

## 試験問題〔その2：物理・化学〕

(解答時間 1時間40分)

[受験上の注意]

- 1 受験番号, 氏名等定められた事項を下欄に正確に記入してください。
- 2 問題は全部で7問(物理4問, 化学3問)あります。7問全部に解答してください。

### 防衛省

受験番号		大学名	
受験地		学部	
		学科	
氏名		学年	

[ 物 理 ]

【No. 1】 図1のように、滑らかな定滑車を天井に固定し、軽い糸をかけ、その一端に質量 $m_1$ のおもりXを、もう一端に質量 $m_2$ のおもりYをぶら下げて、時刻 $t = 0$ において静かに手を離した。時刻 $t = 0$ において、おもりXは床から高さ $h_1$ の位置にあり、おもりYは床から高さ $h_2$ の位置にあった。 $m_1 > m_2$ および $h_1 > h_2$ が成り立っている。ここで、重力加速度の大きさを $g$ とし、滑車の質量と慣性モーメント、空気抵抗は無視できるものとする。これについて以下の問いに答えなさい。

- (1) 時刻 $t = 0$ におけるおもりYの鉛直上向きの加速度の大きさ $a$ を、 $m_1, m_2, g$ を用いて表しなさい。
- (2) 時刻 $t = 0$ における糸の張力 $T$ を、 $m_1, m_2, g$ を用いて表しなさい。

時刻 $t = t_1 > 0$ において、初めておもりXとおもりYは床から同じ高さになった。

- (3) 時刻 $t_1$ を $m_1, m_2, g, h_1, h_2$ を用いて表しなさい。
- (4) 時刻 $t = t_1$ における、おもりXの鉛直下向きの速さ $v_1$ を $m_1, m_2, g, h_1, h_2$ を用いて表しなさい。

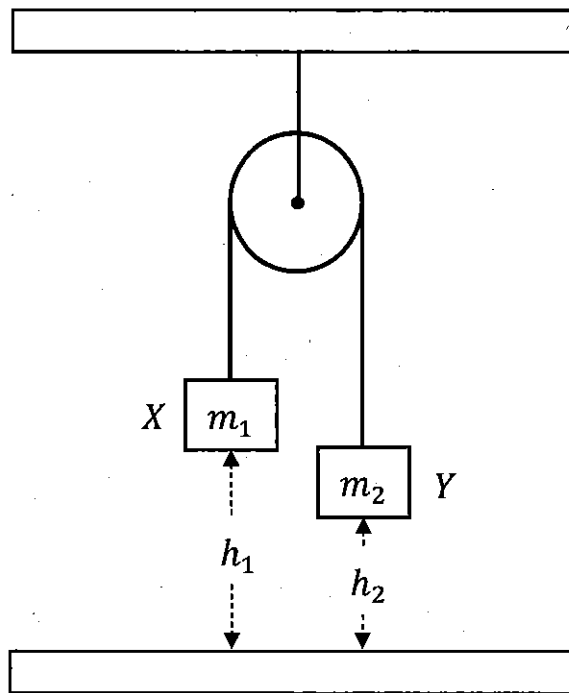


図 1

(解答欄)

No. 1	(1)	
	(2)	
	(3)	
	(4)	

【No. 2】 1モルの単原子分子理想気体をなめらかに動くピストンを備えたシリンダー内に閉じ込めて、気体の体積と圧力を計測する。今、外部と熱と仕事のやりとりを適切にすることにより、図2のように、 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ の経路に沿って変化させた。ここで、3点A, B, Cを結ぶと直角三角形をなしており、 $A \rightarrow B$ ;  $B \rightarrow C$ ,  $C \rightarrow A$ のいずれの過程でも熱のやりとりがある。また、気体定数を $R$ とし、Aにおける絶対温度を $T_A$ とする。グラフの縦軸 $P$ は気体の圧力、横軸 $V$ は気体の体積を意味している。以下の問いに答えなさい。

- (1) 状態Aにおける気体の状態方程式は、 $P_0 \square = RT_A$ である。 $\square$ に入る記号を答えなさい。
- (2) 状態Bにおける絶対温度 $T_B$ を、 $T_A$ を用いて答えなさい。
- (3)  $A \rightarrow B$ ,  $B \rightarrow C$ ,  $C \rightarrow A$ の3つの各状態変化の過程の中で、気体が外部から得た熱量が最も大きい過程は、 $\square \rightarrow \square$ であり、その熱量は $\square$ である。 $\square$ ,  $\square$ ,  $\square$ にそれぞれ当てはまるものを答えなさい。ただし、 $\square$ は、 $P_0$ ,  $V_0$ を用いて答えなさい。
- (4) このサイクルを一巡する間に、気体が外部にする仕事 $W$ を $P_0$ ,  $V_0$ を用いて表しなさい。

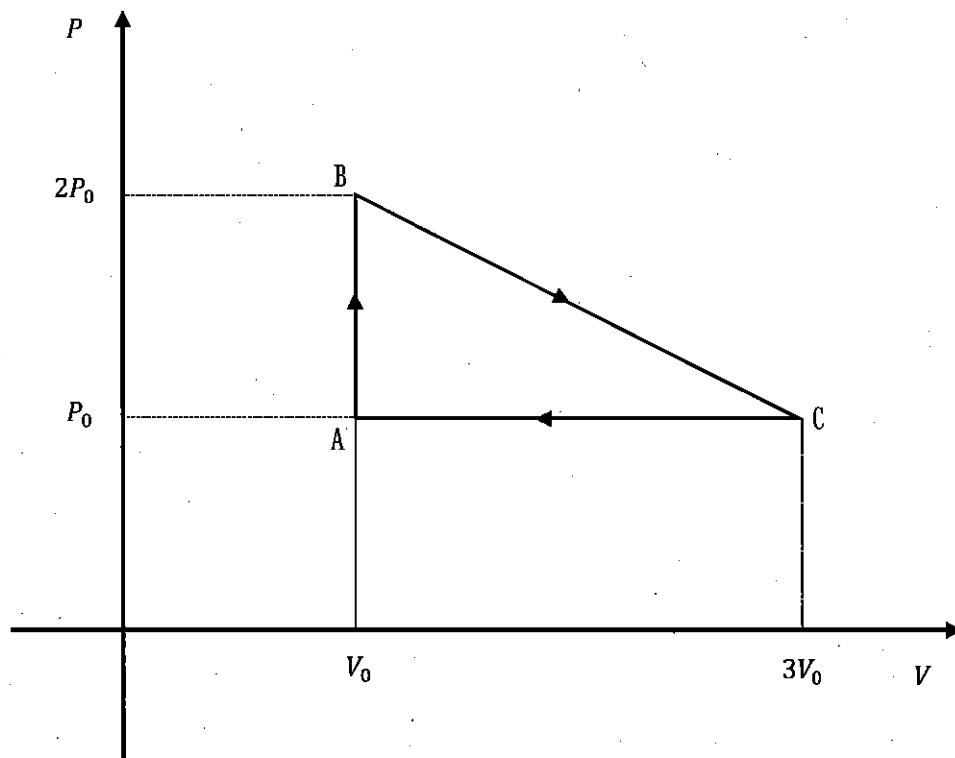


図2

[解答欄]

No. 2	(1)	ア		
	(2)			
	(3)	イ	ウ	エ
	(4)			

【No. 3】 図3のように、質量 $m$ の2つの小球Xと小球Yを天井のある1点からつるした。小球Xは天井の鉛直下方に、長さ $l$ の固い棒で固定されている。小球Yは長さ $\sqrt{2}l$ の軽い糸でつるされている。なお、小球X、小球Y、固い棒、軽い糸はすべて絶縁体である。図のような位置で、小球X、Yに同じ正の電気量 $q$ をそれぞれ与えたところ、それらの小球は反発し、クーロン力、糸の張力、重力が釣り合って、Yは糸が鉛直となす角度 $45^\circ$ の位置で静止した。重力加速度の大きさを $g$ 、クーロンの法則の比例定数を $k$ として、以下の問いに答えなさい。

- (1) 小球Yとつながっている糸の張力 $T$ を $m$ 、 $g$ を用いて表すと、 $T = \underline{\hspace{1cm}}mg$ である。に入る実数を答えなさい。
- (2) 小球Yの位置における小球Xの電荷による電場の強さ $E$ を $k$ 、 $q$ 、 $l$ を用いて表しなさい。
- (3) 小球Yが受ける右向きに電気力の大きさ $F$ を $m$ 、 $g$ を用いて表しなさい。
- (4)  $m$ を $k$ 、 $q$ 、 $l$ 、 $g$ を用いて表しなさい。

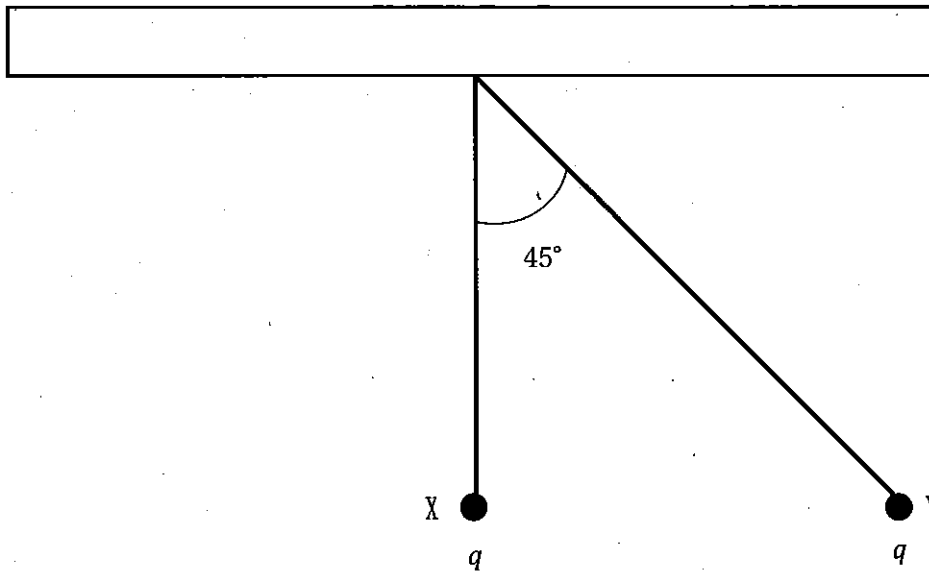


図3

[解答欄]

No. 3	(1)	
	(2)	
	(3)	
	(4)	

【No. 4】 図4のように、音源A、観測者Kおよび反射板Hが一直線上に並んでおり、Aが右向きに速さ $v_A$  (m/s)、Kが右向きに速さ $v_K$  (m/s)で移動し、Hは静止している。ここで、音速を $V$  (m/s)とすると、 $v_A < V$  および  $v_K < V$ が成り立っている。観測中は、AはKを追い越さず、KはHに衝突しないとする。この時、観測者Kは、音源Aからの直接音の振動数として $f_0$  (Hz)を観測した。以下の問いに答えなさい。

- (1) 音源Aの振動数 $f_A$  (Hz)を $v_A$ ,  $v_K$ ,  $V$ ,  $f_0$ を用いて表しなさい。
- (2) Kが観測するHからの反射音の振動数 $f_H$  (Hz)を $v_K$ ,  $V$ ,  $f_0$ を用いて表しなさい。
- (3) Kが観測するHからの反射音の波長 $\lambda_H$  (m)を $v_K$ ,  $V$ ,  $f_0$ を用いて表しなさい
- (4)  $v_A = 2v_K$ とした時、Kが観測するうなりの周期は、 $\frac{1}{f_A}$  (s)であった。この時、 $v_K$  (m/s)を $V$ を用いて表しなさい。

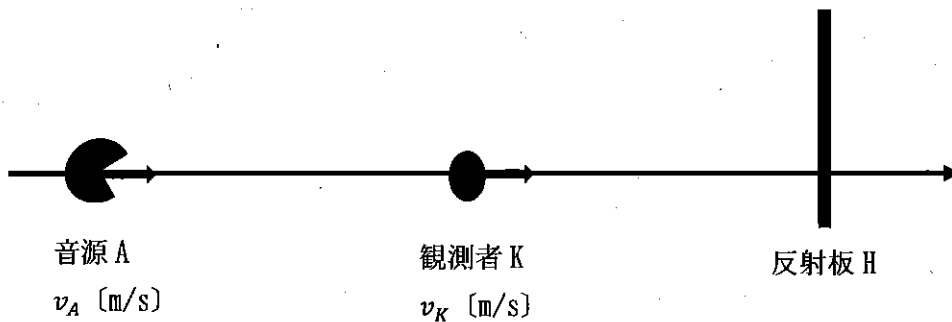


図4



[解答欄]

No. 4	(1)	(Hz)
	(2)	(Hz)
	(3)	(m)
	(4)	(m/s)

[ 化 学 ]

【No. 1】 モル凝固点降下と溶質分子の会合に関する次の実験内容を読んで、以下の各問いに答えなさい。ただし、有効数字は2桁とする。

実験I：パラジクロロベンゼンのモル凝固点降下 $K_f$ の測定

i) パラジクロロベンゼンの凝固点の測定

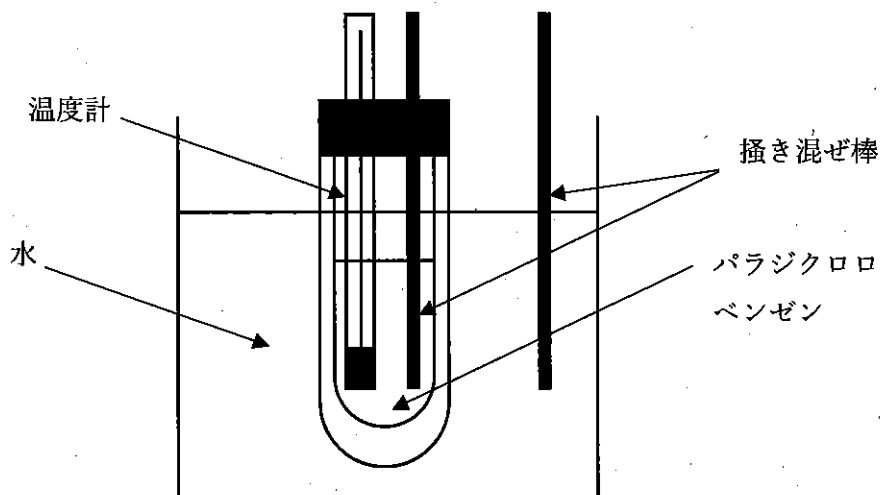
約 10g のパラジクロロベンゼンを 15mL 試験管に取り、ビーカー中の熱湯に浸して完全に融解した。図のように 15mL 試験管を内側にした二重試験管に温度計をセットした後（この時を時刻 0 分とした）、水の入ったビーカーに浸して 30 秒ごとに温度を測定した。このとき掻き混ぜ棒で温度を均一に保った。

ii) パラジクロロベンゼン溶液の凝固点の測定

パラジクロロベンゼンに、質量モル濃度が 0.30, 0.50, 0.70mol/kg になるように 3 本の試験管に別々にナフタレンを加え、i) と同様の方法で温度を測定し、記録した。

iii) パラジクロロベンゼンのモル凝固点降下 $K_f$ の決定

i), ii) の結果をもとに冷却曲線を描き、 $K_f$ を決定した。

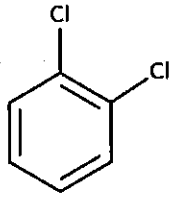


実験II：安息香酸パラジクロロベンゼン溶液のモル凝固点降下 $K_f'$ の測定

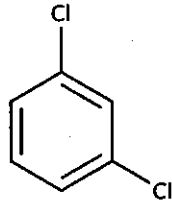
パラジクロロベンゼンを 3 本の試験管にとり、質量モル濃度が 0.30, 0.50, 0.70mol/kg になるように安息香酸を加え、実験I-ii) 同様に温度を測定、記録した。この記録をもとに冷却曲線を描き、 $K_f'$ を決定した。

(1) パラジクロロベンゼンの構造式は次のア～ウのうちのどれか、選べ。

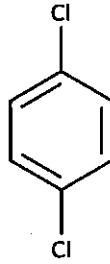
ア.



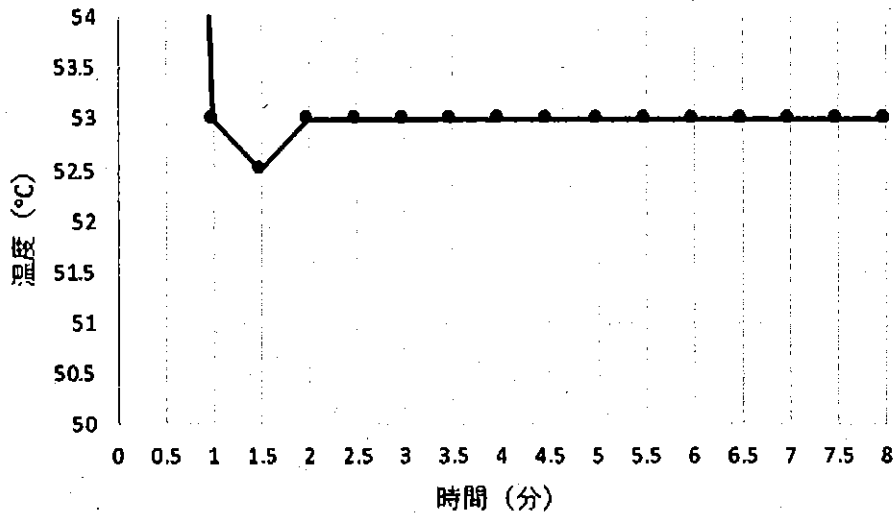
イ.



ウ.



(2) 実験I-i)の結果は次のようになった。また、実験I-ii), 実験IIの結果から各質量モル濃度に対する凝固点は次の表のようにまとめられた。この結果から決定される、パラジクロロベンゼンのモル凝固点降下 $K_f$ ,  $K_f'$ の最も妥当な値を次のア～カのうちからそれぞれ選べ。



質量モル濃度 (mol/kg)	0.30	0.50	0.70
ナフタレン	50.9	49.5	48.1
安息香酸	51.8	51.0	50.2

表：各溶液の凝固点 (°C)

ア. 2.0K·kg/mol

イ. 3.0K·kg/mol

ウ. 4.0K·kg/mol

エ. 5.0K·kg/mol

オ. 6.0K·kg/mol

カ. 7.0K·kg/mol

(3) 安息香酸は有機溶媒中で2分子が会合していることがある。会合度 $\alpha$ を次のように定義するとき、本実験の結果から $\alpha$ を求めよ。ただし、 $0 \leq \alpha \leq 1$ であり、ナフタレンは有機溶媒中で会合しないものとする。

$$\alpha = \frac{\text{2分子会合している安息香酸の(単量体での)物質質量}}{\text{全ての安息香酸の物質質量}}$$

(4) 安息香酸が溶解しているその中で2分子会合しない溶媒を、次のア～エのうちから全て選べ。

ア. テトラヒドロフラン    イ. 四塩化炭素    ウ. ベンゼン    エ. アセトン

(5) 塩化ナトリウムや塩化カルシウムは冬場に凍結防止剤として利用される。いま、水 10L の凝固点を  $1^{\circ}\text{C}$  降下させたい。塩化ナトリウムの価格が 1kg あたり 3,000 円、塩化カルシウムの価格が 1kg あたり 8,000 円であるとする、水 10L の凝固点を  $1^{\circ}\text{C}$  降下させるためにはどちらを購入するのが安く済むか、物質名とそのときの価格を整数値で答えよ。物質は 100g 単位で購入できるものとする。ただし、水のモル凝固点降下は  $1.85\text{K}\cdot\text{kg}/\text{mol}$ 、塩化ナトリウムの式量は 58.5、塩化カルシウムの式量は 111 であり、 $0^{\circ}\text{C}$  付近における各物質の水への溶解度を考慮する必要はない（本目的を達成するには十分溶解する）。

(6) 次の文章は異なる 4 種類の物質が溶解した溶液からそれらを分離する操作に関するものである。空欄 A～C、a～d を埋めよ。ただし、空欄 A～C を埋める言葉は次の選択肢中から選び、空欄 a～d には物質名を入れよ。

選択肢：水酸化ナトリウム水溶液、炭酸水素ナトリウム水溶液、塩酸

安息香酸、アニリン、フェノール、ニトロベンゼンが溶解しているエーテル溶液がある。この溶液に対し、( A ) を加えてよく振り、水層を取り出した。この水層に溶解しているのは ( a ) である。この操作で残ったエーテル層に対し、( B ) を加えてよく振り、水層を取り出した。この水層に溶解しているのは ( b ) である。この操作でさらに残ったエーテル層に対し、( C ) を加えてよく振り水層を取り出した。この水層に溶解しているのは ( c ) である。残ったエーテル層に溶解しているのは ( d ) である。

[解答欄]

No. 1	(1)			
	(2)	$K_f$	$K_f'$	
	(3)			
	(4)			
	(5)	物質	価格	
	(6)	A	B	
		C		
		a	b	
c		d		

【No. 2】 無機物質に関する次の文章を読んで、以下の各問いに答えなさい。ただし、有効数字は2桁とし、原子量はH=1.0, O=16, S=32である。

元素は大きく非金属元素、金属元素に分類される。非金属元素には①水素、②ハロゲン、硫黄、窒素、炭素などが含まれる。硫黄は地殻中に鉱物として多量に存在し、多くの元素と化合物を作る。例えば、硫化水素、二酸化硫黄、硫酸などが挙げられる。③濃硫酸は不揮発性、吸湿性、脱水作用、酸化作用など、多くの性質を持つ点で重要である。窒素は、地殻中には硝酸塩やアンモニウム塩として存在するほか、動植物の体内にも④タンパク質などの化合物として存在している。

金属元素には⑤ナトリウム、カリウム、⑥カルシウム、アルミニウムなどが含まれる。さらにナトリウムやカリウムはアルカリ金属として、カルシウムはアルカリ土類金属として分類される。⑦アルミニウムは両性金属であり、酸、強塩基の水溶液と反応して水素を発生する。

(1) 下線部①「水素」について、最も代表的な水素化合物は水  $H_2O$  である。 $H_2O$  の分子の形は次のア～ウのうちのどれか、選べ。

ア. 直線形    イ. 折れ線形    ウ. L字形

(2) 下線部②「ハロゲン」について、以下の実験を行った。反応が起こるものをア～ウのうちから全て選び、その化学反応式を書け。

ア. 臭化カリウム水溶液に塩素水を加えた。

イ. ヨウ化カリウム水溶液に臭素水を加えた。

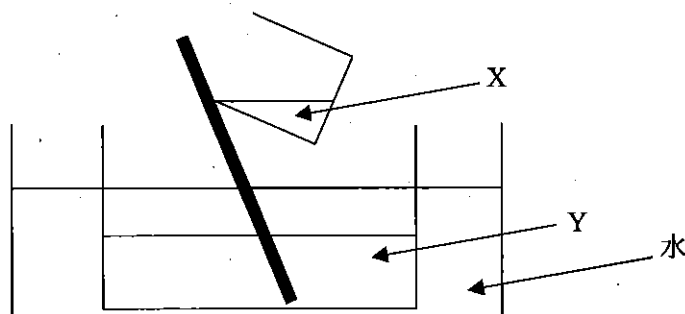
ウ. 塩化カリウム水溶液に臭素水を加えた。

(3) 下線部③「濃硫酸」について、以下の問いに答えよ。

(i) 濃度が18.0mol/Lの濃硫酸がある。この密度が $1.84g/cm^3$ であるとする、この濃硫酸の質量パーセント濃度を求めよ。

(ii) この濃硫酸を用いて質量パーセント濃度が5.0%の希硫酸を1.0kg作りたい。必要な濃硫酸の量(mL)と蒸留水の量(mL)を求めよ。

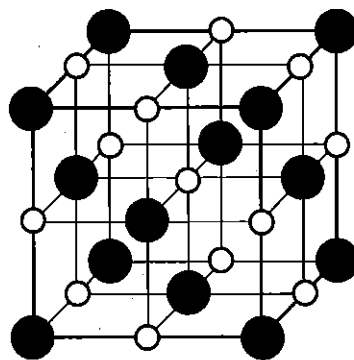
(iii) 次の図は濃硫酸と蒸留水の混合の様子を表している。液体Xは濃硫酸と蒸留水のどちらであるか、答えよ。



(4) 下線部④「タンパク質」について、タンパク質を構成しているのは主にアミノ酸である。アミノ酸に関する説明として正しいものを次のア～ウのうちから1つ選べ。

- ア. 天然のアミノ酸のほとんどは1種類の光学異性体である。
- イ. 1つのアミノ酸が持つアミノ基とカルボキシ基の数は等しい。
- ウ. 有機溶媒に溶けやすい。

(5) 下線部⑤「ナトリウム」について、NaClの結晶構造を考える。NaClは図のような面心立方格子を2つ、1辺の半分の長さだけずらして重ね合わせたような構造をしている。Cl<sup>-</sup>(●)のイオン半径をR、Na<sup>+</sup>(○)のイオン半径をrとする。この結晶構造が最も安定であるときのイオン半径比r/Rを求めよ。



(6) 下線部⑥「カルシウム」について、消石灰とも呼ばれる水酸化カルシウムの飽和水溶液は石灰水と呼ばれる。石灰水は二酸化炭素の検出に用いられ、二酸化炭素を通じると白く濁る。しかし、過剰に二酸化炭素を通じると、無色透明の水溶液となる。次の文はその理由を説明したものである。空欄 i, ii に当てはまる化学式を答えよ。

水酸化カルシウム水溶液に二酸化炭素を通じると ( i ) が生じるが、これはさらに二酸化炭素、水と反応して ( ii ) となるため、水溶液は無色透明となる。

(7) 下線部⑦「アルミニウムは両性金属であり、酸、強塩基の水溶液と反応して水素を発生する」について、次の2つの反応の化学反応式を書け。

- (i) アルミニウムと塩酸の反応
- (ii) アルミニウムと水酸化ナトリウム水溶液の反応

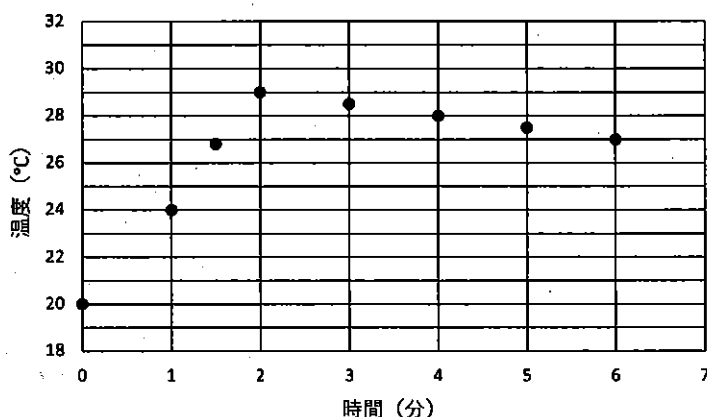
[ 解 答 欄 ]

No. 2	(1)			
	(2)			
	(3)	(i)	(ii) 濃硫酸	蒸留水
		(iii)		
	(4)			
	(5)			
	(6)	(i)	(ii)	
	(7)	(i)		
(ii)				



【No. 3】 熱に関する次の実験内容を読んで、以下の各問いに答えなさい。有効数字は2桁とする。ただし、水溶液の比熱を $4.2\text{J}/(\text{g}\cdot\text{K})$ 、水の密度を $1.0\text{g}/\text{mL}$ とし、溶質を溶かしても溶液の体積は変化しないものとする。

実験Ⅰ：発泡ポリスチレン製の断熱容器に入れた水  $100\text{mL}$  に①水酸化ナトリウムの結晶  $4.0\text{g}$  を加え、攪拌しながら②液温を測定したところ、図のような結果が得られた。水酸化ナトリウムを加えた瞬間が時間  $0$  分である。ただし、断熱容器は完全に断熱できるものではなかった。



こうして得られた水酸化ナトリウム水溶液と同じモル濃度の希塩酸を  $50\text{mL}$  ずつ混合したところ、 $2.8\text{kJ}$  の熱量が発生した。

実験Ⅱ：少量の鉄(Ⅲ)イオン $\text{Fe}^{3+}$ の存在下で、過酸化水素の分解反応 $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ の反応速度定数をいくつかの異なる温度で求めたところ、表のようになった。

温度 (K)	300	310	320	330
反応速度定数 (/min)	0.10	0.33	0.97	2.70

- (1) 下線部①「水酸化ナトリウム」について、水酸化ナトリウムには、その固体を空气中に放置すると、空気中の水分を吸収して溶けるという性質がある。この現象の名前を次のア～ウのうちから選べ。  
ア. 風解    イ. 融解    ウ. 潮解
- (2) 下線部②「液温を測定した」について、実験Ⅰの結果から、水  $100\text{mL}$  に水酸化ナトリウム  $4.0\text{g}$  を溶解したことによって発生した熱量を求めよ。
- (3) 実験Ⅰの結果から、水酸化ナトリウム水溶液と塩酸の中和熱 ( $\text{kJ}/\text{mol}$ ) を求めよ。
- (4) 実験Ⅰの結果から、 $0.50\text{mol}/\text{L}$  の希塩酸  $100\text{mL}$  に固体水酸化ナトリウム  $2.0\text{g}$  を溶解させたときに生じる熱量を求めよ。

- (5) 反応速度定数 $k$ は頻度因子という反応ごとに決まる定数  $A$ , 活性化エネルギー  $E_a$ , 気体定数 $R$ , 温度 $T$ によって,

$$k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}}$$

と表される。これをアレニウスの式という。次の文は、実験Ⅱの結果から過酸化水素の分解反応の活性化エネルギーを求める方法について述べたものである。空欄 (i) ~ (iv) に

当てはまる数式・数値を答えよ。

アレニウスの式を変形すると、 $\log_e k = - (i) \times (ii) + (iii)$  と書き表すことができる。

(ii) に対して  $\log_e k$  をプロットすれば、これらは直線の関係になる。また、その傾きは  $-(i)$  に等しい。実際に実験Ⅱの結果から得られた傾き  $-1.1 \times 10^4 \text{K}$  と気体定数  $R (=8.3 \text{J}/(\text{K} \cdot \text{mol}))$  から求められる活性化エネルギーは (iv)  $\text{kJ/mol}$  と求められる。

[解答欄]

No. 3	(1)			
	(2)			
	(3)			
	(4)			
	(5)	(i)	(ii)	
		(iii)	(iv)	

