

2024 年度

<工 学 部>  
理 科 問 題  
(物理・化学)

物理：2～9 ページ 解答用紙 2 枚

化学：10～24 ページ 解答用紙 2 枚

注 意 事 項

- 1 問題冊子は、監督者が「解答始め」の指示をするまで開かないこと。
- 2 問題冊子や解答用紙に脱落のあった場合には申し出ること。
- 3 すべての解答用紙の所定欄に、それぞれ受験番号（左右2箇所）、氏名を必ず記入すること。
- 4 解答は、すべて解答用紙の所定欄に記入すること。物理の解答は、その導出過程も解答用紙の所定欄に記入すること。
- 5 解答以外のことを書いたときは、該当箇所の解答を無効とすることがある。
- 6 解答用紙の裏面は計算等に使用してもよいが、採点はしない。
- 7 解答終了後、配付された解答用紙はすべて提出すること。
- 8 問題冊子の余白は下書きに使用してもよい。
- 9 問題冊子は持ち帰ること。

# 問題訂正

科目名：中期日程 理科問題 (物理)

《訂正箇所》 8 ページ 第2問 下から8行目

誤

…距離  $h$  の点 A に…

正

…距離  $h$  の点 A' に…

(余 白)

# 物 理

## 第 1 問 (60点)

水槽に水(密度  $\rho$ )を入れ、密度  $\rho'$  ( $\rho' < \rho$ )、底面積  $S$ 、高さ  $l$  の円柱状の物体を上面が水平となるように水に浮かべた。密度  $\rho, \rho'$  が圧力によらず一定である場合に、物体の位置を変化させたときの物体の運動について考えよう。水槽の水平方向の断面積は十分広く、水面の高さは物体の位置によって変わらないとする。物体の運動は鉛直方向のみを考え、横ゆれや回転運動などはしないものとし、水面および物体の上面は常に水平に保たれており、水面に波は生じないものとする。また、水の表面張力および空気抵抗は無視する。図 1(a) のように水面の位置を原点として鉛直上向きに  $x$  軸をとる。物体の上面の位置を  $x$  とする。重力加速度の大きさを  $g$ 、円周率を  $\pi$  とし、以下の (1)~(12) の問いに答えよ。なお、星印(★)のある問いについては解答の導出過程を書かなくてよい。

まず、物体に重力と浮力のみがはたらいており、水による抵抗力がない場合について考える。物体を静かに水槽に浮かべると、物体は、図 1(a) のように水面から物体の上面までの高さが  $x_0$  となる位置に静止した。

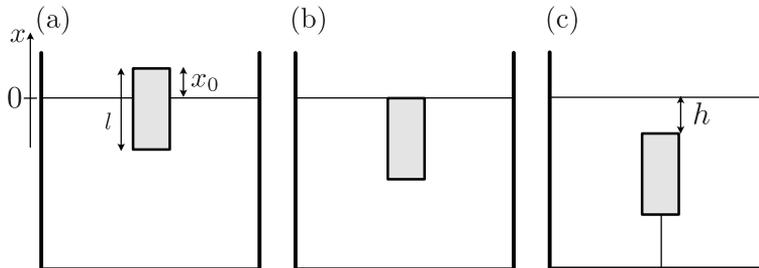


図 1

- (1)  $x_0$  を求めよ。
- (2) 図 1(a) の状態から物体をわずかに引き上げ、静かに放すと、物体の上面と底面はそれぞれ水面を横切ることなく、物体は単振動した。この振動の周期を  $g, l, \rho, \rho'$  を用いて表せ。
- (3) 物体を、図 1(a) の状態から、図 1(b) のように物体の上面が水面の高さに等しくなるまで押し込んだ。このとき外力がした仕事を  $g, x_0, S, \rho$  を用いて表せ。

(4) 図1(b)の状態を物体を静かに放した場合に、物体の底面が水面を越えることなく単振動するための $\rho'$ の条件を求めよ。

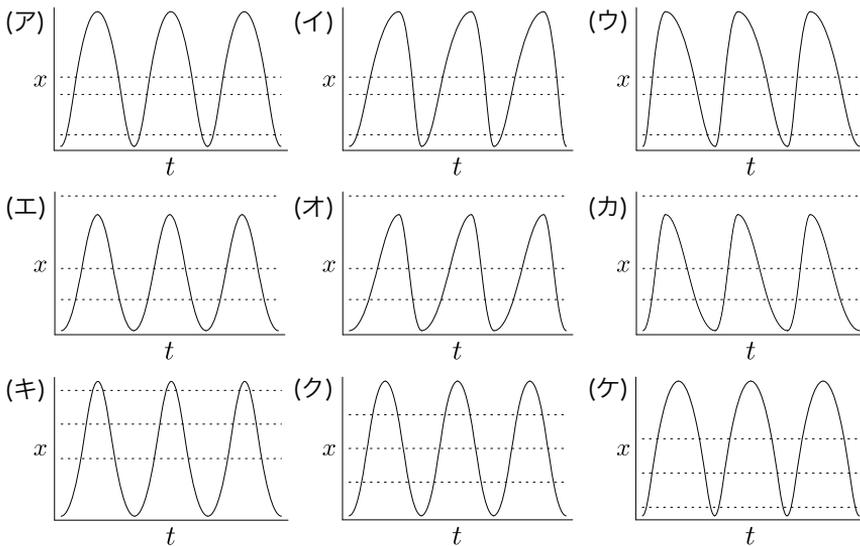
(5)\* 物体を、図1(b)の状態から、図1(c)のように物体の上面が水面より $h$ だけ低くなるまで押し込んだ。このとき外力がした仕事を $g, h, x_0, S, \rho$ を用いて表せ。

物体が図1(c)の位置に静止するよう物体の底面に軽い糸をつけた。図1(c)の状態を物体が静止しているときに糸を切った場合の物体の運動について考える。ただし、水面付近における物体と水面との衝突などによる影響は無視できるものとする。

(6)\*  $h$ の値が十分大きく、物体全体が水中から飛び出すとする。このとき、物体の加速度の $x$ 成分 $a$ について、その最小値 $a_{\min}$ および最大値 $a_{\max}$ をそれぞれ $g, \rho, \rho'$ のうち必要なものを用いて表せ。

(7)\*  $h$ の値が十分大きい場合に、物体の加速度 $a$ を物体の位置 $x$ に対して図示せよ。

(8)\* 糸を切って物体が上昇した後、物体は水面付近で上下運動した。物体および押し込む深さを変えて $\rho'$ および $h$ を様々な値にしたとき、この上下運動における $x$ の時間変化を正しく表すグラフを選択肢の中からすべて選べ。選択肢の図における3本の点線は $x = 0, x = x_0, x = l$ を表す。ただし、該当するものが無い場合には「なし」と書け。



(8)の選択肢 (図中の $t$ は時刻を表す)

以下では、水による抵抗力がある場合について考える。物体の振幅は小さく、水による抵抗力は、空気による抵抗力と同様に速度に比例する力として表されるものとする。図2のように、水槽を加振器の上のせた。加振器は、上部のステージを鉛直方向に周期的に変位させることができる。このとき、水槽の水面の鉛直方向の変位は加振器のステージの変位と一致している。ここで、図2のように常に水面が  $x = 0$  となるように座標軸をとり、 $x_0$  を加振器を動作させる前の物体のつり合いの位置として、物体の水面に対する相対的な運動を考える。加振器のステージの振動を開始してから十分に時間がたった後、物体は水面近くで上下方向に周期的に振動した。ただし、物体の上面と底面は水面を横切らないものとし、水面および物体の上面は常に水平に保たれており水面に波は生じないものとする。

物体の時刻  $t$  での速度の  $x$  成分  $v$  が、単振動と同様に、その最大値  $v_0$  および加振器の角振動数  $\omega$  を用いて  $v = v_0 \sin \omega t = v_0 \cos \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right)$  と表されたとする。このとき、変位と速度との関係および速度と加速度との関係は、単振動の場合と同様に表される。

(9)\* 物体の変位  $x - x_0$  および加速度の  $x$  成分  $a$  をそれぞれ  $t, v_0, \omega$  を用いて表せ。

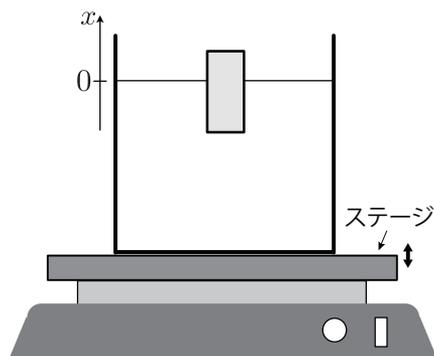


図2

この物体の周期的振動を、位相を考慮してベクトル的に表すと図3(a)となり、RLC直列回路における周期的振動を表した図3(b)と対応させることができる。ここで、抵抗力の  $(-1)$  倍は正の係数  $\gamma$  を用いて  $\gamma v$  と表され、復元力の  $(-1)$  倍は正の係数  $k$  を用いて  $k(x - x_0)$  と表され、それぞれ、抵抗に加わる電圧  $V_R$ 、コンデンサーに加わる電圧  $V_C$  と対応する。物体の質量を  $m$  とすると、 $ma$  はコイルに加わる電圧  $V_L$  に対応する。加振器のステージの振動により物体にはたらく慣性力  $f$  は回路全体に加わる交流電圧  $V$  に対応し、加振器の角振動数

は交流電源の角周波数に対応する。また、図3は、 $V$  と  $V_R, V_L, V_C$  との間に成り立つ関係式と同様の関係式が  $f$  と  $\gamma v, ma, k(x - x_0)$  との間に成り立つことを示している。

- (10) 慣性力が最大値  $f_0$  と位相差  $\phi$  を用いて  $f = f_0 \sin(\omega t + \phi)$  と表されるとしたとき、 $v_0$  を  $f_0, k, m, \gamma, \omega$  を用いて表せ。
- (11)\* 加振器の角振動数  $\omega$  を調節すると、物体は RLC 直列回路の場合と同様に共振し、ある  $\omega$  で  $v_0$  は最大値をとる。このときの  $\omega$  を  $k, m$  を用いて表せ。
- (12) 角振動数  $\omega$  を変化させたところ、 $v_0$  の値が (11) の共振の場合のちょうど半分になった。このときの慣性力  $f$  と物体の速度  $v$  の間の位相差  $\phi$  [rad] を求めよ。

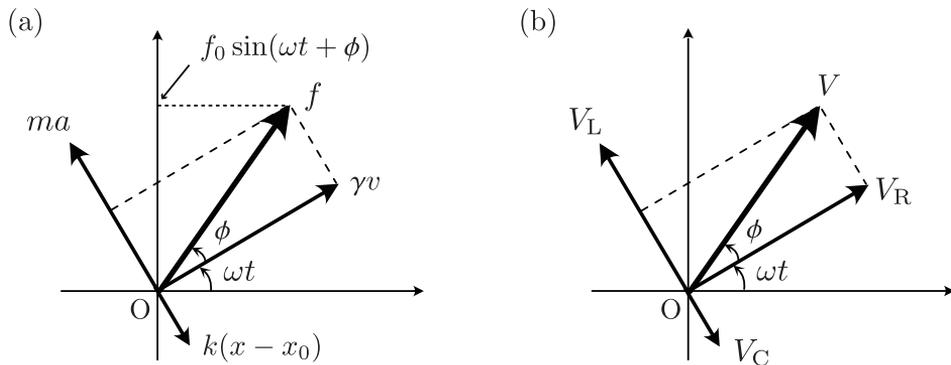


図3

(以下余白)

# 物 理

## 第 2 問 (60点)

光の屈折・反射に関して考察した以下の文章中の空欄 (1a) ~ (12) を埋めよ。ただし、空欄内に指定された物理量がある場合には、それらの中から必要なものを用いて答えよ。また、(10) は解答欄の図中に適切な線を描き入れ、(12) は選択肢から最も適切なものを選んで記号で答えよ。角度の単位はラジアン [rad] を用いる。なお、星印 (★) のある空欄については解答の導出過程を書かなくてよい。

“フェルマーの原理”によると、ある点から出て他の点に到達する光の経路は、この2点間を結ぶ経路のうち、その光路長(光学距離)が最小となる経路と一致する。まず、フェルマーの原理を用いて屈折・反射の法則を考えよう。図1(a)のように絶対屈折率が $n_1$ および $n_2$ である2つの媒質を考え、点Aと点Bを結ぶ経路について考える。ただし、2つの媒質の境界面は平面であるとし、図1は境界面に垂直な平面を表す。同一媒質中では2点間を直線で結んだ場合に、光路長は最小となる。したがって、境界面に垂直でAとBを含む平面内において、境界面上の点PとAおよびBをそれぞれ線分で結んだ場合のPの位置を定めることで光の経路が定まる。図1(a)のように、APおよびBPと境界面の垂線がなす角をそれぞれ $\theta_1, \theta_2$ とする。点Pを境界面に沿って $\Delta x$ だけずらした場合の光路長の変化を考えるため、図1(b)のように、点P', 点Qをとり、 $\angle PAP' = \Delta\theta$ ,  $AP = l$ ,  $PP' = \Delta x$ とする。点AからPまでの光路長は (1a)★  $l, n_1$  であり、 $AQ =$  (1b)★  $l, \Delta\theta$ ,  $P'Q =$  (1c)★  $\Delta x, \theta_1, \Delta\theta$  である。ここで、三角関数の加法定理を用い、さらに、 $|\Delta\theta|$  は小さいとして  $\sin \Delta\theta \doteq \Delta\theta$ ,  $\cos \Delta\theta \doteq 1$ ,  $\Delta x \Delta\theta \doteq 0$  の近似を用いると、

$$(A \text{ から } P' \text{ までの光路長}) - (A \text{ から } P \text{ までの光路長}) \doteq (2) \ n_1, \Delta x, \theta_1$$

となる。点BとPを結ぶ経路の光路長についても同様に考えることができる。よって、A-P'-Bの経路に対する光路長からA-P-Bの経路に対する光路長を引いた光路長の変化量は (3)★  $n_1, n_2, \theta_1, \theta_2, \Delta x$  となる。光路長がPで最小であるための条件は、(3) = 0 であるので、図1(a)の $\theta_1$ と $\theta_2$ の間には (4a)★  $n_1, n_2, \theta_1, \theta_2$  の関係が成り立ち、屈折の法則が導かれる。反射について考える場合には、図1(c)のように、境界面上の点Pを経由した経路に対する光路長を考えればよく、光路長が最小の条件を満たす場合には、図1(c)の $\theta_1$ と $\theta_2$ について (4b)★  $\theta_1, \theta_2$  の関係が導かれる。

以下では、真空中での曲面鏡による光の反射について考える。

図2のような長軸の長さが $a$ で短軸の長さが $b$ の楕円を、長軸のまわりに回転して得られる回転楕円面の内側を鏡面とした楕円面鏡を考える。楕円面鏡では、長軸上のある点から出た光はすべて長軸上のある点に到達するという性質をもつ。このことを確かめよう。図2のように楕円の中心を原点として $x$ 軸と $y$ 軸をとる。 $xy$ 平面内において、点 $F(c, 0)$  ( $0 < c < a$ )から出て鏡面上の点 $P(x, y)$ を経由して点 $F'(-c, 0)$ に到達する光を考える。点 $P$ は楕円上の点なので式 $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ を満たすことを用いると、距離 $FP$ を $x$ の関数として表すことができる。ここで、 $c = \boxed{(5) a, b}$ であるとすると、 $FP = \frac{c}{a} \left| x - \frac{a^2}{c} \right|$ 、 $F'P = \boxed{(6) a, c, x}$ となり、 $FP + F'P = \boxed{(7) a, c}$ は定数となることがわかる。点 $P$ での楕円の接線を $T$ とし、 $T$ 上の点を $P'$ とする。点 $P'$ が点 $P$ と一致しない場合には $P'$ は楕円の外にあるため、 $FP' + F'P' > \boxed{(7)}$ を満たす。したがって、 $T$ の位置に平面鏡があったとすると、フェルマーの原理より $F$ から出た光は $P$ を経由して $F'$ に到達することになる。このことから、楕円面鏡では $F$ から出た光は楕円面鏡上の点 $P$ の位置によらず $P$ で反射されて常に $F'$ に到達する。

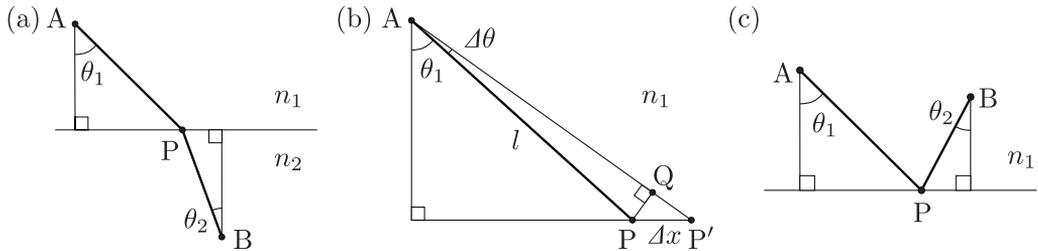


図1

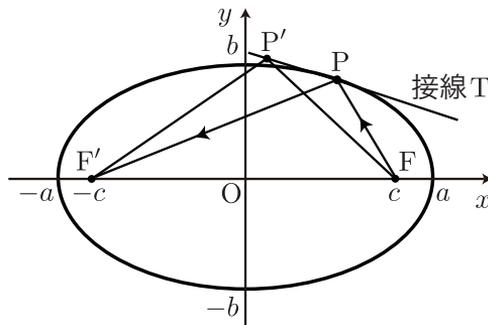


図2

図2の楕円は、点Fを固定して  $d = a - c$  を一定に保ったまま点F'を  $x$  軸に沿って負方向の無限遠に移動させると図3のような曲線になる。この曲線をHとする。点Fから  $x$  軸正の方向に距離  $2d$  だけ離れた  $y$  軸に平行な直線をLとすると、「HはFからの距離とLからの距離が等しい点の集合である」ことが知られている。すなわち、H上の点PからLに下ろした垂線とLとの交点をBとすると、 $FP = BP$  が成り立つ。図3は、図2の座標の原点をHと  $x$  軸の交点にとりなおして、HとLを示したものである。点Pの座標を  $(x, y)$  とし、 $FP^2 = BP^2$  であることを用いると、曲線Hを表す方程式は  $(8) \ x, y, d$  となる。

ここで、曲線Hを  $x$  軸のまわりに回転してできる曲面の内側を鏡面とした曲面鏡Mを考える。点F'は  $x$  軸上の無限遠にあるので、 $x$  軸に平行な光はMで反射されてFに到達することが予想される。このことを確かめよう。図3のように、自然長とばね定数が等しい2つのばね  $S_1$  と  $S_2$  が連結されており、連結点での角度は自由に変化することができる。ただし、ばねの自然長は  $d$  より短いとする。また、 $S_1$  の端はFにつながれ、 $S_2$  の端はLに沿って固定されたレールにつながれている。 $S_1$  はFのまわりを自由に回転でき、 $S_2$  はレールに沿って自由に動くことができる。 $xy$  平面内で、2つのばねの連結点に外から力を加えて、力のつりあいを保ったままゆっくりと動かすと、連結点Pは曲線H上を動くことになる。図3のように外力と  $x$  軸に平行な線分PQとのなす角を  $\phi$  とすると、2つのばねのなす角  $\angle FPB$  は  $(9)^* \ \phi$  となる。したがって、反射の法則により、図3の点Qから  $x$  軸に平行に出た光は、Mで反射されてFに到達することがわかる。また、M上の点Pは常に  $FP = BP$  を満たし  $PQ + FP = PQ + BP$  であるので、M上の点を経由してQとFを結ぶ経路の長さは、QからMまでの経路が  $x$  軸に平行である場合に最小となることがわかり、フェルマーの原理に従うことがわかる。

最後に、図4のように  $x$  軸上のOからの距離  $h$  の点Aに  $d$  より十分小さな物体  $AA'$  を置く。 $d < h < 2d$  のとき、 $AA'$  から出た光は、鏡Mで反射された後に、 $AA'$  より大きな実像をつくる。実像の大きさと位置を求めるために、最も適切なAから出る2本の光線を描くと  $(10)^*$  となる。これらの光線がMにより反射される点と  $y$  軸との距離は、 $AA'$  が  $d$  より十分小さい場合には、 $d$  より十分小さく0であると近似できる。この近似を用いて、実像の大きさは  $AA'$  の  $(11a) \ h, d$  倍となり、 $y$  軸と実像との距離は  $(11b) \ h, d$  となる。しかし、物体が大きな場合には、Mと  $y$  軸との間の距離が無視できなくなる。例えば、図5のような透明な板に描かれた枠線と文字が作る実像を考えよう。文字の書かれた面をMに向

けて、図中に×印で示した枠線の中心が点A'の位置となるように、板をx軸に垂直に置いた。さらに、y軸からの距離が(11b)の位置にx軸に垂直に半透明のスクリーンを置いた。このとき、スクリーンに現れる実像をx軸の負の側から見ると(12)\*となる。ただし、枠線や文字がスクリーン上に作る影は考慮しなくてよい。また、図5および選択枝の矢印はy軸正の向きを表す。

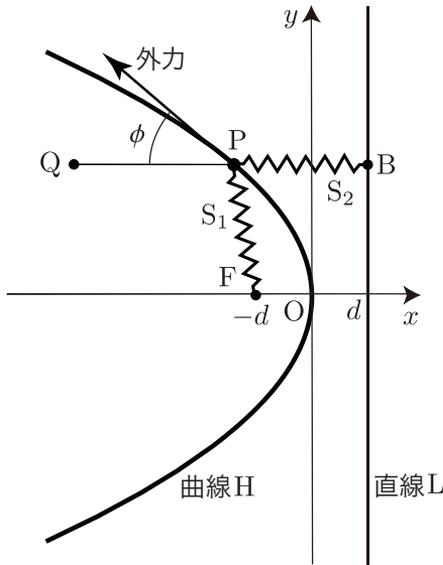


図3

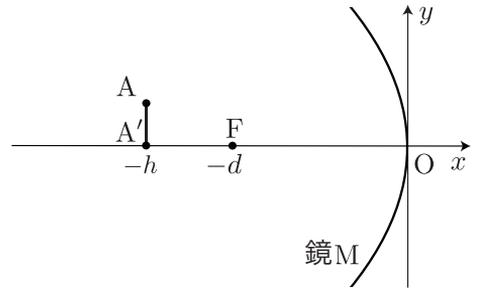


図4

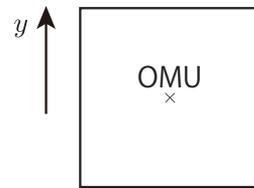
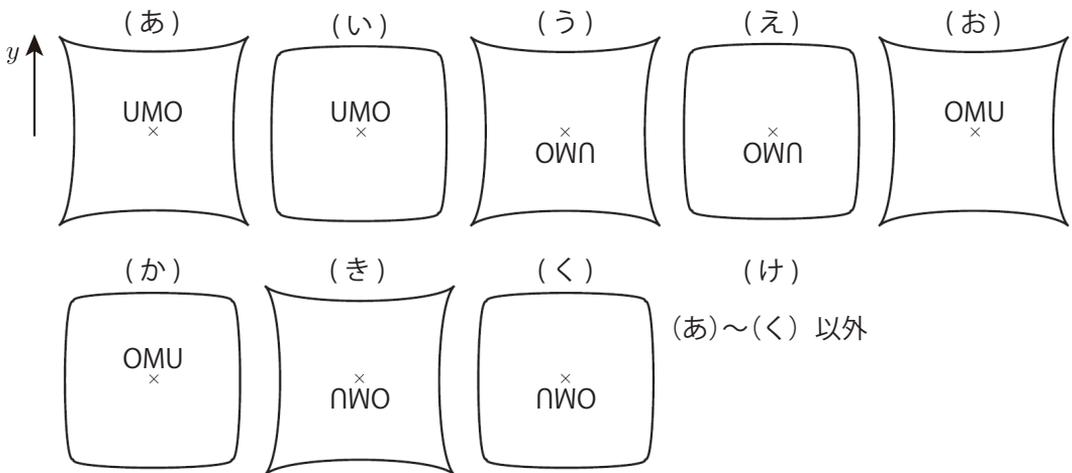


図5



(12)の選択枝

# 化 学

## 第 1 問 (24点)

次の文章を読み、問1から問5に答えよ。気体はすべて理想気体であるとする。また、原子量は  $\text{Fe} = 56$ 、 $\text{Cu} = 64$  とする。

鉄の単体は灰白色の光沢のある金属で、塩酸と反応し、水素を発生して溶ける。一方、鉄の単体は濃硝酸には溶けない。これは、金属表面に緻密な酸化被膜が生じ、内部を保護する状態になるからである。このような状態を  という。

銅の単体は赤色の光沢のある金属で、塩酸には溶けないが、濃硝酸とは反応し、気体 **A** を発生して溶ける。**A** は式①のように、2分子の **A** が結合した気体 **B** と平衡状態にある。



銅の単体の製造には、<sup>(a)</sup>電解精錬が用いられる。粗銅中に不純物として含まれている金属のうち、銅より  が小さい金属は単体のまま陽極泥として沈殿する。この現象は、銀や金などの単体の回収に利用されている。

硫酸銅(II)水溶液に少量のアンモニア水を加えると、青白色の沈殿が生じる。この沈殿に過剰のアンモニア水を加えると、沈殿は溶けて深青色の水溶液になる。 <sup>(b)</sup>一方、硝酸銀水溶液に塩酸を加えると塩化銀の沈殿が生じる。塩化銀に光を当てると、分解して銀の粒子が遊離する。 <sup>(c)</sup>このようなハロゲン化銀の性質は、フィルム写真の感光剤に利用されている。

問1 文中の 、 にあてはまる最も適切な語句をそれぞれ記せ。

問2 気体 **A** に関する、次の(1)と(2)の問いに答えよ。

(1) **A** の化学式を記せ。また、**A** の色に最も近い色を、次の(あ)～(お)の中から選び、記号で答えよ。

(あ) 黄緑色 (い) 赤褐色 (う) 青紫色 (え) 黒色 (お) 無色

(2) ある条件下で、 $n$  [mol] の **A** (モル質量  $M$  [g/mol]) を、容積を自由に定めることのできる密閉容器に入れた。この容器内の気体をある温度、ある圧力に保つと、式①で表される可逆反応が進行し、平衡状態に達した。このとき、**B** の物質量は  $b$  [mol] であり、混合気体の密度は  $d$  [g/L] であった。平衡状態における気体のモル体積を  $V$  [L/mol] とするとき、 $b$  を  $n$ 、 $M$ 、 $d$  および  $V$  を用いて表せ。

問3 下線部 (a) に関して、不純物として鉄と銀のみを含む粗銅板と純銅板を電極とし、硫酸酸性の硫酸銅(II)水溶液の電気分解を行った。直流電流を一定時間流したところ、陽極の質量が 79.32 g 減少し、陰極の質量が 78.08 g 増加した。また、水溶液中の銅(II)イオンが 0.0200 mol 減少した。陽極泥として生じた銀の質量は何 g か。有効数字 2 桁で答えよ。ただし、流れた電流はすべて金属の溶解と析出に使われ、気体は発生しないものとする。また、粗銅中の鉄は鉄(II)イオンとして溶け出し、そのまま水溶液中に残るものとする。

問4 下線部 (b) の反応をイオン反応式で記せ。

問5 下線部 (c) に示した塩化銀の光分解のほかにも、光が関わる化学反応は存在する。光が関わる化学反応に関する次の (あ) ~ (え) の記述のうち、下線部に誤りを含むものを選び、記号で答えよ。

(あ) 酸素に紫外線を照射すると、酸素の同素体であるオゾンが生じる。

(い) 水素と塩素の混合気体に強い光を照射すると、爆発的に反応して、塩化水素が生じる。

(う) 植物は光合成でグルコースなどの糖類を生成する。二酸化炭素と水からグルコースと酸素が生成する反応は、発熱反応である。

(え) ベンゼンと塩素の混合物に光(紫外線)を照射すると、付加反応により、1, 2, 3, 4, 5, 6-ヘキサクロロシクロヘキサンが生じる。

# 化 学

## 第 2 問 (24点)

次の文章を読み、問1から問3に答えよ。原子量は  $O = 16.0$  とする。

化学的酸素要求量 (COD) は水質汚濁の指標の一つであり、水 1 L 中に存在する有機化合物などを酸化させるのに必要な酸化剤の量を、酸素を酸化剤として用いるときの酸素の質量 [mg] に換算したものである。<sup>(a)</sup> 実際の COD の測定には、一般に酸化剤として過マンガン酸カリウムが用いられる。

一方、大気中には揮発性有機化合物 (VOCs) が存在する。その中で、BTEX と呼ばれる一群の化合物がある。<sup>(b)</sup> BTEX とはベンゼン、トルエン、エチルベンゼン、キシレンの総称であり、これらの環境への影響が懸念されている。 また、VOCs は大気中で生成するオゾンの原因物質として知られている。地表付近の大気中に存在するオゾンは人体や植物などに対して有害であるため、<sup>(c)</sup> その濃度が測定されている。

問1 下線部 (a) に関して、COD を測定する実験について記した次の文章を読み、

(1) ~ (3) の問いに答えよ。

池の水 50.0 mL を  にとり、硫酸を加えて酸性にした。その中に、 を用いてはかり取った  $2.00 \times 10^{-3}$  mol/L の過マンガン酸カリウム水溶液 10.0 mL を加えた。その後、この水溶液を加熱すると赤紫色は薄くなったが、色は消えなかった。次に、 を用いてはかり取った  $5.00 \times 10^{-3}$  mol/L のシュウ酸ナトリウム水溶液 10.0 mL を加え、 を十分振り混ぜると赤紫色が消えた。 内の水溶液の温度を  $60^\circ\text{C}$  に保ち、 $2.00 \times 10^{-3}$  mol/L の過マンガン酸カリウム水溶液を  を用いて滴下しながら、 を振り混ぜた。振り混ぜても薄く色がつき、赤紫色が消えなくなった時点で、滴下した過マンガン酸カリウムがシュウ酸イオンと過不足なく反応したとし、滴下を終了した。滴下した過マンガン酸カリウム水溶液の体積は 2.00 mL であった。

(1) 文中の ア ～ ウ にあてはまる最も適切な器具を、次の (あ) ～ (か) の中からそれぞれ選び、記号で答えよ。

- (あ) コニカルビーカー      (い) 駒込ピペット      (う) ビュレット  
(え) メスフラスコ      (お) 試験管      (か) ホールピペット

(2) 過マンガン酸カリウムを用いる酸化還元滴定は、この実験のように、酸性条件下で行われる。過マンガン酸イオンは中性や塩基性条件下でも酸化剤としてはたらくが、そのはたらき方は酸性条件下とは異なる。中性や塩基性の水溶液中における、過マンガン酸イオンの酸化剤としてのはたらき方を、電子  $e^-$  を含むイオン反応式で記せ。

(3) この実験結果から求められる池の水の COD は何 mg/L か。有効数字 2 桁で答えよ。なお、この実験における過マンガン酸イオンとシュウ酸イオンのイオン反応式は式①で、酸素の水溶液中での酸化剤としてのはたらき方は式②で表される。



問 2 下線部 (b) に関して、芳香族炭化水素 **A** ～ **D** は BTEX のうちのいずれかであり、次の記述 I と II に示す特徴をもつ。トルエンとエチルベンゼンにあてはまる化合物を、**A** ～ **D** の中からそれぞれ選び、記号で答えよ。

I **A**, **B**, **C** をそれぞれ酸化させてできる芳香族カルボン酸が、ベンジルアルコールにより完全にエステル化された化合物をそれぞれ **E**, **F**, **G** とする。ある溶媒に同じ質量の **E** ～ **G** を溶かした 1.0 L の希薄溶液それぞれについて、同じ温度での浸透圧は **G** を溶かした溶液が最も低い。

II **A** ～ **D** をそれぞれ完全燃焼させるとき、生成する水に対する二酸化炭素の物質質量比は **D** が最も大きく、次に大きいのは **B** である。

問3 下線部(c)に関して、オゾンの濃度を測定する方法の一つとして、ヨウ化カリウム水溶液を用いるオゾンセンサーがある。図にオゾンセンサーの概要を示す。オゾンはすべて水溶液中で式③のように $\text{I}^-$ と反応し、 $\text{I}_2$ を生成する。



生成した $\text{I}_2$ はすべて、正極で式④のように反応し、 $\text{I}^-$ に戻る。



一方、負極では式⑤のような反応が起こる。



式③～⑤の反応により流れる電流の値からオゾン濃度を求めることができる。オゾンセンサーに1分間あたり1.0 Lの空気を流し続けると、式③～⑤の反応が起こり、電流計の値は $9.65 \times 10^{-6} \text{ A}$ で一定であった。この空気中のオゾンの濃度は何 mol/Lか。有効数字2桁で答えよ。ただし、式③～⑤以外の反応は起こらないものとし、発生した電流はすべて式③～⑤の反応によるものであるとする。ファラデー定数は $9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$ とする。

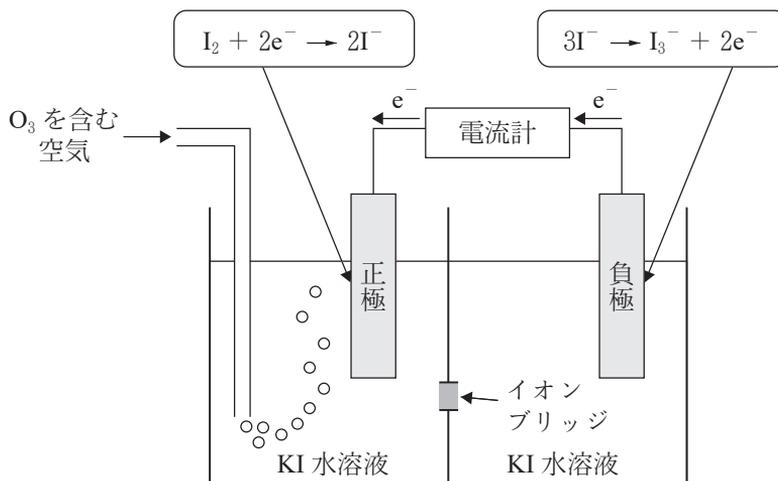


図 オゾンセンサーの概要 (イオンブリッジは素焼き板などと同じはたらきをするものである。)

(余 白)

# 化 学

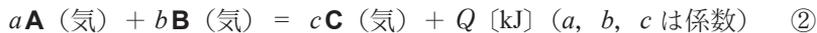
## 第 3 問 (24点)

次の文章を読み、問1から問6に答えよ。原子量は  $H = 1.0$ ,  $N = 14$ ,  $O = 16$  とする。

窒素と水素からアンモニアが生成する可逆反応がある。この反応の熱化学方程式は、  
(a)式①で表される。



気体 **A** と気体 **B** から気体 **C** が生成する可逆反応の熱化学方程式は、反応熱  $Q$  を用いて式②で表される。



このような可逆反応の反応速度や平衡状態を調べるため、気体 **A** と気体 **B** を密閉容器  
(b)に入れて気体 **C** を生成する実験を、さまざまな条件のもとで行った。

問1 アンモニアに関する次の (あ) ~ (か) の記述のうち、正しいものをすべて選び、記号で答えよ。

- (あ) アンモニアソーダ法で製造することができる。
- (い) 無極性分子である。
- (う) 肥料の原料として用いられる。
- (え) 水中で金属イオンとイオン結合することで錯イオンを形成する。
- (お) 1組の非共有電子対をもつ。
- (か) 塩化水素と反応すると白煙を生じる。

問2 下線部 (a) に関連して、生成したアンモニアを水に溶解させて得られたアンモニア水 **D** の水素イオン濃度は  $1.0 \times 10^{-12} \text{ mol/L}$  であった。 **D** の質量パーセント濃度は何 % か。有効数字 2 桁で答えよ。ただし、 **D** の電離度は  $2.4 \times 10^{-3}$ 、密度は  $9.6 \times 10^{-1} \text{ g/cm}^3$  とする。水のイオン積は  $1.0 \times 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{L}^2$  とする。

問3 式①を用いて  $\text{N}\equiv\text{N}$  の結合エネルギー  $[\text{kJ/mol}]$  を求め、整数で答えよ。ただし、 $\text{H}-\text{H}$  の結合エネルギーおよびアンモニア分子中の  $\text{H}-\text{N}$  の結合エネルギーはそれぞれ  $436 \text{ kJ/mol}$ ,  $391 \text{ kJ/mol}$  とする。

問4 窒素と水素から  $4.1 \text{ mol}$  のアンモニアが生じるときに発生する熱を用いて、 $59^\circ\text{C}$  の水（液体） $200 \text{ g}$  を加熱する。このとき蒸発する水は何  $\text{g}$  か。有効数字2桁で答えよ。ただし、アンモニアが生じる反応の熱化学方程式は式①で表されるものとする。また、発生する熱はすべて水の加熱に用いられ、蒸発は水の沸点  $100^\circ\text{C}$  においてのみ起こるものとする。水（液体）の比熱は  $4.2 \text{ J}/(\text{g}\cdot\text{K})$ 、水の  $100^\circ\text{C}$  での蒸発熱は  $41 \text{ kJ/mol}$  とする。

問5 下線部 (b) について、水素と気体のヨウ素を容積一定の密閉容器に入れて、温度を一定に保ちながらヨウ化水素を生成する実験を行った。反応開始直後におけるヨウ化水素の生成速度が大きくなる操作を、次の (あ) ~ (え) の中からすべて選び、記号で答えよ。

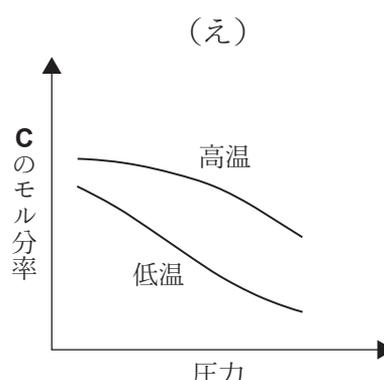
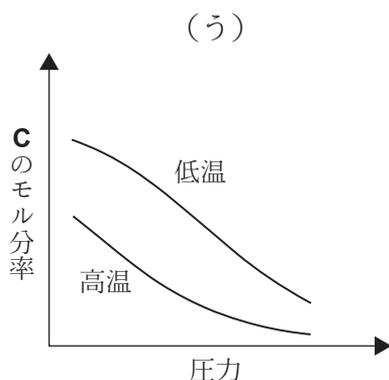
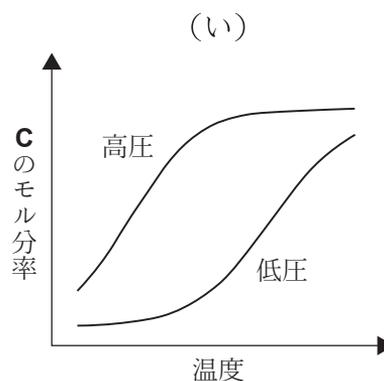
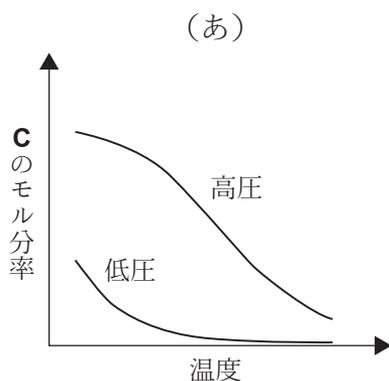
- (あ) 水素の物質量は変えずに、ヨウ素の物質量を2倍にする。
- (い) 水素とヨウ素の物質量は変えずに、容積が2倍の密閉容器を使用する。
- (う) 触媒を加える。
- (え) 温度を下げる。

(次ページに続く)

問6 式②の係数と反応熱  $Q$  が次の表のように表される反応 X と Y がある。

反応	係数の関係	$Q$ の値の正負
X	$(a + b) < c$	$Q < 0$
Y	$(a + b) > c$	$Q > 0$

それぞれの反応について、容積を自由に変わることができる密閉容器に **A** と **B** を入れて、下線部 (b) の実験を行った。反応前の **A** と **B** の物質質量比は  $a : b$  であった。平衡状態における **C** のモル分率と、容器内の温度および圧力との関係を表すグラフはどのようになるか。反応 X と Y について最も適切なものを、次の (あ) ~ (え) の中からそれぞれ選び、記号で答えよ。

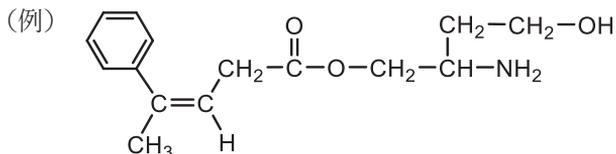


(余 白)

# 化 学

## 第 4 問 (24点)

次の文章を読み、問1から問6に答えよ。原子量は  $H = 1.0$ ,  $C = 12$ ,  $N = 14$ ,  $O = 16$  とする。なお、構造式は例にならって記せ。



分子式が  $C_6H_{14}$  であるアルカン **A** および **B** に、塩素を加えて光を当てると置換反応が起こり、それぞれ複数種類の化合物が生じた。これらの中で、**A** と **B** の水素原子の1つだけが塩素原子に置き換わった化合物について調べた。鏡像異性体も区別すると、**A** からは4種類、**B** からは3種類の化合物が生じていた。

ベンゼンでは、水素原子が他の原子や原子団と置き換わる置換反応が起こる。濃硝酸と濃硫酸の混合物(混酸)をベンゼンに加えて反応させると、ニトロベンゼンが生じた。ニトロベンゼンを濃塩酸とスズで還元したのち水酸化ナトリウム水溶液を加えて遊離させた化合物に、無水酢酸を作用させると芳香族化合物 **C** が生成した。

ベンゼンの一置換体である2種類のエステル **D** と **E** について、これらの分子構造を調べた。**D** の分子式は  $C_{11}H_{12}O_2$  であり、加水分解すると化合物 **F** と **G** が得られた。14.4 mg の **G** を完全燃焼させると、35.2 mg の二酸化炭素と 14.4 mg の水を生じた。**G** は不斉炭素原子を1つもち、適切な触媒を用いて水素と反応させると、1 mol の **G** には 1 mol の水素分子が付加した。

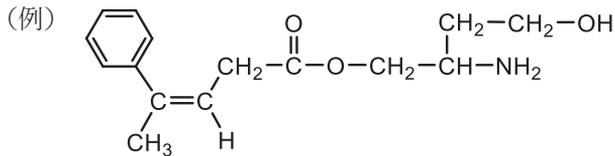
また、**E** の分子式は  $C_{10}H_{12}O_2$  であり、**E** を加水分解すると化合物 **H** と **I** が得られた。**H** は (a) ヨードホルム反応を示し、**H** を適切な反応条件で酸化した物質はフェーリング液を還元し、赤色の沈殿が生じた。 **I** はベンゼン環をもち、(b) **I** に炭酸水素ナトリウム水溶液を加えると気体が発生した。



# 化 学

## 第 5 問 (24点)

次の文章を読み、問1から問6に答えよ。原子量は H = 1.0, C = 12, N = 14, O = 16 とする。なお、構造式は例にならって記せ。



合成高分子は、石油などを原料としてつくられる。代表例として、ポリエチレンテレフタレート、ポリエチレン、ナイロン66などがあげられる。ナイロン66はアミド結合アが多数形成されるため、高い強度を示す。合成高分子の多くは、分子鎖が比較的規則的に配列した結晶部分と、分子鎖が不規則に配列した非結晶部分が入り混じった不均一な構造をとる。

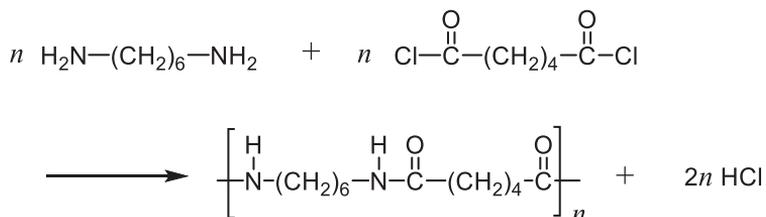
問1 下線部(a)について、ポリエチレンテレフタレートは2価カルボン酸と2価アルコールの縮合重合によって得られる。原料となるカルボン酸とアルコールの構造式をそれぞれ記せ。

問2 下線部(b)について、ポリエチレンに関する次の(あ)～(お)の記述のうち、正しいものをすべて選び、記号で答えよ。

- (あ) ポリエチレンはエチレンを縮合重合することによって得られる。
- (い) 低密度ポリエチレンは高圧条件で合成される。
- (う) 高密度ポリエチレンは枝分かれが多い。
- (え) 高密度ポリエチレンは灯油の容器に用いられる。
- (お) 高密度ポリエチレンは熱硬化性樹脂であり、低密度ポリエチレンは熱可塑性樹脂である。

問3 文中の ア にあてはまる最も適切な語句を記せ。

問4 下線部(c)について、ヘキサメチレンジアミンとアジピン酸ジクロリドを反応させると次式のようにナイロン66が生成する。後の実験操作I～IVによりナイロン66を合成した。(1)と(2)の問いに答えよ。



【実験操作】

- I 1.0 mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液 20 mL に 1 g のヘキサメチレンジアミンを溶かし、溶液 **A** を得た。
- II ヘキサン 20 mL にアジピン酸ジクロリド 1.0 mL を加え、溶液 **B** を得た。
- III 溶液  を、もう一方の溶液に静かに加えると上層と下層の2層に分かれ、その界面にナイロン66の膜が生じた。
- IV 界面に生成したナイロン66をピンセットで静かに引き上げ、アセトンと水で交互に洗い、乾燥させた。回収したナイロン66の重量は0.113 gであった。

(1) 炭酸ナトリウム水溶液、硫酸ナトリウム水溶液、硫酸水素ナトリウム水溶液のうち、操作Iの水酸化ナトリウム水溶液の代わりに用いることのできる水溶液はどれか。また、 は操作IIIで上層となる溶液である。水酸化ナトリウム水溶液の代わりに用いることのできる水溶液と にあてはまる溶液の組み合わせとして最も適切なものを、次の(あ)～(か)の中から選び、記号で答えよ。

記号	水溶液	イ
(あ)	炭酸ナトリウム水溶液	<b>A</b>
(い)	炭酸ナトリウム水溶液	<b>B</b>
(う)	硫酸ナトリウム水溶液	<b>A</b>
(え)	硫酸ナトリウム水溶液	<b>B</b>
(お)	硫酸水素ナトリウム水溶液	<b>A</b>
(か)	硫酸水素ナトリウム水溶液	<b>B</b>

(2) 0.113 g のナイロン66にアミド結合は何個含まれるか。有効数字2桁で答えよ。ただし、アボガドロ定数は  $6.0 \times 10^{23} / \text{mol}$  とし、ナイロン66の末端の構造は無視できるものとする。

問5 下線部(d)に関連して、高分子中の結晶部分と非結晶部分の割合は、高分子の性質に影響を与える。非結晶部分の割合が増えると、密度、柔軟性、および透明度にどのような影響を与えるか。正しい組み合わせを次の(あ)～(く)の中から選び、記号で答えよ。

記号	密度	柔軟性	透明度
(あ)	大きくなる	増大する	増大する
(い)	大きくなる	増大する	減少する
(う)	大きくなる	減少する	増大する
(え)	大きくなる	減少する	減少する
(お)	小さくなる	増大する	増大する
(か)	小さくなる	増大する	減少する
(き)	小さくなる	減少する	増大する
(く)	小さくなる	減少する	減少する

問6 非結晶部分をもつ高分子は明確な融点を示さず、加熱していくと、ある温度でやわらかくなって変形するものが多い。この温度は何と呼ばれるか。その名称を記せ。