

物 理 ・ 化 学

問 題

2016年度

〈H28100017〉

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 (別冊配布)
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2～10ページ、化学の問題は12～19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・乱丁及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
- (1) 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。
 - (2) 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
- (1) 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。
 - (2) 所定欄以外に受験番号・氏名を書かないでください。
 - (3) 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

- (4) 受験番号は右詰めで記入し、余白が生じる場合でも受験番号の前に「0」を記入しないでください。

	万	千	百	十	一
(例) 3825番⇒	3	8	2	5	

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. 下書きは問題冊子の余白を使用してください。
10. 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。
11. 問題冊子は持ち帰ってください。
12. 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] 以下の問の答, または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。ただし, 解答群が共通の問題では, 必要に応じて同一の選択肢を複数回選んでもよい。

問1 図1のように, 面積が S で厚さの無視できる2枚の円形の金属板AとBが, 誘電率 ϵ_0 の空气中において平行に固定され, 互いに絶縁されている。2枚の円形の金属板に垂直に x 軸をとり, 金属板Aの中心を原点 $x=0$, 金属板Bの中心を $x=d$ とする。 d に比べて金属板の半径は十分に大きく, 金属板AとBは1つの平行板コンデンサーとみなせる。金属板Aに $-Q$, 金属板Bに $+Q$ の電荷を与えたとき, 金属板AとBの電位差は (1) となる。

問1の解答群

- | | | | |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| a. $\frac{\epsilon_0 QS}{d}$ | b. $\frac{\epsilon_0 Qd}{S}$ | c. $\frac{\epsilon_0 S}{Qd}$ | d. $\frac{\epsilon_0 d}{QS}$ |
| e. $\frac{QS}{\epsilon_0 d}$ | f. $\frac{Qd}{\epsilon_0 S}$ | g. $\frac{S}{\epsilon_0 Qd}$ | h. $\frac{d}{\epsilon_0 QS}$ |

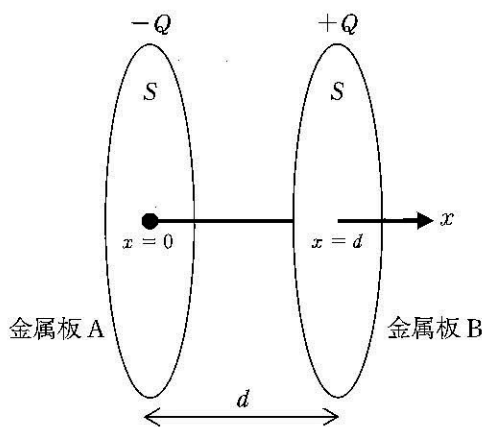


図1

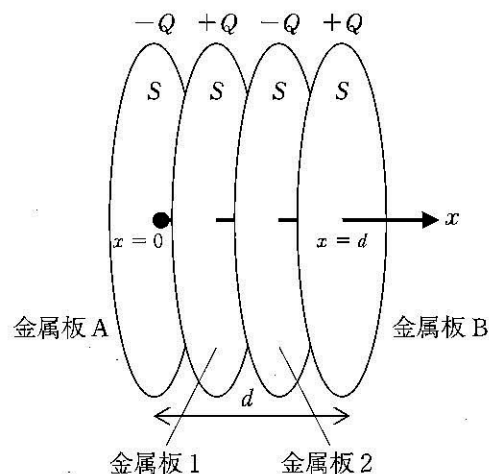


図2

問2 問1の状況から, 金属板AとBの電荷を保ったまま, 図2のように金属板AとBの間の $x = \frac{d}{3}, \frac{2d}{3}$ の位置を中心として面積 S の円形の金属板1, 2を追加して固定した。合計4枚の金属板は平行で互いに絶縁されている。金属板1に $+Q$, 金属板2に $-Q$ の電荷を与えたとき, 金属板AとBの電位差は, 問1の答の (2) 倍になる。

問3 問2の状況から, 金属板1と2の電荷を保ったまま, それらの位置を入れ換えた。金属板AとBの電位差は, 問1の答の (3) 倍になる。

問2および問3の解答群

- | | | | | | |
|------|------------------|------------------|------|-------------------|-------------------|
| a. 0 | b. $\frac{1}{3}$ | c. $\frac{2}{3}$ | d. 1 | e. $\frac{4}{3}$ | f. $\frac{5}{3}$ |
| g. 2 | h. $\frac{7}{3}$ | i. $\frac{8}{3}$ | j. 3 | k. $\frac{10}{3}$ | l. $\frac{11}{3}$ |

問4 問1の状況から、金属板AとBの電荷を保ったまま、金属板AとBの間の $x = \frac{nd}{N-1}$ の位置 (n は1から $N-2$ までの整数であり、 N は4以上の偶数) を中心として面積 S の円形の金属板を追加して固定した。合計 N 枚の金属板は平行で互いに絶縁されており、 n が偶数の位置の金属板にはそれぞれ $-Q$ の電荷を、 n が奇数

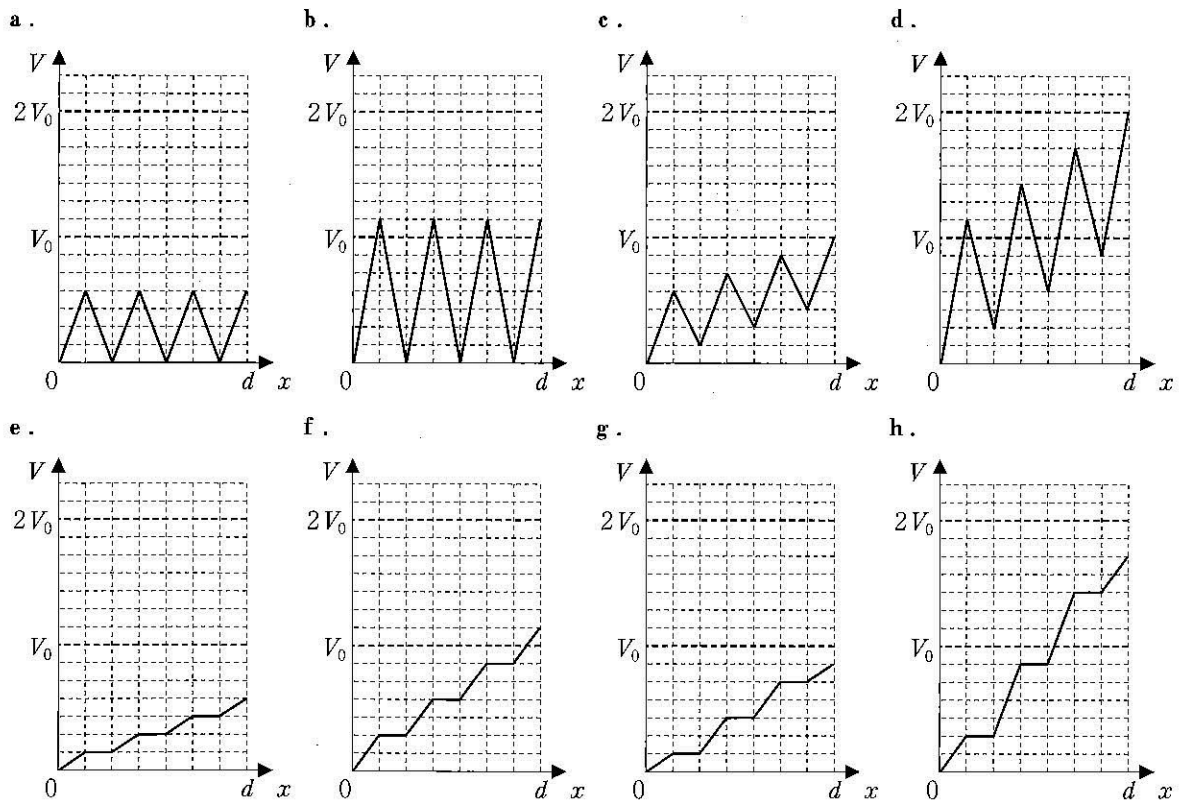
の位置の金属板にはそれぞれ $+Q$ の電荷を与えた。このとき、金属板AとBの電位差は、問1の答の $\frac{(4)}{(5)}$ 倍になる。

問4の解答群

- a. $N-1$ b. $2(N-1)$ c. $3(N-1)$ d. $4(N-1)$ e. $5(N-1)$ f. $6(N-1)$
 g. $7(N-1)$ h. $8(N-1)$ i. 1 j. N k. N^2 l. N^3

問5 問4の状況で $N=8$ の場合に、金属板A, B間 ($0 < x < d$) での電位のグラフとして適切なものを選択せよ。ただし、電位の基準を金属板Aとする。解答群のグラフでは問1の答を V_0 と表記している。

問5の解答群



問6 問4の状況から、金属板A, Bの間の $N-2$ 枚の金属板を、電荷を保ったまま位置を入れ換える。 n が1から $\frac{N}{2}-1$ の位置には $-Q$ の電荷をもつ金属板を、 n が $\frac{N}{2}$ から $N-2$ の位置には $+Q$ の電荷をもつ金属板を

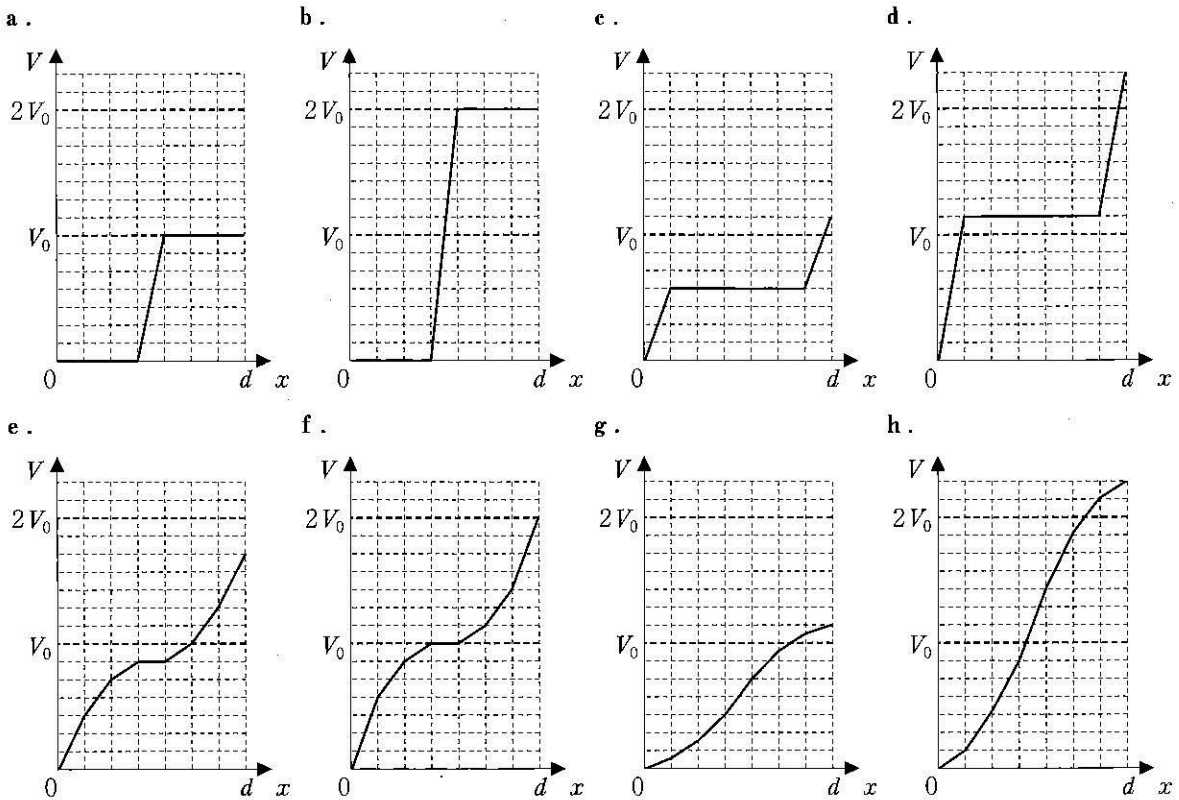
置いた。このとき、金属板AとBの電位差は、問1の答の $\frac{(6)}{(7)}$ 倍になる。

問6の解答群

- a. $N-1$ b. $2(N-1)$ c. $3(N-1)$ d. $4(N-1)$ e. $5(N-1)$ f. $6(N-1)$
 g. $7(N-1)$ h. $8(N-1)$ i. 1 j. N k. N^2 l. N^3

問7 問6の状況で $N = 8$ の場合に、金属板A, B間 ($0 < x < d$) での電位のグラフとして適切なものを選択せよ。ただし、電位の基準を金属板Aとする。解答群のグラフでは問1の答を V_0 と表記している。

問7の解答群



問8 問4の状況から、金属板AとBの間にある $N - 2$ 枚の金属板の電荷を保ったまま、金属板AとBの電荷をそれぞれ (8) 倍することにより金属板AとBを等電位にすることができた。

問8の解答群

- a. $\frac{N-2}{2}$ b. $-\frac{N-2}{2}$ c. $\frac{N-2}{4}$ d. $-\frac{N-2}{4}$
 e. $\frac{N-2}{N-1}$ f. $-\frac{N-2}{N-1}$ g. $\frac{N-2}{2(N-1)}$ h. $-\frac{N-2}{2(N-1)}$

問9 問2の状況から、金属板1と2の電荷を保ったまま、図3のようにスイッチSWと起電力 V の電池を接続した。スイッチSWを閉じたとき、金属板Bの電荷は (9) となる。

問10 問9の状況からスイッチSWを開き、金属板AとBの電荷を保ったまま電池を自己インダクタンス L のコイルに置き換えてからスイッチSWを閉じたところ、金属板AとBの電荷が周期的に変化した。この周期的変化の振幅は (10) となる。ただし、回路の抵抗は無視できるものとする。

問9および問10の解答群

- a. Q b. $\frac{\epsilon_0 SV}{d}$ c. $\frac{\epsilon_0 SV}{d} + \frac{Q}{3}$ d. $\frac{\epsilon_0 SV}{d} - \frac{Q}{3}$
 e. $\frac{\epsilon_0 SV}{d} + \frac{2Q}{3}$ f. $\frac{\epsilon_0 SV}{d} - \frac{2Q}{3}$ g. $\frac{\epsilon_0 SV}{d} + Q$ h. $\frac{\epsilon_0 SV}{d} - Q$

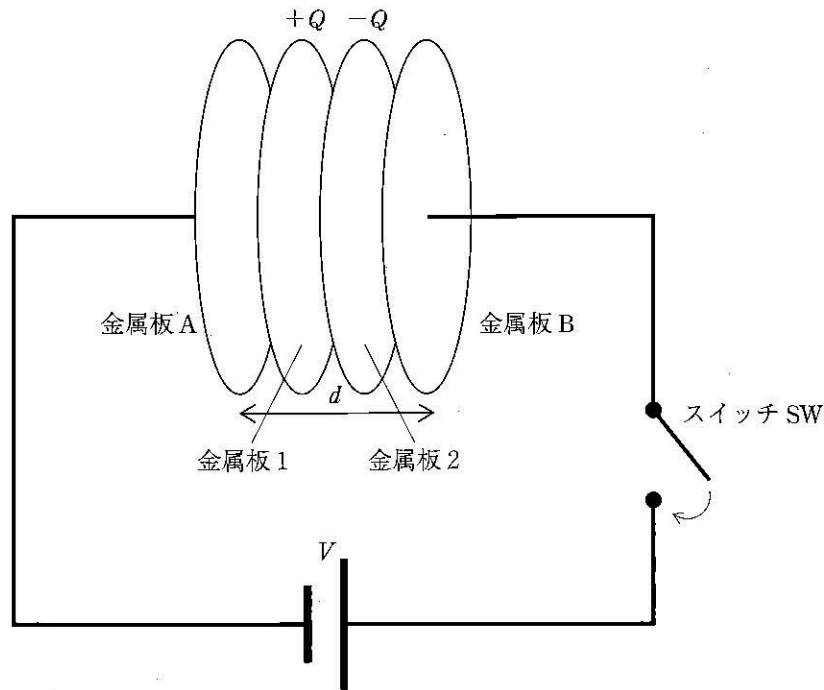


図3

問11 問10の状況で、 $\epsilon_0 = 8.9 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ 、 $d = 4.5 \text{ mm}$ 、 $S = 160 \text{ cm}^2$ 、 $L = 1.0 \times 10^{-3} \text{ H}$ として、電荷の周期的変化の周波数はおよそ (11) となる。

問11の解答群

- | | | | |
|------------|------------|------------|------------|
| a. 700 Hz | b. 900 Hz | c. 700 kHz | d. 900 kHz |
| e. 700 MHz | f. 900 MHz | g. 700 GHz | h. 900 GHz |

問12 問9の状況で金属板1と2の間に比誘電率 ϵ_r の誘電体を隙間なく挿入してスイッチ SW を開き、金属板AとBの電荷を保ったまま電池を自己インダクタンス L のコイルに置き換えた。スイッチ SW を閉じたところ、金属板AとBの電荷が周期的に変化した。この周期的変化の周波数は、問10の場合の周波数の (12) 倍となる。

問12の解答群

- | | | | |
|--------------------------------|--|---------------------------------------|---|
| a. $\frac{2\epsilon_r + 1}{3}$ | b. $\frac{2\epsilon_r + 1}{3\epsilon_r}$ | c. $\sqrt{\frac{2\epsilon_r + 1}{3}}$ | d. $\sqrt{\frac{2\epsilon_r + 1}{3\epsilon_r}}$ |
| e. $\frac{3}{2\epsilon_r + 1}$ | f. $\frac{3\epsilon_r}{2\epsilon_r + 1}$ | g. $\sqrt{\frac{3}{2\epsilon_r + 1}}$ | h. $\sqrt{\frac{3\epsilon_r}{2\epsilon_r + 1}}$ |

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。

図に示すように、原点 O から鉛直下向きを正にとった x 軸上でばねでつながれている 2 つの質点 1, 2 の運動を考えよう。質点 1, 2 の質量をそれぞれ m_1, m_2 、位置座標を x_1, x_2 とする。ばねの自然長は l 、ばね定数は k で、ばねの質量は無視できる。重力加速度を g とし、空気抵抗は無視できるものとする。

この系の重心の位置座標は $X = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2}$ で与えられる。微小な時間差 Δt だけ離れた 2 つの時刻 $t, t' = t + \Delta t$ における重心の位置座標をそれぞれ $X, X' = X + \Delta X$ とすると、重心の速度 V は、 $V = \frac{\Delta X}{\Delta t}$ で与えられるので、質点 1, 2 の速度をそれぞれ v_1, v_2 と表すと、 $V = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$ と表せることがわかる。

問 1 上の考えをもう一步進めて、重心の加速度 A を質点 1, 2 の加速度 a_1, a_2 を含む式で表せ。

この系を用いて 2 つの実験をした。最初の実験では、質点 1 を位置 $x_1 (\geq 0)$ に固定したまま質点 2 をつり下げたら、ばねが少し伸びてつり合った。この位置からさらに質点 2 を下方に h だけ下げてから、時刻 $t = 0$ で静かに手をはなした。

問 2 質点 2 の運動方程式を書け。さらに質点 2 の振動の中心座標、振幅、周期 T を求めよ。

問 3 質点 2 の運動の様子を時刻 $t = 0$ から 1 周期分について図示し、さらに時刻 t における質点 2 の位置座標 x_2 を数式を用いて表現せよ。

次の実験では、まず質点 1 を原点 O に固定し、すべてが静止した後に質点 1 の固定を外した。この時刻を改めて $t = 0$ とする。

問 4 $t \geq 0$ における質点 1, 2 それぞれの運動方程式を書け。

問 5 問 4 で求めた運動方程式から重心の加速度 A を求めよ。

問 6 問 5 の結果を用いて、時刻 t における重心の位置 X を求めよ。

問 7 問 4 の運動方程式を用いて、質点 1 から見た質点 2 の加速度、すなわち相対加速度 $a = a_2 - a_1$ を求めよ。

問 8 問 7 の結果は、 $\xi = x_2 - x_1$ で定義される相対座標 ξ に対する運動の式と見ることができる。この式は、自然長 l 、ばね定数 k のばねの先に、ある質量 μ のおもりをつけたときの単振動の式になる。この質量 μ を m_1, m_2 を用いて表せ。

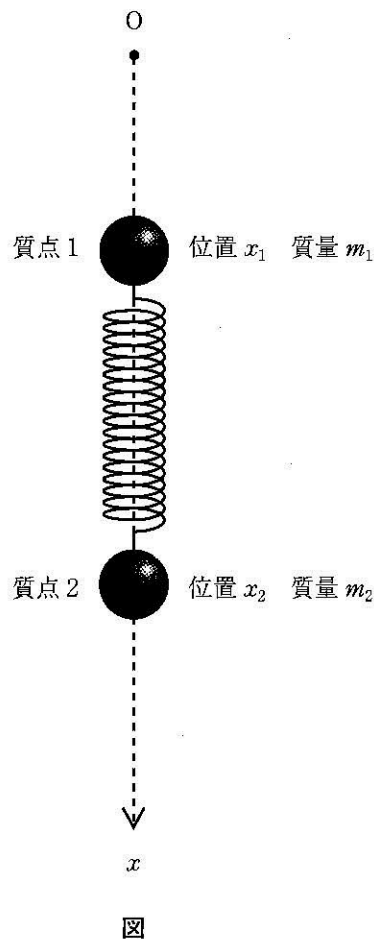
問 9 時刻 t における相対座標 ξ を求め、問 8 の μ を含む式で表せ。

問 10 2 つの質点が n 回目 ($n = 1, 2, 3, \dots$) に最接近する時刻 t_n を問 8 の μ を含む式で表せ。また、時刻 t_n における重心の位置 X_n を t_n を含む式で表現せよ。

問11 問10の結果を用いて、時刻 t_n における質点1, 2の力学的エネルギーの総和 E を求めよ。ただし、重力による位置エネルギーの基準は原点 O にとるものとする。

問12 10回目に最接近した瞬間に、質点2が水平な床と完全弾性衝突をして上方に跳び上がった。重心のその後の運動について正しい記述を1つだけ選び、その番号を記せ。また、その理由を述べよ。

1. $t = 0$ における重心の位置まで上昇し、再び落下を始める。
2. $t = 0$ における重心の位置より低い点まで上昇し、再び落下を始める。
3. $t = 0$ における重心の位置より高い点まで上昇し、再び落下を始める。
4. 条件次第で上の1, 2, 3のいずれも起こりうるので、1つの運動形態に絞ることはできない。



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。

単原子分子理想気体の分子の運動を参考に、金属中の電子の流れと、温度差を利用した発電について理解しよう。

はじめに気体分子の運動を考える。図1のように一辺の長さが L の断熱された立方体の容器に質量が m の単原子分子 N 個からなる気体を閉じ込める。気体が絶対温度 T のとき、気体分子の2乗平均速度 $\sqrt{v^2}$ と温度 T の関係を以下の考察から求めよう。

問1 速度が $\vec{v} = (v_x, v_y, v_z)$ の分子が x 軸に垂直な壁 W に衝突して跳ね返されると、分子が壁 W から受ける力積の x 成分を求めよ。また、壁 W がこの1つの分子から受ける力の大きさを時間的に平均した値を求めよ。分子と壁との衝突は弾性衝突とする。

問2 熱運動する N 個の気体分子において、速度の各成分の2乗は平均すると等しい。このことを用い、壁 W に働く圧力 p を分子の速度の2乗の平均 $\overline{v^2}$ を含む式で表せ。

問3 気体分子の平均的な速さは2乗平均速度 $\sqrt{v^2}$ により与えられる。2乗平均速度 $\sqrt{v^2}$ をボルツマン定数 k と温度 T を含む式で表せ。

図1の容器を、温度を変えることのできる容器に変更する。容器の温度を変えると、壁との衝突により気体分子のエネルギーが変化する。このとき、問2と同じように、衝突後の気体分子の速度の各成分の2乗は平均すると等しく、2乗平均速度は変更後の容器の温度によって決まる。

問4 容器の温度を T から T' に変更した($T' > T$)。衝突の前後における気体分子の運動エネルギーの平均値の変化を T および T' を含む式で表せ。また、この気体の単位体積あたりの定積比熱 c_V を求めよ。

次に、図2のように温度を変えることのできる容器2つを長さ L の細い連結管でつないだ。図3のように、左側の容器と連結管との結合部を原点に、図の右向きが正の向きとなるように、連結管に沿って x 軸をとる。このとき、容器と連結管を温度が時間的に変化しない熱源とみなし、右側の容器の温度を T_1 、左側の容器の温度を T_2 とする。連結管の断面積 S は L^2 にくらべ十分小さく($S \ll L^2$)、連結管の体積は無視できる。連結管内における気体分子の集団的な流れを考えよう。

$T_1 = T_2$ とし、各容器が質量 m の単原子分子 N 個で満たされているとき、気体分子の2乗平均速度は連結管内の全ての場所で等しく、かつ速度の各成分の2乗平均は等しい。そのため、ある位置 x を通過する気体分子を見ると、右向きの分子集団の流れと左向きの分子集団の流れの量が同じであり、全体としての分子の流れはない。

問5 ここで、左右の容器にわずかな温度差をつける($T_1 > T_2 \gg T_1 - T_2$)。このとき、連結管の管壁の温度は、 $x = 0$ で T_2 、 $x = L$ で T_1 であり、その間の管壁の温度は $T(x) = Ax + B$ となる。係数 A 、 B を T_1 、 T_2 、 L を用いて表せ。

問6 連結管内で、気体分子は管壁との衝突を繰り返している。そのため、任意の位置 x における気体分子の運動は管壁の温度 $T(x)$ により決定され、気体分子の速度の各成分の2乗は平均的に等しいと考える。位置 x における気体分子の速度の x 成分の2乗平均速度 $\sqrt{v_x^2}$ を $V(x)$ と表すとき、 $V(x)$ を x を含む式で表せ。

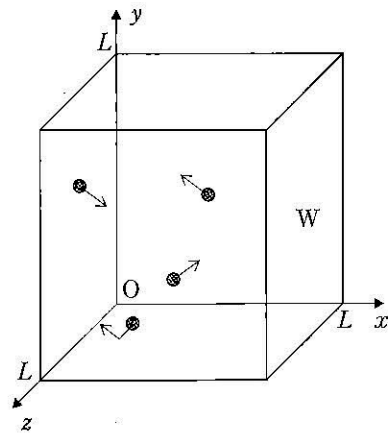


図1

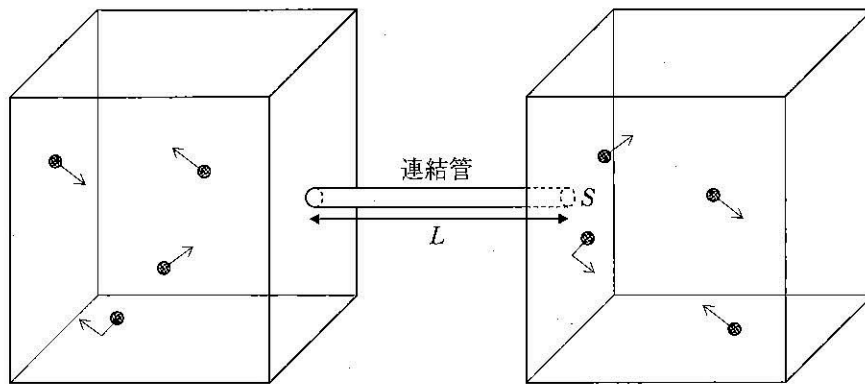


図2

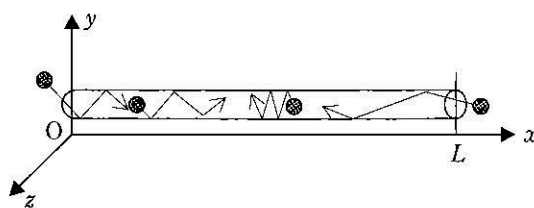


図3

問7 2つの容器の温度差が十分小さいため、問6の結果と近似式 $\sqrt{1+\varepsilon} \doteq 1 + \frac{\varepsilon}{2}$ (ただし $|\varepsilon| \ll 1$) を用いて、位置 x における気体分子の速度の x 成分の2乗平均速度 $V(x)$ は $V(x) = ax + b$ と近似できる。係数 a, b を m, k, A, T_2 を用いて表せ。

容器に温度差をつけると連結管内に気体分子の集団的な流れが生じ、左右の容器内の気体分子密度が変化する。この気体分子の集団的な流れを考えよう。

問7で求めた $V(x)$ は、位置 x にある分子が集団として x 方向に移動するときの平均的な速さと考えられる。温度勾配が存在する連結管内を考えると、右に移動する分子と左に移動する分子がある。このとき、左から流れてくる分子集団の速度と、右から流れてくる分子集団の速度の平均が気体分子の集団的な流れの速度になる。

図3のように、連結管内において気体分子は様々な時間間隔で管壁に衝突するが、気体分子を集団として扱う場合は平均した時間間隔 τ で衝突が起こると考えればよい。このとき、位置 x に流れてくる分子集団は、直前に衝突したときに決定された速度を持っていると考える。また、平均した衝突時間間隔 τ の間に気体分子が進む距離を $\ell = V(x)\tau$ とすると、位置 x に左から流れてくる分子集団の速度は $V(x - \ell)$ 、右から流れてくる分子集団の速度は $-V(x + \ell)$ と考えられるので、気体分子の集団の平均速度 v_Q は $v_Q = \frac{V(x - \ell) - V(x + \ell)}{2}$ となる。

問8 容器に温度差をつけたときに生じる気体分子の集団の平均速度 v_Q を、上式と問7の結果より τ , m , k , A を用いて表せ。ここで $T_2 \gg T_1 - T_2$ という条件から x に依存する項を無視せよ。

上で考えた単原子分子理想気体の代わりに、金属棒内の電子を考える。金属棒内の電子は熱運動する金属イオンとの衝突を繰り返しながら移動している。この電子の運動を連結管内の単原子分子理想気体と同じように考えよう。

問9 断面積 S 、長さ L の金属棒内を、密度 n の電子（質量 m 、電荷 $-e$ ）が平均的な速度 v_E で運動する。このとき、金属棒に流れる電流の大きさを $|v_E|$ を含む式で表せ。

問10 問9の金属棒の長さ方向に一樣な電場 E を加えた。連結管内の単原子分子理想気体と同様に、電子と金属イオンの衝突も多く電子について平均すると衝突の時間間隔は一定とみなせる。この平均衝突時間を問8と同様に τ とすると、金属の抵抗率は $\rho = \frac{m}{ne^2\tau}$ で与えられる。電子の平均的な速度 v_E を m , E , τ を含む式で表せ。

図3の連結管を金属棒と置き換え、問5と同様に金属棒の両端に温度差を与えると、連結管内の単原子分子理想気体と同じように電子の集団的な流れが生じ、その速度は問8と同様に v_Q で与えられる。この電子の運動の結果、電子密度は場所によって変化する。一方、均一に存在する金属イオンにより金属棒全体は中性であるが、電子の密度差は金属内に電場をつくり、問10と同様に電子に速度 v_E を与える。

問11 金属棒に温度差を与え、十分に時間が経ったときの v_Q と v_E の関係を示せ。

問12 問11において、金属棒の両端に起電力が生じる現象をゼーベック効果と呼ぶ。このとき、生じる電場 E は温度勾配 $\frac{\Delta T}{\Delta x}$ ($=A$) に比例し、 $E = \alpha \frac{\Delta T}{\Delta x}$ と表される。この式の比例定数 α (ゼーベック係数) を e , k を用いて表せ。

上で得られたゼーベック係数は古典論の枠組みでは正しいが、実験により得られた値よりも2桁大きいことが知られている。これは、問4で求めた定積比熱の表式が電子には適用できないためであり、正しい値を得るには量子論を用いる必要がある。

化学の問題は12～19ページに記載されている

このページは下書きに使用してよい。

必要ならば、以下の値を用いなさい。

H=1.0, Li=6.9, C=12.0, N=14.0, O=16.0, Na=23.0, Mg=24.3, Al=27.0, S=32.1,

Cl=35.5, Ca=40.1, Co=58.9, Cu=63.5, Zn=65.4, Cs=132.9, Pb=207.2

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

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

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

$\sqrt{2}=1.41, \sqrt{3}=1.73, \log_{10} 2=0.30$

化学 (マーク解答問題)

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

(1) 塩素には ^{35}Cl (35 g/mol) と ^{37}Cl (37 g/mol) の同位体が 3 : 1 の比で存在する。 ^{12}C をもつ CCl_4 には、モル質量の異なる分子が (A) 種類存在する。このうち、最も多く存在する分子の物質量は、最も少なく存在する分子の物質量の (B) 倍である。また、最も多く存在する分子のモル質量は (C) g/mol である。

A : (イ) 2 (ロ) 3 (ハ) 4 (ニ) 5 (ホ) 6
B : (イ) 3 (ロ) 9 (ハ) 27 (ニ) 81 (ホ) 108
C : (イ) 152 (ロ) 154 (ハ) 156 (ニ) 158 (ホ) 160

(2) つぎの化学反応式を完成させたとき、 $x + y + z =$ (A) となる。



また、つぎのイオン反応式を完成させたとき、 $a + b + c + d =$ (B) となる。



このイオン反応式において、5 mol の H_2O_2 と a mol の MnO_4^- の間では、(C) mol の電子が授受されている。

A : (イ) 6 (ロ) 9 (ハ) 12 (ニ) 18 (ホ) 24
B : (イ) 10 (ロ) 14 (ハ) 18 (ニ) 22 (ホ) 26
C : (イ) 2 (ロ) 3 (ハ) 5 (ニ) 10 (ホ) 15

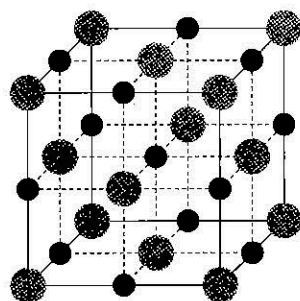
(3) 硫酸銅(II) CuSO_4 の水への溶解度は 20°C で 20 g, 60°C で 40 g である。 60°C の硫酸銅(II)飽和水溶液 280 g に含まれる CuSO_4 の質量は (A) g である。この溶液を 20°C に冷却した場合、析出する五水和物の結晶 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ の質量は (B) g である。硫酸銅(II)水溶液は、タンパク質の呈色反応の一つである (C) 反応に使われる。(C) 反応では、塩基性水溶液中のタンパク質がペプチド結合部位で銅(II)イオンに配位結合し、赤紫色に呈色する。

A : (イ) 40 (ロ) 47 (ハ) 57 (ニ) 80 (ホ) 112
B : (イ) 31 (ロ) 40 (ハ) 62 (ニ) 70 (ホ) 73
C : (イ) キサントプロテイン (ロ) ニンヒドリン (ハ) ビウレット
 (ニ) ヨードホルム (ホ) ルミノール

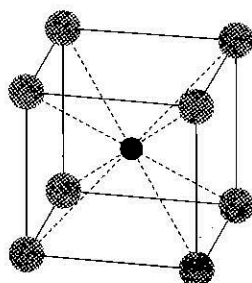
(4) 窒素 N_2 と水素 H_2 からアンモニア NH_3 ができる反応は可逆反応である。物質質量比が 1 : 3 の N_2 と H_2 の混合気体がある温度で密閉容器に封入すると、初め 1.0×10^7 Pa であった全圧が 7.0×10^6 Pa になり平衡に達した。平衡時における NH_3 の分圧は (A) Pa であり、圧平衡定数 K_p は (B) である。この混合気体を理想気体と仮定した場合、この反応の濃度平衡定数 K_c は、 K_p と気体定数 R 、絶対温度 T を用いて、(C) と表される。

- A : (イ) 1.0×10^6 (ロ) 1.5×10^6 (ハ) 3.0×10^6
 (ニ) 6.0×10^6 (ホ) 9.0×10^6
- B : (イ) $4.3 \times 10^{-2} Pa^{-1}$ (ロ) $2.5 \times 10^{-6} Pa^{-1}$ (ハ) $5.9 \times 10^{-7} Pa^{-2}$
 (ニ) $3.3 \times 10^{-13} Pa^{-2}$ (ホ) $7.3 \times 10^{-21} Pa^{-3}$
- C : (イ) $K_c = K_p(RT)^{-2}$ (ロ) $K_c = K_p(RT)^{-1}$ (ハ) $K_c = K_p$
 (ニ) $K_c = K_p RT$ (ホ) $K_c = K_p(RT)^2$

(5) 陽イオンと陰イオンの割合が 1 : 1 のイオン結晶には、以下に示す NaCl 型と CsCl 型などがある。いずれの結晶構造をとるかは、陽イオンと陰イオンの大きさの比によって説明される。それぞれのイオンは符号の異なるイオンと接していて、その数(配位数)が多いほど構造は安定である。しかし、陰イオンの半径 R に対して陽イオンの半径 r が小さくなりすぎると、陰イオンどうしだけが接するので、構造は不安定になる。陽イオンと陰イオンが接し、陰イオンどうしも接するのは、NaCl 型構造では半径の比 r/R が (A) のときであり、CsCl 型構造では r/R が (B) のときである。5 種類の塩 $LiCl$, $NaBr$, NaI , $CsBr$, CsI のうち、NaCl 型構造をとるものは、イオン半径(下表)と配位数から考えると (C) 個ある。



NaCl 型



CsCl 型

イオン半径 (単位 nm)

陽イオン	Li^+ 0.090	Na^+ 0.116	Cs^+ 0.181
陰イオン	Cl^- 0.167	Br^- 0.182	I^- 0.206

- A : (イ) $\sqrt{2} - 1$ (ロ) $\frac{1}{2}$ (ハ) $2 - \sqrt{2}$
 (ニ) $\frac{\sqrt{2}}{2}$ (ホ) 1
- B : (イ) $\frac{1}{2}$ (ロ) $\frac{\sqrt{3}}{3}$ (ハ) $\sqrt{3} - 1$
 (ニ) $\frac{\sqrt{3}}{2}$ (ホ) 1
- C : (イ) 1 (ロ) 2 (ハ) 3 (ニ) 4 (ホ) 5

- (6) 塩素のオキソ酸には、亜塩素酸、塩素酸、過塩素酸、次亜塩素酸がある。これらの水溶液において、電離定数の大きいものを左から順に並べると、(A)となる。以下の①~⑤に示す化学反応のうち、塩素の酸化数が最も大きく変化するものは(B)に含まれる。また、塩素以外の単体の気体が発生するのは(C)である。

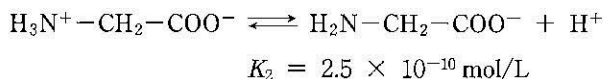
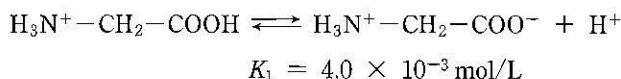
- ① 塩素酸カリウムに酸化マンガン(IV)を触媒として少量混合し、加熱すると塩化カリウムが生成する。
 ② 塩酸にマグネシウム片を入れるとマグネシウムイオンが生成する。
 ③ 塩素を水に溶かすと、一部が反応して次亜塩素酸が生成する。
 ④ 塩素の酸化物の一種である七酸化二塩素に水を加えると過塩素酸が生成する。
 ⑤ さらし粉に塩酸を混ぜると塩素が発生する。

- A : (イ) 次亜塩素酸, 亜塩素酸, 塩素酸, 過塩素酸
 (ロ) 次亜塩素酸, 亜塩素酸, 過塩素酸, 塩素酸
 (ハ) 過塩素酸, 次亜塩素酸, 亜塩素酸, 塩素酸
 (ニ) 過塩素酸, 塩素酸, 亜塩素酸, 次亜塩素酸
 (ホ) 亜塩素酸, 次亜塩素酸, 塩素酸, 過塩素酸

- B : (イ) ① (ロ) ② (ハ) ③ (ニ) ④ (ホ) ⑤

- C : (イ) ①と② (ロ) ①と③ (ハ) ①と④ (ニ) ②と③ (ホ) ②と④

- (7) グリシンは水溶液中で以下のように電離する。



電離定数 K_1 および K_2 の値から、グリシンの等電点は(A)と求まる。グリシン水溶液の pH を 3.0 としたとき、グリシンの陽イオンと陰イオンの濃度比 $[\text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{COOH}]/[\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COO}^-]$ は、(B)となる。このとき、水溶液中に存在するイオンを多い順に並べると、(C)となる。

- A : (イ) 4.0 (ロ) 5.0 (ハ) 6.0 (ニ) 7.0 (ホ) 8.0

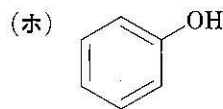
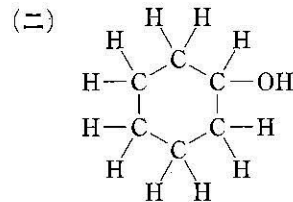
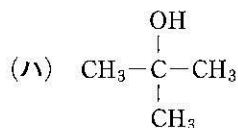
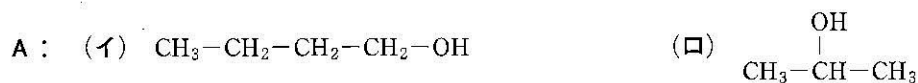
- B : (イ) 1.0×10^{-6} (ロ) 1.0×10^{-4} (ハ) 1.0×10^4
 (ニ) 1.0×10^5 (ホ) 1.0×10^6

- C : (イ) $\text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{COOH} > \text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{COO}^- > \text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COO}^-$
 (ロ) $\text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{COOH} > \text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COO}^- > \text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{COO}^-$
 (ハ) $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COO}^- > \text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{COO}^- > \text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{COOH}$
 (ニ) $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COO}^- > \text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{COOH} > \text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{COO}^-$
 (ホ) $\text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{COO}^- > \text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{COOH} > \text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COO}^-$

(8) ある炭化水素 1.00 g をベンゼン 100 g に溶かした溶液の凝固点は 5.10 °C であった。ベンゼンの凝固点は 5.50 °C、モル凝固点降下は 5.12 K · kg/mol である。これより、この炭化水素の分子量は (A) と求まる。一方、酢酸はベンゼン中では (B) により一部が二量体として存在する。酢酸 1.20 g をベンゼン 100 g に溶かした溶液の凝固点は 4.89 °C であった。このとき、ベンゼン溶液中で二量体を形成している酢酸分子は、すべての酢酸分子の約 (C) % である。

- A : (イ) 32 (ロ) 64 (ハ) 128 (ニ) 256 (ホ) 512
 B : (イ) 水素結合 (ロ) 共有結合 (ハ) イオン結合
 (ニ) 電離 (ホ) 溶媒和
 C : (イ) 20 (ロ) 40 (ハ) 60 (ニ) 80 (ホ) 90

(9) アルコールの中には酸化されるとアルデヒドとなるものがある。(A) で示されるアルコールはその一例である。ただし、アルデヒドは酸化されやすいため、(A) が (B) と反応すると、カルボン酸が生じる。アルデヒドの検出方法には銀鏡反応がある。これは、アルデヒド 1 mol に (C) mol のジアンミン銀(I) イオンと 3 mol の水酸化物イオンが反応し、水とアンモニアのほかに、1 mol のカルボン酸イオン (RCOO⁻: R は炭化水素基) と (C) mol の銀が生じる反応である。



- B : (イ) 過マンガン酸カリウム (ロ) 水酸化ナトリウム (ハ) マルターゼ
 (ニ) ベンゼンスルホン酸 (ホ) 酸化カルシウム
 C : (イ) 1 (ロ) 2 (ハ) 3 (ニ) 4 (ホ) 5

(10) ポリエステルの代表的な例として、(A) から生成した重合体である PET がある。PET 10 g を溶媒に溶かして 1.0 L とし、浸透圧を測定したところ、27 °C で 5.0×10^2 Pa であった。これより、この PET の平均分子量は約 (B) と求まる。さらに、この PET には 1 分子あたり平均 (C) 個のエステル結合が含まれることがわかる。

- A : (イ) テレフタル酸とエチレングリコール
 (ロ) 尿素とホルムアルデヒド
 (ハ) メラミンとホルムアルデヒド
 (ニ) フェノールとホルムアルデヒド
 (ホ) ビスフェノール A とホスゲン
 B : (イ) 5.0×10^2 (ロ) 5.0×10^3 (ハ) 5.0×10^4 (ニ) 5.0×10^5 (ホ) 5.0×10^6
 C : (イ) 2.1×10^2 (ロ) 2.6×10^2 (ハ) 3.9×10^2 (ニ) 5.2×10^2 (ホ) 6.9×10^2

化学（記述解答問題）

〔Ⅱ〕 つぎの文章を読んで、問1～問8の答えを記述解答用紙の該当欄に記入しなさい。

自動車のエンジンは、ガソリンの燃焼で発生するエネルギーを変換して動力を得ている。さらに自動車には、ガソリンエンジンのスタータや、ヘッドライト、エアコンなど様々な装置を動かすための電源として、酸化還元反応に伴って発生する化学エネルギーを電気エネルギーとして取り出す電池が搭載されている。自動車は大量の電気を必要とするので、二次電池をエンジンによって回転させる発電機につないで充電させている。自動車の二次電池には、鉛蓄電池が広く用いられている。

ガソリンなどの化石資源を節約し、地球環境を保全するため、二酸化炭素を発生しないゼロ・エミッション自動車として電気自動車の開発が進んでいる。ガソリンエンジンの動力の一部または全部を電気モーターに替えるには、電池のエネルギー密度を高くする必要がある。鉛蓄電池は重く、エネルギー密度が低いので、電気自動車の動力源には適さない。現在のガソリン・電気ハイブリッド自動車には、より軽くエネルギー密度の高いリチウムイオン電池やニッケル水素電池が用いられている。

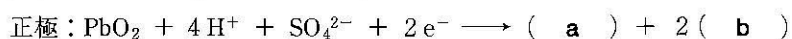
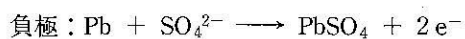
酸素と水素から電気エネルギーを取り出す燃料電池も自動車の動力源として実用化されている。室温で水素と酸素を混ぜただけでは反応は起こらないが、触媒として白金があると室温でも反応して水を生成する。燃料電池に必要な酸素は空気から取り込まれるので、搭載する活物質は水素だけでよく、高いエネルギー密度を達成できる。燃料電池には、エネルギー変換効率がよく、環境負荷が小さいという利点もある。燃料となる水素は、天然ガスや石油などを化学反応させて得る必要がある。水の電気分解でも水素は得られるが、電気を消費しない方法として、太陽光を吸収して強い酸化還元作用を示す酸化チタンなどを光触媒として用いた水の分解による水素製造が研究されている。このような技術は、化石資源によらない持続可能な社会を構築するために重要である。

問1 ガソリンの主成分は炭素数が6から11までの炭化水素である。仮にガソリンが直鎖状のオクタンからなる純物質であるとして、57.0 gの液体を燃焼して得られる熱量 [kJ] を有効数字3桁で答えなさい。ただし、この反応で生成する水は液体とする。また、直鎖状のオクタン（液）、水（液）、二酸化炭素（気）の生成熱は、それぞれ 220 kJ/mol, 286 kJ/mol, 394 kJ/mol である。

問2 ダニエル電池は、亜鉛板、銅板、硫酸亜鉛水溶液、硫酸銅水溶液、隔膜（素焼き板）からなる。つぎの金属を組み合わせてダニエル型の電池をつくったとき、もっとも大きな起電力が得られるものを記号で答えなさい。

- (イ) 亜鉛と銅 (ロ) 亜鉛と鉄 (ハ) 亜鉛と銀
(ニ) 亜鉛とニッケル (ホ) 亜鉛とスズ

問3 鉛蓄電池を放電させると、つぎの反応が起こる。

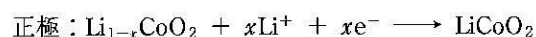
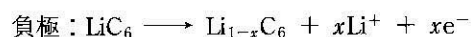


(a) および (b) に適合する化学式を答えなさい。

問4 起電力 E [V] の電池に外部回路をつないで n [mol] の電子を流したとき、外部に取り出せる電気エネルギーはファラデー定数 F [C/mol] を用いて nFE [J] で表される。負極の Pb 1.00 mol が反応したとき、鉛蓄電池で得られるエネルギーは何 J か、有効数字 3 桁で答えなさい。ただし、鉛蓄電池の起電力は 2.00 V である。

問5 電池のエネルギー密度 [J/g] は、電池全体の反応式における活物質の合計 1 g に対して得られる電池のエネルギーとして定義される。鉛蓄電池のエネルギー密度を有効数字 3 桁で答えなさい。

問6 リチウムイオン電池は、負極として黒鉛とリチウムが形成する LiC_6 、正極として $\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2$ ($0 < x \leq 1$) を用いた二次電池であり、放電させるとつぎの反応が起こる。



$x = 1$ として、リチウムイオン電池のエネルギー密度 [J/g] を有効数字 3 桁で答えなさい。ただし、リチウムイオン電池の起電力は 3.60 V である。

問7 リン酸形燃料電池の負極と正極で起こる反応を、それぞれイオン反応式で書きなさい。

問8 燃料電池は、水素の燃焼反応の反応熱の一部を電気エネルギーに変換している。したがって、燃料電池のエネルギー変換効率は、水素の燃焼熱に対する燃料電池の電気エネルギーの割合 [%] で表される。燃料電池の起電力を 1.23 V、生成する水を液体として、エネルギー変換効率を有効数字 3 桁で答えなさい。

〔Ⅲ〕 つぎの文章を読んで、問1～問10の答えを記述解答用紙の該当欄に記入しなさい。

デンプンおよびタンパク質、DNAは天然に存在し、いずれも低分子化合物が縮合した高分子である。

(1) デンプンは多糖であり、直鎖状のものや枝分かれ構造をもつものが存在する。多糖の直鎖状構造は、グルコースが1,4-グリコシド結合を繰り返すことで生じる。一方、多糖の枝分かれ構造は、グルコース構造がさらに1,6-グリコシド結合をつくることで生じる。

枝分かれ構造を含む多糖をヨウ化メチルと反応させてすべてのヒドロキシ基(-OH)をメチル化し、メチルエーテル(-OCH₃)に変化させた。その後、酸でグリコシド結合を加水分解したところ、単糖であるグルコースのヒドロキシ基が2～4個メチル化された化合物の混合物が得られた。これらのうちヒドロキシ基が(a)個メチル化された加水分解生成物の分子数は、多糖全体に含まれる枝分かれの総数に等しい。枝分かれの縮合部分だけを加水分解する枝切り酵素(イソアミラーゼ)を用い、平均分子量が 1.2×10^7 の多糖 A^(問4)を加水分解したところ、平均分子量が 2.6×10^3 の直鎖状の多糖が得られた。このことからAの1分子中には平均で(b)個の枝分かれグルコース構造が含まれ、繰り返し単位であるグルコースの(c)個に1個が枝分かれしていることがわかる。

問1 (a)に入る個数を整数で答えなさい。

問2 (b)に入る数値を有効数字2桁で答えなさい。

問3 (c)に入る数値を有効数字2桁で答えなさい。

問4 64.8gの多糖Aをヨウ化メチルと反応させてすべてのヒドロキシ基をメチル化した後、酸でグリコシド結合を加水分解した。このとき得られる生成物に、グルコースのヒドロキシ基が2個メチル化された化合物は何g含まれるか、有効数字2桁で答えなさい。

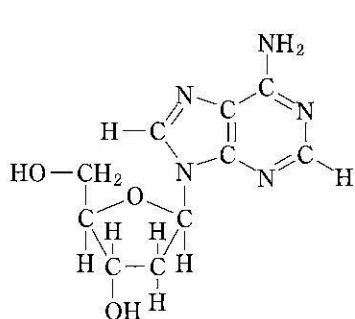
(2) タンパク質は多数のアミノ酸がペプチド結合で縮合した高分子である。アミノ酸は主にH, C, N, Oから構成されるが、メチオニンやシステインのようにSを含むものもある。生体内ではメチオニンからシステインへの変化の過程でシスタチオニンが生じる。シスタチオニンは分子量222であり、1分子中にNが2個含まれている。このシスタチオニン1.11gに水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱した後、酢酸鉛(Ⅱ)水溶液を加えたところ、1.20gの沈殿が生じた。^(問5)このことから、シスタチオニン1分子中に含まれるSは(d)個と求まる。また、シスタチオニン11.1mgを完全燃焼させたところ、CO₂が15.4mg、H₂Oが6.29mg得られた。したがって、シスタチオニンの分子式は(e)である。

問5 シスタチオニン1.11gに含まれるSの質量は何gか、有効数字3桁で答えなさい。

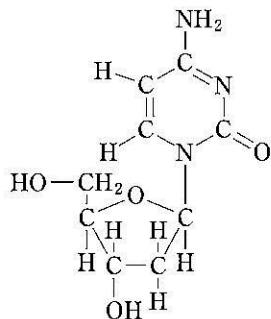
問6 (d)に入る個数を整数で答えなさい。

問7 (e)に入る分子式を答えなさい。

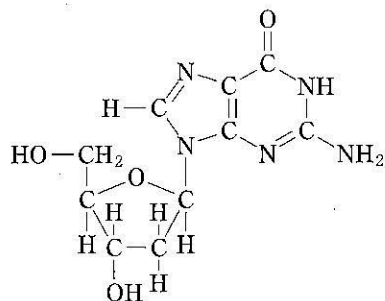
- (3) デオキシアデノシンおよびデオキシシチジン、デオキシグアノシン、デオキシチミジンは以下に示す構造式と分子量を持つ DNA の成分である。これらはリン酸と縮合することによりポリヌクレオチドとなり、さらに2本のポリヌクレオチドが重なり合って DNA の二重らせん構造をつくる。
(問8)
(問9, 10)



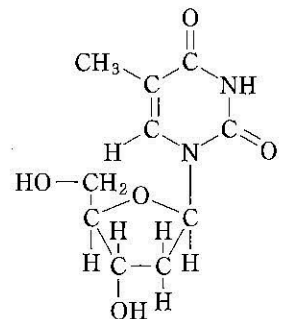
デオキシアデノシン
分子量 251



デオキシシチジン
分子量 227



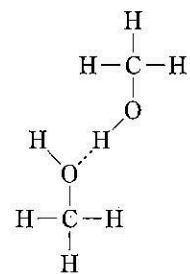
デオキシグアノシン
分子量 267



デオキシチミジン
分子量 242

問8 デオキシアデノシンの立体異性体の数は最大いくつか、答えなさい。ただし、デオキシアデノシン自身は含まない。

問9 DNA の二重らせん構造において、アデニンと塩基対を形成する塩基の構造を、右の例にならって解答欄に図示しなさい。さらに塩基対における水素結合をすべて点線で示しなさい。



例. メタノールの水素結合

問10 5.00×10^3 の塩基対からなる DNA 1.00×10^{-6} mol を加水分解したところ、デオキシアデノシンが 502 mg 得られた。このとき得られるデオキシグアノシンは何 mg か、有効数字 3 桁で答えなさい。

[以下余白]

物 理

<2016 H28100017>

受験番号	万	千	百	十	一
氏名					

(注意) 受験番号は右詰で記入すること。
所定の欄以外に番号・氏名を書かないこと。

採 点 欄

〔Ⅱ〕



〔Ⅲ〕



〔Ⅰ〕 マーク解答用紙へ

<2016 H28100017>

受験番号	万	千	百	十	一
氏名					

(注意) 受験番号は右詰で記入すること。
所定の欄以外に番号・氏名を書かないこと。

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	$A =$		
問2	$m_2 a_2 =$		
	中心座標	振幅	周期 $T =$
問3	<p>質点2の位置の数式表現 $x_2 =$</p>		
	$m_1 a_1 =$ $m_2 a_2 =$		
問5	$A =$	問6	$X =$
問7	$a =$	問8	$\mu =$
問9	$\xi =$		
問10	$t_n =$	$X_n =$	
問11	$E =$		
問12	正しい記述	理由	

〔Ⅲ〕

問1	力積の x 成分	力の大きさ		
	問2	$p =$	問3	$\sqrt{v^2} =$
問4		運動エネルギーの平均値の変化		$c_V =$
	問5	$A =$	$B =$	
問6	$V(x) =$			
問7	$a =$	$b =$		
問8	$v_Q =$			
問9			問10	$v_E =$
	問11			
問12	$\alpha =$			

化学

<2016 H28100017>

受験番号	万	千	百	十	一
氏名					

(注意) 受験番号は右詰で記入すること。所定の欄以外に番号・氏名を書かないこと。

採点欄

〔Ⅱ〕

--	--

〔Ⅲ〕

--	--

〔Ⅰ〕マーク解答用紙へ

<2016 H28100017>

受験番号	万	千	百	十	一
氏名					

(注意) 受験番号は右詰で記入すること。所定の欄以外に番号・氏名を書かないこと。

〔Ⅱ〕

問1					kJ
問2					
問3	a		b		
問4					J
問5					J/g
問6					J/g
問7	負極				
	正極				
問8					%

〔Ⅲ〕

問1			問2		
問3			問4	g	
問5	g		問6		
問7			問8		
問9					
問10					mg

化学

(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。