想気体とみなし、電解液には溶解しないものとする。必要であれば次の数値を用いよ。ファラデー定数 $9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$ 、気体定数 $8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

(4) 電解槽(Ⅱ)で水酸化ナトリウムが生成するのは電極(う)側と電極(え)側のどちらか。記号で答えよ。

(5) 次の文章を読み、気体(iii)、XとYに該当する化学式を答えよ。

電解槽(Ⅱ)の陽イオン交換膜を取り外すと、電極(え)で発生する気体(iii)の一部と電極(う)で生成するXが、以下の反応を起こして消費されるため、陽イオン交換膜がある場合と比較して生成する水酸化ナトリウムの量が減少する。この反応を化学反応式で表すと、以下のようになる。



(6) 図2のように白金触媒をつけた多孔質の電極を正極板と負極板に用いた固体高分子型燃料電池を考える。この燃料電池の正極活物質および負極活物質として、気体(i)と気体(ii)を用いたところ、電球が点灯した。正極板および負極板で起こる化学反応を電子 e^- を用いたイオン反応式で答えよ。

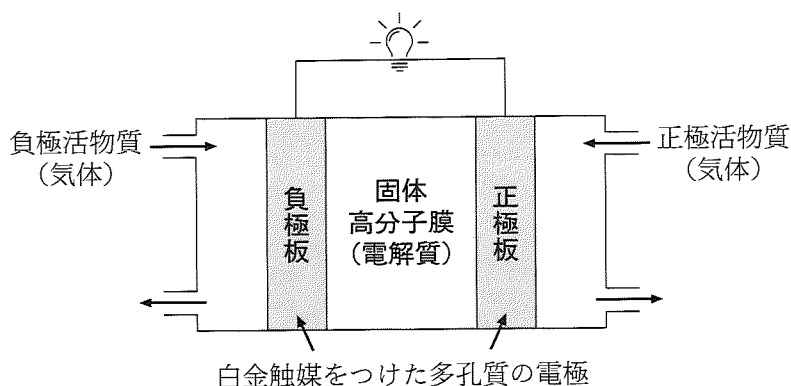
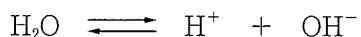


図2

問2 次の(1)と(2)の問いに答えよ。

(1) 次の文章を読み、(i)～(iv)の問いに答えよ。

水は大気圧下でわずかに電離しており、以下に示す電離平衡状態にある。



この電離反応は吸熱反応である。25℃における水のイオン積 K_w を $1.0 \times 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{L}^2$ 、水の分子量を 18、25℃における水の密度を 1.0 g/cm^3 とする。

(i) 水の温度が 25℃よりも高い場合、 K_w は $1.0 \times 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{L}^2$ と比較してどのようなになるか。以下の選択肢から適切なものを選び記号で答えよ。

(ア) 大きくなる (イ) 変化しない (ウ) 小さくなる

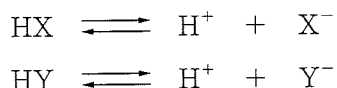
(ii) ある温度における純水の pH は 6.5 であった。この温度における純水中の水酸化物イオンのモル濃度は、 $1.0 \times 10^n \text{ mol/L}$ である。10 の指数 n を数値で答えよ。

(iii) 25℃における純水の電離度を有効数字二桁で答えよ。

(iv) 25℃における $1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/L}$ 酢酸水溶液中の水の電離度を有効数字二桁で答えよ。ただし、酢酸の電離度は 1.6×10^{-2} とし、用いた酢酸水溶液中の水の物質量は、同じ体積の純水の物質量と同じとしてよい。

(2) 次の文章を読み、(i)～(iii)の問いに答えよ。

二種類の弱酸 HX と HY の混合水溶液がある。HX と HY の一部は、水溶液中で以下のように電離している。



HX と HY の電離定数は、それぞれ K_X および K_Y 、電離前の HX と HY の濃度は、それぞれ c_X および c_Y とする。また、水の電離は無視できるものとする。

(i) $[\text{X}^-]$ および $[\text{Y}^-]$ を用いて混合水溶液中における水素イオン濃度 $[\text{H}^+]$ を表す数式を答えよ。

(ii) K_X , $[\text{HX}]$, $[\text{H}^+]$ を用いて $[\text{X}^-]$ を表す数式を答えよ。また, K_Y , $[\text{HY}]$, $[\text{H}^+]$ を用いて $[\text{Y}^-]$ を表す数式を答えよ。

(iii) 混合水溶液中における HX と HY の電離度を α_X および α_Y とする。 α_X , α_Y , c_X , c_Y , K_X , K_Y を用いて $[\text{H}^+]$ を表す数式を答えよ。

化 学

第 3 問 (33点)

次の問 1 と問 2 に答えよ。

問 1 次の文章を読み、(1)～(6)の問いに答えよ。

原子を構成する電子は、原子核を取り巻く電子殻とよばれる複数の層に分かれて存在している。電子殻は、原子核に近い内側から、K 殻、L 殻、M 殻、N 殻、・・・とよばれる。それぞれの電子殻に存在できる電子の最大数は決まっており、内側から n 番目の電子殻には最大 個の電子が入る。

一般に、電子は内側の電子殻から順に入っていくが、周期表の第 4 周期 1 族の 原子から遷移元素の Cu 原子にかけては、M 殻中の電子数が最大値に達する前に N 殻に 1 あるいは 2 個の電子が入る。表 1 に第 4 周期の遷移元素について、M 殻と N 殻の電子配置を示した。例えば、Sc の場合、M 殻に 11 個の電子が入るよりも、表 1 に示した電子配置をとる方がエネルギー的に安定である。

表 1

元素	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
M 殻	9	10	11	13	13	14	15	16	18
N 殻	2	2	2	1	2	2	2	2	1

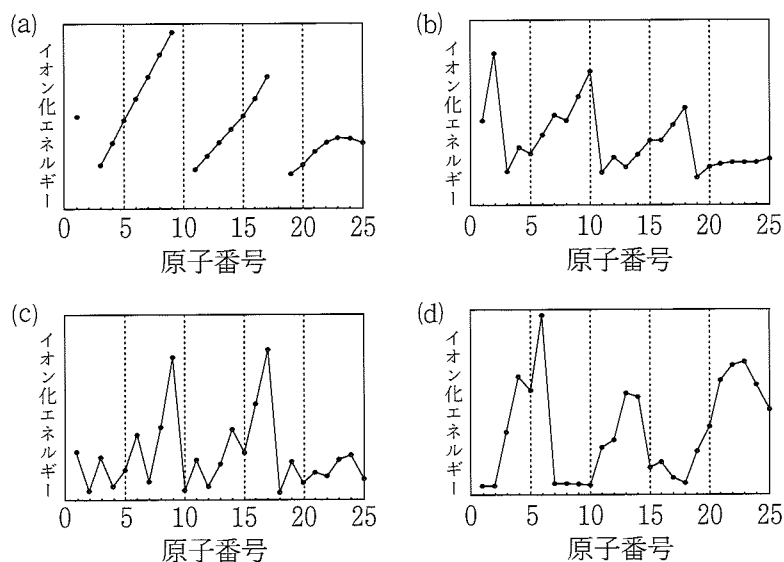
原子中の陽子と電子の数は等しく、電氣的に中性である。しかし、原子が電子を放出したり、受け取ったりして、陽子の数と電子の数が異なるようになると、電荷をもつようになる。このような粒子をイオンという。第 4 周期の遷移元素が 2 価以上の陽イオンになるとき、N 殻中の電子はすべて放出される。

(1) 文章中の に当てはまる数式を n を用いて答えよ。

- (2) 下表は、イ 原子に関して、元素記号、原子番号、電子配置（K ～ N 殻に配置される電子の数）をまとめたものである。（イ）にあてはまる元素記号、（ウ）～（キ）にあてはまる整数を答えよ。

元素記号	(イ)	原子番号	(ウ)	電子配置	K(エ)	L(オ)	M(カ)	N(キ)
------	-----	------	-----	------	------	------	------	------

- (3) イ は、原子が規則的に配列した結晶を形成する。その結晶格子は、体心立方格子である。原子半径を r [cm]、結晶の密度を d [g/cm³] としたとき、原子一個あたりの質量 [g] を表す数式を d および r を用いて答えよ。ただし、結晶内で最近接する原子は互いに接触しているものとする。
- (4) 原子から電子を1つ取り去って、1 価の陽イオンにするために必要なエネルギーをイオン化エネルギーという。下図 (a) ～ (d) のうち、イオン化エネルギーと原子番号との関係を正しく表したものはどれか。一つ選んで記号で答えよ。



(5) 過マンガン酸カリウム KMnO_4 は、酸性水溶液中で強い酸化作用を示し、マンガンイオンは Mn^{2+} に還元される。以下の (i) と (ii) の問いに答えよ。

(i) KMnO_4 による酸化還元滴定を行う場合、 KMnO_4 の酸化作用を強めるために強酸を用いて溶液を酸性にする。強酸には、硫酸が用いられるが塩酸は使用されない。その理由を 15 字以内で答えよ。

(ii) 下記 (a) ～ (f) の金属イオンのうち、① Mn^{2+} の M 殻中の電子数と同じ数の電子を M 殻に有するものはどれか。また、② Mn^{3+} の M 殻中の電子数と同じ数の電子を M 殻に有するものはどれか。①、②それぞれについて、当てはまるものを全て選び、(a) ～ (f) の記号で答えよ。

(a) Fe^{2+}

(b) Co^{2+}

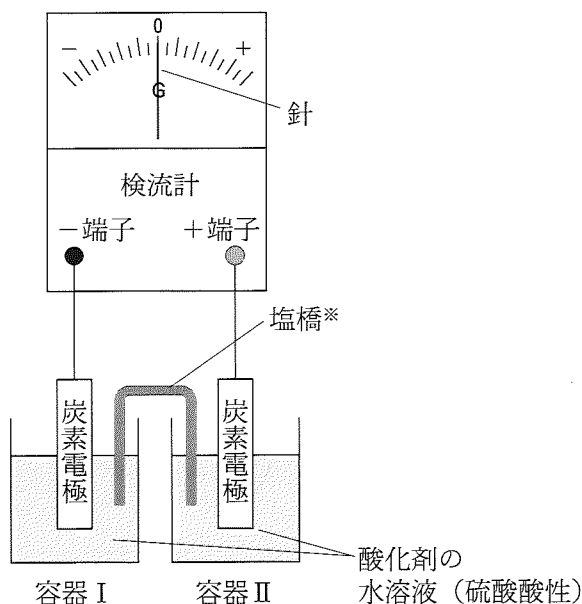
(c) Cr^{3+}

(d) Fe^{3+}

(e) Ni^{2+}

(f) Cr^{2+}

- (6) 三つの化合物 KMnO_4 、二クロム酸カリウム $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 、過酸化水素 H_2O_2 について、それぞれの硫酸酸性溶液を調製し、図 1 に示す装置を用いて酸化剤としての強さを比較した。三通りの組み合わせについて実験を行ったところ、表 2 に示す実験結果が得られた。この結果をもとに KMnO_4 、 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 、 H_2O_2 を酸化力が強い順番に並べて答えよ。なお、検流計の中を + 端子から - 端子側に電流が流れる場合は針が右に振れ、逆方向の場合は左に振れる。



※塩橋とは、電解質の水溶液を寒天などで固めて入れた管であり、塩橋により両側の電解液が電氣的に接続される。

図 1

表 2

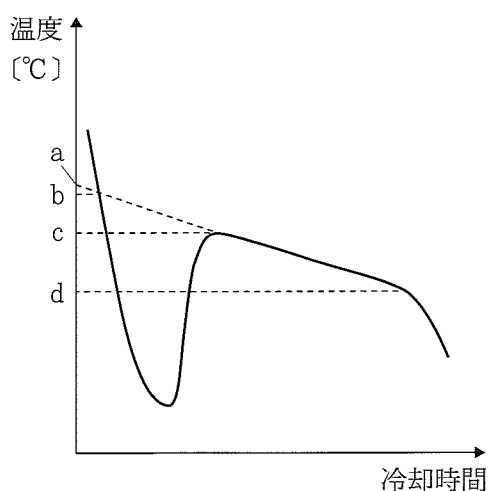
実験	容器 I の水溶液	容器 II の水溶液	検流計の針の向き
1	0.1 mol/L $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	0.1 mol/L KMnO_4	右
2	0.1 mol/L H_2O_2	0.1 mol/L $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	右
3	0.1 mol/L KMnO_4	0.1 mol/L H_2O_2	左

($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 水溶液は微量の $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 KMnO_4 水溶液は微量の MnSO_4 を含む)

問2 以下の文章を読み、次の(1)～(4)の問いに答えよ。

純水に分子量 M_w の非電解質 A を溶解させて質量モル濃度 c_0 [mol/kg] の水溶液(I)を調製し、以下の実験1, 2に用いた。

(実験1) 水溶液(I)を大気圧下でゆっくりとかく^{はん}拌しながら冷却した。この際、下図に示す冷却曲線が得られた。この曲線より、水溶液(I)の凝固点は T_1 [°C] と求められた。



冷却曲線

(実験2) 内容物の温度を均一に調整できる容器を用意し、 w [kg] の水溶液(I)，さらに純水で作った氷を加えてから、溶液温度を T_2 [°C] に調整し、平衡状態になるまでゆっくりとかく拌した。平衡状態において氷は残っており、非電解質 A は、すべて溶解したままであった。続いて溶液を T_2 [°C] から、ゆっくりとかく拌しながら徐々に加熱したところ、 T_3 [°C] に達したところで残っていた氷がすべて融解した。この実験では、加えた氷は常に水溶液中に完全に浸った状態を保った。純粋な水の凝固点を 0.0 °C とする。

- (1) 水溶液(I)の凝固点 T_1 [°C] を、図中の a ~ d の中から適切なものを選んで答えよ。
- (2) 実験 2 において、 w [kg] の水溶液(I)に溶けている非電解質 A の物質量 m [mol] を c_0 , w , M_W を用いて数式で答えよ。
- (3) 実験 2 において、水溶液(I)に加えた氷の質量 [kg] を c_0 , m , M_W , T_1 , T_2 , T_3 から必要なものを用いて数式で答えよ。
- (4) 実験 2 において、溶液温度が T_2 [°C] のとき、水溶液に残った氷の質量 [kg] を c_0 , m , M_W , T_1 , T_2 , T_3 から必要なものを用いて数式で答えよ。