### 問題訂正

「化学」

### 訂正箇所

20ページの化学3 の問6の問題文の1行目

【誤】・・・それぞれ同じ質量はかり取り、完全に水に・・・

【正】・・・それぞれ同じ質量はかり取り、同量の水に完全に・・・

# 数 学, 理 科 (物理・化学)

4 0

### (後期日程)

「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		$2 \sim 6$	**************************************
TE 11	物 理	$7 \sim 13$	数学,物理,化学のうちから1つ
理 科	化 学	$14 \sim 26$	を選択し,解答してください。

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26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。

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. 解答用紙は全間とも表裏の計 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。

次のルールに従って1つのさいころを1回以上投げ、出た目を記録していく。

- 1 投目に出た目を記録する。
- 2 投目以降は、最後に記録された目よりも大きな目が出た場合に、出た目を記録 する。最後に記録された目より小さいか等しい目が出た場合は、出た目を記録 しない。
- 出た目が5以下の場合は再びさいころを投げ、出た目が6の場合は6を記録して終了する。

終了するまでにさいころを投げた回数を n とする。たとえば,1 投目に 3 が,2 投目に 2 が,3 投目に 5 が,4 投目に 6 が出た場合,n=4 となり,目の記録は 3, 5, 6 となる。次に答えよ。

- (i) n=2, かつ, 目の記録が 1, 6 となる確率を求めよ。
- (ii) n=3, かつ, 目の記録が 1, 6 となる確率を求めよ。
- (iii) n=3 の条件の下で、目の記録が 1、6 となる条件付き確率を求めよ。
- (iv)  $n = m \ (m \ge 2)$ , かつ, 目の記録が 3, 6 となる確率を, m を用いて表せ。
- (v) 1 投目で 1 を記録し、k 投目で 3 を記録し、m 投目で 6 を記録して (1 < k < m)、目の記録が 1、3、6 となる確率を、m と k を用いて表せ。
- (vi) n = m  $(m \ge 3)$ , かつ, 目の記録が 1, 3, 6 となる確率を, m を用いて表せ。

原点を O とする座標平面上の曲線  $y=x^3$   $(x \ge 0)$  を C とし、直線 y=ax (a>0) を l とする。さらに、C 上の点  $P(t, t^3)$  を通り l と垂直に交わる直線を m とし、l と m の交点を Q とする。次に答えよ。

- (i) 直線mの式をaとtを用いて表せ。
- (ii) 線分 PQ の長さを a と t を用いて表せ。
- (iii) 線分 OQ の長さ s を a と t を用いて表せ。
- (iv) 直線 l と曲線 C で囲まれた図形を l のまわりに 1 回転してできる立体の体積 V を a を用いて表せ。
- (v) a が変化するとき、 $\frac{V}{a^3}$  の最大値を求めよ。

### 数 学 3

自然数 n に対して整式  $f_n(x)$   $(n = 1, 2, 3, \dots)$  を

$$f_1(x) = x$$
,  $f_2(x) = 2x^2 - 1$ ,  
 $f_n(x) = 2x f_{n-1}(x) - f_{n-2}(x)$   $(n = 3, 4, \cdots)$ 

によって定める。ただし、 $-1 \le x \le 1$ とする。次に答えよ。

- (i)  $f_3(x)$  を x の整式で表せ。
- (ii)  $0 \le \theta \le \pi$  のとき、すべての自然数 n に対して  $f_n(\cos \theta) = \cos n\theta$  が成り立つことを数学的帰納法を用いて示せ。
- (iii) (ii) を用いて, $n \ge 2$  のとき, $|f_n'(x)| = \frac{n}{\sqrt{1-x^2}}$  をみたす x(-1 < x < 1) をすべて求めよ。
- (iv)  $\theta = \frac{\pi}{9}$  のとき、 $\cos \theta = \frac{q}{p}$  をみたす互いに素な自然数 p、q は存在しないことを 背理法で示せ。ただし、 $f_3(\cos \theta) = \cos 3\theta$  が成り立つことを用いてよい。

原点を O とする座標平面上に O とは異なる点 A と点 B があり、点 O, A, B は一直線上にないとする。また、OA = a、OB = b、 $\overrightarrow{OA} = \overrightarrow{a}$ 、 $\overrightarrow{OB} = \overrightarrow{b}$ 、 $\overrightarrow{a} \cdot \overrightarrow{b} = p$  とする。次に答えよ。

- (i) 点 A の座標が (2, 1), 点 B の座標が (1, 3) のとき,  $m\overrightarrow{a} + n\overrightarrow{b} = (1, -7)$  と なるように m, n を定めよ。
- (ii)  $|\stackrel{\rightarrow}{b} \stackrel{\rightarrow}{ta}|$  を最小にする実数 t とその最小値 s を a, b, p を用いて表せ。
- (iii)  $\stackrel{\rightarrow}{a}$  と  $\stackrel{\rightarrow}{b}$  のなす角を  $\theta$  とするとき、(ii) の最小値 s を b、 $\theta$  を用いて表せ。
- (iv) 点 A, B が  $a \le b$ ,  $\frac{|p|}{a^2} \le \frac{1}{2}$  をみたすとき,  $\overrightarrow{a}$  は,  $\overrightarrow{ma} + n\overrightarrow{b}$  (m, n は整数, m, m)  $\ne (0, 0)$

と表せるベクトルの中で、大きさが最小のベクトルであることを示せ。

(v) 点 A の座標を (1, 0) とし、点 B を第 1 象限内にある点とする。また、原点 O を基準とする位置ベクトルが

 $\overrightarrow{ma} + n\overrightarrow{b}$   $(m \in \{-1, 0, 1\}, n \in \{-1, 0, 1\}, (m, n) \neq (0, 0))$ 

である 8 個の点を考え,その中で  $\overrightarrow{OC} = -\overrightarrow{a} + \overrightarrow{b}$  をみたす点を C とする。原 点 O からこれら 8 個の点までの距離の中で距離 OC が最小となるとき,点 B が存在する領域を座標平面に図示せよ。

## 物理

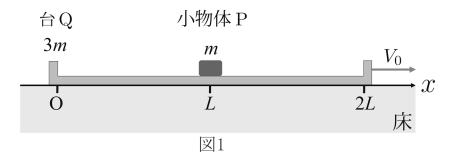
問題番号	ページ	解答用紙番号
物理1	8~9	5 1
物理2	10~11	5 2
物理3	12~13	5 3

#### 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。

# 物理 1

図1のように、水平でなめらかな床の上に質量 3m の台 Q を置き、その上に大きさの無視できる質量 m の小物体 P を置く。床に固定された、右向きを正とする x 軸を考える。台 Q の左端は x 軸の原点 O の位置にある。台 Q の長さは 2L であり、小物体 P は台 Q の中心の位置に置かれている。小物体 P と台 Q は x 方向にのみ運動するものとし、台 Q の両端の厚みは無視できるものとする。小物体 P,台 Q の速度および加速度は床に対するものとして、以下の設問に答えよ。

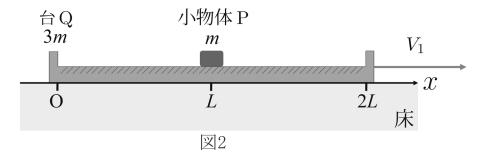


- 〔1〕台 Q に水平右向きに速さ  $V_0$  の初速度を与えた。そのときの時刻を t=0 とする。その後の小物体 P と台 Q の運動を考える。床と台 Q, および台 Q と小物体 P の間には摩擦ははたらかないものとし、小物体 P と台 Q の端との衝突は弾性 衝突とする。
  - (1) 台 Q に速さ  $V_0$  の初速度を与えてから台 Q の左端が小物体 P に最初に衝突するまでの時間  $t_1$  を数字ならびに m,  $V_0$ , L の中から必要なものを用いて表せ。
  - (2) 小物体 P の衝突直後の速度を  $v_{\rm P}'$ , 台 Q の衝突直後の速度を  $V_{\rm Q}'$  とする。 $v_{\rm P}'$  および  $V_{\rm Q}'$  を数字ならびに  $m,V_0,L$  の中から必要なものを用いて表せ。

小物体 P と台 Q は衝突した後, 運動し, その後, 二回目の衝突を起こす。

- (3) 一回目の衝突から二回目の衝突が起こるまでの時間  $t_2$  を数字ならびに m,  $V_0$ , L の中から必要なものを用いて表せ。
- (4) 二回目の衝突が起こる位置  $x_2$  を数字ならびに L を用いて表せ。
- (5) 小物体 P の二回目の衝突直後の速度を  $v_{\rm P}''$ , 台 Q の二回目の衝突直後の速度を  $V_{\rm Q}''$  とする。 $v_{\rm P}''$  および  $V_{\rm Q}''$  を数字ならびに m,  $V_0$ , L の中から必要なものを用いて表せ。
- (6) 横軸に時刻 t, 縦軸に x 座標をとり, 小物体 P の位置 x を時間の関数として解答欄にグラフを <u>実線で描け</u>。横軸の目盛間隔は (1) で求めた  $t_1$ , 縦軸の目盛間隔は L とし, グラフに描く時刻の範囲は  $0 \le t \le 7t_1$  とする。

- (7) 同様に、運動が始まってからの台 Q の左端の位置 x を時間の関数として解答 欄にグラフを <u>点線で描け</u>。(6) と同様、グラフに描く時刻の範囲は  $0 \le t \le 7t_1$  とし、(6) の解答で用いたグラフに重ねて示すこと。
- [2] 次に図2のように、台 Q と小物体 P の間に摩擦がはたらく場合を考える。小物体 P と台 Q の位置を設問〔1〕と同じ初期位置に戻した後、台 Q に水平右向きに速さ  $V_1$  の初速度を与えたところ、台 Q は床の上を滑り、小物体 P は台 Q の上を滑った。床と台 Q の間には摩擦ははたらかないものとし、小物体 P と台 Q の間の動摩擦係数を  $\mu'$ 、重力加速度の大きさを g とする。



小物体 P と台 Q が運動を始めてから最初の衝突が起こるまでの運動を考える。

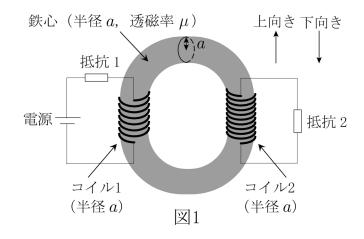
- (8) 小物体 P の加速度  $\alpha_P$ , 台 Q の加速度  $\alpha_Q$  を, 数字ならびに m,  $V_1$ , L,  $\mu'$ , g の中から必要なものを用いて表せ。
- (9) 運動が始まったときの時刻を t=0 とするとき, 時刻 t における台 Q の左端と小物体 P の間の距離 z を数字ならびに m,  $V_1$ , L,  $\mu'$ , g, t の中から必要なものを用いて表せ。

小物体 P は 台 Q の上を滑り, 台 Q の端に衝突した。

- (10) 運動が始まってから小物体 P が台 Q の端に衝突するまでの時間 T を数字 ならびに m,  $V_1$ , L,  $\mu'$ , q の中から必要なものを用いて表せ。
- (11) この衝突がおこるためには,  $V_1$  が  $\overline{V}_1$  より大きくなくてはならない。その 値  $\overline{V}_1$  を数字ならびに m, L,  $\mu'$ , g の中から必要なものを用いて表せ。
- [3] ふたたび小物体 P と台 Q の位置を図 2 と同じ初期位置に戻し、台 Q に水平右向きに速さ  $V_2$  の初速度を与えたところ、小物体 P は台 Q の上を滑ったが、今度は台 Q の端に達することなく、台 Q に対して静止した。床と台 Q の間には摩擦ははたらかないものとし、小物体 P と台 Q の間の動摩擦係数を  $\mu'$ 、重力加速度の大きさを q とする。
  - (12) 小物体 P が台 Q に対して静止するまでの間に失われた全体の運動エネル ギー  $\Delta E$  はいくらか。その大きさ  $\Delta E$  を数字ならびに  $m, V_2, L, \mu', g$  の中 から必要なものを用いて表せ。

# 物理2

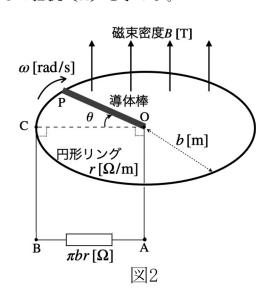
- [1] 図1に示すように半径が a [m] の円の断面をもち、透磁率が  $\mu$  [N/A²] である 環状の鉄心に 2 つのコイルを巻く。コイル 1 は巻数が  $N_1$  (単位長さ当たりの巻数  $n_1$  [1/m]) であり、コイル 2 は巻数が  $N_2$  (単位長さ当たりの巻数  $n_2$  [1/m]) である。2 つのコイルは図の向きに巻くものとする。コイル 1 には電源および抵抗値  $R_1$  [ $\Omega$ ] の抵抗 1 を、コイル 2 には抵抗値  $R_2$  [ $\Omega$ ] の抵抗 2 を接続する。磁束は鉄心内にのみ存在し、外部には漏れないとして以下の設問に答えよ。ただし、コイル 2 に生じた誘導電流の時間変化によって生じる影響は無視してよい。なお、円周率は  $\pi$  とする。
  - (1) 電源の電圧がV (V) で一定の電流が流れているとき、コイル1を貫く磁束 (Wb) を求めよ。数字ならびにV,  $R_1$ ,  $N_1$ ,  $n_1$ , a,  $\mu$ ,  $\pi$  から必要なものを用いて答えよ。
  - (2) 前問 (1) の状態から、電源の電圧を調整し時間 T [s] の間にコイル1に流れる電流を一定の割合で減少させ、ゼロになるようにした。電流を減少させている間の、コイル1の両端に発生する誘導起電力の大きさ [V] を求めよ。数字ならびに V,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $n_1$ ,  $n_2$ , a,  $\mu$ , T,  $\pi$  から必要なものを用いて答えよ。
  - (3) 前問 (2) のコイル 1 に流れる電流を減少させている間に, 抵抗 2 に流れる電流の大きさ〔A〕を求めよ。数字ならびに  $V, R_1, R_2, N_1, N_2, n_1, n_2, a, \mu, T, \pi$  から必要なものを用いて答えよ。
  - (4) 前問(3)について,抵抗2に電流が流れる理由を説明せよ。ただし,説明に必要となる法則,コイル1とコイル2に生じる磁場の向き,コイル2に生じる磁場の大きさの時間変化,抵抗2に流れる電流の向きについて言及し,200文字程度で説明せよ。なお,磁場および電流の向きについては,上向きか下向きかで解答せよ。



- [2] 図 2 のように、単位長さあたりの抵抗が r  $\{\Omega/m\}$  の抵抗線でつくられた半径 b  $\{m\}$  の円形リングが水平面内に置かれている。また長さ b  $\{m\}$  の導体棒 OP が、円形リングの円周に接し、円形リングの中心点 O を軸として回転できるように接続されている。この回転による摩擦はないものとする。導体棒の点 O および円形リング上の点 C の鉛直方向には、互いに平行な直線導体 OA および CB がそれぞれ接続され、AB 間には抵抗値  $\pi br$   $\{\Omega\}$  の抵抗が接続されている。 $\pi$  は円周率である。さらに、磁束密度の大きさ B  $\{T\}$  の一様な磁場が鉛直上向きに印加され、導体棒 OP が水平面内で一定の角速度  $\omega$   $\{rad/s\}$  で回転している。ただし、誘導電流の時間変化によって生じる影響は無視してよい。
  - (5) 導体棒 OP 内で、点 O からの距離が x [m] にある 1 つの電子(電荷 -e [C])が受ける力の大きさ f [N] を、数字ならびに  $b, e, x, B, \omega, \pi$  から必要なものを用いて答えよ。また、力の向き  $(O \rightarrow P$  または  $P \rightarrow O)$  を答えよ。
  - (6) 導体棒 OP が微小時間  $\Delta t$  [s] の間に磁場を横切る面積 S  $[m^2]$  を求めよ。 数字ならびに  $\Delta t$ , b, e, x, B,  $\omega$ ,  $\pi$  から必要なものを用いて答えよ。
  - (7) 導体棒 OP 間に発生する誘導起電力の大きさ E (V) を求めよ。数字ならび に  $\Delta t$ , b, e, x, B,  $\omega$ ,  $\pi$  から必要なものを用いて答えよ。

以下の設問  $(8)\sim(10)$  は導体棒が角速度  $\omega$  で 1 回転する間について考える。導体棒 OP 間に発生する誘導起電力の大きさを E [V] , 導体棒 OP と線分 OC のなす角度を  $\theta$  [rad] とし,時刻 t=0 のとき  $\theta=0$  と考えよ。  $\theta$  の範囲は 0 から  $2\pi$  になる。 設問 (10) の電流の向きの問いを除く,以下の設問  $(8)\sim(10)$  では数字ならびに t, b, r, E,  $\omega$ ,  $\pi$  から必要なものを用いて答えよ。

- (8) 時刻 t [s] のとき, 中心角  $\theta$  の円弧 PC の抵抗〔 $\Omega$ 〕を求めよ。
- (9) 時刻 t のとき, 円形リングおよび AB 間の抵抗を含む点 O と点 P に 接続されている全抵抗(合成抵抗) R  $[\Omega]$  を求めよ。
- (10) ある時刻  $t_1$  [s] のときに AB 間の 抵抗に流れる電流の大きさが最小 になる。その時刻  $t_1$ ,電流の大き さ I [A] およびその向き  $(A \rightarrow B$ または  $B \rightarrow A)$  を求めよ。



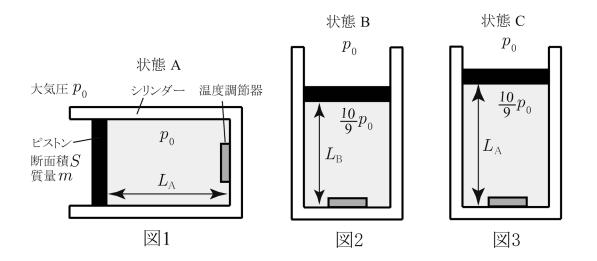
# 物理3

図1のように、なめらかに動く断面積S、質量mのピストンがついたシリンダーの内部に1モルの単原子分子理想気体が閉じ込められている。この理想気体の状態変化について考える。シリンダーの外部の大気圧を $p_0$ 、気体定数をR、重力加速度の大きさをgとして以下の設問に答えよ。ただし、ピストンとシリンダーは断熱材でできており、熱容量がなく、内部と外部の気体との熱の移動は無視できるものとする。また、シリンダー内には大きさの無視できる温度調節器が設置してあり、シリンダー内部の理想気体を設問〔2〕では加熱、設問〔3〕では冷却できるものとする。

- [1] 最初は図1のようにシリンダーを横に向けてピストンが水平方向に移動できるように設置した。理想気体の圧力は外部の大気圧と同じ $p_0$ でピストン内面からシリンダーの底面までの距離は $L_A$ であった。この状態を状態Aとする。
  - (1) 状態 A の理想気体の温度を  $T_A$  とする。  $T_A$  を,  $p_0$ , S,  $L_A$ , R を用いて表せ。
  - (2) 状態 A の理想気体の内部エネルギーを $U_A$  とする。 $U_A$  を, 数字ならびに $p_0$ , S,  $L_A$  を用いて表せ。

状態 A からピストンが上になるようにしてゆっくりとシリンダーを起こし、図 2 のようにピストンが鉛直方向に移動できるように立てた。ここで、理想気体の 圧力は  $\frac{10}{9}$   $p_0$  となり、ピストン内面からシリンダーの底面までの距離は  $L_B$  となった。この状態を状態 B とする。状態 A から状態 B への変化は断熱変化である。

(3) ピストンにはたらく重力の大きさmg を、数字ならびに $p_0$ , S を用いて表せ。



- (4) 状態 A から状態 B への変化で、理想気体が <u>外部からされた仕事  $W_{AB}$ </u> を、数字ならびに  $p_0$ , S,  $L_A$ ,  $L_B$  を用いて表せ。
- (5) 状態 A の  $L_A$  は、状態 B の  $L_B$  より長い。理想気体の断熱変化では、圧力と体積の変化はポアソンの法則(ポアッソンの式)に従う。ポアソンの法則を用いて  $\frac{L_A}{L_B}$  の値を数式で示し、 $L_A$  が  $L_B$  より長いことを解答用紙の枠内に説明せよ。
- [2] 状態 B においてシリンダーの向きを固定したまま, 理想気体の圧力を  $\frac{10}{9}$   $p_0$  に保 ちながら, ゆっくりと加熱すると, 図 3 のようにピストン内面からシリンダーの 底面までの距離は  $L_{\rm A}$  になった。この状態を状態 C とする。
  - (6) 状態 B から状態 C への変化で、理想気体が 外部にした仕事  $W'_{BC}$  を、数字ならびに  $p_0$ , S,  $L_A$ ,  $L_B$  を用いて表せ。
  - (7) 状態 B と C の理想気体の内部エネルギーをそれぞれ  $U_{\rm B}$  と  $U_{\rm C}$  とする。状態 B から状態 C への変化において、理想気体の内部エネルギーの変化  $\Delta U_{\rm BC}$  =  $U_{\rm C}-U_{\rm B}$  を、数字ならびに  $p_0$ , S,  $L_{\rm A}$ ,  $L_{\rm B}$  を用いて表せ。
  - (8) 状態 B から状態 C の変化で、温度調節器から理想気体が 吸収した熱量  $Q_{BC}$  を、数字ならびに  $p_0$ , S,  $L_A$ ,  $L_B$  を用いて表せ。
- [3] 状態 C より、 ピストン内面からシリンダーの底面までの距離を  $L_A$  に固定したまま、 ゆっくりと理想気体を冷却しながら、 シリンダーが水平横向きになるまで傾けると、 理想気体の圧力は  $p_0$  となって、 図 1 の状態 A に戻った。
  - (9) 状態 C から状態 A の変化で、温度調節器へ理想気体が 放出した熱量  $Q_{CA}$  を、数字ならびに  $p_0$ , S,  $L_A$  を用いて表せ。
  - (10) 理想気体を状態  $A \to B \to C \to A$  と変化させるサイクルは熱機関とみなせる。この熱機関の熱効率 e を、数字ならびに  $L_A$ ,  $L_B$  を用いて表せ。

### 化 学

問題番号	ページ	解答用紙番号
化学1	15~16	6 1
化学2	17~18	6 2
化学3	19~20	6 3
化学4	21~22	6 4
化学5	23~24	6 5
化学6	25~26	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, S=32.0,

C1 = 35.5, K = 39.0, Ca = 40.0, Cu = 63.5, Ag = 108, I = 127

気体定数: 8.31×10<sup>3</sup> Pa·L/(K·mol), 0.082 atm·L/(K·mol)

アボガドロ定数: 6.02×10<sup>23</sup>/mol

理想気体のモル体積 (0 ℃, 1.01×10<sup>5</sup> Pa): 22.4 L/mol

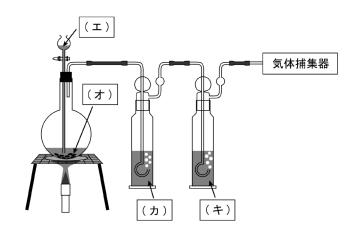
ファラデー定数: 9.65 × 10<sup>4</sup> C/mol

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

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。

次の文章を読み,以下の問いに答えよ。

周期表の17族に属する元素をハロゲンという。これらの原子は価電子を7個もち、 1価の陰イオンになりやすい。ハロゲンの単体は、いずれも二原子分子からなり、 (i)常温においてフッ素 F2と塩素 Cl2 は気体, 臭素 Br2 は液体, ヨウ素 l2 は固体である。 (ii)ハロゲンの単体はいずれも酸化作用がある。フッ素 F<sub>2</sub> は水と反応してフッ化水素 と (ア) を生じ、一方、塩素  $Cl_2$  は水と反応して塩化水素と (イ) を生じる。塩 素 Cl<sub>2</sub> は黄緑色の気体で, (jii)実験室では図1のように生成させ, 乾燥した気体を捕集 することができる。臭素 Br<sub>2</sub> は非金属元素の単体のうちでは唯一の液体で、赤褐色で ある。ヨウ素 l2 は黒紫色の(iv)分子結晶で水にはほとんど溶けないが、ヨウ化カリウム 水溶液には(ウ)を生じて溶ける。



塩素の生成と捕集 図 1

(ア)と(イ)には分子式を,(ウ)にはイオン式を記せ。 間 1

問2 図1の  $(x) \sim (x)$  にあてはまる最も適切な物質を、以下の  $(x) \sim (x)$ から選び, 記号で答えよ。

- (a) 水

- (b) 希塩酸 (c) 濃塩酸 (d) 希硝酸 (e) 濃硝酸 (f) 希硫酸

- (g) 濃硫酸 (h) 酢酸 (i) 水酸化ナトリウム水溶液 (k) アンモニア水

- (m)  $V_2O_5$  (n)  $Cr_2O_3$  (o)  $MnO_2$  (p)  $Fe_3O_4$  (q) NiO

- (r) Pt

- 問3 <u>下線部(i)</u>に関して、ハロゲンの原子番号が大きくなるにしたがい、ハロゲンの 単体が気体から液体、さらに固体に変化する原因を説明せよ。
- 問4 下線部(ii)に関して、次の(a)  $\sim$  (d) の組み合わせの中で、混合すると化学反応が起こるものを一つ選び、記号で答えよ。また、その反応を化学反応式で記せ。
  - (a) KI 水溶液と Br<sub>2</sub>

(b) KCI 水溶液と I<sub>2</sub>

(c) NaCl 水溶液と Br<sub>2</sub>

(d) NaF 水溶液と Cl<sub>2</sub>

- 問 5 <u>下線部(iii)</u>の塩素 Cl<sub>2</sub> を生じる反応を化学反応式で記せ。
- 問 6 図 1 の気体捕集器によって、乾燥した塩素  $Cl_2$  を捕集するにはどのような方法がよいか。以下の(a)~(e)から最も適切なものを一つ選び、記号で答えよ。また、その理由を説明せよ。
  - (a) 最もよい方法は水上置換である。
  - (b) 最もよい方法は上方置換である。
  - (c) 上方置換と水上置換のいずれでもよい。
  - (d) 最もよい方法は下方置換である。
  - (e) 下方置換と水上置換のいずれでもよい。
- 問7 下線部(iv)に関して、ヨウ素  $I_2$ の分子結晶の単位格子は、図2のとおりである。 単位格子は直方体であり、ヨウ素分子  $I_2$ は、直方体の頂点と各面の中心(面心) の位置にある。単位格子の各辺の長さを  $0.70 \, \mathrm{nm}$ 、  $1.0 \, \mathrm{nm}$  の  $0.48 \, \mathrm{nm}$  として、ヨウ素  $I_2$ の分子結晶の密度  $[g/\mathrm{cm}^3]$  を <u>有効数字  $2 \, \mathrm{m}$ </u>で答えよ。

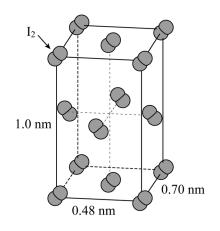


図2 ヨウ素 12の分子結晶の構造

次の文章を読み,以下の問いに答えよ。

三つの電解槽と直流電源を 図1のように接続して、電気分解を行った。各電解槽は、硫酸銅(II)水溶液に白金を電極として浸した電解槽A、硫酸銅(II)水溶液に銅を電極として浸した電解槽B、硝酸銀水溶液に白金を電極として浸した電解槽C、である。電解槽Bと電解槽Cは並列に接続されている。

直流電源を用いて電流を 1930 秒間流すと電極 a に 3.81 g の銅が析出した。電流計 Y で測定される電流は 2.00 A (アンペア) であった。なお、電気分解中に各電解槽に流れる電流は一定とする。

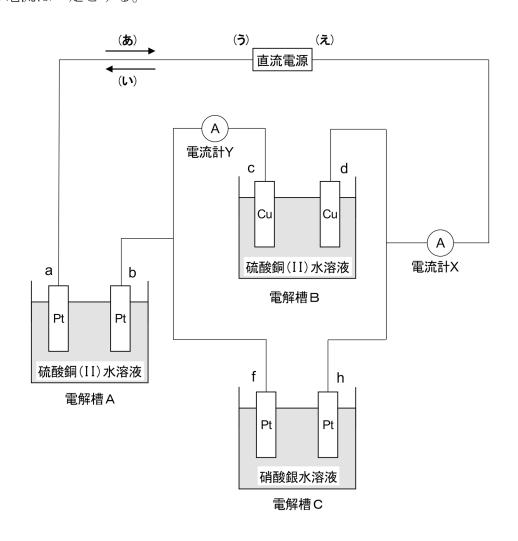


図1 電気分解の装置

問1 図1で電子の流れる向きは( $\mathbf{b}$ ) と( $\mathbf{v}$ ) のどちらか。記号で答えよ。

- 問2 電流計Xで測定される電流は何A(アンペア)か。<u>有効数字3桁</u>で記せ。
- 問3 電極 b で起こる化学反応を電子 e<sup>-</sup> を含むイオン反応式で記せ。また、電極 b 付近の溶液の pH はどのように変化するかをこのイオン反応式に基づいて説明 せよ。
- 問4 電極 d で起こる化学反応を電子 e を含むイオン反応式で記せ。
- 問5 電解槽 A と電解槽 B で起こる反応をもとに、 $SO_4^{2-}$ 、 $H_2O$ 、Cu のうち最も酸化 されやすいものと最も酸化されにくいものを、それぞれ、記せ。
- 問6 電極fに析出する銀は何gか。有効数字3桁で記せ。
- 間7 電極hで発生する気体の体積は0°C、 $1.01 \times 10^5$  Pa で何Lか、 $\underline{a}$  有効数字  $\underline{3}$  析で記せ。ただし、発生する気体は理想気体としてふるまい、水に溶けないものとする。
- 問8 直流電源として水素を燃料とした燃料電池を使用することができる。その場合、燃料電池を作動させるために水素が供給される電極は(**う**)と(**え**)のどちら側にあるか。記号で答えよ。

次の文章を読み,以下の問いに答えよ。

希薄溶液の凝固点降下は、溶質の種類に関係なく、溶液中の溶質粒子の数によって決まるため、これを利用して、溶質の見かけの分子量を見積もることができる。凝固点降下に関する以下の2つの実験を行った。なお、酢酸とベンゼンのモル凝固点降下は、それぞれ3.90  $K \cdot kg/mol$ 、5.12  $K \cdot kg/mol$  である。

実験 1:0.82 g の物質 X を酢酸 300 g に溶かし、物質 X の酢酸溶液をつくった。この物質 X の酢酸溶液と、純溶媒の酢酸を、それぞれ大気圧下でゆっくり冷却し、その冷却曲線を記録した。(図 1)

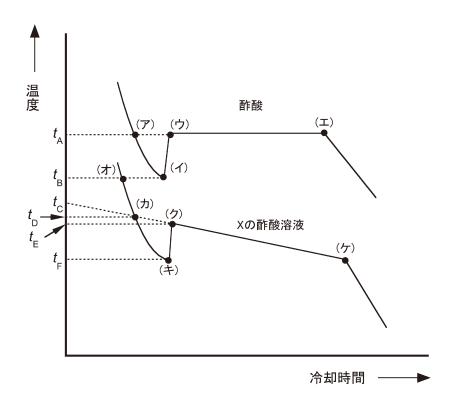


図1 冷却曲線

実験 2:1.00gの酢酸をベンゼン 300gに溶かし、酢酸のベンゼン溶液をつくった。この酢酸のベンゼン溶液と、純溶媒のベンゼンを、それぞれ大気圧下でゆっくり冷却し、実験 1 と同様の方法で冷却曲線を記録した。

- 問1 実験1において、純溶媒の酢酸の凝固が始まったのは図中のどの点か。また、 物質Xの酢酸溶液が全て凝固した点はどの点か。図中の(ア)~(ケ)からそ れぞれ選び、記号で答えよ。
- 問2 実験1の凝固点降下度  $\Delta t$  を, 図中の温度を示す記号  $t_A \sim t_F$  を用いた文字式で表せ。
- 問3 図中の冷却曲線で、純溶媒の酢酸は、(ウ)~(エ)の区間で一定の温度を示す。 一方で、物質Xの酢酸溶液は、(ク)~(ケ)の区間で時間とともに温度が低下 した。(ク)~(ケ)の区間で冷却時間にともない温度が低下する理由を述べ よ。
- 問4 実験1で凝固点降下度を算出したところ, 0.240 K であった。この結果を用いて物質Xの見かけ上の分子量を計算し, 有効数字2桁で答えよ。
- 問5 **実験2**で得られた凝固点降下度を用いて,**実験1**と同様の方法で酢酸の見かけ上の分子量を見積もると,120と算出された。これは、酢酸の分子量とは異なる。このことをもとに,ベンゼン中で酢酸がどのような状態で存在すると考えられるかを理由とともに答えよ。
- 問6 下記の物質(あ)~(お)を、それぞれ同じ質量はかり取り、完全に水に溶解させて希薄溶液とした場合、最も凝固点降下度が大きいものを下記の(あ)~(お)から選び、記号で答えよ。電解質は、溶液中で完全に電離しているものとする。
  - (あ) 硫酸ナトリウム (式量:142.04)
  - (い) 塩化カリウム (式量:74.55)
  - (う) スクロース (分子量:342.30)
  - (え) 塩化マグネシウム (式量:95.21)
  - (お) 硝酸ナトリウム (式量:84.99)

次の文章を読み,以下の問いに答えよ。

質量が 2.48 g の風船があり、この風船の内部には気体だけでなく水を入れることができる。また、この風船は、張力が無視できるほど小さく、<u>内部の温度と圧力が、外</u>部の空気の温度と圧力にそれぞれ等しくなるように体積が変化する。

空気中の物体には、水中と同じように浮力が働く。風船の浮力は、風船内部と同じ体積の空気の質量に比例する。そのため、風船の質量と風船内部にある物質の質量の和が、風船内部と同じ体積をもつ空気の質量と等しくなるとき、風船は空気中に静止し、上昇も下降もしない状態になる。

この風船を 2 個用意し、以下の操作 1 と操作 2 をそれぞれ行った。ただし、気体は理想気体としてふるまい、風船自身の体積、風船内部に注入した水の体積、水に溶解する窒素の物質量は無視できるほど小さいものとする。また、90  $^{\circ}$  における水の蒸気圧は  $0.700\times10^5$  Pa とし、空気は物質量の比で、窒素:酸素 =4.00:1.00 の混合気体とする。

操作 1: 風船の内部にヘリウムを入れ, 1.00×10<sup>5</sup> Pa, 27 ℃の空気中に十分な時間放置したところ, 風船は空気中に静止した。

操作 2: 風船の内部に少量の水と 0.300 mol の窒素を入れ, 1.00×10<sup>5</sup> Pa, 90 ℃の空気中に十分な時間放置した。このとき, 風船の中には気化していない水が残っており, 風船は空気中に静止した。

- 問1 空気の平均分子量はいくらか。有効数字3桁で答えよ。
- 問2 操作 1 に関して、風船の内部に入れたヘリウムの物質量をn[mol]としたとき、 風船内部と同じ体積をもつ空気の質量は何gか。nを用いて表せ。
- 問3 操作1に関して、風船の内部に入れたヘリウムの物質量は何 mol か。<u>有効数字</u> 3 桁で答えよ。

- 問4 操作1を行った後、風船外部の空気の温度を高くして十分な時間放置すると、風船の浮力はどうなるか。 $(a) \sim (c)$ の中から一つ選び、記号で答えよ。
  - (a) 大きくなる (b) 変わらない (c) 小さくなる
- 問5 操作2を行った後の風船の内部において,気化している水の物質量は何 mol か。 有効数字3桁で答えよ。
- 間6 操作2で注入した水の質量は何gか。有効数字3桁で答えよ。
- 問7 操作2を行った後、風船外部の空気の温度を、風船内部との温度差が生じないように、90℃から徐々に上昇させた。このとき、風船の浮力は、風船外部の空気の温度上昇にともない大きくなるが、ある温度以上になると一定になる理由を記せ。

- [I]アニリンに関する次の実験1,2に関し、以下の問いに答えよ。
- 実験 1: 試験管にアニリンと塩酸を入れ酸性の溶液を作り、氷冷した。この試験管に、 氷冷した ( あ )の水溶液を加えると、塩化ベンゼンジアゾニウムが生じ た。この試験管を冷やしたまま、ナトリウムフェノキシドの水溶液を加える と橙色の化合物 X が生じた。
- 実験 2: 試験管にアニリン 5.6 g と無水酢酸 20.4 g を入れおだやかに加熱した後,試験管の中身を水に注ぐと固体が析出した。この固体をろ過して取り出し,乾燥させるとアミドYが 5.4 g 得られた。
- 問1 (あ)として適切な化合物を化学式で記せ。
- 問2 塩化ベンゼンジアゾニウムと X を構造式で記せ。
- 問3 実験 2 に関して、アニリンと無水酢酸から Y が生じる反応の化学反応式を記せ。
- 問 4 **実験 2** で得られた Y の物質量は、このアミド化反応が完全に進行したときに生成する Y の物質量の何%か。 <u>有効数字 2</u> 桁で答えよ。

[ II ] 分子式  $C_5H_{10}O_3$  で表されるエステル  $A\sim D$  がある。次の文章を読み,以下の問いに答えよ。

エステル A を加水分解すると,不斉炭素原子をもつカルボン酸とエタノールが生じた。

エステル B を加水分解すると、酢酸とアルコール E が生じた。アルコール E  $1.0 \, \text{mol}$  を十分な量のナトリウムと反応させると、水素が  $0.50 \, \text{mol}$  発生した。

エステル C を加水分解すると、酢酸とアルコール F が生じた。アルコール F 1.0 mol を十分な量のナトリウムと反応させると、水素 1.0 mol が発生した。また、アルコール F に NaOH 水溶液とヨウ素を反応させると、黄色の沈殿が生じた。

エステル D は不斉炭素原子をもつ化合物であり、これを、加水分解すると、還元性を有するカルボン酸と不斉炭素原子をもたないアルコールが生じた。

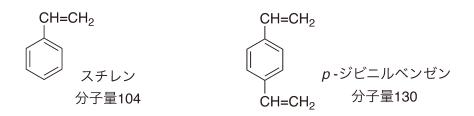
なお、エステル A~D は、下に示すような同じ炭素原子に二つの酸素原子が単結合で結合した構造をもたない。

$$R^1$$
  $C^{O-R^3}$   $(R^1, R^2, R^3, R^4)$  は水素原子,アルキル基,もしくは炭素原子を含む官能基)

- 問5 エステル A として考えられる化合物を構造式で示せ。ただし、光学異性体は区別しないものとする。
- 間6 エステルBとして考えられる化合物を構造式で示せ。
- 問7 エステル C として考えられる化合物をすべて、構造式で示せ。ただし、光学異性体は区別しないものとする。
- 問8 エステル D として考えられる化合物を構造式で示せ。ただし、光学異性体は区別しないものとする。

次の文章を読み,以下の問いに答えよ。

溶液中のイオンを別のイオンと交換する働きをもつ合成樹脂をイオン交換樹脂と いう。スチレンとp-ジビニルベンゼンを共重合させると, ( b ) の高分子化合物 が生じる。この重合の種類は(い)に分類される。得られた共重合体を濃硫酸と 反応させると、ベンゼン環にスルホ基が導入される。こうして得られる樹脂 A は (う)イオン交換樹脂として利用され、(う)イオンを交換する働きを持つ。 イオン交換は可逆反応であり、使用したイオン交換樹脂に、心適切な溶液を流すと、 イオン交換樹脂を元の状態に戻すことができる。



- 問1 (あ)  $\sim$  (う) にあてはまる最も適切な語句を、以下の (A)  $\sim$  (K) から一つ 選び記号で答えよ。
  - (A) 立体網目構造 (B) 直線構造
- (C) らせん構造 (D) 付加重合

- (E) 縮合重合
- (F) 開環重合 (G) 付加縮合 (H) 陽

- (I) 双性
- (K) 陰
- 塩化ナトリウム水溶液を流した樹脂 A を, 下線部(i)の操作によって元の状態に 戻すために用いる溶液として、最も適当なものを、以下の(a)~(f)より一つ 選び記号で答えよ。
  - (a) 水酸化ナトリウム水溶液 (b) アンモニア水
  - (c) 塩化アンモニウム水溶液
- (d)塩化カリウム水溶液

(e) 塩酸

(f) 純水

- 問3 スチレン 208 g と p-ジビニルベンゼン 32.0 g を混合し、共重合させて得られた 高分子を濃硫酸と反応させると、何 g の樹脂 A が得られるか。  $\underline{f}$  効数字  $\underline{3}$  桁で 答えよ。ただし、スチレンと p-ジビニルベンゼンは全て重合したものとする。 また、スルホ基の導入は、スチレンに含まれていたベンゼン環のパラ(p-)位 だけで起こり、このベンゼン環の 50%がスルホン化されたものとする。
- 問4 アミノ酸は、水溶液中で、陽イオン、双性イオン、陰イオンとなり、それらの間での平衡が存在する。樹脂 A を用い、グルタミン酸とリシンの混合物から、グルタミン酸とリシンを分けることができた。この分離実験の手順と結果を以下に示す。

#### 分離実験の手順と結果

- ① 樹脂 A をつめたガラス管を用意した。
- ② グルタミン酸とリシンの混合物を pH2 の水溶液(緩衝液)に溶かし、その溶液をガラス管に詰めた樹脂 A の上から流し、アミノ酸を樹脂に吸着させた。
- ③ ガラス管の上から, さらに異なる pH の水溶液(緩衝液)を流した。このとき, 水溶液を pH 2 から 11 まで少しずつ上げて流したところ, 最初に一方のアミノ酸が溶出し、続いて, もう一つのアミノ酸が溶出した。

最初に溶出したアミノ酸はグルタミン酸とリシンのうちどちらか。また、グルタミン酸とリシンを分離できた理由を、水溶液の pH の変化とアミノ酸のイオン構造とを関連づけ説明せよ。ただし、説明には、「陽イオン」、「等電点」、「pH」という語をすべて用いよ。なお、グルタミン酸とリシンの等電点は、それぞれ、3.2、9.7 である。

 $HOOC-CH_2-CH_2-CH-COOH$   $NH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH-COOH$   $NH_2$   $NH_2$  N