

## 令和6年度・個別学力検査

# 理 科 (前)

### 注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開いてはいけません。
2. この冊子は28ページあります。
3. 試験開始後、落丁・乱丁・印刷不鮮明の箇所があったら申し出なさい。
4. 解答はすべて解答用紙に、それぞれの問題の指示にしたがって記入しなさい。
5. この冊子のどのページも切り離してはいけません。ただし、余白等は適宜利用してかまいません。
6. 試験終了後、問題冊子は持ち帰りなさい。
7. 試験開始後、全科目の解答用紙4枚ともに氏名(カタカナ)及び受験番号を記入しなさい。受験番号が正しく記入されていない場合は、採点できないことがあります。また、氏名(カタカナ)及び受験番号以外の文字、数字などは、絶対に記入してはいけません。

令和6年度個別学力検査

医学部 前期日程  
理 科 問 題

名古屋市立大学 学生課入試係 052-853-8020

許可なしに転載、複製  
することを禁じます。

## 理 科 問 題

物 理	問題 1	3 ページ
	” 2	6 ”
	” 3	9 ”
	” 4	12 ”

化 学	問題 1	14 ページ
	” 2	19 ”
	” 3	22 ”
	” 4	26 ”

## 解 答 用 紙

理科	物理解答用紙	2 枚
理科	化学解答用紙	2 枚

# 物 理

## 物理問題 1

陸上競技におけるハンマー投げを、図1に示す力学モデルに基づいて物理的に考察しよう。ハンマーを持つ選手を、変形しない長さ $L$ のまっすぐな細い棒で表す。簡単のため、棒の質量 $M$ はすべて棒の中心に位置しているとする。棒は、鉛直方向に対して角度 $\theta$ だけ傾いた状態で、その下端が水平な地面と接している(支点)。ハンマーは、大きさが無視できる質量 $m$ の砲丸と、棒と同じ長さの軽いワイヤからなり、棒の中心で棒と接続されている。棒とハンマーは、支点を通る鉛直軸を回転軸として自由に回転することができる。ワイヤは、回転が遅いときは下に垂れ下がっているが、回転が速くなるとともに砲丸に作用する遠心力によって次第に水平方向へと張られていく。簡単のため、この力学モデルにおいては、ワイヤは常に水平に張られているとする。この状態を維持したまま、棒とハンマーは回転軸まわりを一定の角速度 $\omega$ で回転している。この回転運動における力のつり合いを、棒やハンマーとともに回転する観測者の立場で考えよう。重力加速度を $g$ とする。空気抵抗など、回転運動を妨げる抵抗力は無視する。支点の位置は一定とする。以下の問いに答えよ。

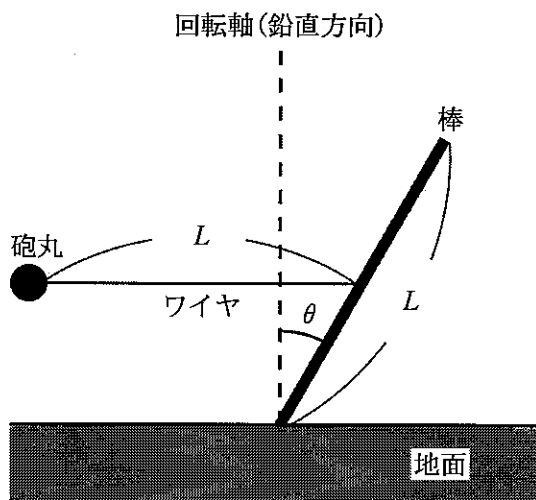


図1

- (1) 砲丸と回転軸のあいだの距離  $l$  を求めよ。
- (2) 砲丸にはたらく遠心力の大きさ  $f_m$  を求めよ。
- (3) 棒にはたらく遠心力の大きさ  $f_M$  を求めよ。
- (4) 棒の傾き  $\theta$  を一定に保つには、棒にはたらく支点まわりの力のモーメントがつり合っていないなければならない。力のモーメントのつり合いの式を書け。解答には  $f_m$ ,  $f_M$  の文字を用いること。
- (5) 問(4)のつり合いの式を解き、 $\omega^2$  を  $\theta$  の関数として求めよ。解答には、 $M$ ,  $m$  の代わりに、砲丸と棒の質量比  $\alpha = \frac{m}{M}$  を用いること。
- (6) 棒の傾き  $\theta$  がある値  $\theta_*$  を超えると、つり合いの式を満たす  $\omega$  が存在しなくなり、傾きを一定に保てなくなる。 $\sin \theta_*$  を求めよ。解答には、 $M$ ,  $m$  の代わりに、問(5)で定義した  $\alpha$  を用いること。

以下の文章は、図1の力学モデルに基づき、ハンマーをより速くに投げるための方法論について考察したものである。以下の文章の空欄に適切な言葉や式を入れよ。なお、数値は有効数字二桁で求めること。

ハンマーをより速くに飛ばすためには、角速度 $\omega$ が大きくなるように棒の傾き $\theta$ を調節すればよい。厳密には、角速度ではなく、砲丸の回転方向の速さが重要だが、ここでは角速度に着目することにする。問(5)で求めた式より、 $\theta$ を  するほど、 $\omega$ が大きくなるのがわかる。しかし、問(6)で求めたように、棒は $\theta_*$ までしか傾けることができない。砲丸と棒の質量をそれぞれ7.5 kg, 100 kg とすると、 $\theta_* =$   radとなる。ここで、 $\sin \theta_*$ は1より十分に小さいため、 $\sin \theta_* = \theta_*$ とした。度の単位に換算すると $\theta_* =$   度となる。なお、円周率には3.14を用いた。従って、 $\theta$ をできるだけ  しつつも、 $\theta_*$ を超えないように微調整する繊細な技術が重要であるといえる。

また、ワイヤと棒の接続は、選手の両手での握力によって維持される。握力を $X$ で表し、これは最大 $X \times g$ の力で接続を維持できる能力だとする。ワイヤの張力が握力による上限を超えると、砲丸はそのときの回転方向に飛んでいく。接続を維持できる角速度の最大値を $\omega_{\max}$ とすると、 $\omega_{\max}^2 =$   と求められる。ここで、 $\theta_*$ は1に対して十分に小さいため、 $\theta = 0$ とみなした。 $X = 300 \text{ kg}$ ,  $L = 2.0 \text{ m}$ ,  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ とすると、 $\omega_{\max} =$   rad/sを得る。このとき、砲丸の回転方向の速さは  m/sとなる。ここでも $\theta = 0$ とみなした。

仮に、砲丸をこの速さで水平面に対して45度の角度で地面から飛ばしたとすると、空気抵抗を無視した放物運動の公式を用いて、飛距離は  mと計算できる。なお、参考までに、男子ハンマー投げの日本記録は室伏広治氏の84.86 mである。

## 物理問題 2

図1Aのように、鉛直方向に立てられた断面積  $S$  のシリンダーに滑らかに動くことのできるピストンで単原子分子の理想気体(以下、気体とよぶ)を密閉した。ピストンの重さと厚さは無視できる。シリンダーは、液体を流入させるための注入口と液体を流出させるための排出口に、水平方向に走る細い管を介してつながっている。注入口の下端はシリンダーの底面から高さ  $3a$  ( $a > 0$ ) の位置にあり、コックを使って液体と気体の流入を制御できる。排出口は注入口の鉛直上方にあり、排出口の下端と注入口の下端は距離  $h$  ( $a < h < 2a$ ) だけ離れている。シリンダーの側面とピストンは熱を通さず、シリンダーの底面は熱の出入りができるようになっている。シリンダーの壁の厚さは無視できる。シリンダーと注入口・排出口とをつなぐ細い管およびコックの大きさ・体積も無視できる。

大気圧  $P_0$  の外気にさらされたピストンによって閉じ込められた気体の絶対温度は  $T_0$  であり、ピストンの高さは注入口の下端と同じであった。この状態をⅠとよぶ(図1A)。ここから気体の温度が自然に下がり、ピストンの高さが  $2a$  になった。この状態をⅡとよぶ(図1B)。さらにコックを開き、加熱しながら気体の体積を変化させることなく液体を静かに流入させ、液面の高さが注入口の下端と同じになったところでコックを閉じた。この状態をⅢとよぶ(図1C)。

気体の状態は十分にゆっくり変化するものとし、重力加速度の大きさを  $g$ 、液体の密度を  $\rho$  として、以下の問いに答えよ。

- (1) 状態Ⅱでの気体の絶対温度はいくらか。
- (2) 状態変化Ⅰ → Ⅱの間に気体が外部にした仕事はいくらか。
- (3) 状態変化Ⅱ → Ⅲの間に気体が外部にした仕事はいくらか。

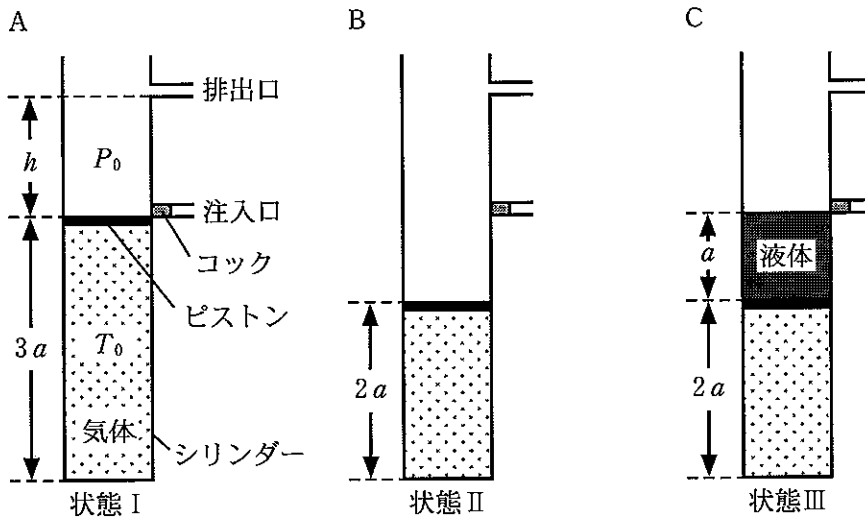


図 1

状態Ⅲに引き続き、気体の加熱を続けると、液面はゆっくり上昇し、排出口の下端に達した。この状態をⅣとよぶ(図 2 A)。さらに加熱を続けると、液体が排出口から流出し始めた。そして、ピストンが排出口の下端に達したと同時に全ての液体の排出が終わり、ここで加熱を止めた。この状態をⅤとよぶ(図 2 B)。

(4) 状態Ⅲ, Ⅳ, Ⅴ, それぞれでの気体の圧力および絶対温度を求め、下表の欄①～⑥に記せ。

	圧力	絶対温度
状態Ⅲ	①	②
状態Ⅳ	③	④
状態Ⅴ	⑤	⑥

- (5) 状態変化Ⅲ → Ⅳの間に気体が吸収した熱量はいくらか。  
 (6) 状態変化Ⅳ → Ⅴの間に気体が外部にした仕事はいくらか。  
 (7) 状態変化Ⅳ → Ⅴの間に気体が吸収した熱量はいくらか。

さらに、状態Vは、気体の温度が自然に下がるにつれてピストンの位置も下がり、状態Iに戻った。ここでコックを開くと、ピストンの位置が下がるにつれて液体が流入し、状態IIIに戻った。

(8) 状態変化III → IV → V → I → IIIの一巡で、気体が外部にした仕事はいくらか。

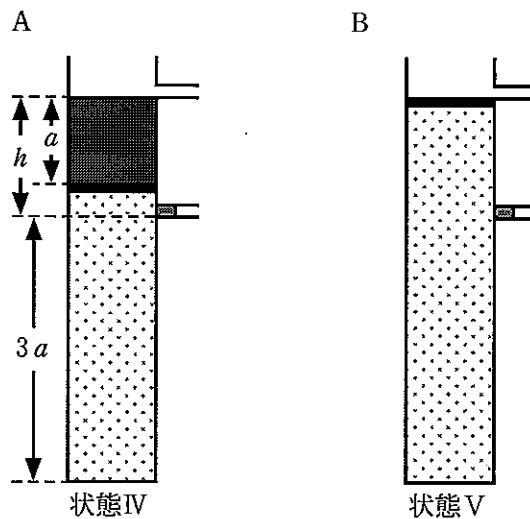


図 2



### 物理問題 3

横の長さ  $l$ 、縦の長さ  $d$ 、厚さ  $a$  の同じ大きさの金属板 A、B を用意し、図 1 のように、金属板の横の辺は  $x = 0, l$  に、縦の辺は  $y = \frac{d}{2}, -\frac{d}{2}$  に一致するように設置する。金属板 A の下面は  $z = \frac{h}{2}$ 、金属板 B の上面は  $z = -\frac{h}{2}$  の位置にある。金属板 A、B にそれぞれ電気量  $Q_A, Q_B$  を与えたところ、金属板 A の上面に電気量  $Q_1$ 、下面に電気量  $Q_2$ 、金属板 B の上面に電気量  $Q_3$ 、下面に電気量  $Q_4$  が一様に現れた。金属板は十分広くて薄く、 $l \gg a, d \gg a$  なので、側面に現れる電気量は無視する。また、金属板間の距離  $h$  は、 $l$  や  $d$  に比べて十分小さく、 $l \gg h, d \gg h$  とし、端に現れる電場は無視する。円周率を  $\pi$  とする。このとき以下の問いに答えよ。

- (1) 電気量  $Q_1$  が周辺に作る電場を求める。金属板 A の表面の電気量は一様に分布しているので、表面は等電位面であり、電場の向きは等電位面に対して垂直である。図 1 に点線で示したように、金属板 A と同じ大きさの仮想的な直方体を考える。直方体の下面は金属板 A 内の  $z = \frac{h}{2} + \frac{a}{2}$  に位置しており、上面は金属板 A より上の  $z = \frac{h}{2} + \frac{3a}{2}$  に位置している。この仮想的な直方体に対してガウスの定理(注)を当てはめ、金属板 A の内部にある点  $a(\frac{l}{2}, 0, \frac{h}{2} + \frac{a}{2})$  において  $Q_1$  が作る電場の  $z$  軸方向の成分を求めよ。ただし、クーロンの法則の比例定数を  $k$  とし、仮想的な直方体の厚さは十分に小さいので、直方体の端における  $x, y$  方向の電場は無視する。

(注) ガウスの定理とは、「電気量  $Q$  の電荷から出る電気力線の総数は  $4\pi kQ$  本で一定であり、その電荷を囲む平面を垂直に貫く単位面積あたりの電気力線の本数が電場の強さ  $E$  となる」というものである。

- (2) 点  $a$  における電場は、そこに  $Q_1 \sim Q_4$  が作る電場の和で表される。(1)と同様に電気量  $Q_2 \sim Q_4$  が作る電場を考え、点  $a$  における電場の  $z$  軸方向の成分を求めよ。
- (3)  $Q_1 \sim Q_4$  を  $Q_A, Q_B$  を用いて表せ。導出過程も示すこと。
- (4)  $Q_A = -3Q, Q_B = Q$  のとき、金属板 A と B の間の点  $b(\frac{l}{2}, 0, 0)$  における電場の  $z$  軸方向の成分を求めよ。

図2のように、金属板A、Bを図1と同じように配置し、それぞれに適当な正電荷、負電荷を与えることにより、金属板の間だけに大きさ $E_0$ の電場が $z$ 軸方向負の向きに一様にかかっている状況を考える。ここで、原点から、時刻 $t=0$ において、初速度 $v_0$ で $x$ 軸方向正の向きに、電荷 $q(>0)$ 、質量 $m$ のイオンを打ち込む。

- (5) イオンが金属板の右端の位置( $x=l$ )に到達するのにかかる時間 $t_1$ を求めよ。
- (6) 金属板の間を通過する間にイオンは電場からの力を受けて、その軌道は曲がる。イオンが金属板A、Bともに衝突しない時、時刻 $t=t_1$ の時のイオンの $z$ 座標 $z_t$ を $q$ 、 $m$ 、 $E_0$ 、 $l$ 、 $v_0$ を用いて表せ。
- (7)  $z_t$ を測定すれば、比電荷 $\frac{q}{m}$ を計算でき、イオンの種類を推定することができる。 $E_0=4.0\text{ V/m}$ 、 $l=2.0\text{ m}$ 、 $v_0=1.0\times 10^2\text{ km/s}$ で実験を行った時、 $|z_t|=2.0\text{ cm}$ であった。この時、打ち込んだイオンの比電荷の値を有効数字2桁で求めよ。また、この値から推定されるイオンの種類は、{①  $^1\text{H}^+$ 、②  $^4\text{He}^+$ 、③  $^4\text{He}^{2+}$ 、④  $^{14}\text{N}^+$ 、⑤  $^{16}\text{O}^+$ }のうちどれか。①~⑤のうち適切なものを選び。ただし、電気素量として $1.6\times 10^{-19}\text{ C}$ 、陽子及び中性子の質量として $1.6\times 10^{-27}\text{ kg}$ を用いよ。
- (8)  $x\geq 0$ の空間に磁束密度 $B_0$ の磁場を[①  $z$ 軸方向正の向き、②  $z$ 軸方向負の向き、③  $y$ 軸方向正の向き、④  $y$ 軸方向負の向き]に一様にかけることにより、ローレンツ力と電場による力を釣り合わせて、イオンを直進させることができる。上記①~④のうち適切なものを選び、その時の $B_0$ の大きさを求めよ。
- (9) (8)の状況で、イオンは金属板の右端( $x=l$ )に到達した後、 $x>l$ の領域に進んだ。そして、その後、再び $x=l$ の位置に戻ってきた。この時の $z$ 座標を $q$ 、 $E_0$ 、 $m$ 、 $v_0$ を用いて表せ。また、金属板の間を通り過ぎてから、初めて $x=l$ に再び戻ってくるまでの時間を $q$ 、 $E_0$ 、 $m$ を用いて表せ。

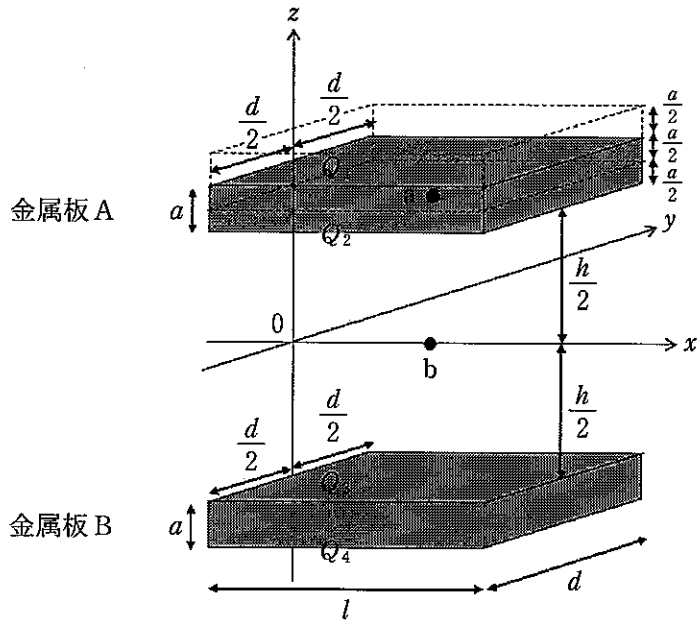


図 1

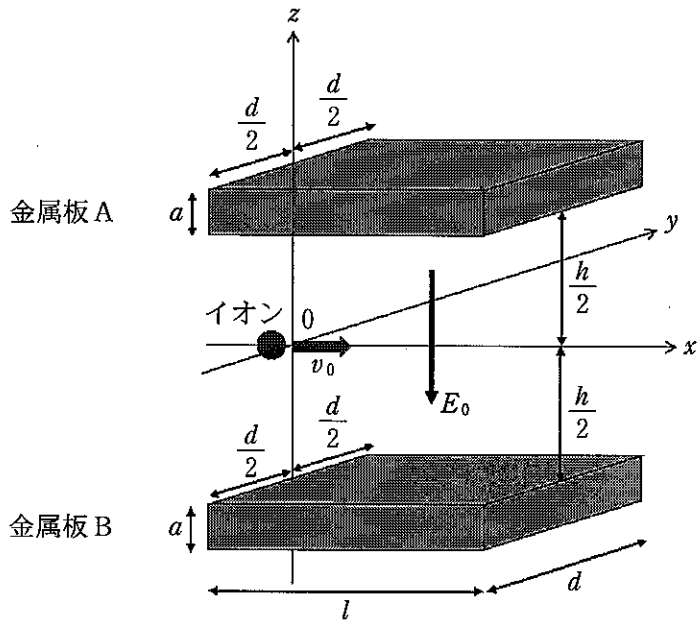
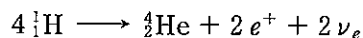


図 2

## 物理問題 4

太陽の核融合反応について考える。太陽の中心部において、水素原子核  ${}^1_1\text{H}$  がヘリウム原子核  ${}^4_2\text{He}$  に変換される過程は、以下の式にまとめて表されるとする。



ここで、 $e^+$  は陽電子、 $\nu_e$  はこの反応によって放出されるある粒子を表す。 ${}^1_1\text{H}$  の質量は  $1.6726 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 、 ${}^4_2\text{He}$  の質量は  $6.6447 \times 10^{-27} \text{ kg}$  であるとする。 $e^+$  および  $\nu_e$  の質量は、無視できるものとする。また、真空中の光速を  $3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$  とする。

- (1) 上式の $\nu_e$ は何という粒子を表すか。
- (2) ヘリウム原子核 ${}^4\text{He}$ を1個生成する際に得られる質量欠損のエネルギーはいくら(J)か。有効数字2桁で求めよ。
- (3) 太陽全体から毎秒 $3.85 \times 10^{26}$  Jのエネルギーが放出されている。このエネルギーが全て上式の核融合で発生していると仮定すると、毎秒何 kg のヘリウム原子核 ${}^4\text{He}$ が生成されるか。有効数字2桁で求めよ。
- (4) 核融合が生じるには、まず、2つの水素原子核が静電気力に逆らってある距離まで近づく必要がある。この距離を $1.0 \times 10^{-14}$  mとする。この距離において2つの水素原子核間に働く静電気力による位置エネルギーはいくら(J)か。クーロンの法則の比例定数を $9.0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$ 、水素原子核 ${}^1\text{H}$ の電荷を $1.6 \times 10^{-19}$  Cとして、有効数字2桁で求めよ。ただし、原子核は点電荷であるとみなし、2つの水素原子核同士を無限遠に離れた場合の位置エネルギーをゼロとする。
- (5) 水素原子核 ${}^1\text{H}$ の平均の運動エネルギーが、問(4)で求めた静電気力による位置エネルギーを上回るための最低の温度(K)を有効数字2桁で求めよ。ただし、ボルツマン定数 $k = 1.4 \times 10^{-23}$  J/Kとする。
- (6) 実際の太陽の中心部の温度は $1.5 \times 10^7$  K程度であることから、問(5)の結果は、水素原子核同士は熱運動のみによって $1.0 \times 10^{-14}$  mまで接近することはできないことを意味する。太陽の中心部において、水素原子核 ${}^1\text{H}$ 同士は平均的な熱運動のエネルギーによってどの程度の距離(m)まで近寄ることができるか。有効数字2桁で求めよ。

(なお、太陽内では $1.0 \times 10^{-14}$  mにまで原子核同士が接近せずとも、この間で計算される程度に原子核同士が近接することで量子的な効果が生じ、確率的に核融合反応が起きると考えられている。これを「量子トンネル効果」と呼ぶ。)

# 化 学

## 化学問題 1

次の文章を読み、問1～問8に答えよ。ただし、電子1個がもつ電荷の絶対値は  $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  とし、結合エネルギーは表1の値を、イオン化エネルギー( $I$ )と電子親和力( $F$ )は表2の値を用いよ。

表1 結合エネルギー

結合	結合エネルギー [kJ/mol]
F—F	153
Cl—Cl	242

表2 各元素の原子1個あたりのイオン化エネルギー( $I$ )と電子親和力( $F$ )

元素	イオン化エネルギー( $I$ ) [ $\times 10^{-19}\text{J}$ ]	電子親和力( $F$ ) [ $\times 10^{-19}\text{J}$ ]
H	21.8	1.2
C	23.4	2.1
O	29.7	5.4
F	33.4	5.6

電気陰性度は、原子が電子を引き寄せる強さを表す数値である。ポーリングは二原子分子の結合エネルギーから、はじめて電気陰性度を定義した。2種類の元素Aと元素Bがあり、化学結合A—A、B—B、A—Bの結合エネルギーをそれぞれ  $E(\text{A—A})$ 、 $E(\text{B—B})$ 、 $E(\text{A—B})$  としたとき、次の(1)式で示される  $\Delta E$  を考える。

$$\Delta E = E(\text{A—B}) - \frac{E(\text{A—A}) + E(\text{B—B})}{2} \dots\dots\dots(1)$$

化学結合 A—B を完全な共有結合とみなせば、A—B の結合エネルギーは、A—A の結合エネルギーと B—B の結合エネルギーの平均値と等しくなり、a となるはずである。逆に b であれば、化学結合 A—B の電荷がかたよるため、イオン結合性が生じ、これが共有結合に加えて、結合エネルギーの増加をもたらしている。よって、 $\Delta E$  の大きさが電荷のかたより、すなわち電気陰性度を反映している。

ポーリングは  $\Delta E$  の平方根が、原子 A と原子 B の電気陰性度  $x_A$  および電気陰性度  $x_B$  の差に比例すると考え、次の(2)式で示されるように、電気陰性度の数値を与えた。ただし、ここではエネルギーの単位は kJ/mol である。

$$|x_A - x_B| = \sqrt{\frac{\Delta E}{96.5}} \quad \dots\dots\dots(2)$$

その後、マリケン はイオン化エネルギーと電子親和力から電気陰性度を定義した。マリケン は分子の極性を考える際に、まず極端な構造として二原子分子 AB の各原子がイオン化した構造を考えた。つまり  $A^+B^-$  または  $A^-B^+$  である。 $A^+B^-$  の場合、二原子分子 AB が、全体では中性を保ちながら、イオンの対をなす構造になるためには、A 原子から電子を奪い、B 原子に電子を与え、安定化すればよい。その結果、二原子分子 AB が  $A^+B^-$  というイオン構造になったとき、放出されるエネルギー  $D_{A^+B^-}$  は次の(3)式で与えられる。ここで  $F_B$  は B 原子の電子親和力、 $I_A$  は A 原子のイオン化エネルギー、 $C$  はクーロン力による安定化エネルギーである。

$$D_{A^+B^-} = F_B - I_A + C \quad \dots\dots\dots(3)$$

一方、二原子分子 AB が  $A^-B^+$  というイオン構造になったとき、放出されるエネルギー  $D_{A^-B^+}$  は次の(4)式で与えられる。ここで  $F_A$  は A 原子の電子親和力、 $I_B$  は B 原子のイオン化エネルギー、 $C$  はクーロン力による安定化エネルギーである。

$$D_{A^-B^+} = F_A - I_B + C \quad \dots\dots\dots(4)$$

$A^+B^-$  と  $A^-B^+$  のどちらの構造がより安定であるかは、これらの差、 $x_{AB} = D_{A^+B^-} - D_{A^-B^+}$  を考えればよい。<sup>(ii)</sup>  $x_{AB}$  が正の場合は、 $A^+B^-$  がより安定に、 $x_{AB}$  が負の場合は、 $A^-B^+$  がより安定になる。この式を変形してわかるように、c の値がより大きい原子が分子中で負の電荷を帯びると考えられ、マリケンc の  $\frac{1}{2}$  を電気陰性度と定義した。ポーリングの電気陰性度とマリケンの電気陰性度との間にはおおよそ比例関係がある。

マリケンの電気陰性度の定義からもわかるように、電荷のかたよりから分子の極性が生じる。分子の結合の極性の大きさを示す尺度として、図に示すように電気双極子モーメントがあり、分子構造や結合のイオン結合性を調べるのに役立つ。

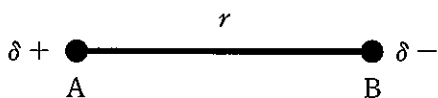


図 電気双極子モーメント

例えば二原子分子であれば、正電荷を  $+q$  [C] と負電荷  $-q$  [C] が距離  $r$  [m] だけ離れているとき、電気双極子モーメント  $\mu$  は次の(5)式で与えられる。単位は  $C \cdot m$  である。

$$\mu = q \times r \quad \dots\dots\dots(5)$$

電気双極子モーメント  $\mu$  が 0 の分子を無極性分子という。

多原子分子の場合は、各結合に関わる電気双極子モーメント  $\mu$  の大きさと、正電荷から負電荷への方を持つベクトルと同じように考え、それらのベクトルの和により、分子全体の極性を考える。よって、ジプロモベンゼンの各異性体の中で無極性の異性体は、d ジプロモベンゼンであり、トリプロモベンゼンの各異性体の中で無極性の異性体は、e トリプロモベンゼンである。



問 1.  と  に当てはまる適切な式を次の中から選び、数字で記せ。

- ①  $\Delta E < 0$       ②  $\Delta E = 0$       ③  $\Delta E > 0$

問 2. 下線部(i)について、フッ素の電気陰性度を 4.00、塩素の電気陰性度を 3.20 とおいたときの F—Cl の結合エネルギー (kJ/mol) を求めよ。ただし、有効数字は 3 桁とする。

問 3. 下線部(ii)について、 $x_{AB}$  を、 $F_A$ ,  $F_B$ ,  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $C$  の中から必要なものを用いて記せ。

問 4.  を、 $F$  と  $I$  を用いて記せ。

問 5. 次の各結合について、極性の大きな順番に左から数字を並べよ。また、そう考えた理由を、各元素のマリケンの電気陰性度の値を使って述べよ。ただし、原子間距離は同じと仮定する。

- ① H—C      ② H—O      ③ H—F

問 6. 水素原子から塩素原子に電子が 1 個引き寄せられた場合、 $H^+Cl^-$  というイオン構造になるのに対し、HCl 分子では水素原子から塩素原子に電子が 0.18 個分、引き寄せられているとみなすことができる。水素原子と塩素原子の原子間距離を  $1.3 \times 10^{-10}$  m とすると、HCl 分子の電気双極子モーメントの大きさ ( $C \cdot m$ ) を求めよ。ただし、有効数字は 2 桁とする。

問 7.  と  に当てはまる最も適切なものを次の選択肢から選び、①～⑧の数字で記せ。

- ① 1, 1-      ② 1, 2-      ③ 1, 3-      ④ 1, 4-  
⑤ 1, 2, 3-      ⑥ 1, 2, 4-      ⑦ 1, 2, 5-      ⑧ 1, 3, 5-

問 8. ジブロモベンゼンの C—C 間を結ぶ図形が正六角形であり，すべての原子が同一平面上にあると仮定する。各 C—Br 結合の電気双極子モーメントの大きさを  $\mu_1$  としたとき，*o*-ジブロモベンゼンおよび，*m*-ジブロモベンゼンの分子全体の電気双極子モーメントの大きさを，それぞれ  $\mu_1$  を用いて表せ。ただし，分子内の臭素原子どうしの反発や C—H 結合の極性は無視する。

## 化学問題 2

次の文章[I]～[III]を読み、問1～問9に答えよ。

[I] 化学反応において、反応の前後における物質のもつ化学エネルギーの差の一部が光として放出される現象を化学発光という。科学捜査における血痕の鑑識法である  反応は、化学発光の例であり、反応の際に青い光を発する。血液中のヘモグロビンは  を含むため、 反応の触媒として働き、微量の血液を検出するのに有効である。

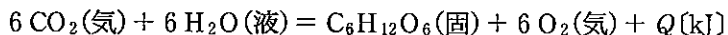
ギ酸に濃硫酸を加えて加熱すると気体の  が発生する。気体  は、血液中のヘモグロビンと結合することで、生体内で酸素運搬能が低下するため酸素不足に陥る。

物質に光をあてると、物質が光エネルギーを吸収して、化学反応がおこることがある。これを光化学反応という。臭化銀は、光が当たると、光エネルギーを吸収して銀の微粒子を生成し、黒変する。このような性質を  といひ、写真フィルムに応用される。また、植物は光のエネルギーを用いて、二酸化炭素と水から糖類を合成し、<sup>①</sup>酸素を発生させる。

問 1.  ～  に入る最も適切な語句を記せ。

問 2. 気体  について考えられる電子式を記せ。

問 3. 下線部①について、光合成でグルコース  $C_6H_{12}O_6$ (固)が生成する反応は次の熱化学方程式で表されるものとする。

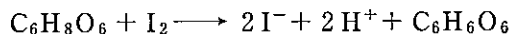


反応熱  $Q$  の値を、次の表の中から必要な値を利用して求めよ。また、いずれの数値も常温常圧下での値とする。

表

グルコース $C_6H_{12}O_6$ (固) の生成熱	1273 kJ/mol
$CO_2$ (気) の生成熱	394 kJ/mol
$H_2O$ (液) の生成熱	286 kJ/mol

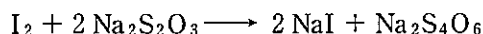
- [II] ある濃度の硫酸銅(II)水溶液 20.0 mL に十分量のヨウ化カリウム水溶液を②加えると、ヨウ化銅(I)の白色沈殿を生じるとともにヨウ素が生成した。この水溶液に少量のデンプン水溶液を加え、0.200 mol/L のチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定したところ、36.0 mL 加えた時点で溶液の色が変化し、当量点に達した。一方、ヨウ素は、ビタミンC(アスコルビン酸、 $C_6H_8O_6$ )と次の化学反応式に示すように反応する。



この反応は、酸化還元反応であり、ビタミンCの定量に用いることができ③る。

問 4. 下線部②について、化学反応式を記せ。

問 5. 下線部②について、硫酸銅(II)水溶液のモル濃度(mol/L)を有効数字3桁で求めよ。ただし、生成したヨウ素をチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定するときの化学反応式は、次のとおりとする。



問 6. 下線部③について、ビタミンCの定量は、過マンガン酸カリウムを用いても行える。ある濃度のビタミンC水溶液 30.0 mL を硫酸酸性下で、0.020 mol/L の過マンガン酸カリウム水溶液で滴定したところ、当量点に達するまでに 24.0 mL 要した。ビタミンCのモル濃度(mol/L)を有効数字3桁で求めよ。

[Ⅲ] ケイ素は、岩石や鉱物の成分元素として、地殻中で酸素の次に多く存在する元素である。ケイ素は、自然界には単体では存在しないが、酸化物を電気炉内で  により還元すれば単体のケイ素が得られる。単体のケイ素は、金属光沢があり、電気伝導性は金属と非金属の中間の大きさで、  の性質を示す。一方、二酸化ケイ素の結晶は共有結合結晶に分類される。二酸化ケイ素を炭酸ナトリウムとともに 1300℃ で融解させると、  を生じる。  に水を加えて加熱すると、  とよばれる無色透明で粘性の大きな液体が得られる。

問 7.  ~  に入る最も適切な語句を記せ。ただし、  は化学式で記せ。

問 8. ケイ素は、ダイヤモンドと同じ結晶構造をもつ。ケイ素の単位格子に含まれる原子の数はいくつか答えよ。また、ケイ素はきわめて純度の高い結晶を得ることができ、この結晶を用いて、高い精度でアボガドロ定数が測定された。ケイ素の単位格子の一辺を  $L$  [cm]、ケイ素の原子量を  $M$ 、ケイ素の密度を  $d$  [g/cm<sup>3</sup>] としたとき、アボガドロ定数  $N_A$  [/mol] を、 $L$ 、 $M$ 、 $d$  を用いて表せ。

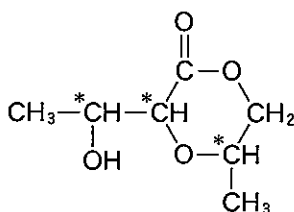
問 9. 弱酸であるフッ化水素酸は、ガラス瓶ではなくポリエチレン容器に保存する必要があるが、その理由を化学反応式を用いて説明せよ。

### 化学問題 3

次の文章[I]および[II]を読み、問1～問8に答えよ。

必要に応じて次の数値を使用せよ。原子量はH = 1.00, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0とする。構造式を解答する際には、例にならって記せ。

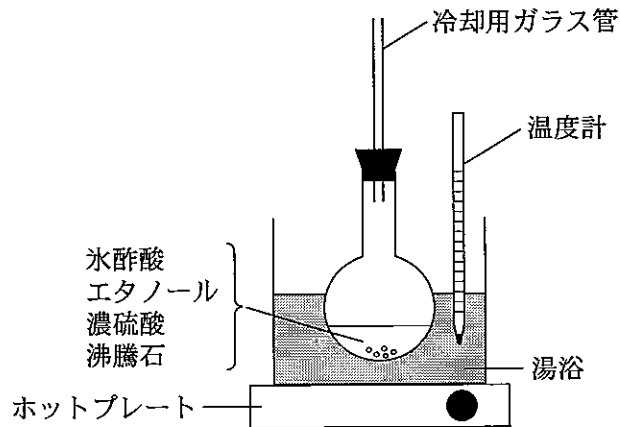
[例]



[I] 酢酸エチルの合成と分離・精製を行うため、実験1および実験2を行った。

実験1 図のような装置を用いて、氷酢酸40.0gとエタノール150 mL (比重  $0.789 \text{ g/cm}^3$ ) を入れた丸底フラスコに少量の濃硫酸と沸騰石を加え、<sup>(a)</sup>湯浴で1時間加熱した。室温になるまで冷却後、丸底フラスコ内の溶液を冷却した水に注ぐと、水層と有機層の2層に分離した。

実験2 実験1で得られた上層を分液ろうとにすべて移し、炭酸水素ナトリウム水溶液を加えて振り混ぜながら、発生する気体を放出させた。<sup>(b)</sup>静置して2層に分離させた後、下層を除いた。次に、残った上層からエタノールと水を取り除く操作を行った。得られた液体を蒸留すると、純粋な酢酸エチルが得られた。



図

- 問 1. エステルの合成は、カルボン酸の OH とアルコールの H から水が生成する反応である。このことを酸素の安定同位体である  $^{18}\text{O}$  を利用して確かめる方法を、氷酢酸とエタノールから酢酸エチルが生成する反応式を用いて簡潔に説明せよ。
- 問 2. 下線部(a)において、濃硫酸の役割を簡潔に記せ。
- 問 3. 実験 2 で用いた分液ろうとを図示せよ。ただし、中に入っている液体を描く必要はない。
- 問 4. 下線部(b)の操作を行う理由について、化学反応式を用いて説明せよ。
- 問 5. 実験 1 および実験 2 により、純粋な酢酸エチル 22.0 g が得られた。収率は何%になるか。有効数字 3 桁で記せ。ただし、反応が完全に進行した場合に得られる収量を基準として、生成物の収量を割合で表したものを収率(%)とよぶ。

問 6. 水に溶解した有機化合物のベンゼンによる抽出について考える。水 100 mL に酢酸エチル 1.0 g が溶解した溶液 A がある。ここで、酢酸エチルに対するベンゼンと水の分配係数  $K_D$  を  $K_D = C_{\text{ベンゼン}}/C_{\text{水}} = 4.0$  とする。ただし、 $C_{\text{ベンゼン}}$  と  $C_{\text{水}}$  は、それぞれベンゼン層と水層における酢酸エチルの濃度である。溶解前後における液体の体積変化は無視できるものとし、抽出する際に液体の温度は変化しないものとする。答えは、有効数字 2 桁で記せ。

- (1) 溶液 A にベンゼン 100 mL を加えてよく振り混ぜたとき、何 g の酢酸エチルがベンゼン中に抽出されるか。
- (2) 溶液 A に、まずベンゼン 50 mL を加えてよく振り混ぜて酢酸エチルをベンゼン中に抽出し、残った酢酸エチル水溶液に新たにベンゼン 50 mL を加えて酢酸エチルを抽出したとき、合わせて何 g の酢酸エチルがベンゼン中に抽出されるか。



[II] 分子式  $C_{11}H_{20}O_5$  で表される化合物 **A** に関して、実験 3～実験 7 を行った。

実験 3 1 mol の化合物 **A** を水酸化ナトリウムで完全に加水分解すると、直鎖カルボン酸である 2 mol の化合物 **B** のナトリウム塩と 1 mol の化合物 **C** が生じた。

実験 4 化合物 **A** は、化合物 **B** と脱水縮合して、化合物 **D** を生じた。

実験 5 化合物 **C** は、硝酸と脱水縮合して、血管拡張作用のある化合物 **E** ( $C_3H_5N_3O_9$ ) を生じた。

実験 6 化合物 **A** は銀鏡反応を示さないが、化合物 **A** を穏やかに酸化すると、銀鏡反応を示す化合物 **F** を生じた。

実験 7 化合物 **F** をさらに酸化したのち、塩酸で完全に加水分解すると、化合物 **B** とカルボン酸である化合物 **G** が得られた。

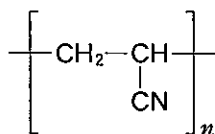
問 7. 化合物 **A**, **D**, **F**, **G** の構造式を記せ。不斉炭素があれば、例にならって\*印をつけよ。

問 8. 化合物 **B** のカルボニル基から 3 つ目の炭素上の水素 1 つをヒドロキシ基に置換した化合物 **H** は、分子内脱水して化合物 **J** を生じた。化合物 **J** の構造式を記せ。ただし、カルボニル基のとなりの炭素を 1 つ目とする。不斉炭素があれば、例にならって\*印をつけよ。

## 化学問題 4

次の文章を読み、問1～問5に答えよ。必要に応じて次の値を使用せよ。原子量は  $H = 1.00$ ,  $C = 12.0$ ,  $N = 14.0$ ,  $O = 16.0$  とする。高分子化合物は例を参考にして書け。

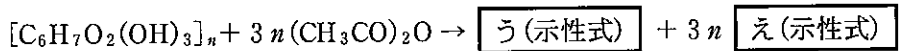
[例]



( $n$ : 重合度)

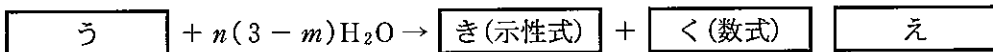
多くの高分子化合物は小さな構成単位が繰り返し結合した構造をしており、この構成単位となる小さな分子を単量体という。単量体として酢酸ビニルを **あ(語句)** 重合させるとポリ酢酸ビニルとなる。このポリ酢酸ビニルを水酸化ナトリウムで加水分解すると、別の高分子である **い(物質名)** が得られる。**い** をホルムアルデヒド水溶液で処理すると合成繊維ビニロンができる。ビニロンは適度な吸湿性をもつ。単量体としてアジピン酸とヘキサメチレンジアミンを縮合重合することにより合成される6,6-ナイロン(ナイロン66)も繊維として広く使われている。生体内の酵素や自然環境中で微生物によって分解される高分子化合物を生分解性高分子という。例えば、ポリ乳酸は生分解性高分子であり、食品トレイや包装用フィルムなどに用いられる。ポリ乳酸は、乳酸2分子を脱水縮合させて環状のラクチドを合成し、これを開環重合させてつくられる。

セルロースは植物の細胞壁の主成分であり、自然界に多量に存在する天然高分子化合物である。セルロースはβ-グルコースが縮合重合した(C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>n</sub>の分子式で表される。セルロースの構成単位であるグルコース部分には3個のヒドロキシ基が存在し、いろいろな酸と反応してエステルをつくる。硫酸や塩化亜鉛などの存在下で、セルロースを無水酢酸によってエステル化するとアセチルセルロースが生成する。この反応を酢化という。ここで、(C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>n</sub>を示性式[C<sub>6</sub>H<sub>7</sub>O<sub>2</sub>(OH)<sub>3</sub>]<sub>n</sub>とおくと、トリアセチルセルロースが生成するときの反応式は、



で表される。トリアセチルセルロースのエステル結合を部分的に加水分解して紡糸すると繊維が得られる。

アセチルセルロースを完全に加水分解したときに生成する酢酸の、もとのアセチルセルロースに対する割合(質量%)を酢化度という。例えば、トリアセチルセルロースの場合、グルコース単位あたりの分子量は  $\boxed{\text{お(数値)}}$  であり、そこから加水分解により3分子の酢酸が生成するので、酢化度は62.5%となる。同様に、ジアセチルセルロースの酢化度は  $\boxed{\text{か(数値)}}$  %となる。通常、酢化度45%以上のアセチルセルロースからなる繊維をアセテート、あるいはアセテート繊維<sup>(c)</sup>という。ここで、アセチルセルロースのグルコース単位あたりのアセチル基の平均置換数(これを置換度とよぶ)を  $m$  とすると、トリアセチルセルロースの加水分解の反応式は、



で表される。

問 1.  内の指示にしたがって、 あ  ~  く  に最も適切な語句・物質名・示性式・数値・数式を記せ。ただし、数値はいずれも有効数字 3 桁で書け。

問 2. 下線部(a)の理由を、その構造にもとづいて簡潔に説明せよ。

問 3. 下線部(b)の高分子を、150 個のアジピン酸と 150 個のヘキサメチレンジアミンを結合させて合成すると分子量は理論上いくらになるか計算せよ。ただし、この高分子の末端にはカルボキシ基とアミノ基がいずれも反応しないで 1 個ずつ残っているものとする。また、この高分子を 3 mol 合成するとき、同時に生成する水は理論上何 g になるか計算せよ。いずれも有効数字 5 桁まで求め、答えは整数で書け。

問 4. ビニロンおよびポリ乳酸の構造式をそれぞれ書け。

問 5. 下線部(c)に関連して、よく乾燥させたアセテート 0.500 g を適当な溶媒に溶かし、0.200 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液 50.0 mL を加え、エステル結合をすべて加水分解した。加水分解後の溶液を中和するのに 0.200 mol/L の塩酸 27.5 mL を要した。このアセテートの酢化度と置換度をそれぞれ計算せよ。答えはいずれも有効数字 3 桁で書け。