

'23

前期日程

# 理 科

(医学部医学科)

## 注 意 事 項

問題(①～⑦)の全てに解答してください。

1. 試験開始の合図があるまで、問題冊子を開いてはいけません。
2. 問題冊子は1冊(31頁)、解答用紙は7枚、下書用紙は3枚です。落丁、乱丁、印刷不鮮明の箇所等があった場合には申し出てください。
3. 氏名と受験番号は解答用紙の所定の欄に記入してください。
4. 解答は指定の解答用紙に記入してください。
5. 解答用紙は持ち帰ってはいけません。
6. 問題冊子と下書用紙は持ち帰ってください。



4～7の問題を解くにあたって、必要ならば次の値を用いよ。

原子量	C = 12	Cl = 35.5	Fe = 56	H = 1.0
	N = 14	Na = 23	O = 16	S = 32

理想気体のモル体積 22.4 L/mol (0 °C,  $1.01 \times 10^5$  Pa)

気体定数  $8.3 \times 10^3$  Pa·L/(K·mol)

アボガドロ定数  $6.02 \times 10^{23}$ /mol

ファラデー定数  $9.65 \times 10^4$  C/mol

- 1 図1のように、線密度  $\rho$  [kg/m] の弦が水平に張られた、モノコードとよばれる装置が、空気で満たされた室内に置かれている。モノコードの弦をはじくことで、弦の振動数と同じ振動数の音波を発生させることができる。弦の左端は支柱に固定されており、右端には滑車を通して質量  $m$  [kg] のおもりがつるされている。支柱は台の左端から滑車までの間の任意の位置に固定することができ、滑車はなめらかに回転するものとする。台の高さは十分高く、おもりが床につくことはない。台の左端を位置  $O$  とする。支柱が位置  $O$  にあるとき、支柱から滑車までの弦の長さは  $L$  [m] である。いま、支柱を位置  $O$  に固定し、弦をはじいて基本振動を起こした。このときの基本振動の振動数を  $F$  [Hz] とし、弦を伝わる波の速さを  $v$  [m/s] とする。重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とし、室内の床、天井、壁による音の反射はないものとする。また、弦の倍振動の影響は無視できるものとする。以下の問(1)~(8)に答えよ。

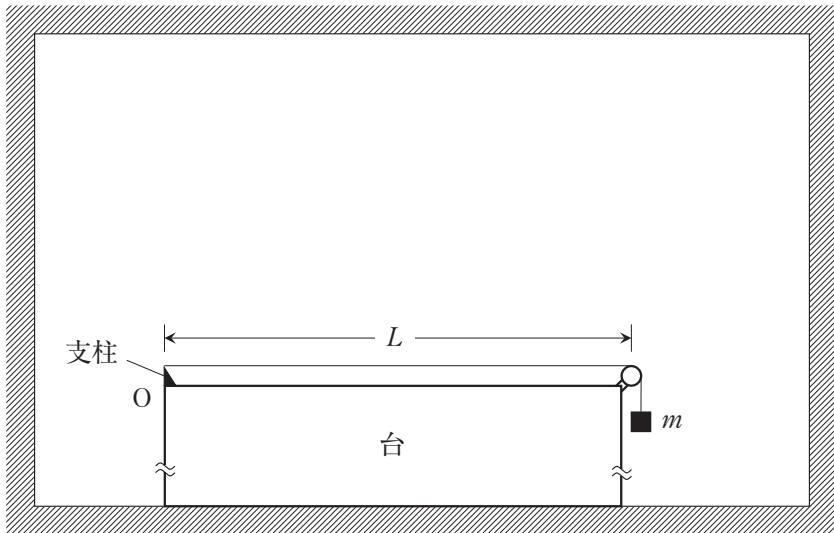


図1

- (1) 弦の基本振動の振動数  $F$  を、 $v$  と  $L$  を用いて表せ。

(2) 弦を伝わる波の速さ  $v$  は

$$v = \boxed{\phantom{000}}$$

と表される。空欄  $\boxed{\phantom{000}}$  に入る式として、最も適切なものを次の(a)~(c)から1つ選び、記号で答えよ。なお、同じ材質の弦を振動させると、太い弦ほど低い音が発生し、強い張力で張られた弦ほど高い音が発生することが知られている。

(a)  $\sqrt{mg\rho}$

(b)  $\sqrt{\frac{\rho}{mg}}$

(c)  $\sqrt{\frac{mg}{\rho}}$

次に、支柱を位置 O から右に動かし、支柱と滑車の間の弦の長さが  $L$  よりも短くなるように固定した。この状態で弦をはじいて基本振動を起し、弦をはじいたときに生じる音の高さを調べた。

(3) 以下の文中の  $\boxed{\text{ア}}$  ~  $\boxed{\text{ウ}}$  にあてはまる最も適切な語句を、文章の下部にあるそれぞれの選択肢(a)~(c)から1つ選んで、記号で答えよ。

支柱と滑車の間の弦の長さを  $L$  より短くすると、弦を伝わる波の速さは、支柱が位置 O にあるとき  $\boxed{\text{ア}}$ ，弦の基本振動の振動数は、支柱が位置 O にあるとき  $\boxed{\text{イ}}$ 。したがって、弦をはじいたときに生じる音の高さは、支柱が位置 O にあるとき  $\boxed{\text{ウ}}$ 。

$\boxed{\text{ア}}$  の選択肢：

- (a) より速くなり                      (b) より遅くなり                      (c) と変わらず

$\boxed{\text{イ}}$  の選択肢：

- (a) より大きくなる                      (b) より小さくなる                      (c) と変わらない

$\boxed{\text{ウ}}$  の選択肢：

- (a) より高くなる                      (b) より低くなる                      (c) と変わらない

次に、図2のようにモノコードの上方に、口の開いたシリンダーを、開口端を下にして固定した。シリンダー内にはピストンが取り付けられている。いま、支柱を位置Oにもどし、支柱と滑車の間の弦の長さを $L$ にしたのち、弦をはじいて基本振動を起こした。ピストンをシリンダーの開口端から上方に徐々に移動させると、ピストンがシリンダーの開口端から距離 $x_1$ [m]の位置にきたとき、ピストンより下の気柱が一度目の共鳴を起こした。さらにピストンを上方に移動させると、ピストンがシリンダーの開口端から距離 $x_2$ [m]の位置にきたとき、ピストンより下の気柱が二度目の共鳴を起こした。開口端補正は無視できるものとする。

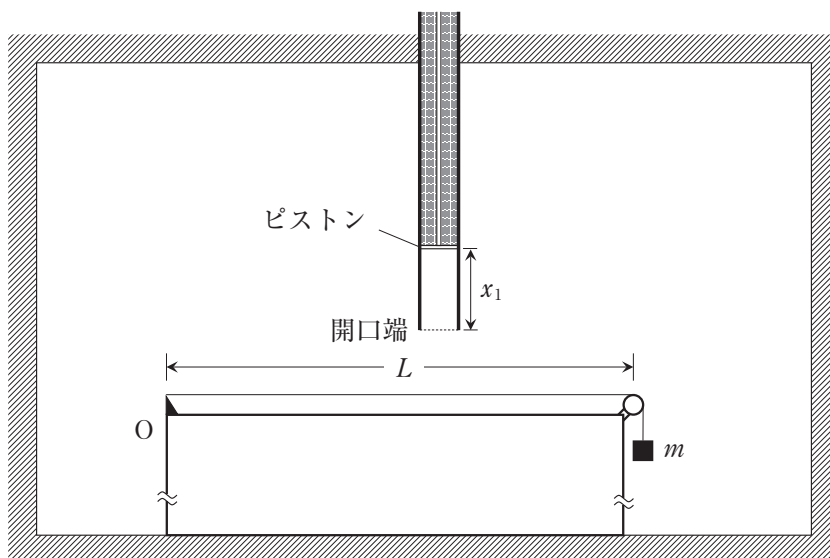


図2

- (4) このときの空気中の音波の波長を、 $x_1$ を用いて表せ。
- (5) このときの空気中の音速を、 $F$ ,  $L$ ,  $x_1$ のうち必要なものを用いて表せ。
- (6) 距離 $x_2$ を、 $x_1$ を用いて表せ。

次に、ピストンをシリンダーの開口端から距離  $x_2$  の位置に固定し、おもりの質量を  $m$  から徐々に大きくしていくと、共鳴は止み、その後、おもりの質量が  $m$  の  $A$  倍 ( $A > 1$ ) になったときに再び共鳴した。

- (7) このときの  $A$  の値を整数または分数で答えよ。ただし、開口端補正は無視できるものとする。

次に、おもりの質量を  $m$  にもどした後、支柱を位置  $O$  に固定したまま、モノコードとシリンダーが置かれた室内の気体を、空気からヘリウムガスに入れかえた。

- (8) ヘリウムガスで満たされた室内の音速は、空気で満たされた室内の音速の 3 倍として、以下の文中の  ～  にあてはまる適切な値を、整数または分数で答えよ。ただし、開口端補正は無視できるものとする。

ピストンをシリンダーの開口端から上方に徐々に移動させ、ピストンがシリンダーの開口端から距離  $x_1$  の位置にきたとき、ピストンより下の気柱が一度目の共鳴を起こすようにしたい。そのためには、室内をヘリウムガスで満たした後の弦の基本振動の振動数を、 $F$  の  倍に調整すればよい。その方法としては、支柱を位置  $O$  に固定し、支柱と滑車の間の弦の長さを  $L$  に保ったまま、おもりの質量を  $m$  の  倍にする方法や、おもりの質量を  $m$  に保ったまま支柱の位置を移動させて、支柱と滑車の間の弦の長さを  $L$  の  倍にする方法が考えられる。

2

【I】真空中に  $x$  軸,  $y$  軸,  $z$  軸をとる。図1のように  $xy$  平面を紙面上にとると,  $z$  軸の正の向きは紙面に垂直で, 裏から表への向きとなる。 $y$  軸正の向きに磁束密度の大きさ  $B$  [T] の一様な磁界が存在する。この磁界中における, 質量  $m$  [kg], 電気量  $Q$  [C] ( $Q > 0$ ) の荷電粒子 A の運動を考える。重力の影響は無視できるものとして, 以下の問(1)~(7)に答えよ。

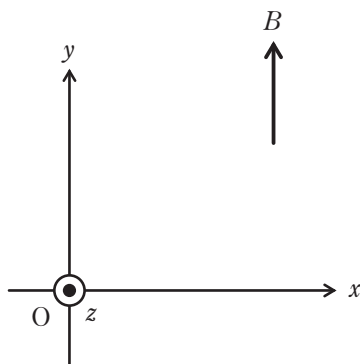


図1

荷電粒子 A を原点 O から  $x$  軸正の向きに初速度の大きさ  $v$  [m/s] でうち出したところ, 荷電粒子 A は円運動を行った。

- (1) 原点 O からうち出された直後の荷電粒子 A が磁界から受ける力の大きさを,  $m$ ,  $Q$ ,  $B$ ,  $v$  のうち必要なものを用いて表せ。
- (2) 原点 O からうち出された直後の荷電粒子 A が磁界から受ける力の向きとして正しいものを, 以下の選択肢(ア)~(カ)から 1 つ選び記号で答えよ。
 

(ア) $x$ 軸正の向き	(イ) $y$ 軸正の向き	(ウ) $z$ 軸正の向き
(エ) $x$ 軸負の向き	(オ) $y$ 軸負の向き	(カ) $z$ 軸負の向き



- (3) 荷電粒子 A の円運動の軌跡を表す図として最も適切なものを、図 2 の (ア)~(エ) から 1 つ選び記号で答えよ。ただし、図 2 の軌跡に添えた矢印は荷電粒子 A の運動の向きを表している。また、図 2 の(ア), (イ)では、 $z$  軸は紙面に垂直で、裏から表の向きを正の向きとしている。図 2 の(ウ), (エ)では、 $y$  軸は紙面に垂直で、表から裏の向きを正の向きとしている。

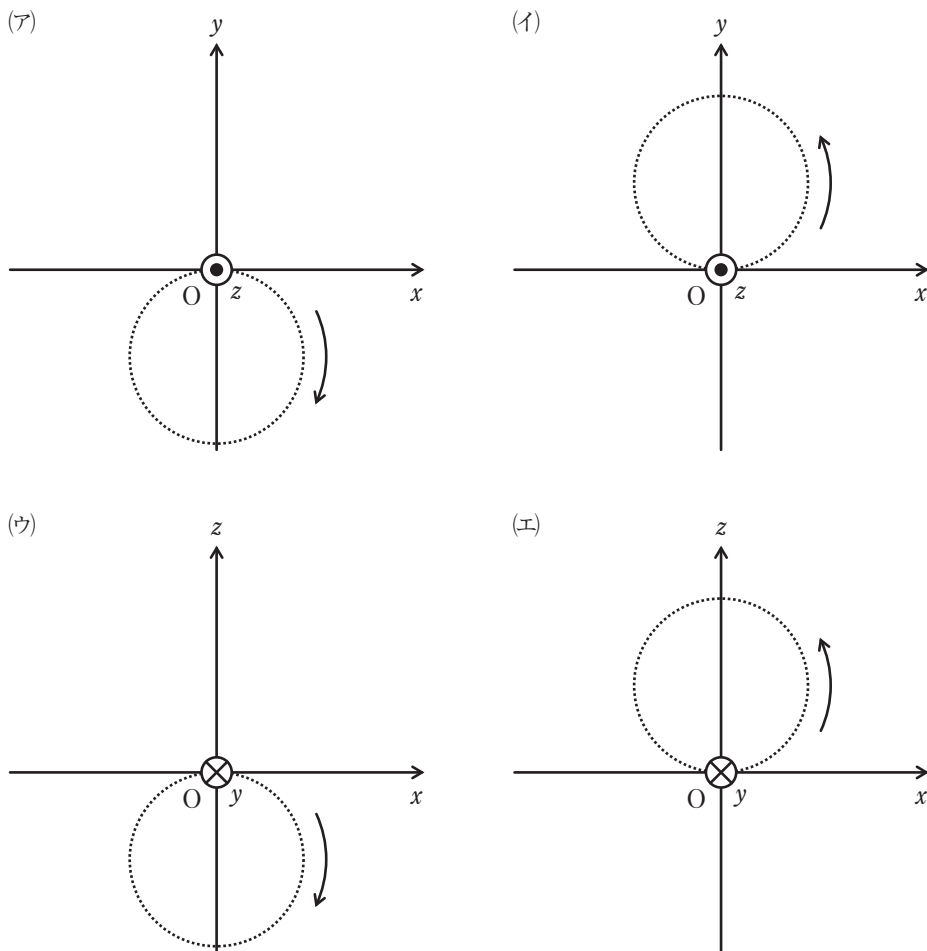


図 2

- (4) 荷電粒子 A の円運動の半径を、 $m$ ,  $Q$ ,  $B$ ,  $v$  のうち必要なものを用いて表せ。
- (5) 荷電粒子 A の円運動の周期を、 $m$ ,  $Q$ ,  $B$ ,  $v$  のうち必要なものを用いて表せ。

次に、図3に示すように、荷電粒子Aを原点Oから、 $xy$ 平面内で $x$ 軸と角度 $\theta$  ( $0^\circ < \theta < 90^\circ$ )をなす向きに初速度の大きさ $v'$  [m/s]でうち出した。なお、荷電粒子Aの初速度の $x$ 成分、 $y$ 成分はともに正である。

- (6) 荷電粒子Aの運動を説明した以下の文中の  から  に入る最も適切な語句を以下の選択肢(ア)~(コ)から選び、記号で答えよ。

荷電粒子Aの運動を磁界に垂直な面内と磁界に平行な方向に分解して考えると、荷電粒子は、磁界に垂直な面内では  を、磁界に平行な方向では  を行う。そして、荷電粒子Aの運動は、これらを合成した  になる。このとき、荷電粒子Aが磁界から受ける力は荷電粒子Aに  ため、粒子の運動エネルギーは  。

- |            |             |             |
|------------|-------------|-------------|
| (ア) 等速度運動  | (イ) 等加速度運動  | (ウ) 等速円運動   |
| (エ) らせん運動  | (オ) 正の仕事をする | (カ) 負の仕事をする |
| (キ) 仕事をしない | (ク) 増加する    | (ケ) 減少する    |
| (コ) 変化しない  |             |             |

- (7) 荷電粒子Aが、原点Oでうち出されてから、最初に $y$ 軸を横切るまでの間に、 $y$ 軸方向に移動する距離を $m$ 、 $Q$ 、 $B$ 、 $v'$ 、 $\theta$ のうち必要なものを用いて表せ。

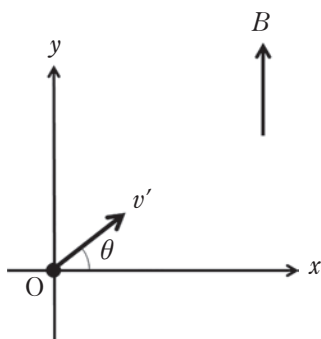


図3

【Ⅱ】 図4のように、真空中に  $x$  軸,  $y$  軸をとる。 $xy$  平面は紙面上にあり,  $x > 0$  の領域に, 紙面に垂直な方向に, 磁束密度の大きさ  $B$  [T] の一様な磁界がかかっている。 $x$  軸上,  $x < 0$  の位置に, 荷電粒子を発生させる機能をもったイオン源と陽極, 陰極からなる装置が配置されている。陽極と陰極の間には大きさ  $V$  [V] の電圧が加えられており, 陽極から陰極の向きに一様な電界が存在する。陽極と陰極の間以外には電界は存在しない。 $x$  軸に垂直で  $y$  軸を含む平面上に蛍光板が置かれており,  $y$  軸上に到達した荷電粒子を検出することができる。陽極と陰極, 蛍光板には  $x$  軸上に小さな孔があいており, 荷電粒子は孔を通過することができる。重力の影響は無視できるものとして, 以下の問(8)~(13)に答えよ。

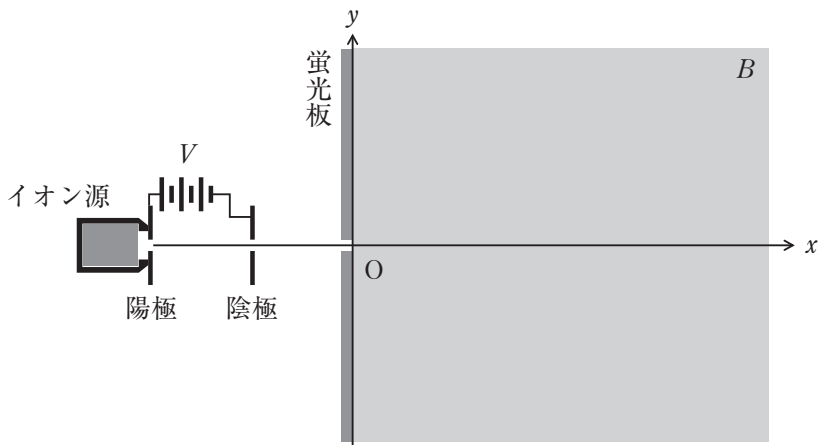


図4

イオン源から生じた, 質量  $m_1$  [kg], 電気量  $Q_1 = Z_1 \times e$  [C] ( $e$  は電気素量,  $Z_1$  は正の整数) の荷電粒子1が, 陽極の孔を通過し, 陽極と陰極の間の電界により加速され, 陰極の孔を通過した。ここで, 陽極の孔を通過したときの荷電粒子1の運動エネルギーは0とみなすことができる。また, 荷電粒子1は, 陽極の孔から陰極の孔へ移動する間に, 電界から  $Q_1 V$  [J] の仕事をされる。その後, 荷電粒子1は, 原点  $O$  から  $x$  軸正の向きに,  $x > 0$  の領域へ入射し, 一様な磁界中を円運動した後,  $y$  軸上  $y = d$  [m] ( $d > 0$ ) の位置で検出された。

- (8) 荷電粒子1が原点Oから $x > 0$ の領域に入射するときの速度の大きさを、 $Q_1$ ,  $m_1$ ,  $V$ を用いて表せ。
- (9) 磁界の向きとして正しいものを、以下の選択肢(ア), (イ)から1つ選び記号で答えよ。

(ア) 紙面に垂直で裏から表の向き      (イ) 紙面に垂直で表から裏の向き

- (10) 荷電粒子1の質量 $m_1$ を、 $Q_1$ ,  $V$ ,  $d$ ,  $B$ のうち必要なものを用いて表せ。

次に、イオン源から生じた、質量 $m_2$ [kg]、電気量 $Q_2 = Z_2 \times e$ [C] ( $e$ は電気素量、 $Z_2$ は正の整数)の荷電粒子2が、陽極の孔を通過し、陽極と陰極の間の電界により加速され、陰極の孔を通過した。ここで、陽極の孔を通過したときの荷電粒子2の運動エネルギーは0とみなすことができる。また、荷電粒子2は、陽極の孔から陰極の孔へ移動する間に、電界から $Q_2 V$ [J]の仕事をされる。その後、荷電粒子2は、原点Oから $x$ 軸正の向きに、 $x > 0$ の領域へ入射し、一様な磁界中を円運動した後、 $y$ 軸上、 $y = 2d$ の位置で検出された。

- (11) 荷電粒子2の質量 $m_2$ を、 $m_1$ ,  $Z_1$ ,  $Z_2$ のうち必要なものを用いて表せ。
- (12) 荷電粒子1, 2の質量 $m_1$ ,  $m_2$ と正の整数 $Z_1$ ,  $Z_2$ の関係式として、有り得る組み合わせを以下の選択肢(ア)~(ケ)から**全て**選び、記号で答えよ。

(ア)  $m_2 = 2m_1$  かつ  $Z_2 = Z_1$       (イ)  $m_2 = 2m_1$  かつ  $Z_2 = 2Z_1$

(ウ)  $m_2 = 2m_1$  かつ  $2Z_2 = Z_1$       (エ)  $m_2 = 4m_1$  かつ  $Z_2 = Z_1$

(オ)  $m_2 = 4m_1$  かつ  $Z_2 = 2Z_1$       (カ)  $m_2 = 4m_1$  かつ  $2Z_2 = Z_1$

(キ)  $m_2 = 8m_1$  かつ  $Z_2 = Z_1$       (ク)  $m_2 = 8m_1$  かつ  $Z_2 = 2Z_1$

(ケ)  $m_2 = 8m_1$  かつ  $2Z_2 = Z_1$

次に、イオン源から生じた、質量  $m_3$ [kg]、電気量  $Q_3 = Z_3 \times e$ [C] ( $e$  は電気素量、 $Z_3$  は正の整数)の荷電粒子 3 が、陽極の孔を  $x$  軸正の向きに、速度の大きさ  $v_3$ [m/s] で通過し、陽極と陰極の間の電界により加速され、陰極の孔を通過した。ここで、荷電粒子 3 は、陽極の孔から陰極の孔へ移動する間に、電界から  $Q_3 V$ [J] の仕事をされる。その後、荷電粒子 3 は、原点  $O$  から  $x$  軸正の向きに、 $x > 0$  の領域へ入射し、円運動した後、 $y$  軸上で検出された。

- (13) 荷電粒子 3 が検出される位置の  $y$  座標を、 $Q_3$ 、 $m_3$ 、 $v_3$ 、 $V$ 、 $B$  のうち必要なものを用いて表せ。

**3**

質量  $m$  で、大きさの無視できる小球 A の運動に関して以下の問いに答えよ。  
水平方向に  $x$  軸、鉛直方向に  $y$  軸をとり、鉛直上向きを  $y$  軸の正の向きとする。  
小球 A は  $xy$  平面内で運動するものとする。重力加速度の大きさを  $g$  とする。空気抵抗の影響は無視できるものとする。

【I】 図1のような、1段の高さが  $h$ 、踏み面の幅が  $2s$  の階段がある。幅  $2s$  の各踏み面は水平で、なめらかである。水平右向きを  $x$  軸の正の向きとする。小球 A に  $x$  軸正の向きの初速度を与えて、点  $P_0$  から落下させたところ、小球 A は、最初に、踏み面  $S_1$  の左端から右に距離  $s$  の点で踏み面  $S_1$  に衝突し、跳ね返った。その後、小球 A は、踏み面  $S_1$  には再度ぶつからずに、点  $P_1$  を最初の衝突後の最高点とする放物運動をした後、次の段の踏み面  $S_2$  へと落下し、踏み面  $S_1$  との衝突の直前の速度と同じ速度で、踏み面  $S_2$  の左端から右に距離  $s$  の点で踏み面  $S_2$  に衝突した。

このような衝突の起こる小球 A の初速度の大きさ  $v_0$  と点  $P_0$  の位置を求めたい。点  $P_0$  は踏み面  $S_1$  の左端より左側で踏み面  $S_1$  より上方に位置する。点  $P_0$  の位置を、踏み面  $S_1$  左端から水平方向左側に距離  $x_0$ 、踏み面  $S_1$  からの高さ  $h_0$  の位置とする。なお、 $h_0 > h$  である。小球 A と踏み面の衝突は非弾性衝突であり、小球 A と踏み面の間の反発係数を  $e$  とする。また、小球 A と踏み面の衝突は瞬間的に起こるとする。

以下の問(1)~(9)に答えよ。

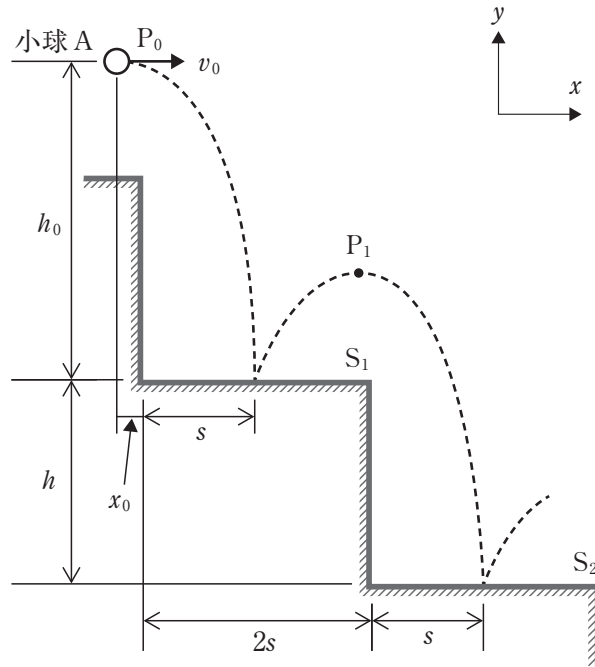


図 1

- (1) 小球 A が点  $P_0$  から落下を開始してから踏み面  $S_1$  に衝突するまでの時間を  $h_0$ ,  $m$ ,  $g$  のうち必要なものを用いて表せ。
- (2) 踏み面  $S_1$  に衝突する直前の小球 A の速度の  $y$  成分の大きさを  $h_0$ ,  $e$ ,  $m$ ,  $g$  のうち必要なものを用いて表せ。
- (3) 踏み面  $S_1$  に衝突した直後の小球 A の速度の  $y$  成分の大きさを  $h_0$ ,  $e$ ,  $m$ ,  $g$  のうち必要なものを用いて表せ。
- (4) 小球 A が踏み面  $S_1$  に衝突してから、右上に跳ね返って点  $P_1$  に達するまでの時間を  $h_0$ ,  $e$ ,  $m$ ,  $g$  のうち必要なものを用いて表せ。
- (5) 点  $P_1$  の踏み面  $S_1$  から測った高さを  $h_0$ ,  $e$  を用いて表せ。
- (6) 点  $P_0$  の踏み面  $S_1$  から測った高さ  $h_0$  を  $h$ ,  $e$  を用いて表せ。
- (7) 小球 A が踏み面  $S_1$  に衝突してから、踏み面  $S_2$  に衝突するまでの時間を  $h$ ,  $e$ ,  $m$ ,  $g$  のうち必要なものを用いて表せ。
- (8) 初速度の大きさ  $v_0$  を  $h$ ,  $s$ ,  $e$ ,  $m$ ,  $g$  のうち必要なものを用いて表せ。
- (9) 距離  $x_0$  を  $h$ ,  $s$ ,  $e$ ,  $m$ ,  $g$  のうち必要なものを用いて表せ。

【Ⅱ】 図2のように、なめらかに動く質量  $M$  のピストン B を備えた、底面の直径が  $2s$  の円筒形シリンダーが、底面が水平になるように、固定されている。ここで、ピストン B の質量  $M$  は小球 A の質量  $m$  より大きい。シリンダーの中には、質量の無視できるばねが鉛直に設置されており、ばねの下端はシリンダーの底面に、ばねの上端はピストン B につながられている。ピストン B が静止しているとき、シリンダー底面から測ったピストン上面の高さはシリンダーの高さと同じ  $h$  である。ピストン B は上面が平らで、ピストン上面を水平に保ったまま、鉛直方向のみに運動する。

図3のように、小球 A を、静止しているピストン B の上方からピストン上面の中心に衝突するよう鉛直下方に落下させた。小球 A はピストン上面に衝突後、鉛直上方に跳ね返った。衝突直前の小球 A の速度の大きさを  $U_A$  とする。ピストン上面と小球 A の衝突は弾性衝突であり、ピストン上面と小球 A の間の反発係数は 1 である。また、小球 A とピストン上面との衝突は瞬間的に起こるとする。

以下の問(10)～(12)に答えよ。

- (10) 衝突直前の小球 A の運動量の大きさを  $U_A$ 、 $m$ 、 $g$  のうち必要なものを用いて表せ。
- (11) 衝突は瞬間的に起こるため、衝突直前と直後で小球 A とピストン B の運動量の和は保存する。このことを用いて、衝突直後の小球 A の速度の大きさ  $U_A'$  とピストン B の速度の大きさ  $U_B'$  を  $U_A$ 、 $m$ 、 $M$ 、 $g$  のうち必要なものを用いて表せ。
- (12) 衝突直前の小球 A の速度の大きさ  $U_A$  と衝突直後の小球 A の速度の大きさ  $U_A'$  の比  $\frac{U_A'}{U_A}$  を  $m$ 、 $M$ 、 $g$  のうち必要なものを用いて表せ。

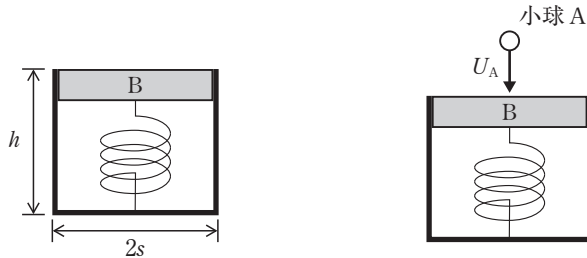


図 2

図 3



【Ⅲ】 図4のように1段の高さが $h$ 、踏み面の幅が $2s$ の階段の各段に、【Ⅱ】で使用したピストンBを備えたシリンダーを踏み面からはみ出さないようにのせ、ピストンの上面が水平になるように踏み面に固定する。すべてのピストンが静止している状態で、小球Aに水平方向右向きで大きさ $V_0$ の初速度を与え、最初に衝突するピストン上面から高さ $H_0$ の点Qから落下させたところ、小球Aはすべての段でピストン上面の中心に同じ速度で衝突し、階段下まで落下した。なお、ピストン上面の表面はなめらかであるものとする。また、小球Aとピストン上面との衝突は瞬間的に起こるとする。ピストンBの質量 $M$ が小球Aの質量 $m$ の3倍と等しい場合について、以下の問(13)、(14)に答えよ。

- (13) 高さ $H_0$ を $h$ 、 $s$ 、 $m$ 、 $g$ のうち必要なものを用いて表せ。  
 (14) 初速度の大きさ $V_0$ を $h$ 、 $s$ 、 $m$ 、 $g$ のうち必要なものを用いて表せ。

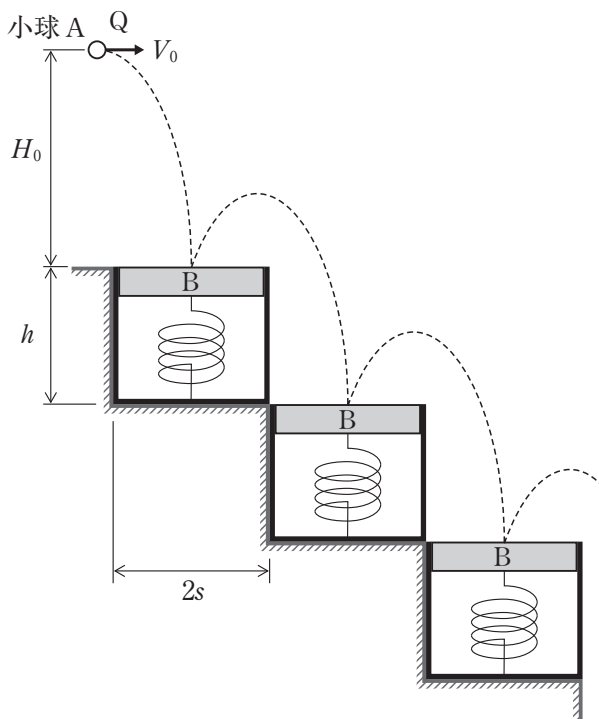
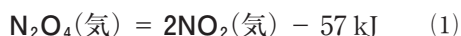


図4

4

(1) 次の文章を読んで、問1～問4の答を解答欄に記入せよ。

気体の四酸化二窒素  $\text{N}_2\text{O}_4$  から二酸化窒素  $\text{NO}_2$  が生じる反応の熱化学方程式は次の(1)式で表される。



この反応は  反応である。密閉容器に  $\text{N}_2\text{O}_4$  を入れ、温度を 313 K に保つと  $\text{N}_2\text{O}_4$  の一部が解離して  $\text{NO}_2$  が生じて平衡状態となる。



(2)式の反応の濃度平衡定数を  $K_c$  とする。温度を一定に保ったまま、この密閉容器を圧縮して体積を半分にすると  $\text{N}_2\text{O}_4$  の分子の数は 。このとき  $K_c$  の値は圧縮前に比べて 。次に、温度を一定に保ったまま容器の体積をもとに戻したのち、圧力を変えずに加熱すると  $\text{N}_2\text{O}_4$  の分子の数は加熱する前に比べて 。このとき  $K_c$  の値は加熱する前に比べて 。温度を 313 K に戻し、全圧一定のまま Ar ガスを容器内に加えると、容器の体積は Ar ガスを加える前に比べて増加する。このとき  $\text{N}_2\text{O}_4$  の分子の数は 。また  $K_c$  の値は 。

体積  $V[\text{L}]$  の密閉容器に  $\text{N}_2\text{O}_4$  を 1.0 mol 入れた。 $\text{N}_2\text{O}_4$  のモル濃度を  $[\text{N}_2\text{O}_4]$ 、 $\text{NO}_2$  のモル濃度を  $[\text{NO}_2]$  で表すと、(2)式の反応の濃度平衡定数は

$$K_c = \text{  }$$

と表すことができる。 $\text{N}_2\text{O}_4$  の  $x[\text{mol}]$  が反応したとすると

$$[\text{N}_2\text{O}_4] = \text{  }, [\text{NO}_2] = \text{  }, K_c = \text{  } \text{ と表される。}$$

問 1 空欄  に当てはまる最も適切な語句を次の①～④から1つ選び、その番号を記せ。

- ① 置換                      ② 付加                      ③ 発熱                      ④ 吸熱

問 2 空欄  ～  に当てはまる最も適切な語句を次の①～③からそれぞれ1つ選び、その番号を記せ。なお、同じ番号を複数回選んでもよい。

- ① 増える(大きくなる)                      ② 変わらない  
③ 減る(小さくなる)

問 3 空欄  に入る式を記せ。また、空欄  ～  に入る式を  $x$  と  $V$  を用いて記せ。

問 4 313 Kにおける濃度平衡定数は  $K_c = 1.6 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$  である。体積  $V = 25 \text{ L}$  のとき、平衡状態にある  $[\text{N}_2\text{O}_4]$  および  $[\text{NO}_2]$  を求め、有効数字2桁で答えよ。また、計算過程も示せ。必要であれば、 $\sqrt{41} = 6.4$  の値を用いよ。

(2) 次の文章を読んで、問1～問5の答を解答欄に記入せよ。

過酸化水素は、反応する相手によって酸化剤としてはたらいたり、還元剤としてはたらいたりする。<sup>a</sup> 硫酸で酸性にした過酸化水素水にヨウ化カリウムの水溶液を加えると、ヨウ素が生じ、水溶液は無色から  に変わる。一方、過酸化水素水に硫酸で酸性にした過マンガン酸カリウムの水溶液を加えると、<sup>b</sup> 気体の  が発生する。この酸化還元反応でマンガン原子の酸化数は、  から  に変化する。

酸化還元反応を利用すると、濃度がわからない酸化剤または還元剤の濃度を求めることができる。<sup>c</sup> 濃度不明の過酸化水素水をコニカルビーカーに20.0 mL 入れ、硫酸を加えて酸性にした。この水溶液に  $2.00 \times 10^{-2}$  mol/L の過マンガン酸カリウムの水溶液を、ビュレットを用いて滴下したところ、12.0 mL 加えたところで、過酸化水素と過マンガン酸カリウムは過不足なく反応した。

問 1 空欄  ,  に当てはまる最も適切な語句を記せ。

問 2 空欄  ,  に当てはまる酸化数を記せ。

問 3 下線部 a について、過酸化水素が酸化剤としてはたらくときの反応と、ヨウ化カリウムが還元剤としてはたらくときの反応を、電子  $e^-$  を含むイオン反応式でそれぞれ記せ。

問 4 下線部 b について，発生した気体を水上置換で捕集した。捕集された気体は，温度  $27^{\circ}\text{C}$ ，圧力  $1.04 \times 10^5 \text{ Pa}$  で体積  $16.6 \text{ mL}$  であった。発生した気体の物質量は何 mol か，有効数字 2 桁で答えよ。また，計算過程も示せ。ただし，捕集された気体には発生した気体と飽和した水蒸気のみが含まれており，これらの気体はいずれも理想気体とみなし，発生した気体の水への溶解は無視できるものとする。

なお，気体定数は  $8.3 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{K}\cdot\text{mol})$  とし， $27^{\circ}\text{C}$  における水の飽和蒸気圧は  $4.0 \times 10^3 \text{ Pa}$  とする。

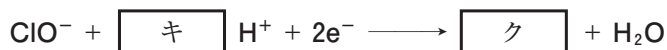
問 5 下線部 c について，濃度不明の過酸化水素水のモル濃度を求め，有効数字 3 桁で答えよ。また，計算過程も示せ。

5

(1) 次の文章を読んで、問1～問5の答を解答欄に記入せよ。

ハロゲンの単体は二原子分子からなり、有色で強い毒性をもつ。塩素は常温で光により水素と爆発的に反応する気体であるが、は低温・暗所でも水素と爆発的に反応する気体である。また常温において、は赤褐色の液体であり、は昇華性のある黒紫色の固体である。ハロゲンの単体は他の物質から電子を奪う力、すなわち力が大きい。

塩素のオキソ酸が複数知られているが、その酸の強さはオキソ酸中のほど強く、またオキソ酸1分子中のほど強い。塩素のオキソ酸の1つである次亜塩素酸のナトリウム塩は、漂白や殺菌消毒に用いられている。これは水溶液中で次のように次亜塩素酸イオンが作用を示すためである。



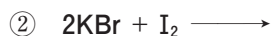
問1 空欄～に当てはまる物質の名称を記せ。また、空欄に当てはまる最も適切な語句を記せ。

問2 空欄, に当てはまる語句を①～④からそれぞれ1つ選び、その番号を記せ。

- |              |              |
|--------------|--------------|
| ① 塩素の酸化数が小さい | ② 塩素の酸化数が大きい |
| ③ 酸素の酸化数が小さい | ④ 酸素の酸化数が大きい |

- |              |            |
|--------------|------------|
| ① 水素原子の数が少ない | ② 水素原子の数が多 |
| ③ 酸素原子の数が少ない | ④ 酸素原子の数が多 |

問 3 次の①, ②について, 水溶液中で反応が起こるものは右辺の式を, 反応が起こらないものは「反応しない」と記せ。



問 4 空欄  に当てはまる係数の数値を記せ。ただし, 係数が 1 の場合は 1 と記せ。また, 空欄  には当てはまる化学式を記せ。

問 5 次の①, ②の操作により, 沈殿があらたに生じる場合には生じる沈殿の色を, 生じない場合には「生じない」と答えよ。また, それぞれ沈殿が生じるか判断した根拠を溶解度積を用いて説明せよ。ただし,  $\text{AgCl}$  の溶解度積は  $K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) = 1.8 \times 10^{-10}(\text{mol/L})^2$ ,  $\text{AgI}$  の溶解度積は  $K_{\text{sp}}(\text{AgI}) = 2.1 \times 10^{-14}(\text{mol/L})^2$  とする。

①  $1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$  の  $\text{NaCl}$  水溶液 1.0 mL に  $2.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$  の  $\text{AgNO}_3$  水溶液 1.0 mL を加えて混合した。

② ①の混合液にさらに  $4.0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$  の  $\text{KI}$  水溶液 2.0 mL を加えて混合した。

(2) 次の文章を読んで、問1～問5の答を解答欄に記入せよ。

鉄は人類が最も多く利用している金属である。日本においても、近年、年間に約1億トンの鉄が生産されている。鉄は溶鉱炉で、赤鉄鉱や磁鉄鉱などの鉄鉱石に含まれる 鉄の酸化物をコークスから生じた一酸化炭素により還元して 製造される。溶鉱炉から得られる鉄は  と呼ばれ、炭素を約4%含み、硬くてもろい。溶融した  は、転炉で酸素を吹き込んで炭素の含有量が0.02～2%に低減された  に変えられる。 は、硬くて粘り強く、建築材や機械など多方面に利用される。鉄は湿った空気中では酸化されやすいが、鉄に  と  を加えてつくられる合金はさびにくく、調理器具などに用いられている。

鉄を希硫酸と反応させると気体の  が発生し、淡緑色の硫酸鉄の水溶液が得られる。鉄のイオンを含む水溶液に種々の試薬を加えると、酸化数に応じて特有の反応を示す。例えば、 $\text{b}$ 鉄(II)イオンを含む水溶液に  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  の水溶液を加えると沈殿が生じる。

問1 空欄  ～  に当てはまる最も適切な語句を記せ。

問2 下線部 a について、酸化鉄(III)が一酸化炭素により還元され、鉄になる反応の化学反応式を記せ。

問3 問2の反応によって0.98億トンの鉄ができるとする。このときに発生する二酸化炭素は何億トンか、有効数字2桁で答えよ。ただし、生成する鉄は炭素を含まないものとする。

問4 下線部 b について、化合物  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  の名称を記せ。また、生じる沈殿の色を記せ。



問 5 一定量の水和水を含む硫酸鉄水和物  $\text{FeSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  の粉末試料がある。

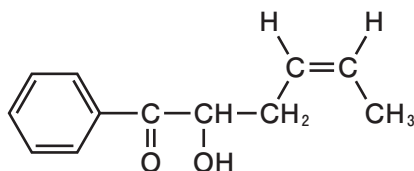
この試料 1.39 g を溶かして得られる水溶液に、アンモニア水を加えて塩基性にしたのち硫化水素  $\text{H}_2\text{S}$  を通じたところ、 $\text{FeS}$  の黒色沈殿が 0.44 g 得られた。次の問に答えよ。ただし、 $\text{FeSO}_4$  および  $\text{FeS}$  の式量はそれぞれ 152 および 88 とし、また、水溶液中に含まれる鉄はすべて  $\text{FeS}$  に変化するものとする。

- 1) 水溶液中に含まれていた鉄の物質量を有効数字 2 桁で答えよ。
- 2) この硫酸鉄水和物試料に含まれる水和水の量を表す係数  $n$  はいくつか、整数で答えよ。また、計算過程も示せ。

6

- (1) 次の文章を読んで、問1～問4の答を解答欄に記入せよ。なお、構造式は下の例にならって記せ。

(例)



分子式  $C_5H_{10}O_2$  で表される2種類のエステル **A**、**B**がある。エステル **A** に希硫酸を加えて加水分解すると、酸性物質 **C** と中性物質 **D** が生成した。同様にエステル **B** を加水分解すると、酸性物質 **E** と中性物質 **F** が生成した。化合物 **C** ～**F** の構造を調べるために次の①～④の実験を行った。

- ① 酸性物質 **C** 22.5 mg を酸素中で完全燃焼させたところ、水が 13.5 mg、二酸化炭素が 33.0 mg 得られた。
- ② 硫酸酸性の二クロム酸カリウム水溶液を加えて加熱すると、中性物質 **D** は中性物質 **G** に、中性物質 **F** は中性物質 **H** に変化した。なお、中性物質 **G** は、クメン法でフェノールと同時に生成する化合物である。
- ③ 酸性物質 **E** をアンモニア性硝酸銀水溶液と反応させると銀が析出したが、中性物質 **G**、**H** に同じ操作を行っても銀は析出しなかった。
- ④ 中性物質 **F** と濃硫酸を反応させると分子内脱水反応が進み、3種類のアルケンが生成した。

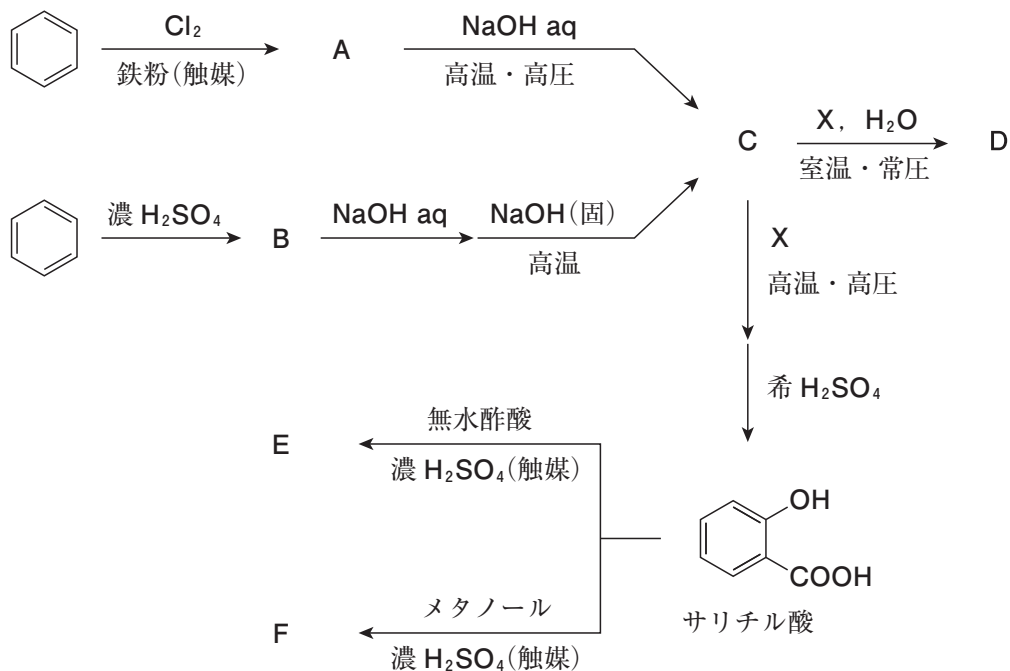
問1 ①の結果から酸性物質 **C** の組成式を求めよ。また、計算過程も示せ。

問2 化合物 **C**、**D**、**G** の構造式を記せ。

問 3 ④について、この3種類のアルケンの構造式を記せ。なお、シス-トランス異性体が存在する場合には、それらの異性体も別の構造とし、その違いがわかるように描くこと。

問 4 化合物 E, F の構造式を記せ。

(2) 次の図は、医薬品として用いられる芳香族化合物 E, F をベンゼンから合成する経路である。これに関する以下の問 1～問 3 の答を解答欄に記入せよ。



問 1 合成経路中の A～F に当てはまる芳香族化合物の構造式をそれぞれ記せ。

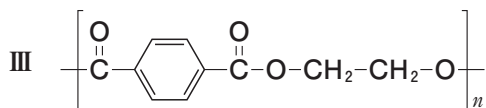
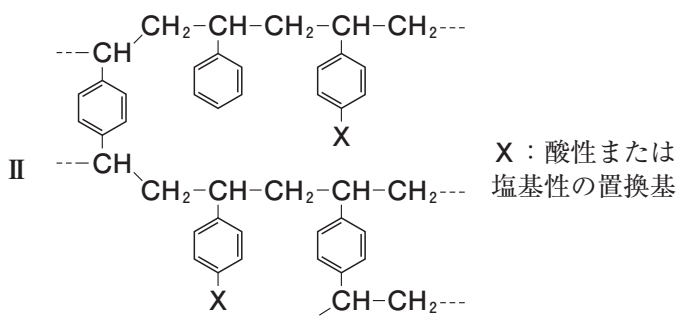
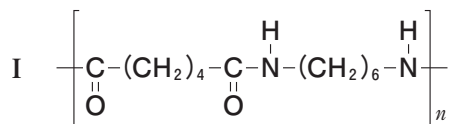
問 2 A～F のうち、炭酸水素ナトリウム水溶液に加えると気体を発生するものを 2 つ選び、その化合物の名称を記せ。

問 3 合成経路中の X に当てはまる化合物の名称を記せ。



7

(1) 次に構造式を示す高分子化合物Ⅰ～Ⅲに関する以下の問1～問4の答を解答欄に記入せよ。



問1 高分子化合物Ⅰ～Ⅲの性質や用途として当てはまるものを、次の①～⑤の中からそれぞれ1つ選び、その番号を記せ。

- ① ビニル基をもつ2種類のモノマーの共重合体を母体とした樹脂であり、工業用途や研究用途の脱イオン水の製造などに用いられる。
- ② 生体内において最終的に水と二酸化炭素に分解されるため、手術後に摘出の必要がない縫合糸や骨接合材料として用いられる。
- ③ ヨウ素を添加することで金属に匹敵する電気伝導性を示す。これを改良した合成高分子が電池やコンデンサーなどへ応用されている。
- ④ 絹に似た感触と光沢をもつ丈夫な合成繊維として、ストッキングやスポーツウェアなどの衣類に用いられる。
- ⑤ 洗濯してもしわになりにくく乾きやすい合成繊維として衣類に用いられるほか、透明で軽量の合成樹脂として飲料容器にも利用される。

問 2 高分子化合物Ⅰの工業的な合成に用いられる重合反応を，次の①～④から1つ選び，その番号を記せ。

- ① 付加重合      ② 開環重合      ③ 縮合重合      ④ 付加縮合

問 3 高分子化合物Ⅱに関する次の文を読んで，空欄  ～  に当てはまる最も適切な語句を記せ。

置換基Xとして  $-\text{CH}_2\text{N}^+(\text{CH}_3)_3\text{OH}^-$  をもつ高分子化合物Ⅱをカラム(円筒容器)につめ，それに塩化ナトリウム水溶液を通すと，塩化ナトリウム水溶液の  と高分子化合物中の  が交換され，カラムから  水溶液が流出してくる。

問 4 高分子化合物Ⅲの平均分子量が  $9.6 \times 10^5$  の場合，1分子中には平均して何個のエステル結合が含まれるか，有効数字2桁で答えよ。また，計算過程も示せ。

(2) タンパク質に関する次の問1, 問2の答を解答欄に記入せよ。

問1 次の文章を読んで、空欄  ～  に当てはまる最も適切な語句を記せ。

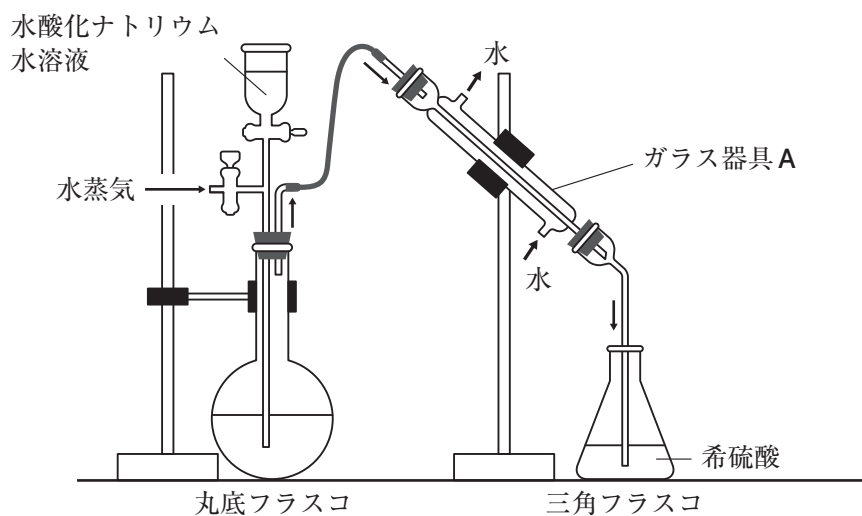
タンパク質は全ての生体に存在する高分子化合物である。生物は約20種類のアミノ酸をタンパク質の合成に使用する。アミノ酸は、共通の構造として、塩基性を示す  基と、酸性を示す  基を有している。タンパク質は多数のアミノ酸が  基と  基で脱水縮合することで合成されるが、このアミノ酸どうしのアミド結合を特に  結合という。タンパク質を構成するアミノ酸の配列順序をタンパク質の  という。

タンパク質は、生体内の化学反応・運動・免疫・遺伝などさまざまな生命活動を支える重要な物質である。このうち、化学反応の触媒としてはたらくタンパク質を  という。

問2 次の実験により、ある食品中に含まれるタンパク質の量を求めた。以下の間に答えよ。

ある食品1.00 gに濃硫酸を加えて加熱し、食品中のタンパク質に含まれる窒素をすべてアンモニウムイオンに変換した。その反応液の全量を図の丸底フラスコに移した。その反応液に、水酸化ナトリウム水溶液を加え、アンモニアを発生させた。発生したアンモニアを水蒸気とともにガラス器具Aを通過させ、三角フラスコ中の0.100 mol/Lの希硫酸100 mLにすべて吸収させた。アンモニアの発生と吸収が完了した後、三角フラスコ中の溶液を1.00 mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液で滴定したところ、残った硫酸を中和するのに18.4 mLを要した。





- 1) 下線部の反応を化学反応式で記せ。
- 2) 図のガラス器具Aの名称を記せ。
- 3) この食品 1.00 g から生じたアンモニアの物質量を有効数字2桁で答えよ。また、計算過程も示せ。
- 4) この食品 1.00 g 中に含まれるタンパク質の質量は何 g か、有効数字2桁で答えよ。また、計算過程も示せ。ただし、タンパク質には窒素が質量パーセント濃度で 16 % 含まれるものとし、タンパク質以外の物質からのアンモニアの発生は無視できるものとする。