

'24

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(36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	Al = 27	C = 12	Cl = 35.5	H = 1.0
	I = 127	N = 14	Na = 23.0	O = 16
	S = 32	Ti = 48	Zn = 65	

理想気体のモル体積 22.4 L/mol (0 °C,  $1.013 \times 10^5$  Pa)

気体定数  $8.31 \times 10^3$  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、壁のある床の上に質量  $M$  の台を置いて実験を行った。床面と壁面は平らで、床面は水平、壁面は床面と垂直である。台の下面は平らで、台の上面は水平面部分、一定の傾きの斜面部分、それらをなめらかにつなぐ曲面部分からなる。水平面部分は水平であり、斜面部分は水平面部分から角度  $\theta$  だけ傾いており、台の左端は下面に対し垂直な平面になっている。台と床面との間、および、台と壁面との間には摩擦はなく、台は床面の上をすべることができる。空気抵抗は無視でき、床と壁は動かないとする。重力加速度の大きさを  $g$  とし、観測者は床に対して静止しているとして、以下の設問に答えよ。

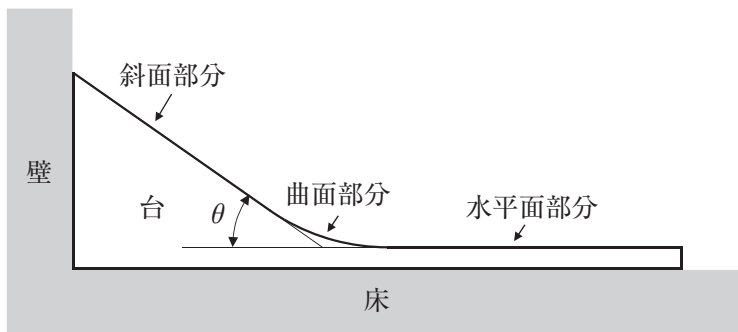


図1

【I】 図2のように、ばね定数  $k$  で質量の無視できるばねを、台の右端に取り付けた。ばねは右端が固定されており、自由に伸縮できる。この台を、台の左端が壁面に触れるようにして床面の上に置き、斜面部分上の、水平面部分から高さ  $H$  の位置で、質量  $m$  の小物体を静かにはなした。  $m < M$  とし、小物体と斜面部分、曲面部分、水平面部分との間の摩擦はないものとして、問(1)~(11)に答えよ。

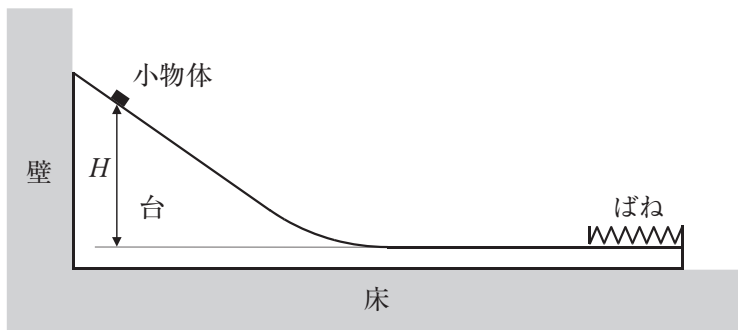


図2

小物体を静かにはなすと、小物体は斜面部分の上をすべりおり、曲面部分の上をなめらかに通過し、水平面部分の上をすべった。水平面部分の上で小物体が最初にばねに接触するまでは、ばねは自然の長さであり、台は観測者に対して静止していた。

- (1) 小物体が斜面部分の上をすべっているときの、台が床面から受ける垂直抗力の大きさを求めよ。
- (2) 小物体が斜面部分の上をすべっているときの、台が壁面から受ける垂直抗力の大きさを求めよ。
- (3) 小物体が斜面部分の上をすべっているときの、観測者から見た小物体の加速度の大きさを求めよ。
- (4) 小物体が水平面部分の上をすべっているときの、観測者から見た小物体の速度の大きさを求めよ。

小物体がばねに接触すると、ばねは小物体と接したまま縮み、台は観測者に対して動きはじめた。ばねが最も縮んだ後、ばねは小物体と接したまま伸び、ばねが自然の長さにもどったところで、小物体はばねから離れた。小物体はばねから離れた後、水平面部分の上を斜面部分へ向かってすべり、曲面部分の上をなめらかに通過し、斜面部分の上を途中まですべったのほり、その後、すべっておりてきた。ばねの縮みの大きさはばねの自然の長さに比べて十分に小さかった。

- (5) 小物体がばねに接触した後、ばねの自然の長さからの縮みが  $d$  になったときの、観測者から見た、小物体の加速度の大きさ、および、台の加速度の大きさを、 $d$ ,  $k$ ,  $M$ ,  $m$  から必要なものを用いて表せ。
- (6) 小物体がばねに接触した後、ばねが最も縮んだときの、観測者から見た小物体と台の運動量の和の大きさを、 $g$ ,  $H$ ,  $M$ ,  $m$  から必要なものを用いて表せ。
- (7) 小物体がばねに接触した後、ばねが最も縮んだときの、観測者から見た小物体と台の運動エネルギーの和を、 $g$ ,  $H$ ,  $M$ ,  $m$  から必要なものを用いて表せ。
- (8) 小物体がばねに接触した後、ばねが最も縮んだときの、ばねに蓄えられている弾性エネルギーを、 $g$ ,  $H$ ,  $M$ ,  $m$  を用いて表せ。

- (9) 小物体がばねから離れた直後の、観測者から見た小物体の速度の大きさ、および、台の速度の大きさを求めよ。
- (10) 台の斜面部分の上で、小物体が台に対して静止した瞬間の、観測者から見た小物体の速度の大きさを求めよ。
- (11) 台の斜面部分の上で、小物体が台に対して静止した瞬間の、台の水平面部分から測った小物体の高さを求めよ。

【Ⅱ】 図3のように、台からばねを取り去り、台の水平面部分の上に点 a をとり、点 a から右の水平面部分を粗くし、この台をその左端が壁面に触れるようにして床面上に置いた。斜面部分上の、水平面部分から高さ  $H$  の位置で、質量  $m$  の小物体を静かにはなした。粗い水平面部分と小物体との間の動摩擦係数を  $\mu'$  とし、粗い水平面部分以外の台の上面と小物体との間の摩擦はないものとする。また、面を粗くすることによる台の質量の変化は無視できるとする。問(12)~(14)に答えよ。

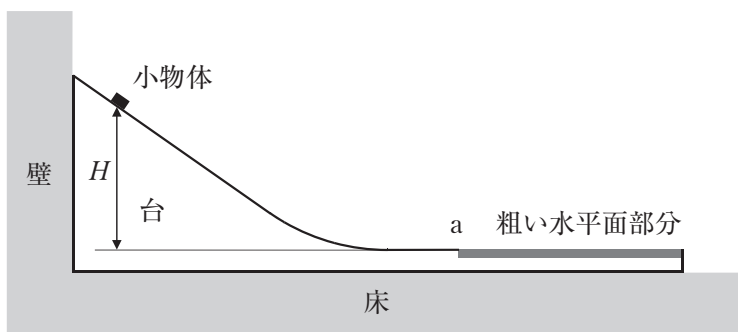


図 3

小物体を静かにはなすと、小物体は斜面部分の上をすべりおり、曲面部分の上をなめらかに通過し、なめらかな水平面部分の上をすべった。そして、小物体は点 a を通過した後、粗い水平面部分の上をすべり、粗い水平面部分の途中で台に対して静止した。

- (12) 小物体が粗い水平面部分の上をすべっているときの、観測者から見た小物体の加速度の大きさ、および、台の加速度の大きさを求めよ。
- (13) 小物体が点 a を通過し、粗い水平面部分に侵入してから、小物体が台に対して静止するまでの時間を、 $g$ ,  $H$ ,  $M$ ,  $m$ ,  $\mu'$  を用いて表せ。

- (14) 小物体が台に対して静止したときの、観測者から見た台の速度の大きさを求めよ。

- 【Ⅲ】 図4のように、さらに、台の斜面部分に、点bと点cをとり、点bと点cの間の斜面部分を粗くし、この台をその左端が壁面に触れるようにして床面の上に置いた。点bより上の斜面部分上の、水平面部分から高さ  $H$  の位置で、質量  $m$  の小物体を静かにはなした。粗い斜面部分と小物体との間の動摩擦係数を  $\mu'$  とし、粗い斜面部分と粗い水平面部分以外の台の上面と小物体との間の摩擦はないものとする。また、面を粗くすることによる台の質量の変化は無視できるとする。問(15)~(17)に答えよ。

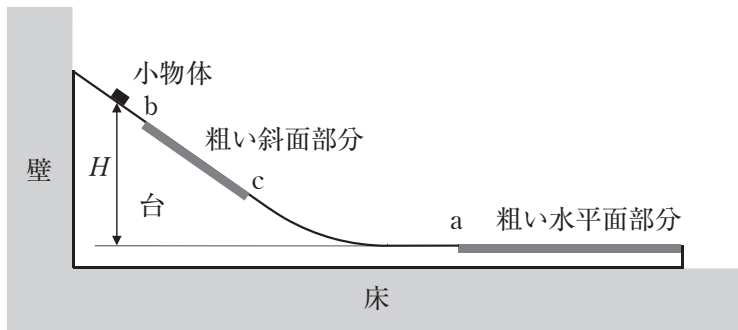


図4

小物体を静かにはなすと、小物体は台のなめらかな斜面部分をすべりおり、点bを通過し、粗い斜面部分をすべりおりた。また、小物体が点aを通過するまでは、台は観測者から見て静止していた。

- (15) 小物体が粗い斜面部分の上をすべっているときの、台が床面から受ける垂直抗力の大きさを求めよ。
- (16) 小物体が粗い斜面部分の上をすべっているときの、台が壁面から受ける垂直抗力の大きさを求めよ。
- (17) 以下の文の空欄  にはいる適切な式を答えよ。

もし、動摩擦係数  $\mu'$  が、 を超えていると、小物体が粗い斜面部分の上をすべっているときに台は動き出す。 $\mu'$  が  を超えていないと台は動き出さない。観測者から見て台が静止していたことから、 $\mu'$  は  を超えていなかったことがわかる。

2

【I】 真空中に、面積が  $S[\text{m}^2]$  の正方形の形をした厚さの無視できる極板 2 枚を距離  $d[\text{m}]$  だけ離して並べた平行板コンデンサーがある。極板の一辺の長さは極板間の距離に比べて十分大きく、極板の端における電場の乱れは無視できる。真空中の誘電率を  $\epsilon_0[\text{F/m}]$  とする。以下の問(1)に答えよ。

- (1) 以下の文章の  ～  に入る適切な式を、 $S$ 、 $d$ 、 $\epsilon_0$ 、および、文章中で示される  $Q$ 、 $\epsilon_r$  のうち必要なものを用いて表せ。

平行板コンデンサーの片側の極板を電気量  $Q[\text{C}]$  ( $Q > 0$ )、もう片方の極板を電気量  $-Q[\text{C}]$  に帯電させたところ、極板間に強さが  $\frac{Q}{\epsilon_0 S}$  の一様な電場ができた。このとき、極板間の電位差の大きさは  となっている。このことから、この平行板コンデンサーの電気容量は  であることがわかる。次に、底面が面積  $S$  の正方形で厚さが  $d$  の直方体の形をした、比誘電率が  $\epsilon_r$  の誘電体を極板間に挿入し、極板間の空間を隙間なく満たした。誘電体の挿入後、極板間の電場の強さは、誘電体を挿入する前の  倍になっており、平行板コンデンサーの電気容量は、誘電体を挿入する前の  倍になっている。



【Ⅱ】 図1のように、真空中に並べて置かれた、面積が等しく、形が正方形で、厚さの無視できる極板 A、B からなる平行板コンデンサーが、抵抗  $R$ 、 $R_1$ 、スイッチ  $S_1$ 、 $S_2$ 、直流電源と、導線につながれている。抵抗  $R$  の抵抗値は  $R[\Omega]$ 、抵抗  $R_1$  の抵抗値は  $R_1[\Omega]$ 、直流電源の端子電圧は  $V[V]$  である。極板 A、B は、空間中にとられた  $x$  軸に垂直に置かれており、極板 A は  $x = 0$  の位置に固定されている。また、極板 B は、最初、 $x = L[m]$  の位置に固定されている。極板 B が  $x = L$  の位置にあるときの、平行板コンデンサーの電気容量を  $C_0[F]$  とする。極板の一辺の長さは極板間の距離に比べて十分大きく、極板の端における電場の乱れは無視できる。また、導線の電気抵抗、回路で発生する磁場の効果、および、重力の効果は無視できる。以下の問(2)~(4)に答えよ。

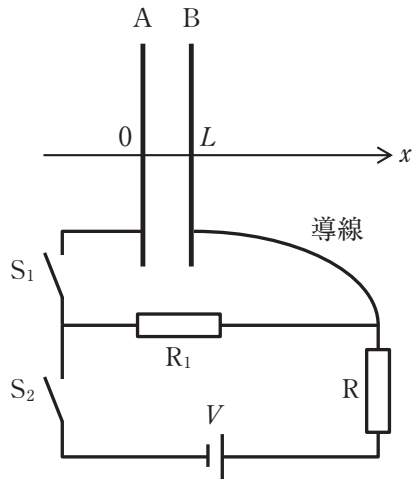


図1

最初、極板 A, B は帯電しておらず、スイッチ  $S_1$ ,  $S_2$  は開いていた。この状態から、スイッチ  $S_1$ ,  $S_2$  を閉じ、十分な時間が経過した。この十分な時間が経過した後の、極板 A, B 間の電位差の大きさを  $V_1[V]$  とする。

- (2) 十分な時間が経過した後の、抵抗  $R_1$  に流れる電流の大きさを、 $R$ ,  $R_1$ ,  $V$  のうち必要なものを用いて表せ。
- (3)  $V_1$  を、 $R$ ,  $R_1$ ,  $V$  のうち必要なものを用いて表せ。
- (4) 十分な時間が経過した後の、極板 B に蓄えられた電気量を、 $V_1$ ,  $C_0$  のうち必要なものを用いて表せ。
- (5) 十分な時間が経過した後の、平行板コンデンサーに蓄えられた静電エネルギーを、 $V_1$ ,  $C_0$  のうち必要なものを用いて表せ。

次に、スイッチ  $S_1$  を開いた後、スイッチ  $S_2$  を開いた。その後、極板 B に外力をはたらかせ、極板 B が  $x$  軸に垂直な状態を保ったまま、極板 B を  $x$  軸正の向きにゆっくりと平行移動させた後、 $x = 3L$  の位置に固定した。

- (6) 極板 B を  $x = 3L$  の位置まで移動させた後の、平行板コンデンサーの電気容量を、 $C_0$  を用いて表せ。
- (7) 極板 B を  $x = 3L$  の位置まで移動させた後の、極板 A, B 間の電位差の大きさを、 $V_1$  を用いて表せ。
- (8) 極板 B を  $x = 3L$  の位置まで移動させた後の、平行板コンデンサーに蓄えられた静電エネルギーを、 $V_1$ ,  $C_0$  のうち必要なものを用いて表せ。
- (9) 極板 B を  $x = L$  から  $x = 3L$  の位置まで移動させる間、極板 B には、極板 A からの一定の大きさの引力がはたらいている。この引力に逆らって極板 B を移動させるために外力がした仕事が、静電エネルギーの増加分と等しいことを利用して、極板 B が極板 A から受ける引力の大きさを、 $V_1$ ,  $C_0$ ,  $L$  のうち必要なものを用いて表せ。

次に、底面が極板と同じ面積の正方形で、厚さが  $L$  の直方体の形をした、比誘電率が 2 の誘電体を、誘電体に外力をはたらかせながら、 $x$  軸に垂直で一定の向きにゆっくりと平行移動させ、図 2 のように、 $L < x < 2L$  の領域に、底面が極板と平行でコンデンサー内部からはみ出さないように挿入した。

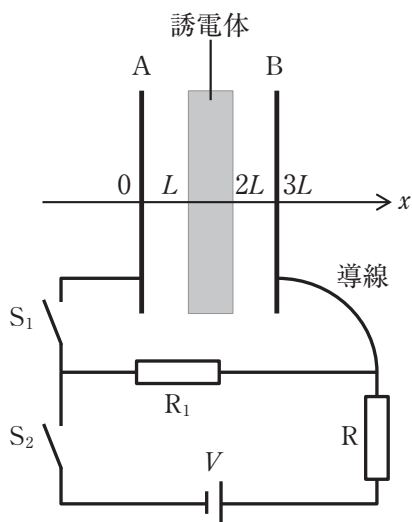


図 2

- (10) 誘電体を挿入した後の極板 A, B 間の電位差の大きさを、 $V_1$ ,  $C_0$ ,  $L$  のうち必要なものを用いて表せ。
- (11) 極板 A の電位を 0 としたときの、極板 A, B の間の領域の各点における電位のグラフを、 $0 < x < 3L$  の範囲について、横軸を  $x$ , 縦軸を電位として、解答欄に図示せよ。ただし、解答欄のグラフの縦軸の (10) には、問(10)で求めた電位差の大きさが入るものとする。
- (12) 誘電体を挿入した後の、平行板コンデンサーに蓄えられた静電エネルギーを、 $V_1$ ,  $C_0$ ,  $L$  のうち必要なものを用いて表せ。

- (13) 極板間に誘電体を挿入する過程に関する以下の文章の  ～  
 に入る最も適切な語句を選択肢から選び、記号で答えよ。

誘電体の挿入後に平行板コンデンサーに蓄えられている静電エネルギーは、誘電体の挿入前に比べて  している。これは、誘電体をゆっくり挿入するときに、誘電体に加えられていた外力が、誘電体に対して  の仕事をしたことを示している。

の選択肢：

- ① 増加                      ② 減少

の選択肢：

- ③ 正                          ④ 負

次に、スイッチ  $S_1$  を閉じ、その後、十分長い時間  $T$  [s] がたったところ、コンデンサーに蓄えられた電気量が 0 とみなせるようになった。

- (14) スイッチ  $S_1$  を閉じた時刻を  $t = 0$  とし、抵抗  $R_1$  に流れる電流の大きさと時刻  $t$  の関係を表したグラフとして最も適切なものを、図 3 の選択肢(あ)～(か)から選び、記号で答えよ。

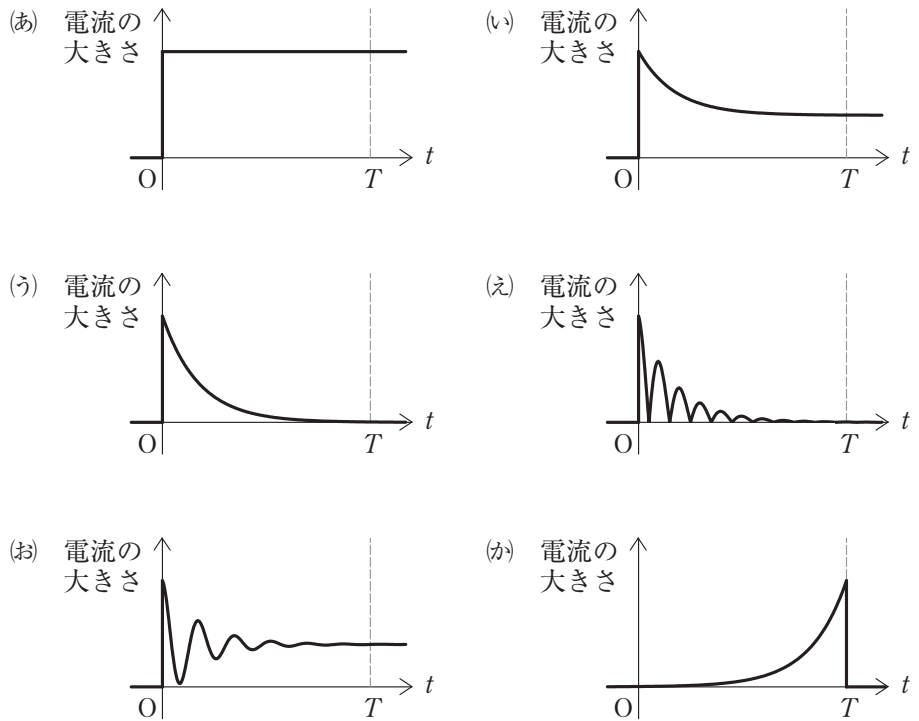


図 3

3

図1のように、大気中にシリンダーを底が左側に位置するように水平に置き、その中に断面積  $S$  [m<sup>2</sup>] のピストン X と、任意の位置に固定できるストッパーを配置する。シリンダーとピストン X は熱容量を無視できる断熱材でできており、ピストン X はなめらかにうごくものとする。シリンダー内の気体はシリンダーの底に装着したヒーターによって加熱でき、ヒーターの体積や熱容量は無視できるものとする。また、大気圧を  $p_0$  [Pa]、気体定数を  $R$  [J/(mol·K)] とする。



図1

【I】 図2のようにシリンダー内の底面とピストン X の間に単原子分子であるヘリウムガス  $n$  [mol] を閉じ込めた。最初、ヘリウムガスの圧力は大気圧より高く、ピストン X はストッパーにより静止していた。このときのヘリウムガスの温度は  $T_a$  [K] であり、シリンダー内の底面からピストン X の内面までの距離は  $L$  [m] であった。

この状態から、ヒーターからヘリウムガスに熱量  $Q$  [J] ( $Q > 0$ ) をゆっくり加えた。ヘリウムガスは理想気体としてふるまうものとし、その定積モル比熱を  $\frac{3}{2}R$ 、定圧モル比熱を  $\frac{5}{2}R$  とする。以下の問(1)、(2)に答えよ。

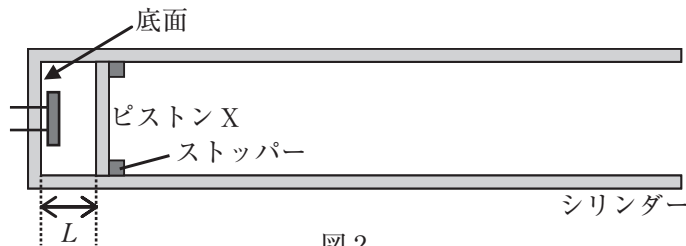


図2

- (1) 熱量  $Q$  を加えた前後における、ヘリウムガスの温度の変化を求めよ。
- (2) 熱量  $Q$  を加えた後のヘリウムガスの圧力を、 $n$ 、 $L$ 、 $R$ 、 $Q$ 、 $S$ 、 $T_a$  を用いて表せ。

【Ⅱ】 図3のように、シリンダーの右端にストッパーを固定し、シリンダーの底面とピストンXの間に  $n$  [mol] のヘリウムガスを閉じ込めた。最初、ヘリウムガスの圧力は大気圧と等しく、ピストンXはストッパーに触れない位置で静止していた。このときのヘリウムガスの温度は  $T_b$  [K] であった。

次に、ヘリウムガスをヒーターによりゆっくり加熱したところ、ピストンXがゆっくり移動した。その後、加熱を止めたところ、ピストンXはストッパーと接触する前に止まった。このときのヘリウムガスの温度は  $T_c$  [K] ( $T_c > T_b$ ) であった。なお、ピストンXが移動している間、ヘリウムガスの圧力は大気圧と等しかったとみなせるものとする。また、ヘリウムガスは理想気体としてふるまうものとし、その定積モル比熱を  $\frac{3}{2}R$ 、定圧モル比熱を  $\frac{5}{2}R$  とする。以下の問(3)~(6)に答えよ。

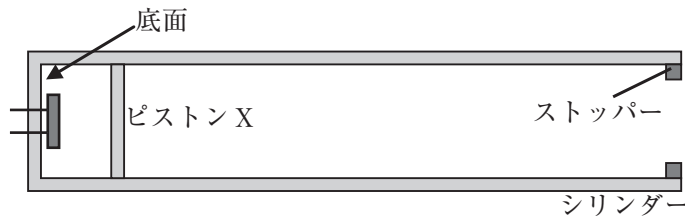


図3

- (3) 温度が  $T_b$  から  $T_c$  へ変化した間に、ヘリウムガスが得た熱量を求めよ。
- (4) 温度が  $T_b$  から  $T_c$  へ変化した間の、ヘリウムガスの内部エネルギーの変化を求めよ。
- (5) 温度が  $T_b$  から  $T_c$  へ変化した間に、ヘリウムガスがされた仕事を求めよ。
- (6) 温度が  $T_b$  から  $T_c$  へ変化した間の、ヘリウムガスの体積の変化を求めよ。

【Ⅲ】 図4のようにシリンダーの底面とピストンXの間に断面積  $S$  [m<sup>2</sup>]のピストンYを追加し、シリンダーの底面とピストンYの間に  $n$  [mol]のヘリウムガスを、ピストンYとピストンXの間に  $3n$  [mol]の窒素ガスを閉じ込めた。ピストンYは熱を伝える材料でできており、ピストンYの厚みと熱容量は無視できるものとする。さらに、ピストンYはなめらかに動くものとする。また、ストッパーはシリンダーの右端に固定した。なお、ヘリウムガスと窒素ガスは理想気体としてふるまうものとする。

最初、ヘリウムガスと窒素ガスの温度は  $T_A$  で等しく、さらにヘリウムガスと窒素ガスの圧力は共に大気圧と等しく、ピストンXとピストンYは静止していた。このときのシリンダー内の底面からピストンXの内面までの距離は  $L'$  [m]であった。この状態を状態Aとする。以下の問(7)に答えよ。

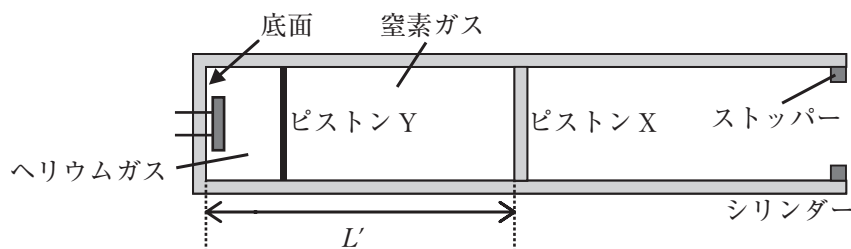


図4

- (7) 状態Aにおける窒素ガスの温度  $T_A$  を、 $L'$ 、 $n$ 、 $p_0$ 、 $R$ 、 $S$  を用いて表せ。



次に状態 A から、シリンダー内の気体をヒーターによりゆっくり加熱したところ、ピストン X とピストン Y がゆっくり移動した。その後、ピストン X がストッパーに接触した瞬間に加熱を止めた。このとき、シリンダー内の底面からピストン X の内面までの距離は  $2L'$  であった。この状態を状態 B とする。なお、状態 A から状態 B への状態変化の間中、ヘリウムガスと窒素ガスの温度は等しかったとみなせ、さらに、ヘリウムガスと窒素ガスの圧力は共に大気圧と等しかったとみなせるものとする。状態 A から状態 B への状態変化におけるモル比熱の変化は無視できるものとし、ヘリウムガスの定積モル比熱を  $\frac{3}{2}R$ 、定圧モル比熱を  $\frac{5}{2}R$ 、窒素ガスの定積モル比熱を  $\frac{5}{2}R$ 、定圧モル比熱を  $\frac{7}{2}R$  とする。以下の問(8)~(11)に答えよ。

- (8) 状態 A から状態 B への状態変化における、窒素ガスの温度の変化を、 $T_A$  を用いて表せ。
- (9) 状態 A から状態 B への状態変化において、窒素ガスが得た熱量を、 $n$ 、 $R$ 、 $T_A$  を用いて表せ。
- (10) 状態 A から状態 B への状態変化において、窒素ガスがされた仕事を、 $n$ 、 $R$ 、 $T_A$  を用いて表せ。
- (11) 状態 A から状態 B への状態変化における、窒素ガスの内部エネルギーの変化を、 $n$ 、 $R$ 、 $T_A$  を用いて表せ。

次に状態 B から、シリンダー内の気体にヒーターにより熱量  $Q'$  [J] ( $Q' > 0$ ) をゆっくり加えた。この加熱後の状態を状態 C とする。なお、状態 B から状態 C への状態変化の間中、ピストン Y は静止していた。また、状態 B から状態 C への状態変化におけるモル比熱の変化は無視できるものとし、ヘリウムガスの定積モル比熱を  $\frac{3}{2}R$ 、定圧モル比熱を  $\frac{5}{2}R$ 、窒素ガスの定積モル比熱を  $\frac{5}{2}R$ 、定圧モル比熱を  $\frac{7}{2}R$  とする。以下の問(12)~(14)に答えよ。

- (12) 状態 C における窒素ガスの温度を、 $n$ 、 $R$ 、 $Q'$ 、 $T_A$  を用いて表せ。
- (13) 状態 A から状態 C への状態変化において、窒素ガスが得た熱量を、 $n$ 、 $R$ 、 $Q'$ 、 $T_A$  を用いて表せ。
- (14) 状態 A から状態 C への状態変化における、窒素ガスの内部エネルギーの変化を、 $n$ 、 $R$ 、 $Q'$ 、 $T_A$  を用いて表せ。



4

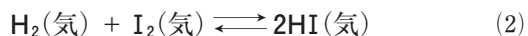
(1) 次の文章を読んで、問1～問6の答を解答欄に記入せよ。

気体の水素  $\text{H}_2$  と気体のヨウ素  $\text{I}_2$  から気体のヨウ化水素  $\text{HI}$  が生じる反応の熱化学方程式は次の(1)式で表される。



$\text{H}-\text{H}$  の結合エネルギーは  $436 \text{ kJ/mol}$ ,  $\text{I}-\text{I}$  の結合エネルギーは  $151 \text{ kJ/mol}$  である。これらの値と(1)式から  $\text{H}-\text{I}$  の結合エネルギーは   $\text{kJ/mol}$  と求められる。

密閉容器に  $\text{H}_2$  と  $\text{I}_2$  を入れ、ある温度に保つと(2)式の可逆反応が起こる。



(2)式の右向きの反応の反応速度を  $v_1$ , 左向きの反応の反応速度を  $v_2$  とすると、 $v_1$  と  $v_2$  の関係は、反応開始直後は  , 平衡状態のときは  である。右向きの反応の活性化エネルギーは触媒がないとき  $174 \text{ kJ/mol}$  である。このとき左向きの反応の活性化エネルギーは   $\text{kJ/mol}$  である。この反応に触媒を用いると反応熱は  が、活性化エネルギーは  。

問1 空欄  ,  に当てはまる数値を有効数字3桁で答えよ。

問2 空欄  ~  に当てはまる最も適切な式または語句を次の①～⑦から選び、その番号を記せ。ただし、同じ番号を複数回選んでもよい。

- ①  $v_1 > v_2$       ②  $v_1 = v_2 \neq 0$       ③  $v_1 = v_2 = 0$       ④  $v_1 < v_2$   
 ⑤ 大きくなる      ⑥ 変わらない      ⑦ 小さくなる

問 3  $\text{H}_2$  1.0 mol と  $\text{I}_2$  1.0 mol を容積 1.0 L の密閉容器に入れて、ある温度に保った。このとき、図 1 のように、 $\text{H}_2$ 、 $\text{I}_2$ 、 $\text{HI}$  の濃度が変化して、時刻  $t_e$  以降で平衡状態に達し、 $\text{H}_2$  の濃度が 0.20 mol/L、 $\text{I}_2$  の濃度が 0.20 mol/L、 $\text{HI}$  の濃度が 1.60 mol/L になった。この温度における(2)式の平衡定数  $K$  を計算し、有効数字 2 桁で答えよ。

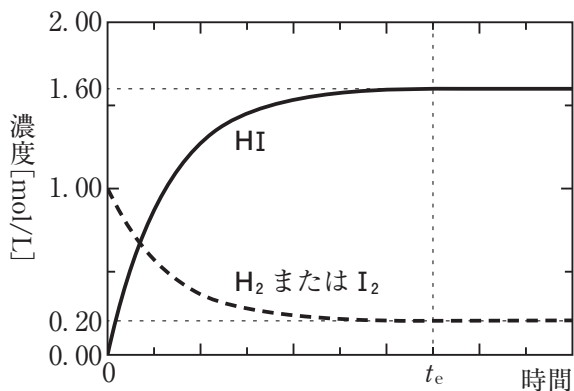


図 1

問 4 問 3 と同じ実験を、温度を上げて行った。温度を上げたときの  $\text{HI}$  の濃度と時間の関係として正しいものを図 2 の①～④の中から 1 つ選び、その番号を記せ。ただし、実線はもとの温度のとき、点線は温度を上げたときの関係である。

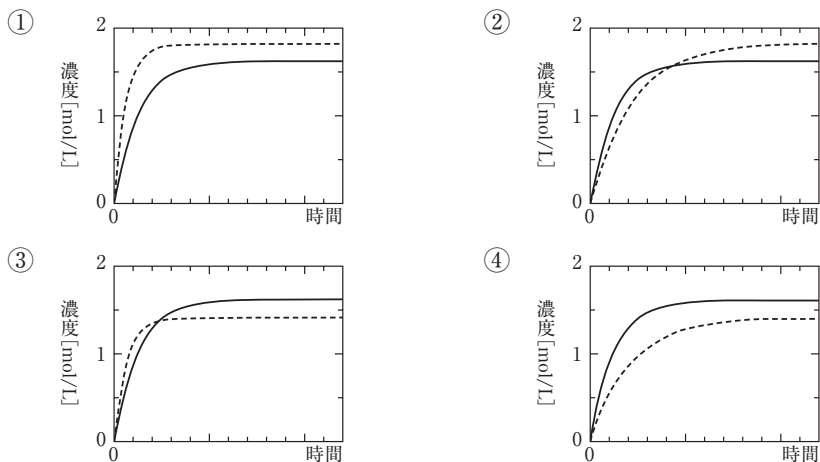


図 2

問 5 問 3 と同じ実験を，触媒を加えて行った。触媒を加えたときの HI の濃度と時間の関係として正しいものを図 3 の①～④の中から 1 つ選び，その番号を記せ。ただし，実線は触媒がないとき，点線は触媒があるときの関係である。

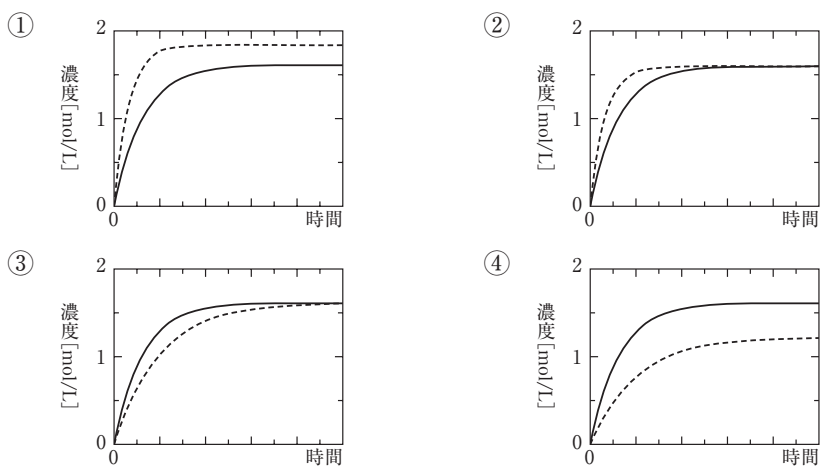


図 3

問 6 はじめ  $1.0 \text{ mol}$  の HI のみを  $1.0 \text{ L}$  の密閉容器に入れ，問 3 の実験と同じ温度に保った。このとき，平衡状態における  $\text{H}_2$  の濃度を有効数字 2 桁で答えよ。また，計算過程も記せ。



(2) 次の文章を読んで、問1～問3の答を解答欄に記入せよ。

電解質の水溶液などに電極を入れ、直流電流を流して酸化還元反応を起こさせることを電気分解という。電気分解では、電源の  につないだ電極を陽極、電源の  につないだ電極を陰極という。

塩化ナトリウム水溶液の電気分解では、単体のナトリウムは得られない。単体のナトリウムは、高温でとかして液体とした塩化ナトリウムを電気分解することで得られる。このように、固体の塩をとかして得られた液体を電気分解する方法を  という。

問1 空欄  ～  に当てはまる最も適切な語句を記せ。

問2 塩化ナトリウム水溶液の電気分解について、次の問に答えよ。

- 1) 陽極および陰極で起こる反応を電子  $e^-$  を含むイオン反応式でそれぞれ記せ。
- 2) この方法では単体のナトリウムが得られない理由を30字以内で記せ。

問3 液体の塩化ナトリウム 5.40 g に対して、黒鉛を陽極、鉄を陰極として 5.00 A の電流を9分39秒間流して電気分解を行ったところ、単体のナトリウムと気体が生成した。これについて次の問に答えよ。ただし、塩化ナトリウムの電気分解以外の反応は起こらないものとする。

- 1) 流れた電子の物質量は何 mol か、有効数字3桁で答えよ。また、計算過程も記せ。
- 2) 電気分解で生成した気体の体積は、 $0^\circ\text{C}$ 、 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$  で何 L か、有効数字3桁で答えよ。また、計算過程も記せ。ただし、生成した気体は理想気体としてふるまうものとする。

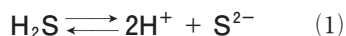


- 3) 電気分解後、残っている塩化ナトリウムの質量は何 g か、有効数字 3 桁で答えよ。また、計算過程も記せ。

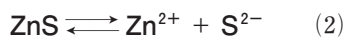
5

(1) 次の文章を読んで、問1～問5の答を解答欄に記入せよ。

硫化水素  $\text{H}_2\text{S}$  は常温・常圧で気体である。 $\text{H}_2\text{S}$  を水に通じると、 $\text{H}_2\text{S}$  は水に溶けて電離し、(1)式の電離平衡が成立する。



硫化亜鉛  $\text{ZnS}$  は難溶性の塩であり、 $\text{ZnS}$  の沈殿が存在する水溶液中では、(2)式の溶解平衡が成立する。



亜鉛イオン  $\text{Zn}^{2+}$  を含むある水溶液に  $\text{H}_2\text{S}$  を通じて  $\text{H}_2\text{S}$  の飽和溶液としたのち、pH を 1.00 に調整したとき、 $\text{ZnS}$  の沈殿は生じなかった。次に、 $\text{H}_2\text{S}$  を通じたまま、(1)式と(2)式の化学平衡が常に成立するように、ゆっくりと水溶液の pH を高くしていくと、pH が 3.00 を超えたところで  $\text{ZnS}$  の沈殿が生じた。

問 1  $\text{H}_2\text{S}$  に関する次の文章①～④のうち、正しいものをすべて選び、その番号を記せ。

- ①  $\text{H}_2\text{S}$  は、硫化鉄(Ⅱ) $\text{FeS}$  に希硫酸を加えると発生する。
- ②  $\text{H}_2\text{S}$  の水溶液は強酸性を示す。
- ③  $\text{H}_2\text{S}$  は火山ガスなどに含まれる無色で腐卵臭のある有毒な気体である。
- ④  $\text{H}_2\text{S}$  には強い酸化作用があるため、 $\text{H}_2\text{S}$  の水溶液に二酸化硫黄  $\text{SO}_2$  を吹き込むと硫黄の単体を遊離する。

問 2 (1)式の電離定数  $K$  および(2)式の  $\text{ZnS}$  の溶解度積  $K_{\text{sp}}$  を、平衡状態における  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  のモル濃度  $[\text{H}_2\text{S}]$ ,  $[\text{H}^+]$ ,  $[\text{S}^{2-}]$ ,  $[\text{Zn}^{2+}]$  を用いた式でそれぞれ記せ。

問 3  $\text{H}_2\text{S}$  の飽和溶液の pH を高くしていくと平衡状態における  $[\text{S}^{2-}]$  はどうなるか、正しいものを次の①～③から1つ選び、その番号を記せ。

- ① 変化しない
- ② 減少していく
- ③ 増加していく

問 4 pH が 1.00 のときと pH が 4.00 のときにおける、 $K_{\text{sp}}$  と平衡状態における  $[\text{Zn}^{2+}]$ ,  $[\text{S}^{2-}]$  の関係として正しいものを次の①～③からそれぞれ1つ選び、その番号を記せ。

- ①  $K_{\text{sp}} = [\text{Zn}^{2+}][\text{S}^{2-}]$
- ②  $K_{\text{sp}} < [\text{Zn}^{2+}][\text{S}^{2-}]$
- ③  $K_{\text{sp}} > [\text{Zn}^{2+}][\text{S}^{2-}]$

問 5 pH が 4.00 のとき、平衡状態における  $[\text{H}_2\text{S}] = 0.10 \text{ mol/L}$  であったとする。このときの平衡状態における  $[\text{Zn}^{2+}]$  を有効数字 2 桁で答えよ。また、計算過程も記せ。ただし、 $K = 1.2 \times 10^{-21} (\text{mol/L})^2$ ,  $K_{\text{sp}} = 2.2 \times 10^{-18} (\text{mol/L})^2$  とする。

(2) 次の文章を読んで、問1～問6の答を解答欄に記入せよ。

アルミニウム **Al** は質量比で地殻中に3番目に多く存在する元素であり、チタン **Ti** は9番目に多く存在する元素である。**Al** は周期表の  族に属する元素で  価の陽イオンになりやすい。単体の **Al** の結晶の構造は a 面心立方格子 である。一方、**Ti** は周期表の  族に属する元素である。単体の **Ti** の結晶の構造は、常温では b 六方最密構造 であるが、加熱すると  $885\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上で c 体心立方格子 になる。

金属の **Al** および **Ti** は密度が比較的小さく、また、空気中で d 表面に緻密な酸化被膜が形成され、内部が保護されて酸化されない という特徴をもつ。**Al** や **Ti** を含む合金は、工業用から家庭用製品まで幅広く利用されている。**Al** に銅 **Cu** やマグネシウム **Mg** などを加えてつくられる  と呼ばれる合金は強度が高いため飛行機の機体や電車の車体などに用いられている。**Ti** とニッケル **Ni** の合金は、変形しても加熱によって元の形に戻るといった性質をもつ。このような性質をもつ合金は  と呼ばれ、メガネのフレームなどに利用されている。

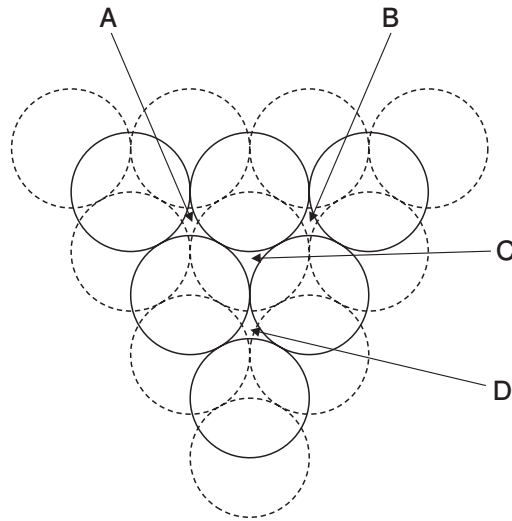
問1 空欄  ～  に当てはまる最も適切な数字または語句を記せ。

問2 質量比で地殻中に1番目および2番目に多く存在する元素の名称をそれぞれ記せ。

問3 下線部 a の結晶中の **Al** 原子の配位数、また下線部 b および c の結晶中の **Ti** 原子の配位数をそれぞれ答えよ。

問4 下線部 d の状態を何というか、記せ。

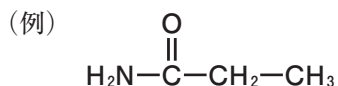
問 5 下の図は原子を球とみなしたときの最密構造の一部を示している。図中の点線は1層目の原子を、また実線は2層目の原子を表している。下線部 a および b の構造において3層目の原子が入る位置をそれぞれ図中の A ~ D からすべて選び、その記号を記せ。



問 6 常温において、単体の Al の結晶の密度は単体の Ti の結晶の密度の何倍か、有効数字 2 桁で答えよ。また、計算過程も記せ。ただし、Al と Ti の原子半径は、それぞれ  $1.43 \times 10^{-8}$  cm,  $1.47 \times 10^{-8}$  cm とする。また、必要であれば、 $1.43^3$  は 2.9,  $1.47^3$  は 3.2 として計算せよ。

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、構造式は次の例にならって記せ。



硫酸は有機化合物の脱水反応に利用されている。例えば、エタノールと濃硫酸の混合物を約170℃で加熱すると、主に化合物Aと水を生じる。一方、エタノールと濃硫酸の混合物を約130℃で加熱すると、主に化合物Bと水を生じる。また、a 酢酸とエタノールの混合物に少量の濃硫酸を加えて加熱すると、エステルCと水を生じる。

また、硫酸は芳香族化合物の置換反応にも利用されている。例えば、b ベンゼンと濃硫酸の混合物を加熱すると、ベンゼンスルホン酸が生じる。アルキルベンゼンと濃硫酸を同様に反応させて生成した化合物を水酸化ナトリウムで中和すると、合成洗剤の主成分の一つである c アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム が得られる。

問1 化合物A、BおよびエステルCの構造式を記せ。

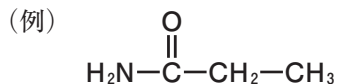
問2 下線部aと同様に、カルボン酸Dとエタノールの混合物に少量の濃硫酸を加えて加熱すると、エステルEと水が生じた。エステルEは質量百分率で炭素60.0%、水素8.0%、酸素32.0%からなり、炭素数が9以下であった。次の問に答えよ。

- 1) エステルEの組成式を記せ。
- 2) カルボン酸Dの構造式を記せ。

問 3 下線部 b の反応で、ベンゼン 7.8 g と濃硫酸の混合物を加熱すると、ベンゼンの一部が反応してベンゼンスルホン酸が 7.9 g 生成した。ベンゼンの何%が反応したか、有効数字 2 桁で答えよ。ただし、ベンゼンスルホン酸以外の有機化合物は生成しなかったものとする。

問 4 下線部 c の化合物の水溶液は中性を示す。その理由を 20 字以内で記せ。

(2) 次の文章を読んで、問 1～問 6 の答を解答欄に記入せよ。なお、構造式は次の例にならって記せ。



化合物 A～E はいずれも分子式  $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$  で表される有機化合物である。

このうち、化合物 A と B は 5 個の原子が環状につながった構造(五員環)を含んでいる。化合物 A はナトリウムと反応したが、化合物 B はナトリウムと反応しなかった。また、化合物 A の沸点は、化合物 B よりも高い。

化合物 C～E はいずれも、環状構造をもたず、また炭素原子間二重結合  $\text{C}=\text{C}$  を含まない。化合物 C は不斉炭素原子をもち、銀鏡反応を示した。化合物 D はヨードホルム反応を示した。化合物 E は、銀鏡反応もヨードホルム反応も示さなかった。

問 1 化合物 A の構造式を記せ。

問 2 化合物 B として 2 種類の構造異性体が考えられる。それらの構造式を記せ。

問 3 化合物 A の沸点が化合物 B より高い理由を 40 字以内で説明せよ。

問 4 化合物 A と B からなる混合物 4.30 g にナトリウムを反応させたところ、化合物 A がすべて反応し、0.020 mol の水素が発生した。混合物中の化合物 A の含有率(質量百分率)を有効数字 2 桁で答えよ。

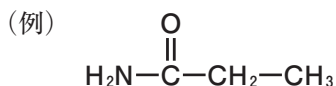
問 5 化合物 C および E の構造式を記せ。



問 6 化合物Dとして2種類の構造異性体が考えられる。それらの構造式を記せ。

7

(1) 次の文章を読んで、問1～問5の答を解答欄に記入せよ。なお、構造式は次の例にならって記せ。



合成樹脂は、熱に対する性質の違いから熱可塑性樹脂と熱硬化性樹脂に分類される。

熱可塑性樹脂は、一般に、 構造をもち、付加重合で合成されるものが多い。その代表には、ポリエチレンや<sup>a</sup>ポリスチレンが知られている。ポリエチレンは、製法によって密度が違い、低密度ポリエチレンと高密度ポリエチレンに分けられる。低密度ポリエチレンは、 構造が多いので、分子鎖が規則的に配列した 部分が少なく、 部分が多い。また、透明でやわらかい。高密度ポリエチレンは、 部分が多く、半透明で硬い。

熱硬化性樹脂は、 で合成されるものが多く、合成過程の熱処理で、分子間結合が生じて、 構造が発達し硬くなる。その代表としては、フェノール樹脂、<sup>b</sup>尿素樹脂、メラミン樹脂などがある。フェノール樹脂は、酸や塩基を として、<sup>c</sup>フェノールとホルムアルデヒドを反応させて、中間生成物を生成し、これをさらに加熱することで合成される。

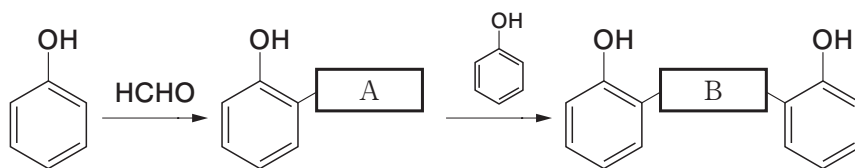
問1 空欄～に当てはまる最も適切な語句を次の①～⑪からそれぞれ1つ選び、その番号を記せ。ただし、同じ番号は複数回選んではならない。

- |        |        |         |       |
|--------|--------|---------|-------|
| ① 鎖状   | ② 枝分かれ | ③ 三次元網目 | ④ 結晶  |
| ⑤ 非晶   | ⑥ 縮合重合 | ⑦ 開環重合  | ⑧ 共重合 |
| ⑨ 付加縮合 | ⑩ モノマー | ⑪ 触媒    |       |

問 2 下線部 a のポリスチレンの構造式を記せ。

問 3 下線部 b の尿素樹脂とメラミン樹脂を総称する樹脂の名称を記せ。

問 4 下線部 c のフェノールとホルムアルデヒドの反応は、次のように始まっていく。空欄  と  に当てはまる構造を記せ。

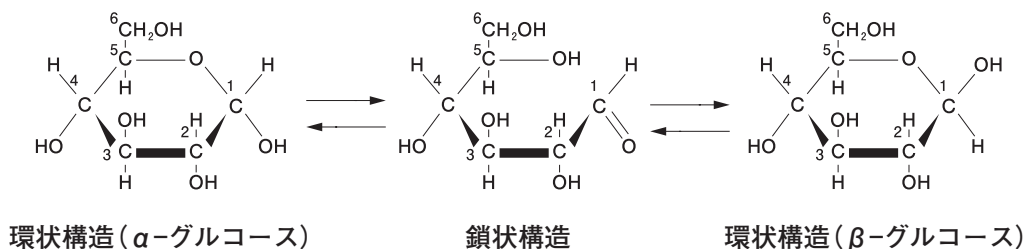


問 5 分子量が  $1.26 \times 10^4$  のポリエチレンの重合度を有効数字 2 桁で答えよ。また、計算過程も記せ。

(2) 次の文章を読んで、問1～問4の答を解答欄に記入せよ。

糖(糖類)は、一般式  $C_m(H_2O)_n$  で表される化合物であり、炭水化物ともよばれる。糖のうち、それ以上加水分解されない糖を単糖、加水分解によって単糖2分子を生じる糖を二糖、多数の単糖が縮合重合した重合体を多糖という。

グルコースは生体内でエネルギー源として重要な役割を担っている単糖である。水溶液中では下式のように、環状構造の $\alpha$ -グルコースと $\beta$ -グルコースと六員環構造が開いた鎖状構造のグルコースが平衡状態にある。

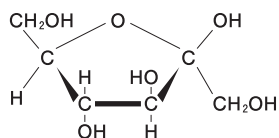


デンプンは代表的な植物由来の多糖であり、酵素や酸で完全に加水分解するとグルコースを生じる。デンプンはグルコースが $\alpha$ -1,4-グリコシド結合で連なった ア と、 $\alpha$ -1,4-グリコシド結合に加えて $\alpha$ -1,6-グリコシド結合により枝分かれした構造をもつ イ とに分類できる。動物の肝臓や筋肉に存在しエネルギー貯蔵の役割を担う多糖である ウ は、イ とよく似た構造をしているが、枝分かれがさらに多い。エ は植物の細胞壁に多く存在する多糖であり、デンプンとは異なり、グルコースが $\beta$ -1,4-グリコシド結合で重合し、直線状に伸びた構造をしている。

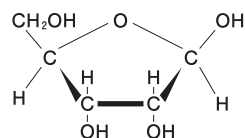
問1 空欄 ア ～ エ に当てはまる多糖の名称を記せ。

問2  $\alpha$ -グルコースと $\beta$ -グルコースは1位の炭素原子に結合した $-OH$ と $-H$ の向きが異なる。このような関係の異性体を何と呼ぶか、その名称を記せ。

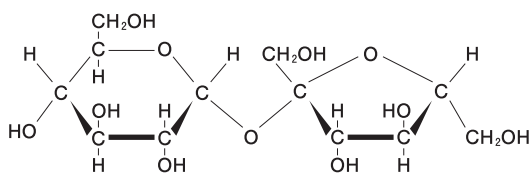
問 3 次の構造式A～Fの糖について以下の問に答えよ。ただし、これらの構造は水溶液中でとりうる構造の一つである。



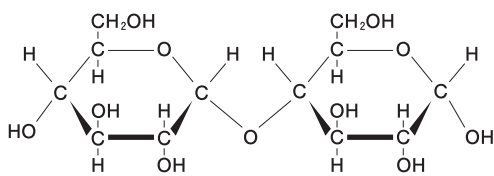
A



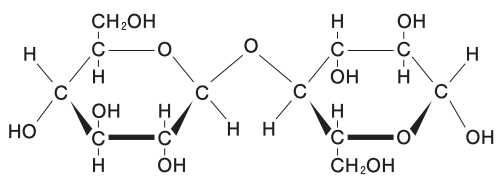
B



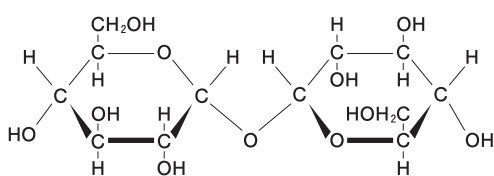
C



D



E



F

1) 次の①～④の文章が説明している単糖または二糖の名称をそれぞれ記せ。また、その糖の構造式をA～Fからそれぞれ1つ選び、その記号を記せ。

- ① デンプンをアミラーゼで加水分解すると生じる。
- ② 核酸塩基・リン酸とともに核酸(RNA)を構成する。
- ③ 果物やはちみつに含まれる。糖のなかで最も甘い。
- ④ 砂糖の主成分であり、サトウキビの茎などに多く含まれる。

2)  $\alpha$ -1,4-グリコシド結合、 $\beta$ -1,4-グリコシド結合によって結合している二糖の構造式をA～Fからそれぞれ1つ選び、その記号を記せ。

問 4 アミラーゼはデンプンの  $\alpha$ -1, 4-グリコシド結合を認識してデンプンを加水分解するが,  $\beta$ -1, 4-グリコシド結合をもつ多糖を加水分解できない。このように酵素が特定の化合物だけに作用する性質のことを何というか, その名称を記せ。