

問題訂正

「物理」

訂正箇所

物理 3

問題冊子の 13 ページの上から 7 行目

【誤】 …… 距離 L_2 を調整し、このときの ……

【正】 …… 距離 L_2 を定めた。このときの ……

物理 3

問題冊子の 13 ページの図 2

【誤】

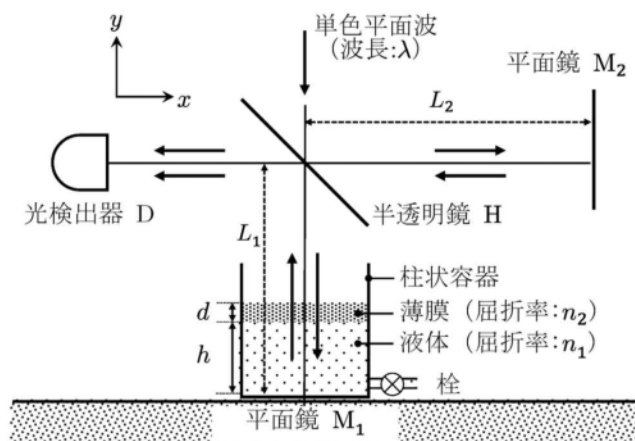


図 2

【正】

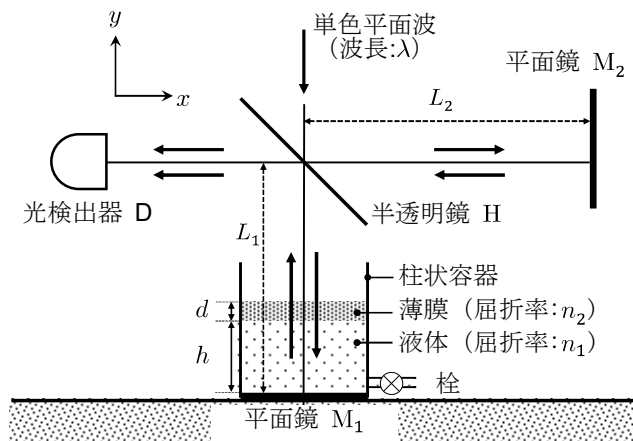


図 2

※平面鏡 M_1 , M_2 が不明瞭だったため、図を訂正した。

問 題 訂 正

「化学」

訂正箇所

化学 5

問題冊子の 27 ページの**実験 1**の上から 6 行目

【誤】 実験 1 : ことはなく、反応混合物中の二重結合

【正】 実験 1 : ことはなく、混合物中の他の二重結合

「解答はじめ」の合図があるまでは問題冊子を開いてはいけません。

注 意 事 項

1. 各出題教科・科目のページおよび選択方法は、次のとおりです。

出題教科・科目		ページ	選 択 方 法
数 学		2 ～ 6	数学，物理，化学のうちから1つを選択し，解答してください。
理 科	物 理	7 ～ 13	
	化 学	14 ～ 29	

工学部の工学2類を志望する者および工学部の工学3類を第1志望とする者で，理科を選択した場合は，「物理」を受験しなければ，当該類の合否判定の対象とはなりません。

2. 問題冊子は1ページから29ページまでの綴りでできています。「解答はじめ」の合図の後，ページの落丁，乱丁あるいは印刷の不鮮明なものがあれば，手をあげて試験監督者に申し出てください。
3. 問題冊子の各出題教科・科目の最初のページに，問題数および解答上の注意事項等が示されていますので確認してください。
4. 解答は該当する解答用紙の解答欄に記入してください。
5. 問題それぞれに解答用紙が1枚ずつありますので，選択解答する教科・科目の解答用紙のすべてに受験番号を必ず記入してください。
6. 問題冊子の空白のページや余白は，下書き用紙として使用してください。
7. 選択しなかった教科・科目の解答用紙は，試験終了後に回収しますので，試験監督者の指示に従ってください。
8. 問題冊子は，試験終了後，持ち帰ってください。

数 学

問題番号	ページ	解答用紙番号
数学 1	3	41
数学 2	4	42
数学 3	5	43
数学 4	6	44

注 意 事 項

1. 数学を選択した場合は，数学 1 から数学 4 を解答してください。
2. 解答用紙は全問とも表裏の計 2 ページになっており，表と裏では上下が逆になっています。記入の際には注意してください。

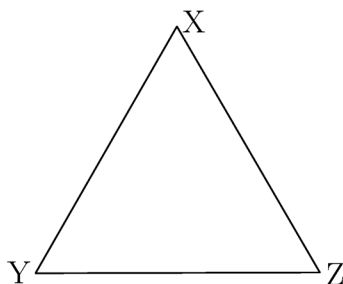
数学 1

a, b ($a > 0, b > 0$) を定数とし、関数 $f(x)$ を $f(x) = x^3 - 3ax^2 + b$ とする。O を原点とする座標平面を考え、曲線 $y = f(x)$ を曲線 C とする。また、関数 $f(x)$ の極大値を与える x の値を α 、極小値を与える x の値を β とし、座標平面上に 2 点 $P_1(\alpha, f(\alpha))$ 、 $P_2(\beta, f(\beta))$ をとる。さらに、2 点 P_1 と P_2 を通る直線を l とし、点 P_1, P_2 以外の、曲線 C と直線 l との共有点を Q とする。次に答えよ。

- (i) 関数 $f(x)$ についての増減表を利用して、方程式 $x^3 - 3ax^2 + b = 0$ の異なる実数解の個数が 2 個以下となるための条件を a, b を用いて表せ。
- (ii) 点 Q の座標を求め、曲線 C と線分 P_1Q で囲まれる図形の面積 S_1 および曲線 C と線分 QP_2 で囲まれる図形の面積 S_2 を求めよ。
- (iii) 曲線 C と x 軸の共有点が 2 つである場合を考える。曲線 C と $x < 0$ における x 軸との共有点を P_3 とし、線分 P_3P_1 と線分 P_3Q および曲線 C で囲まれる図形の面積を S_3 とする。このとき、 b を a を用いて表し、さらに、 $S_3 = 13$ が成り立つ場合の a の値を求めよ。
- (iv) 曲線 C と x 軸の共有点が 1 つである場合を考える。直線 l と x 軸との交点を P_4 とし、線分 OP_1 と線分 OP_2 および曲線 C で囲まれる図形の面積を S_4 、三角形 OP_2P_4 の面積を S_5 とする。このとき、 $S_4 = S_5$ かつ $S_4 = 2$ が成り立つ場合の a と b の値を求めよ。

数学 2

下図のような三角形 XYZ があり、3 地点 X , Y , Z を移動する人がいる。はじめ、この人は地点 X にいるものとする。



この人は、自分のいる地点で、大きいサイコロと小さいサイコロを振り、2つのサイコロの目の出方に従って次のように行動する。

- 2つのサイコロの目が同じ場合は移動せず同じ地点にとどまる。
- 2つのサイコロの目が異なる場合は大きいサイコロの出た目の数だけ反時計回りに地点を移動する。

この試行を n 回繰り返した後に、地点 X にいる確率を x_n 、同様に、地点 Y , Z にいる確率をそれぞれ y_n , z_n とする。次に答えよ。

- x_1 , y_1 , z_1 をそれぞれ求めよ。
- x_{n+1} を x_n , y_n , z_n を用いて表せ。同様に、 y_{n+1} , z_{n+1} を x_n , y_n , z_n を用いて表せ。
- x_n , y_n , z_n をそれぞれ求めよ。
- $n + 1$ 回目の試行後に地点 X にいるという条件のもとで、 n 回目の試行後に地点 Y にいた確率を求めよ。

数 学 3

$0 < x < 1$ の範囲で定義された関数 $f(x)$ を $f(x) = x \log 2x + (1 - x) \log(2 - 2x)$ とする。ただし、対数は自然対数とする。次に答えよ。

(i) $\lim_{x \rightarrow +0} f(x)$ と $\lim_{x \rightarrow 1-0} f(x)$ を求めよ。ただし、 $\lim_{x \rightarrow +0} x \log x = 0$ であることを利用してもよい。

(ii) 関数 $y = f(x)$ のグラフの概形をかけ。ただし、グラフの凹凸を調べる必要はない。また、 $f(x)$ の最小値を求めよ。

(iii) 直線 $x = \frac{3}{4}$ と直線 $y = 0$ および 曲線 $y = f(x)$ で囲まれる図形の面積を求めよ。

数列 $\{p_n\}$ は $0 < p_n < 1$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) をみたす数列であり、数列 $\{a_n\}$ の一般項を

$$a_n = (2p_n)^{-np_n} (2 - 2p_n)^{-n(1-p_n)} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

で定める。

(iv) $\log a_n$ を n と $f(p_n)$ を用いて表せ。

(v) 数列 $\{p_n\}$ は収束し、その極限值 p は $\frac{1}{2}$ ではないとする。このとき、 $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n$ を求めよ。

数 学 4

O を原点とする xyz 空間を考える。点 $A(0, 0, 1)$ を通りベクトル $\vec{v} = (2, -2, 1)$ に平行な直線を l とする。また、 θ ($0 \leq \theta < \pi$) に対し、原点 O を通りベクトル $\vec{e} = (\cos \theta, \sin \theta, 0)$ に平行な直線を m とする。次に答えよ。

- (i) 点 $B(3, 0, 0)$ と点 $C(-9, 6, -1)$ について、直線 l と直線 BC が交わるかどうかを調べ、交わる場合は交点の座標を求めよ。
- (ii) 直線 l 上に点 P をとり、その x 座標を $2t$ とする。点 P を通り、 $\vec{e}$ に垂直な平面を α とする。また、直線 m と平面 α との交点を Q とする。このとき、点 P と点 Q の距離 L を t と θ を用いて表せ。
- (iii) 直線 l と直線 m の距離 d を θ を用いて表せ。ここで、2 直線間の距離とは、それぞれの直線上に点を取り、それら 2 点間の距離を考えると、そのような距離の中の最小値のことである。
- (iv) 直線 l と直線 m が交わるときの θ の値を求めよ。

物 理

問題番号	ページ	解答用紙番号
物理 1	8 ～ 9	51
物理 2	10 ～ 11	52
物理 3	12 ～ 13	53

注 意 事 項

1. 物理を選択した場合は, 物理 1 から物理 3 を解答してください。
2. 解答は該当する解答用紙の解答欄に記入してください。途中の計算は計算欄にできるだけ記入してください。
3. 解答用紙の裏面には記入しないでください。

物理 1

剛体の転倒について考える。重力加速度の大きさを g ，円周率を π として，以下の問いに答えよ。なお，立方体や直方体にはたらく力の向き，および，立方体や直方体の運動は，紙面内に限る。また，立方体や直方体の密度は一様とする。

[1] 質量 M で一辺の長さ L の立方体がある。図 1 のように，点 P に糸をつけて水平な床に平行に左向きに引き，点 O を支点として立方体を静止させた。立方体の底面と床のなす角度を θ ，糸の張力の大きさを T ，床からの垂直抗力の大きさを N ，摩擦力の大きさを f とする。

- (1) 立方体にはたらく力の鉛直方向のつり合いの式を表せ。
- (2) 糸の張力の直線 OP に垂直な成分の大きさを，数字ならびに T, θ, π から必要なものを用いて表せ。
- (3) 点 O のまわりの力のモーメントのつり合いの式を表せ。
- (4) さらに床に平行に糸を引き，立方体を点 O を中心にゆっくり回転させると，立方体の底面と床のなす角度 θ が θ_1 を超えたところで，立方体は左向きに回転して転倒した。 θ_1 を求めよ。

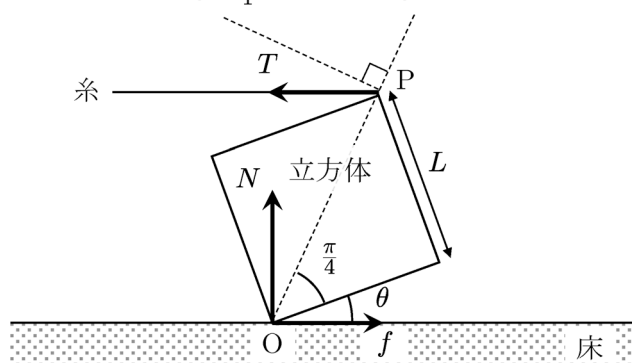


図 1

[2] 図 2 のように，水平な床と天井を持つ電車が，水平方向に一定の加速度で加速している。軽いひもの一端を電車の天井に取りつけ，他端に質量 m のおもりをつり下げたとき，おもりに慣性力がはたらいて，ひもは天井に垂直な方向から角度 ϕ だけ傾いて静止した。電車内において，[1] と同じ立方体の点 P に糸をつけて床に平行に左向きに引き，点 O を支点として立方体を静止させた。立方体の底面と床のなす角度を θ ，糸の張力の大きさを T ，床からの垂直抗力の大きさを N ，摩擦力の大きさを f とする。

- (5) 電車の加速度の大きさ a を表せ。
- (6) 立方体にはたらく重力と慣性力の合力の大きさ F を， M, g, ϕ を用いて表せ。
- (7) 点 O のまわりの力のモーメントのつり合いの式を，数字ならびに $T, M, g, L, \theta, \phi, \pi$ から必要なものを用いて表せ。

- (8) さらに床に平行に糸を引き、立方体を点 O を中心にゆっくり回転させると、立方体の底面と床のなす角度 θ が θ_2 を超えたところで、立方体は点 O を中心に左向きに回転して転倒した。数字ならびに T, M, g, L, ϕ, π から必要なものを用いて θ_2 を表せ。

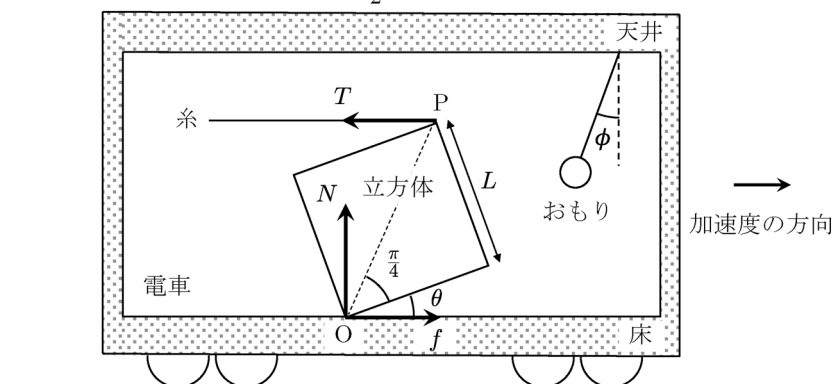


図 2

- [3] 図 3 のように、底面が一辺 w の正方形で、高さが h 、重さがそれぞれ M_A, M_B, M_C の直方体 A, B, C がある。底面が一辺 w の正方形で高さが $3h$ の質量と厚さの無視できる直方体の箱の中に A, B, C を積み重ね、箱と A, B, C を一つの剛体とみなす。

- (9) 図 3 のように、下から A, B, C の順に積み重ねたときに、箱と A, B, C からなる剛体の重心の底面からの高さ H を表せ。
- (10) 図 4 のように、問(9)の箱の点 P に糸をつけて水平な床に平行に左向きに引き、3つの直方体が入った箱を点 O を中心にゆっくり回転させる。箱の傾きを大きくしていくと、箱の底面と床のなす角度 θ が θ_3 を超えたところで、箱は点 O を中心に左向きに回転して転倒した。数字ならびに M_A, M_B, M_C, w, h, g から必要なものを用いて $\tan \theta_3$ を表せ。
- (11) A, B, C を積み重ねる順序を変えて、箱の底面と床のなす角度を徐々に大きくしたときに、箱が左向きに回転して転倒する角度を調べた。下から A, C, B の順に積み重ねたときに箱が転倒する角度を θ_4 、下から C, B, A の順に積み重ねたときに箱が転倒する角度を θ_5 とする。 $\theta_3 > \theta_4$ かつ $\theta_3 < \theta_5$ のときに、 M_A, M_B, M_C の大小関係を示し、その理由を解答欄で指定する行に沿って 3～5 行程度で述べよ。

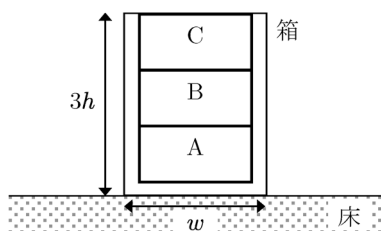


図 3

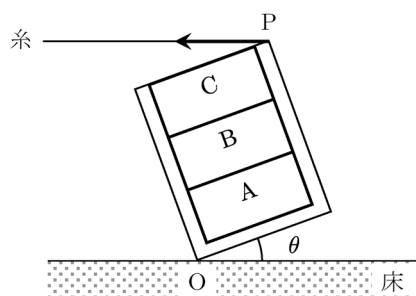


図 4

物理 2

- [1] 図 1 のように、2 枚の平らな極板が間隔 d だけ離れて平行に固定され、その間が極板と同じ面積 S をもつ 3 種類の誘電体で完全に満たされているコンデンサーを考える。これらの誘電体は、図 1 の上方から順に、誘電率が ε_1 , ε_2 , ε_3 , 厚さが d_1 , d_2 , d_3 であるとする。また、起電力 V の電池に接続された上下の極板にはそれぞれ $+Q$ および $-Q$ の電荷が蓄えられている。極板の端での電場の乱れは無視できるとして、以下の問いに答えよ。ただし、(5), (6)を除いて、数字ならびに ε_1 , ε_2 , ε_3 , d_1 , d_2 , d_3 , S , V の中から必要なものを選んで解答すること。

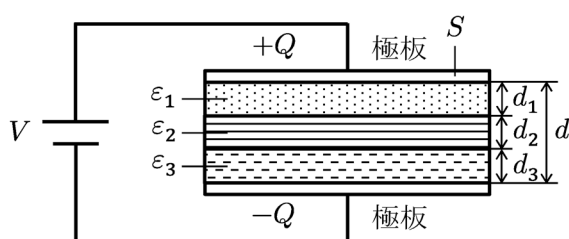


図 1

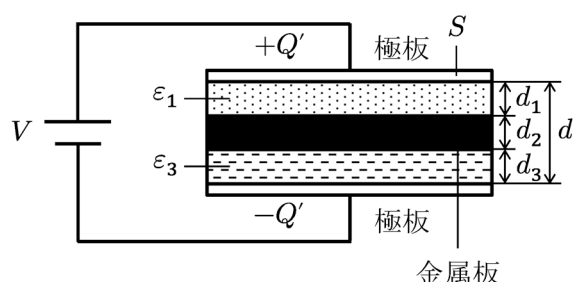


図 2

- (1) 図 1 のコンデンサーの電気容量 C を求めよ。
- (2) 誘電率 ε_1 の誘電体に生じる電場の大きさ E_1 を求めよ。
- (3) 図 1 のコンデンサーに蓄えられた静電エネルギー U を求めよ。

次に、図 1 の電池をはずし、さらに極板の電荷をなくし、図 2 のように誘電率 ε_2 の誘電体を厚さ d_2 の金属板に置き換え、そして再び起電力 V の電池をつなげた。

- (4) 電池をつなげてからしばらく時間が経った後、誘電率 ε_1 の誘電体に生じる電場の大きさ E'_1 および上の極板に蓄えられた電荷 Q' を求めよ。
- (5) 図 1 の場合と比較して、図 2 のコンデンサーに蓄えられた静電エネルギーはどのようになるか。次の ①～④ の中から選べ。
 - ① 増加する ② 減少する
 - ③ $\varepsilon_2 \geq \varepsilon_1$ かつ $\varepsilon_2 \geq \varepsilon_3$ の場合に増加、それ以外は減少する
 - ④ $\varepsilon_2 < \varepsilon_1$ かつ $\varepsilon_2 < \varepsilon_3$ の場合に増加、それ以外は減少する
- (6) 金属板の厚さ d_2 が極板の間隔 d に近い場合、上方の極板に電荷 Q' が蓄えられた後に、極板間に電流が流れることがある。電流が流れる理由として考えられることを、解答欄で指定する行に沿って 3～5 行程度で述べよ。

- [2] 次に、図 3 のように起電力 V の電池に直列接続された二つのコンデンサーを考える。コンデンサー 1 の上の極板には $+Q$ の電荷が蓄えられている。いずれのコンデンサーも 2 枚の平らな極板が間隔 d だけ離れて平行に固定されており、コンデンサー 1 では厚さ $\frac{d}{2}$ 、面積 S 、誘電率 ε の誘電体が下の極板に完全に重なるように挿入され、コンデンサー 2 では厚さ d 、面積 $\frac{S}{2}$ 、誘電率 ε の誘電体が極板間の右半分を占めるように挿入されている。なお、コンデンサーは真空中に置かれており、真空の誘電率を ε_0 とし、 $\varepsilon > \varepsilon_0$ とする。極板の端での電場の乱れは無視できるとして、以下の問いに答えよ。ただし、それぞれのコンデンサーは真空と誘電体を含む二つのコンデンサーに分けて考えてよい。

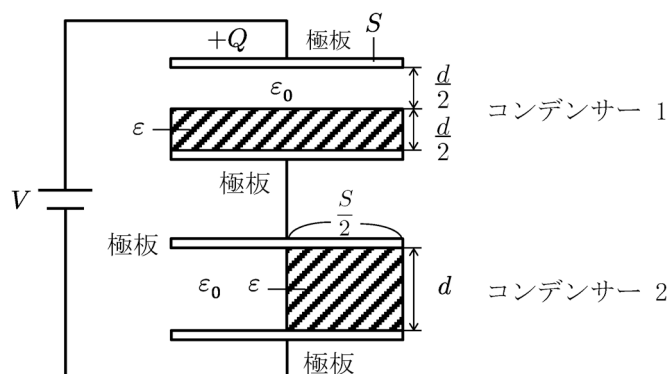


図 3

- (7) コンデンサー 1 の誘電体とコンデンサー 2 の誘電体に生じる電場の大きさ E_1 と E_2 を、それぞれ数字ならびに ε_0 , ε , d , S , Q の中から必要なものを選んで表せ。
- (8) コンデンサー 1 の下の極板の右半分に蓄えられた電荷 Q_{R1} と、コンデンサー 2 の上の極板の右半分に蓄えられた電荷 Q_{R2} を、それぞれ数字ならびに ε_0 , ε , d , S , Q の中から必要なものを選んで表せ。
- (9) 二つのコンデンサーの電圧の大きさについて、正しく述べているものを次の ①～④ の中から選べ。
 - ① コンデンサー 1 の方が常に大きい
 - ② コンデンサー 2 の方が常に大きい
 - ③ $\varepsilon \geq 2\varepsilon_0$ を満たす場合のみコンデンサー 1 の方が大きい
 - ④ $\varepsilon < 2\varepsilon_0$ を満たす場合のみコンデンサー 1 の方が大きい
- (10) コンデンサー 1 の上の極板に蓄えられた電荷 Q を、数字ならびに ε_0 , ε , d , S , V の中から必要なものを選んで表せ。
- (11) $\varepsilon \equiv \varepsilon_0$ における二つのコンデンサーの静電エネルギーの和を $U_{\min}$ と表すと、 ε の値をどれだけ大きくしても、二つのコンデンサーの静電エネルギーの和は $U_{\min}$ の A 倍を超えることはできない。 A に入る整数の最小値を求めよ。

物理 3

屈折率 1 の大気中に置かれた図 1 のような実験装置を考える。位相がそろった波長 λ の単色平面波が鉛直下向きに、水平な床に置かれた柱状容器に入射する。柱状容器の底には平面鏡 M_1 が取り付けられており、 M_1 から高さ h まで屈折率 n_1 の液体が入っている。さらに、液体表面には一定の厚さ d で屈折率 n_2 の薄膜が密着している。ただし $n_2 > n_1$ である。

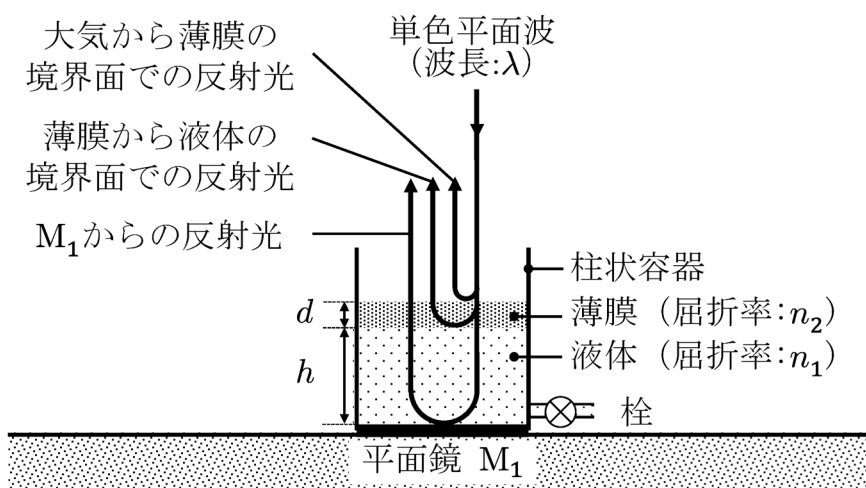


図 1

[1] 以下の問いに答えよ。

- (1) 薄膜中での光の速さを、真空中の光の速さ c , λ , n_2 , d から必要なものを用いて表せ。
- (2) 以下の文章の(ア), (イ)に入る適切な値を, $0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$ から一つずつ選んで答えよ。

薄膜の境界面における反射によって生じる位相のずれは、大気から薄膜の境界面では (ア), 薄膜から液体の境界面では (イ) となる。

- (3) 大気から薄膜の境界面での反射光と、薄膜から液体の境界面での反射光が弱め合う薄膜の厚さ d の条件を、数字ならびに n_1 , n_2 , λ , m ($m = 1, 2, 3 \dots$) から必要なものを用いて表せ。

次に、図 2 に示すように、半透明鏡 H , 平面鏡 M_2 , 光検出器 D を図 1 の装置に追加し、鉛直上向きに y 軸を、 y 軸と垂直で右向きに x 軸を設定する。薄膜の厚さ d は問(3)の条件を満たしており、 M_1 からの反射光のみを考えるものとする。位相がそろった波長 λ の単色平面波が、 H を透過して M_1 に向かう光と、 H で反射して M_2 に向かう光に分けられる。 M_1 に向かう光は、 M_1 で反射したのち、 H によって直角に向きを変え、 D に到達する。一方、 M_2 に向かう光は、 M_2 で反射したのち、 H を透過して、 D に到達する。 M_2 は x 軸に平行な方向に移動できる。 H , M_1 , M_2 は厚みがなく、紙面に対して垂直に配置されている。さらに、光の吸収および偏光は無視する。

二つの光の干渉の結果として観測される光の明るさは、二つの光の位相の差によって決まる。ここで、位相の差は、二つの光がたどる経路の光路長の差と、経路上における透過や反射に伴う位相のずれの差によって生じる。以下の問題では、透過や反射が生じる H や M_1 , M_2 での位相のずれの差は常に一定であるから、二つの光がたどる経路の光路長の差のみで干渉条件を求めることができる。そこで、D で観測される光が最も明るくなるように、H から M_1 までの距離 L_1 と、H から M_2 までの距離 L_2 を調整し、このときの光路長の差を P_0 とする。ここで、光路長の差を、 M_2 を経由する経路の光路長から、 M_1 を経由する経路の光路長を引いたものと定義する。

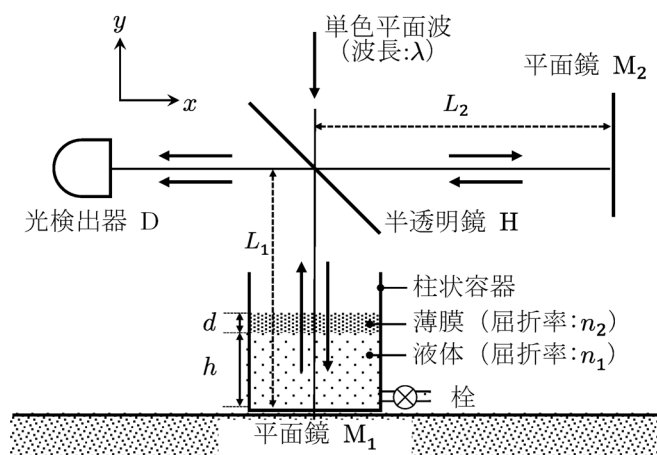


図 2

[2] 以下の問いに答えよ。

- (4) M_2 を x 軸の正方向に Δx_M だけ移動させたとき、二つの光の光路長の差 P_M を、数字ならびに、 P_0 , Δx_M , L_2 , λ から必要なものを用いて表せ。
- (5) M_2 を x 軸の正方向に一定の速さ v_M で動かしたとき、D で観測される光の明るさが変化する周期 T_M を、数字ならびに、 v_M , L_2 , λ から必要なものを用いて表せ。

[3] 次に、 M_2 を H からの距離が L_2 となる位置に戻して静止させ、柱状容器に取り付けられた栓を開き、液体が容器からこぼれない範囲で屈折率 n_1 の同じ液体を注入する。以下の問いに答えよ。

- (6) 液体表面の高さ h を Δh_S だけ増加させたとき、二つの光の光路長の差 P_S を、数字ならびに、 P_0 , n_1 , n_2 , h , d , Δh_S から必要なものを用いて表せ。
- (7) 一定の速さ v_S で液体表面の高さを増加させたとき、D で観測される光の明るさが変化する周期 T_S を、数字ならびに、 v_S , λ , n_1 , n_2 , h , d から必要なものを用いて表せ。
- (8) 一定の速さ v_S で液体表面の高さを増加させると同時に、 M_2 を x 軸の負方向に一定の速さ v_M で移動させた。このとき、D で観測される光の明るさが変化する周期 T_{MS} と問(7)で求めた T_S の大小関係を理由とともに簡潔に述べよ。ただし、解答には数式を用いてもよい。

化 学

問題番号	ページ	解答用紙番号
化学 1	1 5 ～ 1 6	6 1
化学 2	1 7 ～ 1 9	6 2
化学 3	2 0 ～ 2 2	6 3
化学 4	2 3 ～ 2 4	6 4
化学 5	2 5 ～ 2 7	6 5
化学 6	2 8 ～ 2 9	6 6

化学を選択した場合は、化学 1 から化学 6 を解答してください。

解答する上で必要があれば、次の数値を用いること。

原子量： H = 1.00, He = 4.00, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0, Na = 23.0, Mg = 24.3, Si = 28.0,
Ba = 137, Cl = 35.5, K = 39.0, Ca = 40.0, Cu = 63.5, Ag = 108, I = 127

気体定数： $8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol})$, $0.082 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol})$

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

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

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

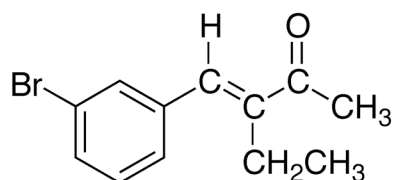
$\sqrt{2} = 1.414$, $\sqrt{3} = 1.732$, $\sqrt{5} = 2.236$

$\log_{10} 2 = 0.301$, $\log_{10} 3 = 0.477$, $\log_{10} 5 = 0.699$

$1 \text{ nm} = 1.0 \times 10^{-9} \text{ m}$

文字数が制限されている解答では、一つのマス目に、文字、記号、数字(添字を含む)を一つずつ記入すること。句読点も一文字に数えること。

構造式は、特別の指示がない限り、下の例にならって記すこと。



化学 1

次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

原子・分子・イオンなどの構成粒子が、繰り返し規則正しく配列している固体を結晶という。結晶中の構成粒子の配列の仕方を結晶構造といい、結晶中の構成粒子の配列を表したものを結晶格子、結晶格子の最小の繰り返し構造を単位格子という。

結晶は、構成粒子とその結びつき方によって、金属結晶、イオン結晶、分子結晶、共有結合結晶の4種類に大別される。結晶の種類により構成粒子の間の化学結合が異なるため、結晶の特徴は、結晶の種類によって異なる。例えば、(i)一般に、分子結晶の融点は、共有結合結晶の融点と比べてかなり低い。

結晶構造をもつ固体物質は結晶質とよばれる。それに対して、構成粒子がその配列に規則性をもたずに集合した固体は非晶質とよばれる。ケイ素の融解液を急冷すると非晶質のケイ素が得られ、結晶と比べて、加工が容易であり安価で薄膜にできる。そのため、(ii)単体の非晶質のケイ素は工業製品の材料として使用されている。

問1 下記の表は、結晶の一般的な特徴をまとめたものである。金属結晶、イオン結晶、分子結晶、及び共有結合結晶の特徴として、(A)～(C)にあてはまる最も適切なものを、下記の(ア)～(オ)から、それぞれ選び、記号で答えよ。

表 結晶の一般的な性質

結晶の種類	金属結晶	イオン結晶	分子結晶	共有結合結晶
融点	高低様々	高い	低い	非常に高い
電気伝導性及びその他の性質	(A)	(B)	やわらかく電気を導かない	(C)

- (ア) 固体は電気を導かないが、融解液は導く
- (イ) 固体は電気を導かず、融解液も導かない
- (ウ) 固体は電気を導くが、融解液は導かない
- (エ) 電気を導き、展性・延性を示す
- (オ) 電気を導かず、展性・延性を示す

問2 下線部(i)の理由を構成粒子間に働く力と関連させて3行以内で説明せよ。

- 問3 ドライアイスと氷は、いずれも分子結晶に分類される物質である。ドライアイスは大気圧では昇華し、昇華温度は -78.5°C である。氷は大気圧において 0°C で融解する。ドライアイスより氷のほうが高い温度まで固体の状態を保持できる理由を、構成粒子間に働く力と関連させて4行以内で説明せよ。
- 問4 酸化マグネシウム MgO と酸化カルシウム CaO は、いずれも塩化ナトリウム型の結晶構造をもつ。 MgO の融点は CaO の融点より高い。その理由は、陽イオンと陰イオンの間のイオン結合の強さが、 MgO のほうが CaO より強いからである。 MgO のイオン結合のほうが CaO のイオン結合より強い理由を、「陽イオンの大きさ」、「電荷の中心間の距離」という語を両方とも用いて、7行以内で説明せよ。説明のために「陽イオンの大きさ」、「電荷の中心間の距離」の語を複数回使用してもよい。ただし、 MgO と CaO のいずれも、陽イオンと陰イオンは球状で、結晶中では互いに接しているものとする。
- 問5 ケイ素の結晶は、ダイヤモンドと同じ結晶構造である。ケイ素の結晶の単位格子を図1に示す。この結晶の密度 $[\text{g}/\text{cm}^3]$ はいくらか。有効数字2桁で答えよ。この結晶の単位格子の一边の長さは 0.540 nm とする。

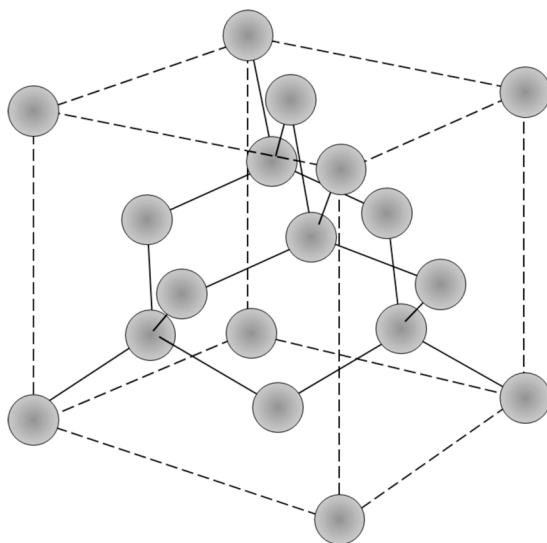


図1 ケイ素の結晶の単位格子

- 問6 下線部(ii)の例として適切な工業製品を、下記の (a) ~ (d) からすべて選び、記号で答えよ。
- (a) マンガン乾電池 (b) 太陽電池 (c) 燃料電池
(d) シリコーンゴム

化学 2

次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

混合物から不純物を取り除き、より純度の高い物質を得る操作を（ ア ）という。
たとえば、(i)水に溶けている 2 種類の塩から一方の塩だけを取り出したいときは、再結晶を用いることができる。

しかし、(ii)塩の水溶液から純粋な水を得るときには、再結晶を用いることはできない。この目的では、たとえば、水溶液を沸騰させ、発生した水蒸気を冷却して回収する方法がよく用いられる。この方法を、（ イ ）という。

一方、水に溶けている酸素は、水へ窒素ガスを通じることで除去できる。これは、(iii)水へ溶解する酸素の物質量が酸素の分圧に比例する性質を利用している。この性質は、（ ウ ）の法則と呼ばれる。

(iv)吸着を利用して、混合物がどんな成分からなっているかを調べる方法もある。色素の混合物を、細長く切ったろ紙につけ、図 1 のように、ろ紙の一端を液体に浸しておくと、液体がろ紙を上昇するうちに、(v)少しずつ成分ごとにわかれてゆく。この方法を（ エ ）という。

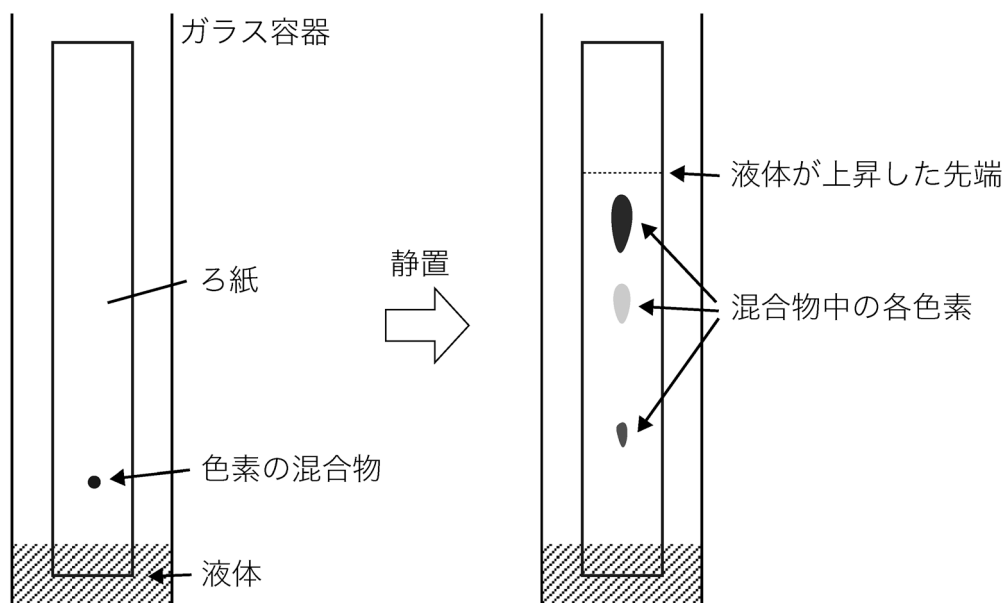


図 1

問 1 （ ア ）～（ エ ）にあてはまる適切な語句を記せ。

問2 下線部(i)に関して、ほぼ同量の塩 **A** と塩 **B** の混合物から、再結晶によって塩 **B** を取り出すための条件として、最も適切なものを以下の (あ) ～ (え) から一つ選び、記号で答えよ。

- (あ) 混合物を溶媒に溶かす温度で、**A** の溶解度が **B** の溶解度よりも大きい。
- (い) 混合物を溶媒に溶かす温度で、**B** の溶解度が **A** の溶解度よりも大きい。
- (う) 結晶を析出させる温度で、**A** の溶解度が **B** の溶解度よりも大きい。
- (え) 結晶を析出させる温度で、**B** の溶解度が **A** の溶解度よりも大きい。

問3 下線部(ii)の理由を、1行以内で記せ。

問4 下線部(iii)に関して、水から酸素を除去する目的で**操作1**～**操作3**を行った。

操作1：体積が一定 (100 mL) の容器に、20 °C の水を 50.0 mL 加え、20 °C、 $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ の空气中で容器の口を閉じて密閉した。その後、容器を冷却して水を凍らせた。

操作2：**操作1**に引き続いて、容器の温度を水を凍らせた温度に保ちながら、容器を真空ポンプに接続し、容器の口を開いてポンプで中の気体を排出した。

操作3：**操作2**に引き続いて、容器の口を閉じて密閉し、真空ポンプから切り離れた。その後、容器の温度を 20 °C まで上昇させ、氷を完全に融解させた。この温度で、氷が融解してから十分な時間が経過した後、容器内の空気の圧力 (ただし、水の蒸気圧を含まない) を求めたところ、 $1.01 \times 10^3 \text{ Pa}$ であった。

操作3 終了後、水に溶けている酸素の濃度 [mol/L] はいくらか。有効数字2桁で求めよ。考え方と計算過程も記せ。なお、酸素の水への溶解度は、20 °C、 $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ で $1.40 \times 10^{-3} \text{ [mol/L]}$ である。ただし、気体は理想気体としてふるまい、空気は窒素と酸素の体積比 $\text{N}_2 : \text{O}_2 = 4 : 1$ の混合気体で、その組成は**操作1**～**操作3**を通じて一定であるとする。また、真空ポンプの接続と切り離しの際に外部との間で気体の出入りは起こらず、**操作1**の開始時と**操作3**の終了時とで水の体積変化は無視できるものとする。

問5 下線部(iv)に関して、次の(あ)～(え)に記した現象や性質のうち、吸着が主にかかわっているものはどれか。最も適切なものを2つ選び、記号で答えよ。

(あ) 塩化カルシウムの無水塩は乾燥剤として用いることができる。

(い) シリカゲルは乾燥剤として用いることができる。

(う) 焼きセッコウ ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$) に水を加えるとセッコウになる。

(え) 固体粒子を触媒に使うときは、粒子が細かいほど反応が速く進む。

問6 下線部(v)に関して、図1の方法では、各成分は、ろ紙上の特定の場所に留まるのではなく、液体とともにろ紙内を移動しながら、わかれてゆく。移動しながらわかれてゆく現象は、どのようなしくみで起こると考えられるか。4行以内で説明せよ。

化学 3

次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

図 1 のように A 容器と B 容器を配置した実験装置があり、A の底面は半透膜で仕切られており、上部には開閉可能なコックがついている。A 容器にポリスチレンのベンゼン溶液、B 容器にベンゼンをそれぞれ入れて接触させ、以下の実験を行った。用いたポリスチレンの平均分子量は 1.00×10^4 であり、半透膜を通過しないものとする。

実験 1 : A 容器上部のコックが開いた状態で、 27°C で静置した。はじめ、A 容器と B 容器内の液面の高さは同じであったが、十分に時間をおくと液面の高さに差が生じ、液面差 h_1 [mm] で平衡に達した。このとき A 容器中には、溶液 1.00kg あたり 1.00g のポリスチレンが存在していた。

実験 2 : A 容器上部のコックが開いた状態で、 27°C より低い温度である t [$^\circ\text{C}$] で静置した。はじめ、A 容器と B 容器内の液面の高さは同じであったが、十分に時間をおくと液面の高さに差が生じ、液面差 h_2 [mm] で平衡に達した。

実験 3 : A 容器上部のコックが開いた状態で B 容器に浸し、A 容器と B 容器の液面の高さを合わせ、すみやかに容器上部のコックを閉じ、 27°C で静置した。十分に時間をおくと液面の高さに差が生じ、液面差 h_3 [mm] で平衡に達した。

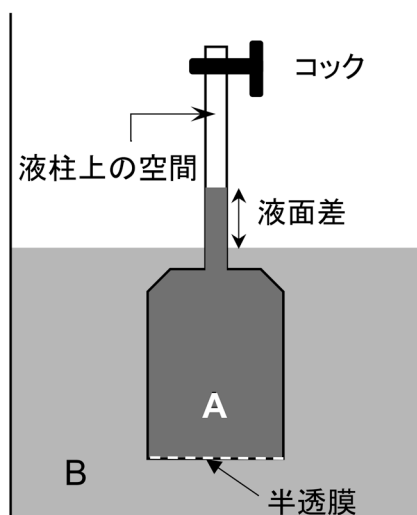


図 1 実験装置

溶液・溶媒の蒸発，溶液・溶媒への気体の溶解は無視できるとする。液体の密度は温度上昇に伴い減少するものとする。また，溶液の浸透圧はファントホッフの法則にしたがうものとする。

問 1 ポリスチレンのベンゼン溶液はコロイド溶液であり，分子コロイドに分類される。分子コロイドとして分類されるものを (a)～(e)より全て選び，記号で答えよ。

- (a) 金コロイド (b) 水酸化鉄(III)コロイド (c) セッケン水
(d) タンパク質水溶液 (e) 塩化ナトリウム水溶液

問 2 **実験 1**での液面差 h_1 と**実験 2**での液面差 h_2 の関係を最も正しく表しているものを，下記の(a) ～ (h)より選び記号で答えよ。ただし，A 容器中のポリスチレンのベンゼン溶液の密度は 27°C で d_{27} [g/cm^3]， t [$^\circ\text{C}$] で d_t [g/cm^3] とする。また，液柱は十分に細く，液柱の体積は無視できるものとする。

$$\begin{aligned} \text{(a)} \quad h_2 &= \frac{d_{27}t}{27d_t} \times \frac{1}{h_1} & \text{(b)} \quad h_2 &= \frac{300d_t}{d_{27}(t+273)} \times h_1 & \text{(c)} \quad h_2 &= \frac{d_{27}(t+273)}{300d_t} \times h_1 \\ \text{(d)} \quad h_2 &= \frac{d_{27}t}{27d_t} \times h_1 & \text{(e)} \quad h_2 &= \frac{300d_t}{d_{27}(t+273)} \times \frac{1}{h_1} & \text{(f)} \quad h_2 &= \frac{d_{27}(t+273)}{300d_t} \times \frac{1}{h_1} \\ \text{(g)} \quad h_2 &= \frac{d_t t}{27d_{27}} \times \frac{1}{h_1} & \text{(h)} \quad h_2 &= \frac{d_t t}{27d_{27}} \times h_1 \end{aligned}$$

問 3 **実験 3**において，液面差 h_3 から生じる圧力を P_{h_3} [Pa]，大気圧を P_0 [Pa]，A の液柱上の空間の内圧を P_A [Pa] で表すとき，浸透圧 Π [Pa] を最も適切に記述しているものを下記の(a) ～ (h)から選べ。また，液面差 h_1 ， h_2 ， h_3 のうち，その値が最も大きいものを答えよ。

- (a) $P_A + P_0 + P_{h_3}$ (b) $P_A - P_0 + P_{h_3}$ (c) $P_A - P_0 - P_{h_3}$
(d) $P_A + P_0 - P_{h_3}$ (e) $-P_A + P_0 + P_{h_3}$ (f) $-P_A - P_0 + P_{h_3}$
(g) $-P_A - P_0 - P_{h_3}$ (h) $-P_A + P_0 - P_{h_3}$

問 4 **実験 1**での平衡時の液面差 h_1 [mm] はいくらか。有効数字 2 桁で答えよ。ポリスチレンのベンゼン溶液の密度は， 27°C で $0.880 \text{ g}/\text{cm}^3$ とする。また，水銀柱は，大気圧 $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ 下で 760 mm であり，水銀の密度は， 27°C で $13.6 \text{ g}/\text{cm}^3$ である。

- 問5 **実験1～3**で用いたポリスチレンをベンゼン溶媒 1.00 L あたり 1.00 g 溶解した溶液を調製し、沸点上昇を測定した場合、何℃の沸点上昇が予想されるか。ベンゼンの密度を 0.870 g/cm^3 、ベンゼンのモル沸点上昇を $2.53 \text{ K} \cdot \text{kg/mol}$ とし、有効数字2桁で答えよ。
- 問6 浸透圧測定および沸点上昇測定は、いずれも分子量の測定手段として用いられることがある。高分子の分子量を測定するのに、どちらがより正確に測れる方法か、その方法を記せ。また、問4および問5で得られた結果をもとに、その理由を50字以内で記せ。

化学 4

次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

新型コロナウイルス流行により、室内の二酸化炭素濃度を計測し、換気するようになった。そこで、以下の実験を行い、閉め切った部屋の空気中の二酸化炭素の濃度を調べた。

操作 1 : $2.00 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$ の水酸化バリウム水溶液を作った。

操作 2 : 室内の空気 2.00 L (0°C , $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$) を密閉容器に採取し、操作 1 で調製した水酸化バリウム水溶液 50.0 mL をこの容器に入れ、容器をよく振り混ぜて、容器中の二酸化炭素を完全に反応させた。その結果、水溶液中に白色沈殿が生じた。このとき、採取した空気中には二酸化炭素以外に水酸化バリウムと反応する物質はないものとする。

操作 3 : (ア) により沈殿を完全に除去した。このとき、沈殿の除去に伴う操作の前後で水溶液の濃度変化はなかった。

操作 4 : 操作 3 により得られた水溶液のうち 25.0 mL を採り、(i) 0.100 mol/L の塩酸で滴定したところ、 9.00 mL で中和点に達した。

問 1 操作 2 で起こる反応の化学反応式を記せ。

問 2 下線部(i)における化学反応式を記せ。

問 3 操作 3 で (ア) として適切な実験操作の名称を記せ。

問 4 操作 1 から操作 4 によって調べられた二酸化炭素濃度の 0°C , $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ における体積百分率 [%] はいくらか。有効数字 2 桁で答えよ。考え方と計算過程を簡潔に記せ。なお、気体は理想気体としてふるまうものとする。

問 5 操作 2 で得られた水溶液を白色沈殿とともに塩酸で滴定を行うと、二酸化炭素濃度を正しく求めることができない。その理由を水溶液中で起こる反応の化学反応式を用いて、説明せよ。

問6 水酸化バリウムと同様に，水酸化カルシウムもまた，二酸化炭素を通じると白色沈殿を生じる。しかし，さらに二酸化炭素を通じると白色沈殿は消失する。白色沈殿は何か，化学式で示せ。また，この沈殿が消失する理由を水溶液中で起こる反応の化学反応式を用いて3行以内で記せ。

化学 5

〔I〕 次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

4つの異なる原子，あるいは原子団が結合している炭素原子のことを不斉炭素原子という。不斉炭素原子を有する化合物は，その鏡像異性体が存在することが多い。例えば，図1に示した乳酸は不斉炭素原子を持ち，乳酸Lと乳酸Dは鏡に対する実像と鏡像の関係にあり，互いに重ね合わせることができない。このような場合，それぞれの乳酸は互いに鏡像異性体の関係にある。

一方，不斉炭素原子を有するものの，鏡像異性体が存在しない分子もある。例えば，図2に示した酒石酸Aと酒石酸A'は，不斉炭素原子を有し，互いに鏡に対する実像と鏡像の関係にあるが，重ね合わせることができるため，鏡像異性体の関係になく，同一分子である。

(図1，図2ともに，くさび形で表された結合の太い実線(—)は紙面の手前側へ，破線(.....)は紙面の向こう側へ向かう結合を示す。また，実線(—)は紙面と同じ平面上の結合を示す。)

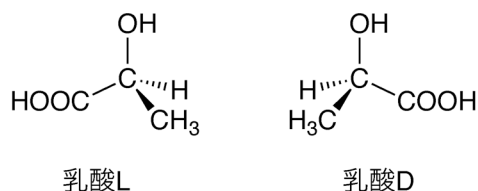


図1 乳酸の立体構造

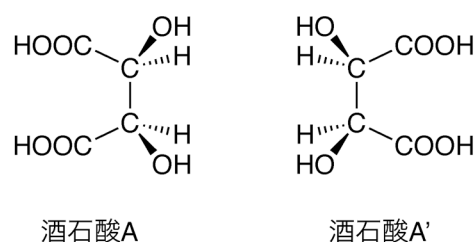


図2 酒石酸の立体構造

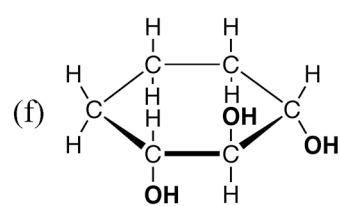
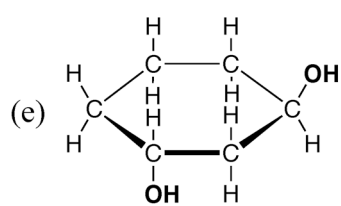
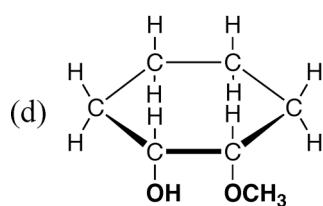
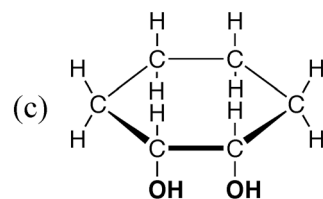
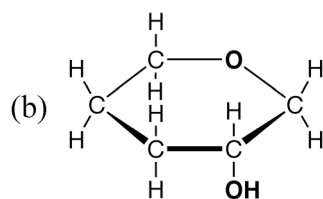
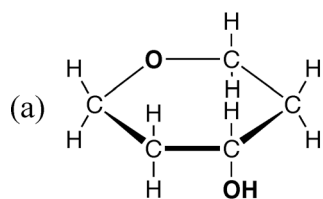
問1 酒石酸Aをメタノールに溶解し，少量の濃硫酸を加えて短時間加熱した。その結果，生じる生成物の中に1対の鏡像異性体の等量混合物（ラセミ体）が含まれていることが分かった。この1対の鏡像異性体の構造式を記せ。ただし，構造式は図2にならって，それぞれの結合の位置関係がわかるように記すこと。

問2 次ページの化合物群Iのうち，鏡像異性体が存在するすべての化合物を記号で記せ。

問3 次ページの化合物群Iのうち，不斉炭素原子を持つものの，鏡像異性体が存在しないすべての化合物を記号で記せ。

問4 分子式 $C_4H_6Br_2$ を有し、かつシクロブタン構造を有する化合物のうちで、鏡像異性体が存在する化合物を1つ構造式で記せ。ただし、構造式は解答用紙のシクロブタン環に水素・臭素の元素記号を書き込み完成させることによって答えよ。

<化合物群 I>



〔Ⅱ〕 化合物**M**は分子式 $\text{C}_{13}\text{H}_{14}\text{O}_2$ のエステルである。ただし、化合物**M**はベンゼン環を有し、かつベンゼン環以外の環構造は持たない。化合物**M**に関し、以下の**実験 1**～**実験 5**を行った。

実験 1 : 化合物**M**の加水分解を試みた。その結果、エステル基の加水分解のみが進行し、未反応の化合物**M**、アルコール**N**、カルボン酸**O**の混合物が 5.40 g 得られた。また、この混合物に白金触媒を加えて水素を反応させたところ、 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $1.01 \times 10^5\text{ Pa}$ で 1.120 L の水素が消費された。ただし、この反応条件では、水素は理想気体としてふるまい、ベンゼン環やカルボニル基は水素と反応することはない、反応混合物中の二重結合が全て反応した。

実験 2 : アルコール**N**を分析したところ、 $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$ の分子式を有することが分かった。

実験 3 : アルコール**N**にヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を加えて反応させた。その結果、黄色の沈殿が生成した。

実験 4 : カルボン酸**O**に過マンガン酸カリウム水溶液を加えて加熱して、ベンゼン環に直接結合している炭化水素基を酸化した。その後、希硫酸を加えると化合物**P**が得られた。

実験 5 : 化合物**P**の構造を分析したところ、化合物**P**のベンゼン環に直接結合した水素原子の 1 つをニトロ基に置換したときに、生じる化合物は 2 種類であることが分かった。

問 5 **実験 1** で用いた化合物**M**の物質質量は何 mol か。有効数字 3 桁で答えよ。

問 6 **実験 1** において、化合物**M**、アルコール**N**、カルボン酸**O**の混合物に含まれるアルコール**N**の物質質量は何 mol か。有効数字 2 桁で答えよ。

問 7 アルコール**N**の構造式を記せ。

問 8 カルボン酸**O**の構造式を記せ。

問 9 **実験 5** で生じうると考えられる 2 種類の化合物の構造式を記せ。

化学 6

次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

代表的なポリエステルである⁽ⁱ⁾ポリエチレンテレフタレート (PET) は、テレフタル酸とエチレングリコールの（ ア ）重合によって合成される。その最大の用途はペットボトルであり、主に飲料用の容器として使用されている。ペットボトルは、リサイクルしやすいことも大きな特徴である。例えば、きれいな状態で回収されたペットボトルは細かく砕いて加工され、食品パックや⁽ⁱⁱ⁾衣類用の繊維として再生される。このようなリサイクル方法を（ イ ）リサイクルと呼ぶ。

また、回収したペットボトルを単量体に分解し、生じた単量体を重合することで PET 樹脂として再生することもできる。この方法は（ ウ ）リサイクルと呼ばれ、ひどい汚れや異物が混入したペットボトルを新品と同等の PET 樹脂に再生できることが特徴である。

PET を単量体に分解する方法として、加水分解があげられる。例えば、⁽ⁱⁱⁱ⁾水酸化ナトリウム水溶液中で加熱しながら PET を加水分解したのち塩酸で処理すると、原料の一つであるテレフタル酸を回収できる。しかし、この方法で分解した場合、もう一つの原料であるエチレングリコールは水によく溶けるため、それを回収することは難しい。一方、溶媒としてエチレングリコールを用いて PET に水酸化ナトリウムを作用させると、^(iv)1 分子のテレフタル酸と 2 分子のエチレングリコールがエステル化した化合物が生成する。この化合物を重合することで、新たな PET が実際に合成されている。

問 1 （ ア ）～（ ウ ）にあてはまる適切な語句を記せ。

問 2 下線部(i)について、分子量 4.8×10^4 のポリエチレンテレフタレート 1 分子に含まれているエステル結合の数を整数で答えよ。ただし、末端の官能基は考慮しないものとする。

問 3 下線部(ii)について、ポリエステル系繊維の特徴として最も適切なものを以下の（あ）～（え）より一つ選び記号で答えよ。

- （あ）吸湿性が良く独特の光沢があり、衣類の裏地などに用いられる。
- （い）燃えにくい特徴があるため、カーテンやカーペットなどに用いられる。
- （う）乾きやすく、しわになりにくいため、ワイシャツなどに用いられる。
- （え）弾力性や耐熱性に極めて優れ、防弾チョッキや消防服に用いられる。

問 4 下線部(iii)について、3.00 g のポリエチレンテレフタラートを加水分解したところ、その原料の一つであるテレフタル酸を 1.30 g 回収できた。テレフタル酸の回収率は何%か。有効数字 2 桁で答えよ。ただし、高分子末端の官能基は考慮しないものとする。ここで、回収率とは、ポリエチレンテレフタラートが完全に加水分解されたときに生じるテレフタル酸の質量に対する、実際に回収されたテレフタル酸の質量の割合である。

問 5 下線部(iv)で示す化合物の構造式を示せ。