

物 理・化 学

問 題

2024年度

〈R06180017〉

注 意 事 項

1. この問題冊子には、物理および化学の問題が印刷されています。
受験票に記載されている理科学習パターン（物理・化学・生物）の問題のみを解答してください。

解答 パターン	物 理	化 学	生 物 (別冊配付)
A	○	○	×
B	○	×	○
C	×	○	○

2. この試験では、解答パターンがAの受験生には、この問題冊子、記述解答用紙およびマーク解答用紙を配付します。解答パターンがBおよびCの受験生には、これらに加え「生物」の問題冊子および記述解答用紙（生物その1、生物その2）を配付します。
3. 試験開始の指示があるまで、問題冊子および解答用紙には手を触れないでください。
4. 物理の問題は2～9ページ、化学の問題は12～20ページに記載されています。試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁および解答用紙の汚損等に気付いた場合は、手を挙げて監督員に知らせてください。
5. 解答はすべて、HBの黒鉛筆またはHBのシャープペンシルで記入してください。
6. マーク解答用紙記入上の注意
- 印刷されている受験番号が、自分の受験番号と一致していることを確認したうえで、氏名欄に氏名を記入してください。
 - マーク欄にははっきりとマークしてください。また、訂正する場合は、消しゴムで丁寧に、消し残しがないようによく消してください。

マークする時	☒ 良い	☐ 悪い	☐ 悪い
マークを消す時	☐ 良い	☐ 悪い	☐ 悪い

7. 記述解答用紙記入上の注意
- 記述解答用紙の所定欄（2カ所）に、氏名および受験番号を正確に丁寧に記入してください。
 - 所定欄以外に受験番号・氏名を記入した解答用紙は採点の対象外となる場合があります。
 - 受験番号の記入にあたっては、次の数字見本にしたがい、読みやすいように、正確に丁寧に記入してください。

数 字 見 本	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

8. 解答はすべて所定の解答欄に記入してください。所定欄以外に何かを記入した解答用紙は採点の対象外となる場合があります。
9. 文字や数字は明瞭、かつ丁寧に記入してください。判別できない場合や読めない場合は、採点の対象外となる場合があります。
10. 下書きは問題冊子の余白を使用してください。ただし、どのページも切り離さないこと。
11. 試験終了の指示が出たら、すぐに解答をやめ、筆記用具を置き解答用紙を裏返しにしてください。
12. 問題冊子は持ち帰ってください。
13. いかなる場合でも、解答用紙は必ず提出してください。

物理（マーク解答問題）

〔I〕 以下の空欄にあてはまるものを各解答群から選び、マーク解答用紙の該当欄にマークせよ。

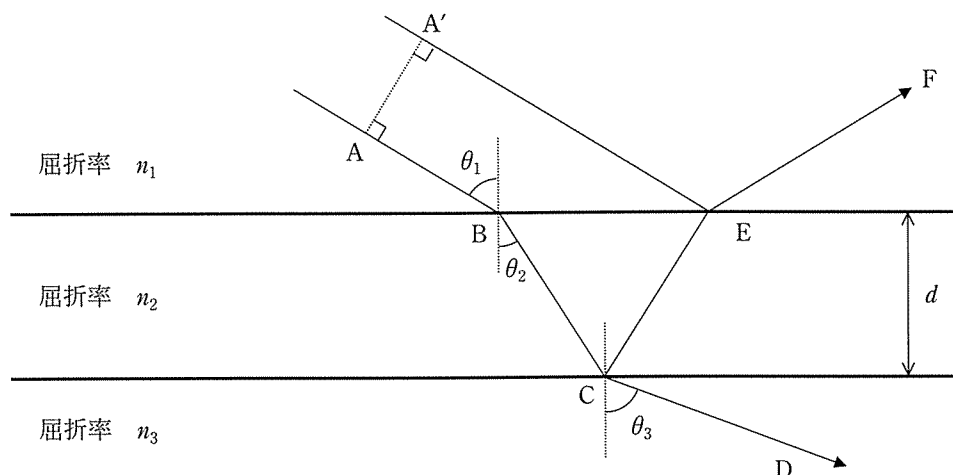


図 1

図 1 のように、屈折率 n_2 で一様な厚さ d の薄膜が、それぞれ屈折率 n_1 , n_3 の媒質に挟まれている。真空中における波長 λ の光が、屈折率 n_1 の媒質の遠方から、入射角 θ_1 で薄膜の上面に入射している。ただし、入射光は平面波であり、その波面は線分 AA' と平行である。

まず、薄膜の上面で屈折し、さらに薄膜の底面で屈折する光（経路 $ABCD$ ）を考える。点 A を通った光は点 B において屈折角 θ_2 で屈折し、さらに点 C において屈折角 θ_3 で屈折しているとする。このとき、 $\sin \theta_2 = \boxed{(1)}$ 、 $\sin \theta_3 = \boxed{(2)}$ である。

(1)の解答群

- | | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| a. $n_1 \sin \theta_1$ | b. $n_2 \sin \theta_1$ | c. $\frac{1}{n_1} \sin \theta_1$ | d. $\frac{1}{n_2} \sin \theta_1$ |
| e. $\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1$ | f. $\frac{n_2}{n_1} \sin \theta_1$ | g. $n_1 n_2 \sin \theta_1$ | h. $\frac{1}{n_1 n_2} \sin \theta_1$ |

(2)の解答群

- | | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| a. $n_2 \sin \theta_1$ | b. $n_3 \sin \theta_1$ | c. $\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1$ | d. $\frac{n_2}{n_1} \sin \theta_1$ |
| e. $\frac{n_1}{n_3} \sin \theta_1$ | f. $\frac{n_3}{n_1} \sin \theta_1$ | g. $\frac{n_2}{n_3} \sin \theta_1$ | h. $\frac{n_3}{n_2} \sin \theta_1$ |

次に、薄膜の上面で屈折し、さらに薄膜の底面で全反射する光を考える。 $n_1 = 2$, $n_2 = \sqrt{2}$, $n_3 = 1$ のとき、入射角 θ_1 の範囲は $\boxed{(3)}$ で与えられる。

(3)の解答群

- | | | | |
|--|--|--|--|
| a. $0^\circ \leq \theta_1 < 30^\circ$ | b. $0^\circ \leq \theta_1 < 45^\circ$ | c. $30^\circ \leq \theta_1 < 45^\circ$ | d. $30^\circ \leq \theta_1 < 60^\circ$ |
| e. $30^\circ \leq \theta_1 < 90^\circ$ | f. $45^\circ \leq \theta_1 < 60^\circ$ | g. $45^\circ \leq \theta_1 < 90^\circ$ | h. $0^\circ \leq \theta_1 < 90^\circ$ |

さらに、薄膜の底面で反射した光（経路 ABCEF）と薄膜の上面で反射した光（経路 A'EF）の干渉について考える。
 $n_1 < n_2 < n_3$ のとき、これらの光が弱め合いの干渉を起こす条件は (4) で与えられる。ただし、 m は負でない整数である。

(4)の解答群

$$\text{a. } d \sin \theta_2 = m \frac{\lambda}{n_2}$$

$$\text{b. } d \sin \theta_2 = \frac{m}{2} \frac{\lambda}{n_2}$$

$$\text{c. } d \sin \theta_2 = \frac{2m+1}{2} \frac{\lambda}{n_2}$$

$$\text{d. } d \sin \theta_2 = \frac{2m+1}{4} \frac{\lambda}{n_2}$$

$$\text{e. } d \cos \theta_2 = m \frac{\lambda}{n_2}$$

$$\text{f. } d \cos \theta_2 = \frac{m}{2} \frac{\lambda}{n_2}$$

$$\text{g. } d \cos \theta_2 = \frac{2m+1}{2} \frac{\lambda}{n_2}$$

$$\text{h. } d \cos \theta_2 = \frac{2m+1}{4} \frac{\lambda}{n_2}$$

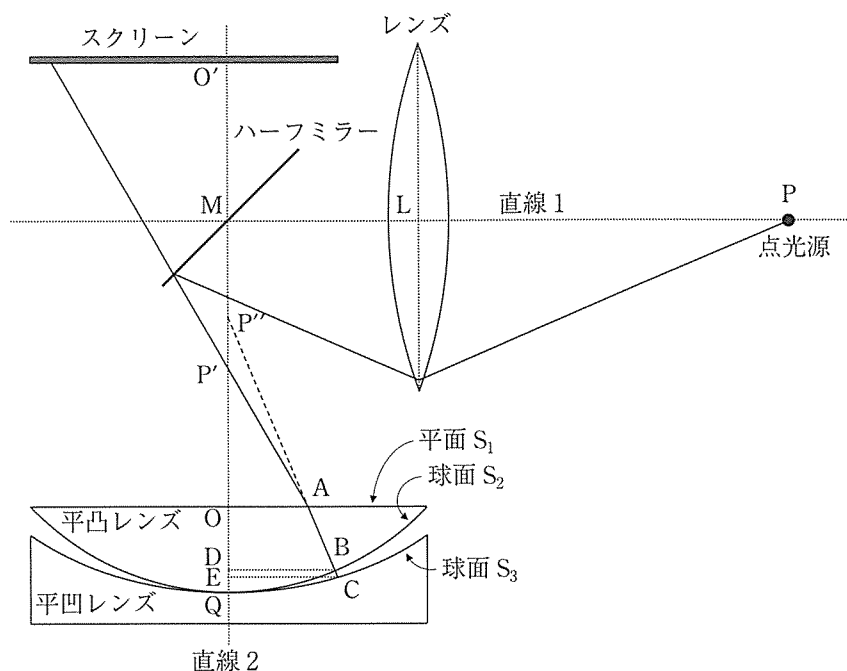


図 2

図 2 のように、直線 1 を光軸とする焦点距離 f ($f > 0$) のレンズが空気中にある。直線 1 上の、レンズの中心 L からレンズの焦点より遠い位置にある点 P に、波長 λ の点光源を置く。点光源からさまざまな方向に出る光線のうち、光軸と小さな角をなす 1 本の光線を考える。この光線はレンズによって屈折し、直線 1 上の点 M に置かれたハーフミラー（光の一部を透過させ、一部を反射する鏡）で反射している。ハーフミラーに対して直線 1 と対称な直線を直線 2 とする。ハーフミラーの下には、直線 2 を光軸として平凸レンズと平凹レンズが重ねられている。平凸レンズの上の面は平面 S_1 であり、直線 2 と点 O で交わる。平凸レンズの下の方の面は半径 R の球面 S_2 、平凹レンズの上の面は半径 $R + \Delta R$ の球面 S_3 であり、 S_2 と S_3 は直線 2 上の点 Q で接している。ただし、空気の屈折率を 1 とし、レンズはいずれも屈折率 n ($n > 1$) のガラスでできているとする。また、 ΔR は正で、 R に比べて十分小さいとする。

ハーフミラーで反射した光線は、 MO 間の点 P' で直線 2 と交わる。 $\overline{LM} = l_1$ 、 $\overline{MO} = l_2$ 、 $\overline{P'O} = h$ とおくと、 $\overline{PL} =$ (5) である。

(5) の解答群

- a. $l_1 + l_2 + h - f$ b. $l_1 + l_2 - h - f$ c. $\frac{1}{\frac{1}{f} + \frac{1}{l_1 + l_2 + h}}$ d. $\frac{1}{\frac{1}{f} - \frac{1}{l_1 + l_2 + h}}$
- e. $\frac{1}{\frac{1}{f} + \frac{1}{l_1 + l_2 - h}}$ f. $\frac{1}{\frac{1}{f} - \frac{1}{l_1 + l_2 - h}}$ g. $\frac{1}{\frac{1}{l_1 + l_2 + h} - \frac{1}{f}}$ h. $\frac{1}{\frac{1}{l_1 + l_2 - h} - \frac{1}{f}}$

上述の光線は平凸レンズの S_1 上の点 A で屈折し、点 B で S_2 に垂直に入射している。点 B から直線 2 に下ろした垂線の足を D とする。ここで、点 A における光線の入射角、屈折角はいずれも小さく、これらの角を φ としたとき、 $\sin \varphi \approx \tan \varphi \approx \varphi$ と近似できるものとする。

直線 AB と直線 2 との交点を P'' とすると、 $\overline{OP''} =$ (6) である。また、 $\overline{OA} = r$ 、 $\overline{BD} = r'$ とおくと、 $r' =$ (7) である。

(6) の解答群

- a. nh b. $(n + 1)h$ c. $(n - 1)h$ d. $\sqrt{nh}$
- e. n^2h f. $\frac{h}{n - 1}$ g. $\frac{(n + 1)h}{n}$ h. $\frac{nh}{n - 1}$

(7) の解答群

- a. nr b. $\frac{r}{n}$ c. $\frac{nRr}{h}$ d. $\frac{nhR}{R}$
- e. $\frac{nhR}{r}$ f. $\frac{Rr}{nh}$ g. $\frac{hr}{nR}$ h. $\frac{hR}{nr}$

一般に、絶対値が1より十分小さい実数 x に対して、近似式

$$(1+x)^a \approx 1+ax \quad (*)$$

が成り立つ (a は任意の実数)。

$\overline{DQ} = d_1$ とおく。△P''DB に関して三平方の定理を考え、 d_1 は R に比べて十分小さいとして近似式 (*) を用いると、 $d_1 = \boxed{(8)}$ である。

(8)の解答群

$$\begin{array}{llll} \text{a. } \frac{r'^2}{R} & \text{b. } \frac{r'^2}{2R} & \text{c. } \frac{2r'^2}{R} & \text{d. } \frac{4r'^2}{R} \\ \text{e. } \frac{R^2}{r'} & \text{f. } \frac{R^2}{2r'} & \text{g. } \frac{2R^2}{r'} & \text{h. } \frac{4R^2}{r'} \end{array}$$

点 B において球面 S_2 を透過した光線は、球面 S_3 上の点 C において反射している。点 C から直線 2 に下ろした垂線の足を E とする。ここで、光線と直線 2 のなす角は十分小さく、 $\overline{CE} \approx \overline{BD}$ と近似できるものとする。

$\overline{EQ} = d_2$ とおく。球面 S_3 の中心を P''' とおいて△P'''EC に関して三平方の定理を考え、 d_2 は $R + \Delta R$ に比べて十分小さいとして近似式 (*) を用いると、 $d_2 = \boxed{(9)}$ である。

(9)の解答群

$$\begin{array}{llll} \text{a. } \frac{r'^2}{R + \Delta R} & \text{b. } \frac{r'^2}{2(R + \Delta R)} & \text{c. } \frac{2r'^2}{R + \Delta R} & \text{d. } \frac{4r'^2}{R + \Delta R} \\ \text{e. } \frac{(R + \Delta R)^2}{r'} & \text{f. } \frac{(R + \Delta R)^2}{2r'} & \text{g. } \frac{2(R + \Delta R)^2}{r'} & \text{h. } \frac{4(R + \Delta R)^2}{r'} \end{array}$$

ここで、 ΔR は R に比べて十分小さいことから、近似式 (*) を用いて d_2 をさらに近似すると、

$$\overline{DE} = d_1 + d_2 = \boxed{(10)} \text{ となる。}$$

(10)の解答群

$$\begin{array}{llll} \text{a. } \frac{nr}{h} \Delta R & \text{b. } \frac{r}{nh} \Delta R & \text{c. } \left(\frac{nr}{h}\right)^2 \Delta R & \text{d. } \left(\frac{r}{nh}\right)^2 \Delta R \\ \text{e. } \left(\frac{nr}{h}\right)^2 \frac{\Delta R}{2} & \text{f. } \left(\frac{r}{nh}\right)^2 \frac{\Delta R}{2} & \text{g. } \sqrt{\frac{nr}{h}} \Delta R & \text{h. } \sqrt{\frac{r}{nh}} \Delta R \end{array}$$

上記の光線は点 B で球面 S_2 に垂直に反射しているが、点 C においても球面 S_3 に垂直に反射しているとみなし、点 B で反射した光 (経路 ABA) と点 C で反射した光 (経路 ABCBA) の干渉について考える。 $\overline{BC} \approx \overline{DE}$ と近似できるものとする、これらの光が弱め合いの干渉を起こす条件は、 $r = \boxed{(11)}$ で与えられる。ただし、 m は負でない整数である。

(11)の解答群

$$\begin{array}{llll} \text{a. } nh \sqrt{\frac{m\lambda}{\Delta R}} & \text{b. } nh \sqrt{\frac{(2m+1)\lambda}{2\Delta R}} & \text{c. } nh \left(\frac{m\lambda}{\Delta R}\right)^2 & \text{d. } nh \left\{\frac{(2m+1)\lambda}{2\Delta R}\right\}^2 \\ \text{e. } \frac{h}{n} \sqrt{\frac{m\lambda}{\Delta R}} & \text{f. } \frac{h}{n} \sqrt{\frac{(2m+1)\lambda}{2\Delta R}} & \text{g. } \frac{h}{n} \left(\frac{m\lambda}{\Delta R}\right)^2 & \text{h. } \frac{h}{n} \left\{\frac{(2m+1)\lambda}{2\Delta R}\right\}^2 \end{array}$$

点 M から直線 2 に沿って高さ l_3 の位置に、直線 2 に垂直にスクリーンを置く。上述の光線は、ハーフミラーを透過してスクリーンに到達する。点光源から様々な方向に出た光線を考えると、スクリーン上には同心円状の干渉縞が観察されることがわかる。ここで、中心 O' から m 番目の暗い輪の半径は $\boxed{(12)}$ である。ただし、中心を含む領域が暗い場合は、これを 0 番目と数える。

(12)の解答群

$$\begin{array}{llll} \text{a. } n(l_1 + l_2 - h) \sqrt{\frac{m\lambda}{\Delta R}} & \text{b. } n(l_1 + l_2 - h) \sqrt{\frac{(2m+1)\lambda}{2\Delta R}} & \text{c. } n(l_1 + l_2 - h) \left(\frac{m\lambda}{\Delta R}\right)^2 & \\ \text{d. } n(l_1 + l_2 - h) \left\{\frac{(2m+1)\lambda}{2\Delta R}\right\}^2 & \text{e. } n(l_2 + l_3 - h) \sqrt{\frac{m\lambda}{\Delta R}} & \text{f. } n(l_2 + l_3 - h) \sqrt{\frac{(2m+1)\lambda}{2\Delta R}} & \\ \text{g. } n(l_2 + l_3 - h) \left(\frac{m\lambda}{\Delta R}\right)^2 & \text{h. } n(l_2 + l_3 - h) \left\{\frac{(2m+1)\lambda}{2\Delta R}\right\}^2 & & \end{array}$$

物理（記述解答問題）

〔Ⅱ〕 以下の問の答を解答用紙の該当欄に記入せよ。

惑星 X(質量 M , 半径 R) に宇宙船を送って探査することを考えよう。簡単のため、宇宙船は十分に小さいとし、質点とみなす。また、惑星 X は一様な球とみなし、その大気や自転の影響は考えない。万有引力定数を G とする。

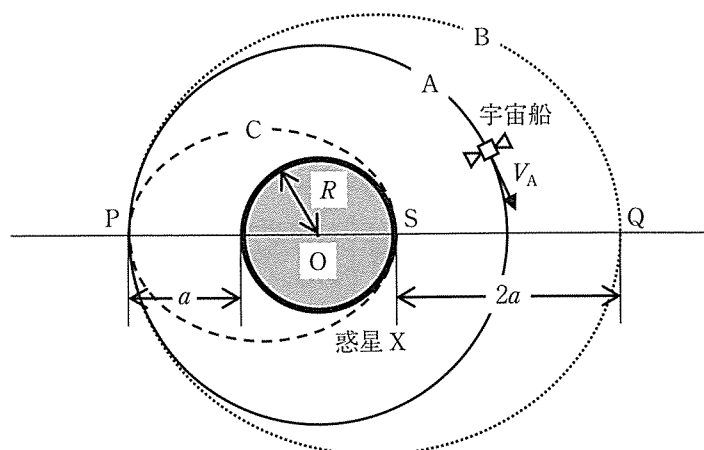


図 1

まず、図 1 に示すように、惑星 X の表面から一定の高度 a を保つ円軌道 A の上を、宇宙船が一定の速さ V_A で等速円運動をしている場合を考える。

問 1 宇宙船の速さ V_A を求めよ。

問 2 宇宙船の運動エネルギーを K_A 、位置エネルギーを U_A 、力学的エネルギーを E_A とするとき、 U_A と E_A はそれぞれ K_A の何倍か、符号を含めて求めよ。ただし、惑星 X から無限遠方を位置エネルギー U_A の基準とする。

問 3 ケプラーの第 3 法則により、円軌道 A の半径 $R+a$ の 3 乗と、その軌道上の等速円運動の周期 T_A の 2 乗は比例する。つまり、 $T_A^2 = k(R+a)^3$ が成り立つ。このときの比例係数 k を求めよ。

ここで、宇宙船の軌道が図 1 に示す点 P(高度 a) と点 Q(高度 $2a$) を通る楕円軌道 B の場合を考える。ただし、点 P、点 Q および惑星 X の中心 O は楕円軌道 B の長軸上にある。

問 4 ケプラーの第 2 法則により、宇宙船の位置と惑星 X の中心 O を結ぶ線分が単位時間に通過する面積は一定である。点 P における宇宙船の速さ V_P は、円軌道 A のときの宇宙船の速さ V_A の何倍か求めよ。

問 5 楕円軌道 B のときの宇宙船の力学的エネルギー E_B と、円軌道 A のときの宇宙船の力学的エネルギー E_A との差を、 $\Delta E = E_B - E_A$ とする。 ΔE は円軌道 A のときの宇宙船の運動エネルギー K_A の何倍か、符号を含めて求めよ。

次に、図 1 の点 P で OP に垂直な方向に探査機を宇宙船から放した。その探査機は、図 1 に示すように、点 P と点 S を端点とし点 O を通る線分を長軸とする楕円軌道 C を通った。ただし、点 S は惑星 X の表面にあり、探査機は質点とみなす。

問 6 問 3 のケプラーの第 3 法則は、同じ比例係数 k のままで、楕円軌道 C にも成り立つ。探査機が点 P で放出されてから初めて点 S に至るまでの時間 T を求めよ。

さて、惑星 X の表面上における、図 2 の装置を用いたばね振り子の実験を考えよう。真空容器内に自然長 x_0 の軽いばねが鉛直につり下げられ、その先端にはおもりが取り付けられている。この装置には、ばねの長さを自然長に固定する止め具が装備されており、それを静かに外すとおもりは単振動を始めた。おもりやばねが容器の壁面や下面と接触することはないとする。以降、惑星 X の質量と半径は、地球と比べてそれぞれ α 倍、 β 倍であるとする。

問 7 惑星 X 表面付近での重力加速度は、地球表面付近での重力加速度の何倍か求めよ。

問 8 おもりの速さが最大となるときのばねの長さを $x_0 + \Delta x$ とする。惑星 X 上での Δx は、同じ装置を用いて地球上で実験したときと比べて何倍か求めよ。

問 9 惑星 X 上におけるこの単振動の周期は、地球上で実験したときと比べて何倍か求めよ。

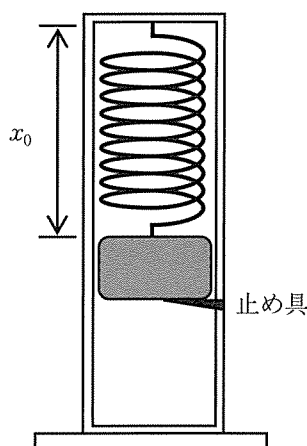


図 2

物理（記述解答問題）

〔Ⅲ〕 以下の問の答を解答用紙の該当欄に記入せよ。

図1のように、面積 S の平坦な極板 A, B を間隔 d で並べた平行板コンデンサー、電圧 V の直流電源、電気抵抗 R の抵抗器、スイッチからなる回路を考える。抵抗器以外の部分の電気抵抗は無視できるものとする。回路は空気中にあり、真空の誘電率を ϵ_0 、空気の比誘電率を 1 とする。平行板コンデンサーの極板間の電場は極板に垂直であり、極板の端の効果は無視できるものとする。

問1 図1でスイッチを閉じて十分に時間が経過したときの極板 A に蓄えられている電気量を、 d, S, V, ϵ_0 のうち必要なものを用いて表せ。

問2 問1のスイッチを閉じた状態で、図2のように、面積 S で厚さ $d/3$ の帯電していない金属板 C を極板 A と B の中央に挿入した。金属板 C は極板からはみ出しておらず、その両面は極板と平行である。挿入して十分に時間が経過したときの極板 A に蓄えられている電気量を、 d, S, V, ϵ_0 のうち必要なものを用いて表せ。

問3 問2の状況で金属板 C に電気量 Q を与えた。十分に時間が経過したときの極板 A に蓄えられている電気量を、 d, S, V, ϵ_0, Q のうち必要なものを用いて表せ。

問4 問3の状況でスイッチを開き、図3のように直流電源を逆向きに接続した。再びスイッチを閉じた直後に抵抗器に流れる電流の大きさを、 d, S, V, ϵ_0, R のうち必要なものを用いて表せ。

問5 問4のスイッチを閉じた状態で金属板 C を取り除き、面積 S で厚さ $d/3$ の帯電していない平板型の誘電体 D を極板 A と B の中央に挿入した。誘電体 D は極板からはみ出しておらず、その両面は極板と平行である。誘電体 D の比誘電率を $\epsilon_r (\epsilon_r > 1)$ として、挿入して十分に時間が経過したときの極板 A に蓄えられている電気量を、 $d, S, V, \epsilon_0, \epsilon_r$ のうち必要なものを用いて表せ。

図1でスイッチを閉じて十分に時間が経過した後にスイッチを開き、電源と抵抗器を取り外して図4のように自己インダクタンス L のコイルを接続した。再びスイッチを閉じたところ、極板 A に蓄えられた電気量が振動した。

問6 図4の矢印の向きをコイルに流れる電流 I の正の向きとして、スイッチを閉じた直後の I の時間変化率の正負を答えよ。また、時間変化率の大きさを、 d, S, V, ϵ_0, L のうち必要なものを用いて表せ。

問7 極板 A に蓄えられた電気量の振動の周期を、 d, S, V, ϵ_0, L のうち必要なものを用いて表せ。

図1でスイッチを閉じて十分に時間が経過した後にスイッチを開き、電源と抵抗器を取り外して図5のように自己インダクタンス L のコイルを接続し、面積 S で厚さ $t (t < d)$ の帯電していない平板型の誘電体 E を極板 A と B の中央に挿入した。誘電体 E は極板からはみ出しておらず、その両面は極板と平行である。再びスイッチを閉じると極板 A に蓄えられた電気量が振動し、その周期は問7の場合の2倍であった。

問8 誘電体 E の比誘電率を $\epsilon_r (\epsilon_r > 1)$ とする。誘電体 E の厚さ t を、 $d, S, V, \epsilon_0, \epsilon_r, L$ のうち必要なものを用いて表せ。また、 $t < d$ となるために ϵ_r が満たす条件を求めよ。

問9 コンデンサーの極板間の電位差がゼロになった瞬間に、コイルに流れている電流の大きさを、 d , S , V , ϵ_0 , L のうち必要なものを用いて表せ。

図2の状況で金属板Cに電気量 Q を与えて十分に時間が経過した。回路のスイッチを開き、電源を取り外して図6のように自己インダクタンス L のコイルを接続した。再びスイッチを閉じたところ、抵抗器に流れる電流が振動しながら減衰した。十分に時間が経過して電流が流れなくなったとみなせるまでに失われた回路の電気エネルギーは、全て抵抗器で生じるジュール熱になるものとする。

問10 このジュール熱の総量を、 d , S , V , ϵ_0 , Q , L のうち必要なものを用いて表せ。

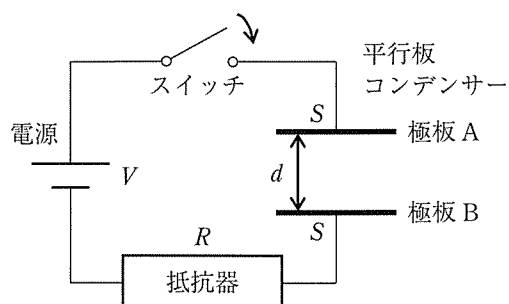


図 1

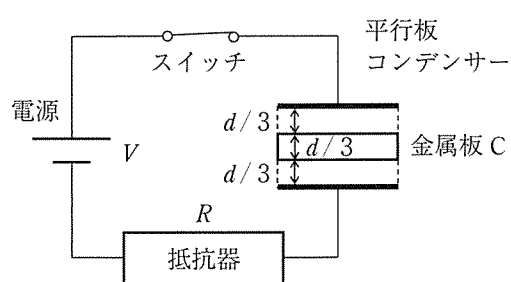


図 2

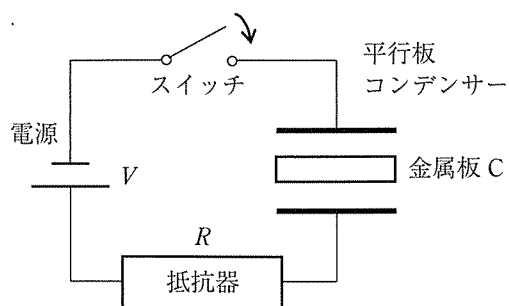


図 3

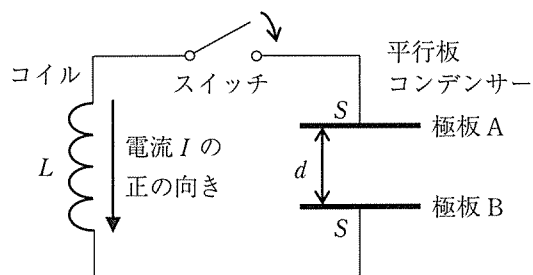


図 4

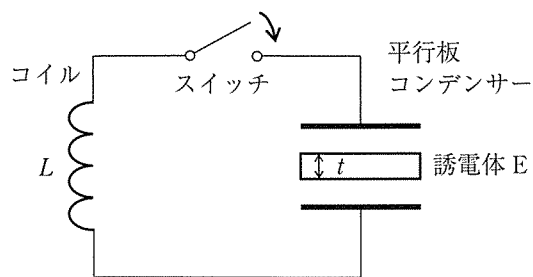


図 5

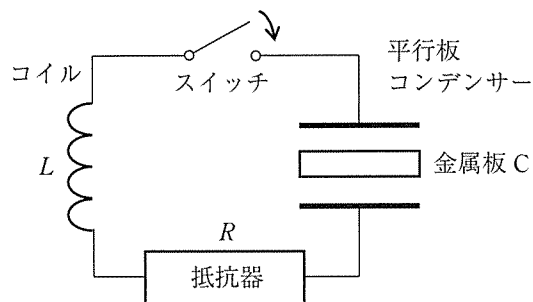


図 6

必要ならば、以下の数値を用いなさい。

H=1.0, C=12.0, N=14.0, O=16.0, F=19.0, Na=23.0, S=32.1, Cl=35.5,

K=39.1, Ca=40.1, Cr=52.0, Mn=54.9, Cu=63.5, Zn=65.4, Br=79.9, Ag=107.9,

Pb=207.2

アボガドロ定数： $6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$

ファラデー定数： $9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$

気体定数： $8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol})$

$\sqrt{1.8} = 1.34$, $\sqrt{2} = 1.41$, $\sqrt{3} = 1.73$, $\sqrt{5} = 2.24$

化学（マーク解答問題）

〔I〕 つぎの（１）～（１０）の文中，（ A ），（ B ）にもっとも適合するものを，それぞれA群，B群の（ア）～（オ）から選び，マーク解答用紙の該当欄にマークしなさい。

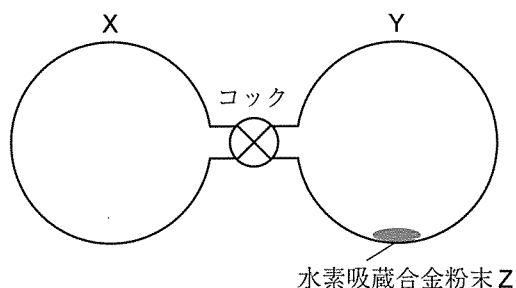
（１） 窒素を含む化合物は自然界に多数存在する。アンモニア NH_3 ，硝酸 HNO_3 ，一酸化窒素 NO では，それぞれの化合物中の N についての酸化数は順番に（ A ）である。窒素と同じ第 15 族元素にリンがある。N と P では（ B ）が同じであり，化学的性質が似ている。

- A： （ア） +3, +5, -2 （イ） +3, -5, +2 （ウ） +3, -5, -2
 （エ） -3, +5, +2 （オ） -3, 0, -2
- B： （ア） 周期表における周期 （イ） 原子番号 （ウ） 陽子の数
 （エ） 中性子の数 （オ） 価電子の数

（２） 分子からなる物質では，構成分子の分子間力が強いほど沸点が高くなる。無極性分子からなる物質の沸点は（ A ）。同程度の分子量をもつ物質の沸点を比較すると，無極性分子からなる物質の沸点は（ B ）。

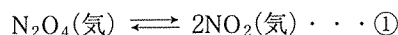
- A： （ア） 分子量が大きいほど高く，塩素の沸点はフッ素の沸点よりも高い
 （イ） 分子量が大きいほど高く，フッ素の沸点は塩素の沸点よりも高い
 （ウ） 分子量が大きいほど低く，塩素の沸点はフッ素の沸点よりも低い
 （エ） 分子量が大きいほど低く，フッ素の沸点は塩素の沸点よりも低い
 （オ） 分子量によって変わらず，フッ素の沸点と塩素の沸点はほぼ等しい
- B： （ア） 極性分子からなる物質の沸点より高く，メタンの沸点はアンモニアの沸点よりも高い
 （イ） 極性分子からなる物質の沸点より高く，アンモニアの沸点はメタンの沸点よりも高い
 （ウ） 極性分子からなる物質の沸点より低く，メタンの沸点はアンモニアの沸点よりも低い
 （エ） 極性分子からなる物質の沸点より低く，アンモニアの沸点はメタンの沸点よりも低い
 （オ） 極性分子からなる物質の沸点と変わらず，メタンの沸点とアンモニアの沸点はほぼ等しい

- (3) 耐圧容器XとYがコックで連結されていて、容器Xの容積は6.0 Lである。容器Xの内圧が 4.0×10^5 Paになるように水素を入れ、容器Yを真空にしてコックを開けると、容器内の圧力が 3.0×10^5 Paになった。したがって、容器Yの容積は (A) Lである。つぎに容器Yに水素吸蔵合金粉末Zを入れて、水素吸収量を測定した。容器Xの内圧が 4.0×10^5 Paになるように水素を入れ、容器Yを真空にしてコックを開け、しばらく放置すると容器内の圧力は 2.0×10^5 Paになった。この粉末Zが吸収した水素は (B) molである。水素は理想気体としてふるまうものと仮定し、温度は25℃で一定とし、コックや水素吸蔵合金粉末Zの体積は無視できるものとする。



- A : (ア) 2.0 (イ) 4.5 (ウ) 6.0 (エ) 8.0 (オ) 10
 B : (ア) 0.16 (イ) 0.32 (ウ) 0.65 (エ) 0.81 (オ) 0.97

- (4) 四酸化二窒素 N_2O_4 (気)は無色、二酸化窒素 NO_2 (気)は褐色である。内部が見える体積一定の容器に N_2O_4 (気)だけを1.0 mol入れ、温度を一定にしたまましばらく放置すると、最初に入れた N_2O_4 の20%が解離し、下記の反応式にしたがって平衡状態に達した。このとき、全圧は 1.0×10^5 Paとなった。



この温度における圧平衡定数は (A) Paと計算できる。つぎに、この平衡状態にあった温度からゆっくりと高温にすると、褐色が濃くなった。このような変化から考えると、①の反応で (B)。

- A : (ア) 1.3×10^5 (イ) 1.7×10^4 (ウ) 5.0×10^3
 (エ) 2.0 (オ) 5.0×10^{-2}
 B : (ア) 温度を高くすると平衡は左に移動し、右向きの反応は吸熱反応である
 (イ) 温度を高くすると平衡は左に移動し、右向きの反応は発熱反応である
 (ウ) 温度を高くすると平衡は右に移動し、右向きの反応は吸熱反応である
 (エ) 温度を高くすると平衡は右に移動し、右向きの反応は発熱反応である
 (オ) 温度を高くしても平衡は移動しない

- (5) 銅と濃硫酸の混合物を加熱することにより生成した化合物を水に溶かし、その水溶液から結晶を析出させると、化合物Wが得られる。化合物W 10 gを150℃以上で加熱すると、水和水(結晶水)を含まない化合物X (A) gが得られる。一方、銅を空気中で加熱すると化合物Yとなる。化合物Yをさらに1000℃以上で加熱すると化合物Zとなる。ここで、化合物XおよびY、Zの色はそれぞれ (B) である。

- A : (ア) 6.4 (イ) 6.9 (ウ) 7.5 (エ) 8.2 (オ) 9.0
 B : (ア) 白, 黒, 緑 (イ) 緑, 赤, 黒 (ウ) 白, 赤, 黒
 (エ) 黒, 緑, 赤 (オ) 白, 黒, 赤

(6) AgCl の溶解度積 $K_{\text{sp}}(\text{AgCl})$ は $1.8 \times 10^{-10} (\text{mol/L})^2$ であるから、 AgCl の飽和水溶液中の Ag^+ の濃度は (A) mol/L である。 AgCl の飽和水溶液に K_2CrO_4 の水溶液を加えて CrO_4^{2-} の濃度を (B) mol/L 以上にしたところ、 Ag_2CrO_4 の沈澱が生成した。ただし、 Ag_2CrO_4 の溶解度積 $K_{\text{sp}}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4)$ は $4.0 \times 10^{-12} (\text{mol/L})^3$ であり、 K_2CrO_4 の水溶液を加えたときの体積変化は無視してよい。

- A : (ア) 1.8×10^{-10} (イ) 1.3×10^{-5} (ウ) 4.2×10^{-5}
 (エ) 1.3×10^{-4} (オ) 4.2×10^{-4}
 B : (ア) 9.5×10^{-8} (イ) 3.1×10^{-7} (ウ) 2.3×10^{-3}
 (エ) 2.3×10^{-2} (オ) 2.3×10^{-1}

(7) つぎの①～⑤の反応では、いずれも気体が発生する。これらの反応が完結するとき、発生する気体（水を除く）の物質量が最も小さい反応は (A) である。また、発生する気体が単体である反応は (B) 個ある。

- ① 1 mol の CaF_2 と過剰の濃硫酸を加熱する反応
 ② 1 mol の Zn と過剰の NaOH 水溶液の反応
 ③ 1 mol の NH_4NO_2 の熱分解反応
 ④ 1 mol の Cu と過剰の希硝酸の反応
 ⑤ 1 mol の KClO_3 を少量の MnO_2 と加熱する反応

- A : (ア) ① (イ) ② (ウ) ③ (エ) ④ (オ) ⑤
 B : (ア) 1 (イ) 2 (ウ) 3 (エ) 4 (オ) 5

(8) エタノールとフェノールはいずれもヒドロキシ基をもち、両者には共通する性質もあるが、異なる性質もある。以下に示す①～⑦の記述の中で、エタノールにあてはまる記述は (A) 個あり、フェノールにあてはまる記述は (B) 個ある。

- ① 0°C 、 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ において液体として存在する。
 ② 水と任意の割合で混じりあう。
 ③ 酸化によりカルボン酸を生成する。
 ④ ナトリウムと反応して水素を発生する。
 ⑤ 水酸化ナトリウム水溶液を加えると反応し、塩を生成する。
 ⑥ 塩化鉄(Ⅲ)水溶液に入れると紫色に呈色する。
 ⑦ 過剰量の臭素水と反応して白色沈澱を生成する。

- A : (ア) 2 (イ) 3 (ウ) 4 (エ) 5 (オ) 6
 B : (ア) 2 (イ) 3 (ウ) 4 (エ) 5 (オ) 6

(9) スクロースはショ糖とも呼ばれ、サトウキビやテンサイに含まれている。スクロースはインペルターゼで加水分解されて (A) となり、それらはいずれも (B)。

- A : (ア) ガラクトースとグルコース (イ) ガラクトースとフルクトース
(ウ) ガラクトースとマルトース (エ) グルコースとフルクトース
(オ) グルコースとマルトース
- B : (ア) 水に溶けない
(イ) 銀鏡反応を示さない
(ウ) グリコシド結合をもつ
(エ) α 型のみである
(オ) 酵母菌に含まれる酵素によりエタノールと二酸化炭素になる

(10) アミノ酸 X 3.00 g が脱水縮合することによってポリマー Y 2.70 g が生成した。このアミノ酸 X は (A) である。また、以下に示す①～⑤の記述の中で、アミノ酸 X が示す性質を表しているものは (B) である。

- ① 塩化鉄(Ⅲ)水溶液を加えると呈色する。
② フェーリング液を加えて加熱すると赤色沈殿を生成する。
③ 酢酸鉛(Ⅱ)を加えると黒色沈殿を生成する。
④ 薄い水酸化ナトリウム水溶液と薄い硫酸銅(Ⅱ)水溶液を少量加えると赤紫色に呈色する。
⑤ 薄いニンヒドリン水溶液を加えて加熱すると紫色に呈色する。

- A : (ア) グリシン (分子量 75) (イ) アラニン (分子量 89)
(ウ) システイン (分子量 121) (エ) グルタミン酸 (分子量 147)
(オ) チロシン (分子量 181)
- B : (ア) ①と⑤ (イ) ②と③ (ウ) ②と⑤ (エ) ③と④ (オ) ④と⑤

化学（マーク・記述解答問題）

〔Ⅱ〕 つぎの文章を読んで、問3，問4，問10の答をマーク解答用紙の該当欄にマークし，その他の答を記述解答用紙の該当欄に記入しなさい。

(1) 図1のように，素焼き板で仕切った実験容器の左側に電極として銅板を浸した 1.0 mol/L の硫酸銅(Ⅱ)水溶液を，右側に電極として亜鉛板を浸した 1.0 mol/L の硫酸亜鉛(Ⅱ)水溶液を入れた。直流電圧計のマイナス端子を銅板につけ，プラス端子を亜鉛板につけて電位差（電圧）を測定したところ， -1.10 V であった。直流電圧計のマイナス端子とプラス端子を逆に接続すると電圧は 1.10 V であった。表1のように，容器の左側と右側に電極として金属を浸した水溶液を入れて，直流電圧計のマイナス端子を左側電極に，プラス端子を右側電極につけて電圧を測定した。

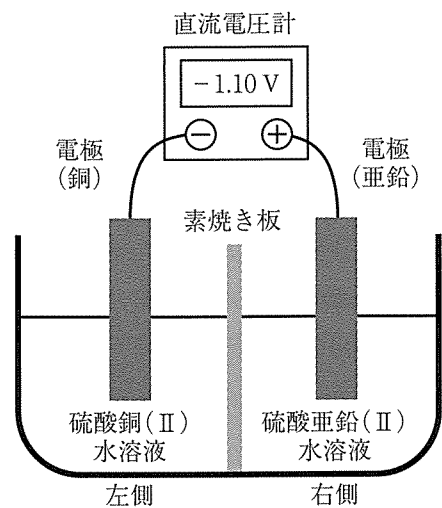


図1 実験装置（実験例）の模式図

表1 実験装置の構成

実験	実験容器の左側		実験容器の右側		電圧 (V)
	電極	溶液 (濃度 1.0 mol/L)	電極	溶液 (濃度 1.0 mol/L)	
例	銅	硫酸銅(Ⅱ)水溶液	亜鉛	硫酸亜鉛(Ⅱ)水溶液	-1.10
(1)	マンガン	硫酸マンガン(Ⅱ)水溶液	銅	硫酸銅(Ⅱ)水溶液	1.52
(2)	銀	硝酸銀水溶液	銅	硫酸銅(Ⅱ)水溶液	-0.46
(3)	銅	硫酸銅(Ⅱ)水溶液	鉛	硝酸鉛(Ⅱ)水溶液	-0.47
(4)	マンガン	硫酸マンガン(Ⅱ)水溶液	鉛	硝酸鉛(Ⅱ)水溶液	1.05
(5)	鉛	硝酸鉛(Ⅱ)水溶液	銀	硝酸銀水溶液	問5

問1 実験(1)～(4)で正極の金属を元素記号で答えなさい。

問2 実験(2)の負極と正極で起こっている変化を、それぞれ電子 e^- を用いたイオン反応式で示しなさい。

問3 銅、鉛、マンガンについて、還元剤としての強さを不等号で表す。つぎの(ア)～(カ)から正しいものを選び、マーク解答用紙の該当欄にマークしなさい。

(ア) 銅>鉛>マンガン

(イ) 銅>マンガン>鉛

(ウ) 鉛>マンガン>銅

(エ) 鉛>銅>マンガン

(オ) マンガン>銅>鉛

(カ) マンガン>鉛>銅

問4 亜鉛、銀、銅、マンガンのうち塩酸と反応して水素を発生するものをつぎの(ア)～(エ)からすべて選び、マーク解答用紙の該当欄にマークしなさい。

(ア) 亜鉛

(イ) 銀

(ウ) 銅

(エ) マンガン

問5 実験(5)の電圧(V)を小数点以下2桁で答えなさい。

- (2) 固体高分子膜の両側に触媒を含む電極をつけた装置を図2に示す。この装置を 77°C に保って、 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ で、左側から水素 H_2 を毎分 0.50 L の速さで供給し、右側から酸素 O_2 を毎分 0.50 L の速さで供給すると、右側から水が発生して外部回路に電流が流れた。負極と正極の間の電圧は 0.73 V であった。反応する間、電圧は変化しないこととする。また、反応は完全に進行し、発生した電子はすべて電流として流れることとする。

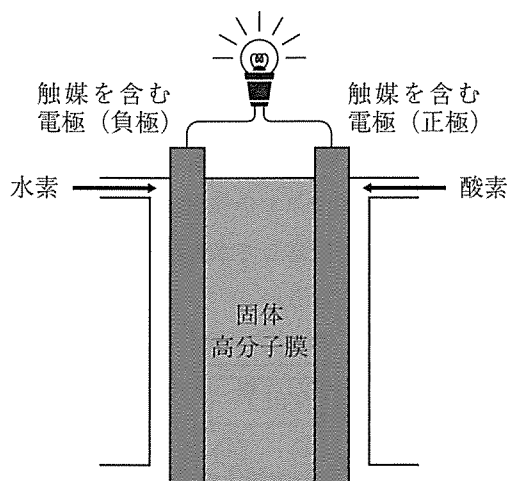


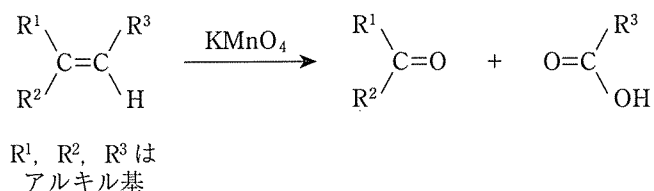
図2 実験装置の模式図

- 問6 この装置を 1.0 分間使用するとき、反応に使われた水素の物質質量 (mol) を有効数字2桁で答えなさい。
- 問7 この装置を 1.0 分間使用するとき流れる電気量 (C) を有効数字2桁で答えなさい。
- 問8 この装置を 1.0 分間使用するとき得られる電気エネルギー (J) を有効数字2桁で答えなさい。ただし、電気エネルギー (J) = 電気量 (C) $\times$ 電圧 (V) である。
- 問9 水素の燃焼熱に対する水素 1.0 mol から得られる電気エネルギーの割合 (%) を変換効率とよぶ。この装置の変換効率を有効数字2桁で答えなさい。ただし、水素の燃焼熱は 286 kJ/mol である。
- 問10 固体高分子膜の役割に関する記述として適切な文章をつぎの (ア) ~ (オ) から選び、マーク解答用紙の該当欄にマークしなさい。
- (ア) 電子のみを通す。
 - (イ) 水素イオンのみを通す。
 - (ウ) 水酸化物イオンのみを通す。
 - (エ) 電子と水素イオンを通す。
 - (オ) 電子と水酸化物イオンを通す。
- 問11 温度 77°C で実験装置の左側から水素の代わりにメタノールと水を、右側から酸素を供給すると、左側から二酸化炭素が、右側から水が発生した。負極と正極で起こる変化を、それぞれ電子 e^- を用いたイオン反応式で書きなさい。

〔Ⅲ〕 つぎの文章を読んで、問4の答をマーク解答用紙の該当欄にマークし、その他の答を記述解答用紙の該当欄に記入しなさい。

- (1) 有機化合物の中で、炭素と水素のみからできている化合物を炭化水素という。さらに炭化水素は、炭素原子間の結合が全て単結合である飽和炭化水素と、二重結合や三重結合を含む不飽和炭化水素に分類される。また、炭素原子が鎖状に結合した鎖式炭化水素と、環状に結合した環式炭化水素に分類することができる。

そして、二重結合の有無や位置に関する情報を得るために、過マンガン酸カリウムにより二重結合を反応させる方法がある。例えば、下記のアルケンに過マンガン酸カリウムと反応させると、ケトンとカルボン酸が得られる。



5員環あるいは6員環の環式炭化水素で分子量が120以下の化合物A～Cの構造を調べるために、実験1-1～1-4を行った。

実験1-1：化合物A～Cそれぞれ12.3 mgを完全燃焼させたところ、いずれからでも、二酸化炭素39.6 mgと水13.5 mgが生じた。

実験1-2：化合物A～Cに対して、過マンガン酸カリウムを反応させたところ、AからはD、BからはE、CからはFがそれぞれ得られた。さらに、DとEにはメチル基があり、化合物Eは不斉炭素原子をもつことがわかった。

実験1-3：化合物Dに、ヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱すると、黄色沈殿の生成が確認できた。

実験1-4：化合物Fとヘキサメチレンジアミンを加熱しながら水を除去すると、縮合重合が進行し、アミド結合を有する鎖状の高分子化合物Gが得られた。

問1 化合物A～Cに共通する分子式を書きなさい。

問2 化合物Aの構造を「水素Hの価標を省略して簡略化した構造式」*で書きなさい。

*「水素Hの価標を省略して簡略化した構造式」でプロパンを書いた場合
 $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

問3 化合物Eの構造を「水素Hの価標を省略して簡略化した構造式」*で書きなさい。

問4 縮合を含む過程により合成する高分子化合物をつぎの(ア)～(オ)からすべて選び、マーク解答用紙の該当欄にマークしなさい。

- | | | |
|-------------------|-------------|------------|
| (ア) デンプン | (イ) フェノール樹脂 | (ウ) ポリエチレン |
| (エ) ポリエチレンテレフタレート | (オ) ポリ酢酸ビニル | |

問5 分子量 4.52×10^4 の高分子化合物Gの1分子中では、ヘキサメチレンジアミンが何分子結合しているか有効数字3桁で答えなさい。また、アミド結合の数を有効数字3桁で答えなさい。

- (2) 水素，炭素，酸素からなる化合物 **S** は 2 つのエステル結合をもっている。化合物 **S** に関して実験 2-1 ～ 2-6 を行った。

実験 2-1：化合物 **S** を水酸化ナトリウム水溶液で完全に加水分解した後，塩酸を加えて酸性としたところ，複数のヒドロキシ基をもつアルコール **T** に加えて，カルボン酸 **U** とカルボン酸 **V** が得られた。カルボン酸 **U** と **V** はどちらも枝分かれ構造をもたない鎖式炭化水素鎖をもっていた。

実験 2-2：アルコール **T** 2.30 g を酸触媒存在下にて無水酢酸と反応させて，すべてのヒドロキシ基をアセチル化したところ，分子量 218 の化合物 **W** 5.45 g が得られた。

実験 2-3：カルボン酸 **U** 5.68 g に脱水剤を加えて加熱したところ，完全に反応が進行し，酸無水物 **X** 5.50 g が得られた。

実験 2-4：カルボン酸 **V** を触媒存在下で十分な量の水素と反応させたところ，カルボン酸 **U** が得られた。

実験 2-5：カルボン酸 **V** 1.39 g を十分な量の臭素水と完全に反応させたところ，臭素が付加した化合物 **Y** 3.79 g が得られた。

実験 2-6：化合物 **S** を触媒存在下で十分な量の水素と反応させたところ，不斉炭素原子をもたないエステル **Z** が得られた。

問 6 アルコール **T** の分子式を書きなさい。

問 7 実験 2-2 の反応の化学反応式を書きなさい。ただし，アルコール **T** の一つの炭素に結合するヒドロキシ基の数は一つ以下である。また，化学反応式中の有機化合物は示性式で書きなさい。

問 8 カルボン酸 **U** の示性式を書きなさい。

問 9 カルボン酸 **V** の分子式を書きなさい。

問 10 エステル **Z** の示性式を書きなさい。

[以 下 余 白]

<2024 R 06180017>

(注意) 所定欄以外に受験番号・氏名を記入してはならない。記入した解答用紙は採点の対象外となる場合がある。

(II)

(III)

(II)

(III)

問 1	分子式		
問 2	化合物Aの構造	問 3	化合物Eの構造
問 4	マーク解答用紙の該当欄にマークしなさい		
問 5	ヘキサメチレンジアミンの分子数	アミド結合の数	
問 6	分子式		
問 7	$\xrightarrow{\text{酸触媒}}$		
問 8	示性式		
問 9	分子式		
問10	示性式		

物理

〈2024 R 06180017〉

受験番号	万	千	百	十	一
	8	8	8	8	8
氏名					

(注意) 所定欄以外に受験番号・氏名を記入してはならない。記入した解答用紙は採点の対象外となる場合がある。

採点欄

〔Ⅱ〕

8	8
---	---

〔Ⅲ〕

8	8
---	---

〔Ⅰ〕 マーク解答用紙へ

〈2024 R 06180017〉

受験番号	万	千	百	十	一
	8	8	8	8	8
氏名					

(注意) 所定欄以外に受験番号・氏名を記入してはならない。記入した解答用紙は採点の対象外となる場合がある。

物理

(記述解答用紙)

下書きは問題冊子の
余白を使用してください。

〔Ⅱ〕

問1	$V_A =$
問2	U_A は K_A の 倍
	E_A は K_A の 倍
問3	$k =$
問4	V_P は V_A の 倍
問5	ΔE は K_A の 倍
問6	$T =$
問7	倍
問8	倍
問9	倍

〔Ⅲ〕

問1		
問2		
問3		
問4		
問5		
問6	時間変化率の正負：	時間変化率の大きさ：
問7		
問8	$t =$	ϵ_r の条件：
問9		
問10		