

監督者の指示があるまで、この問題冊子を開かないこと。

理 科

〔注意事項〕

1. 理科は **物 理** , **化 学** , **生 物** のうち2科目を選択して解答すること。

物 理 …… 1 頁

化 学 …… 18 頁

生 物 …… 30 頁

2. 問題 **I** の解答はマークシートに、問題 **II** の解答は記述用解答用紙に記入すること。

3. 解答は、解答用紙の所定の位置に記入すること。

4. マークシートは、コンピューターで処理するので、折り曲げたり汚したりしないこと。

5. マークシートおよび記述用解答用紙に、それぞれ氏名・受験番号を記入し、マークシートには科目選択・受験番号をマークする。これらに正しく記入・マークされていない場合は、採点できないことがある。

受験番号のマーク例(13015の場合)

受 験 番 号				
1	3	0	1	5
万位	千位	百位	十位	一位
●	①	●	①	①
②	②	②	②	②
③	●	③	③	③
④	④	④	④	④
⑤	⑤	⑤	⑤	●
⑥	⑥	⑥	⑥	⑥
⑦	⑦	⑦	⑦	⑦
⑧	⑧	⑧	⑧	⑧
⑨	⑨	⑨	⑨	⑨

6. 解答には、黒鉛筆またはシャープペン(HB, Bに限る)を用いること。マークシートに誤ってマークした場合には、消しゴムできれいに消し、消しくずを完全に取り除いたうえで、マークし直すこと。

7. マークするときは、下記の例に従って正しくマークすること。

例：「3」を解答する場合

正しいマーク例

①	②	●	④	⑤	⑥	⑦
---	---	---	---	---	---	---

誤ったマーク例

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	マークが薄い マークが不完全 マークが○印 マークがV印
①	②	●	④	⑤	⑥	⑦	
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	

8. 記述用解答用紙には、マークシートの科目選択欄にマークした科目を解答すること。

9. 各科目とも基本的には解答は一つであるが、問題によっては二つ以上の解答を求める場合があるので、問題をよく読み解答すること。



物 理

I 以下の問題(第1問～第3問)の答えをマークシートに記せ。

第1問 次の問い(問1～問6)に答えよ。[解答番号 1 ～ 9]

問1 図1のような半径 r の半円柱が、水平な床の上に固定されている。図1は断面図を表しており、点 O は半円柱の断面の中心である。この半円柱に長さ $2r$ 、質量 M の一樣な棒を、床となす角度が 30° になるように立てかけたところ、棒はすべらずに静止した。ただし、棒と床の間には摩擦力がはたらき、棒と半円柱の間には摩擦力がはたらかないものとし、棒は半円柱の断面と同じ鉛直面内にあるものとする。このとき、棒が床から受ける摩擦力の大きさはいくらか。正しいものを、下の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし、重力加速度の大きさを g とする。 1

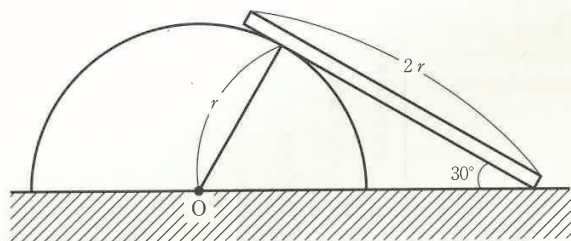


図1

- | | | | |
|-------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------|
| ① $\frac{1}{8}Mg$ | ② $\frac{\sqrt{3}}{8}Mg$ | ③ $\frac{1}{4}Mg$ | ④ $\frac{\sqrt{3}}{4}Mg$ |
| ⑤ $\frac{1}{2}Mg$ | ⑥ $\frac{\sqrt{3}}{3}Mg$ | ⑦ $\frac{3}{4}Mg$ | ⑧ $\frac{\sqrt{3}}{2}Mg$ |

問2 媒質中で周期 T 、波長 λ 、振幅 A の2つの正弦波が、図2のように x 軸上を互いに逆向きに進んで重なり合う。図2は、時刻 $t=0$ の瞬間において $x \geq 0$ の領域のようすを示しており、実線は右向きに進む正弦波、破線は左向きに進む正弦波を表す。時刻 $t = \frac{T}{12}$ における媒質の変位 y を表すグラフとして正しいものを、下の①～⑧のうちから一つ選べ。

2

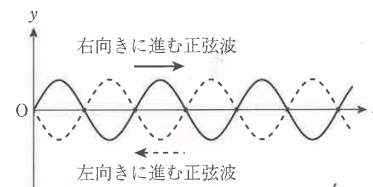
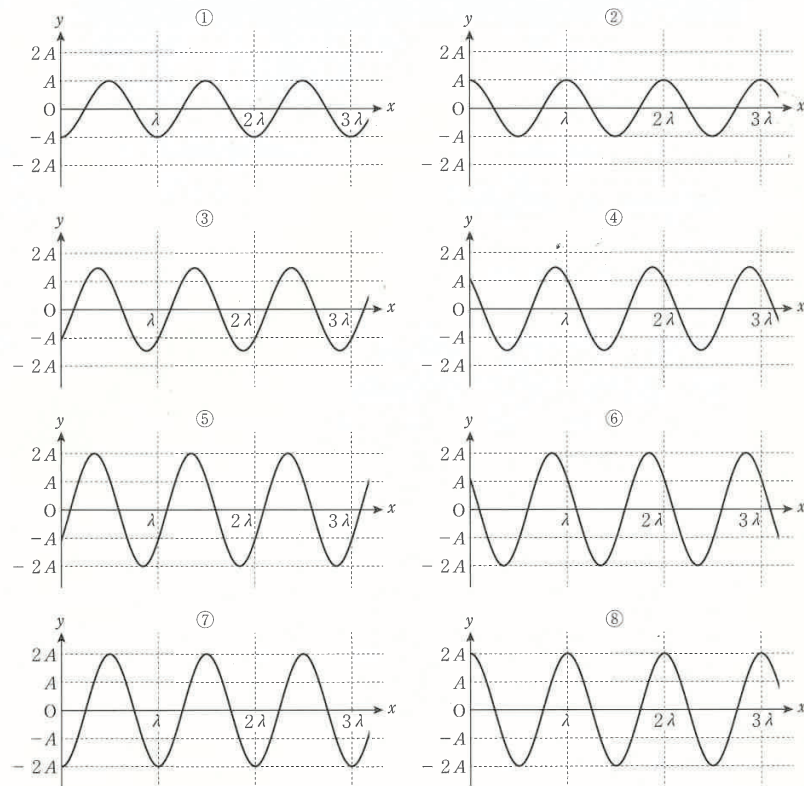


図2



問 3 真空中で図3のような、 x 軸の正の向きに一定な磁束密度 B_0 の磁場で、 xy 平面に垂直に原点 O を通る導線が固定されているとする。ただし、導線はじゅうぶんに長い直線導線である。この導線に、紙面の裏から表の向きに一定の強さの電流を流す場合を考えよう。 xy 平面内の各点で磁場を測定すると、磁束密度の大きさが 0 になる位置が $y > 0$ の領域に 1 点だけあることがわかるので、この点と原点 O との距離を $r (> 0)$ としよう。このとき、 xy 座標が $(x, y) = \left(\frac{r}{2}, -\frac{r}{2}\right)$ の位置における磁束密度 $\vec{B} = (B_x, B_y)$ の x 成分はいくらか。正しいものを、下の①～⑧のうちから一つ選べ。

$$B_x = \boxed{3}$$

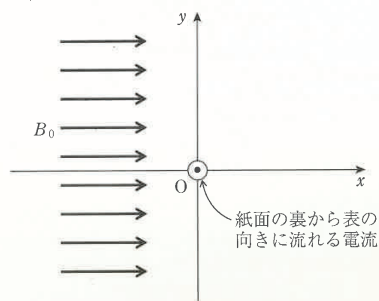


図 3

- ① $\frac{3}{2} B_0$ ② $\left(1 + \frac{\sqrt{2}}{2}\right) B_0$ ③ $2 B_0$
 ④ $(1 + \sqrt{2}) B_0$ ⑤ $\frac{5}{2} B_0$ ⑥ $\left(2 + \frac{\sqrt{2}}{2}\right) B_0$
 ⑦ $3 B_0$ ⑧ $(2 + \sqrt{2}) B_0$

問 4 図4のように、 x 軸方向の長さが a 、 y 軸方向の長さが b 、 z 軸方向の長さが c の直方体状の p 型半導体の試料を置く。この試料に一定な磁束密度 B の磁場を z 軸の正の向きにかけ、 y 軸の正の向きに一定の強さの電流 I を流したところ、試料において x 軸に垂直な二つの面(面 K と面 L)の間に電位差が生じた。この電位差は、 p 型半導体の試料中のキャリア(電流の担い手)であるホール(正孔)が磁場から力を受けて、試料の端にかたよった結果として生じたと考えられる。この試料中のキャリアであるホールの数密度(単位体積あたりの数)を n とし、ホールの電荷を $e (> 0)$ として、下の問い((a), (b))に答えよ。

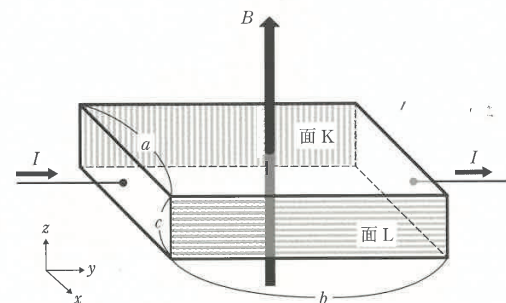


図 4

(a) 図4の試料中でキャリアがもつ y 軸方向の平均の速さを v とすると、 v はいくらか。正しいものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。

$$v = \boxed{4}$$

- ① $Ienab$ ② $Ienbc$ ③ $Ienac$ ④ $Ienabc$
 ⑤ $\frac{I}{enab}$ ⑥ $\frac{I}{enbc}$ ⑦ $\frac{I}{enac}$ ⑧ $\frac{I}{enabc}$

(b) 面 K と面 L の間の電位差は、試料中の x 軸方向に電場が生じていることを示しているので、キャリアはこの電場からも力を受ける。一定の電流 I が流れている図 4 の試料中では、キャリアにはたらく力がつり合っている。このとき、面 K に対する面 L の電位は、前問の v を用いてどのように表されるか。正しいものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。

5

- ① Bav ② $Bacv$ ③ $\frac{Ba}{v}$ ④ $\frac{Bac}{v}$
 ⑤ $-Bav$ ⑥ $-Bacv$ ⑦ $-\frac{Ba}{v}$ ⑧ $-\frac{Bac}{v}$

問 5 図 5 のように、原子が規則正しく配列した平面(格子面)が間隔 d で平行に並んだ結晶に波長 λ の X 線を当てる。X 線を格子面に対して θ の角度で入射させると、強い透過力をもった X 線は結晶表面の格子面 A だけでなく、格子面 B や格子面 C、さらに深い位置にある格子面まで到達し、それぞれの格子面によって反射の法則を満たす方向に反射される。隣り合う 2 つの格子面で反射された X 線が同位相となると、平行な格子面で反射される X 線全体が強め合う。反射 X 線について、下の問い (a), (b) に答えよ。

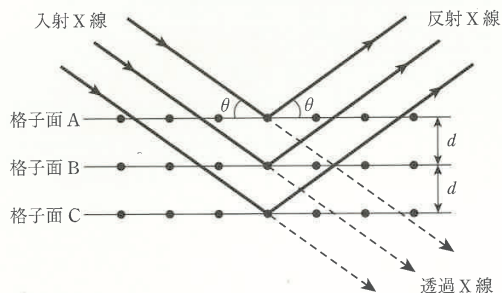


図 5

(a) 図 5 において、反射 X 線が強め合う条件はどのように表されるか。正しいものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし、 $n = 1, 2, 3, \dots$ とする。

6

- ① $\cos \theta = \frac{nd}{\lambda}$ ② $\cos \theta = \frac{n\lambda}{d}$ ③ $\cos \theta = \frac{nd}{2\lambda}$ ④ $\cos \theta = \frac{n\lambda}{2d}$
 ⑤ $\sin \theta = \frac{nd}{\lambda}$ ⑥ $\sin \theta = \frac{n\lambda}{d}$ ⑦ $\sin \theta = \frac{nd}{2\lambda}$ ⑧ $\sin \theta = \frac{n\lambda}{2d}$

(b) 入射 X 線の波長を $\lambda = 1.7 \times 10^{-10} \text{ m}$ とする。このとき図 5 において、 $0^\circ < \theta < 90^\circ$ の範囲で θ の値を変えると、 $\theta = \theta_a, \theta_b, \theta_c$ の 3 つの角度で反射 X 線が強め合った。ただし、 $0^\circ < \theta_a < \theta_b < \theta_c < 90^\circ$ とし、 $\theta_c = 50.6^\circ$ であった。格子面の間隔 d はいくらか。最も近い値を、次の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし、 $\cos(50.6^\circ) = 0.63$, $\sin(50.6^\circ) = 0.77$ として計算してよい。

$d =$ 7 m

- ① 7.1×10^{-11} ② 8.7×10^{-11} ③ 1.5×10^{-10} ④ 2.2×10^{-10}
 ⑤ 2.6×10^{-10} ⑥ 3.3×10^{-10} ⑦ 4.0×10^{-10} ⑧ 6.6×10^{-10}

問 6 水素原子内の電子(質量 m , 電気量 $-e$ ($e > 0$)) は、水素原子の中心にある原子核(電気量 $+e$) から静電引力を受け、半径 r の軌道上を等速円運動しているとする(図 6)。真空中のクーロンの法則の比例定数を k , プランク定数を h として、次の問い (a), (b) に答えよ。

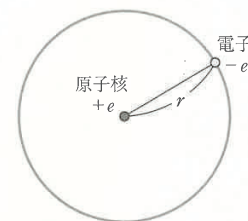


図 6

(a) 電子の運動方程式から、等速円運動する電子の速さは r を用いて表すことができる。このとき、水素原子内で等速円運動する電子の力学的エネルギーは r を用いてどのように表されるか。正しいものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし、静電引力による位置エネルギーは無限遠点を基準点にとるものとする。

8

- ① $\frac{ke^2}{2r}$ ② $\frac{3ke^2}{2r}$ ③ $\frac{ke^2}{2r^2}$ ④ $\frac{3ke^2}{2r^2}$
 ⑤ $-\frac{ke^2}{2r}$ ⑥ $-\frac{3ke^2}{2r}$ ⑦ $-\frac{ke^2}{2r^2}$ ⑧ $-\frac{3ke^2}{2r^2}$

(b) 電子は粒子としての性質だけでなく、波(電子波)としての性質も持っており、水素原子内の電子は、

$$2\pi r = n \times (\text{電子波の波長})$$

を満たす場合にのみ、軌道上に存在できる(量子条件)。ただし、 $n = 1, 2, 3, \dots$ は量子数である。この量子条件を用いると、 r はどのように表されるか。正しいものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。

$r =$ 9

- | | | | |
|---------------------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| ① $\frac{nh}{2\pi mke^2}$ | ② $\frac{nh}{4\pi^2 mke^2}$ | ③ $\frac{n^2 h^2}{2\pi mke^2}$ | ④ $\frac{n^2 h^2}{4\pi^2 mke^2}$ |
| ⑤ $\frac{mnh}{2\pi ke^2}$ | ⑥ $\frac{mnh}{4\pi^2 ke^2}$ | ⑦ $\frac{mn^2 h^2}{2\pi ke^2}$ | ⑧ $\frac{mn^2 h^2}{4\pi^2 ke^2}$ |

第2問 図1のように、抵抗値 R の抵抗、自己インダクタンス L のコイル、電気容量 C_1 、 C_2 の二つのコンデンサー($C_1 > C_2$)、およびスイッチ S をつないで回路をつくった。スイッチ S が図1のように開いた状態で、電気容量 C_1 のコンデンサーの上側の極板に正の電気量 $Q_0 (> 0)$ 、下側の極板に $-Q_0$ の電気量を与え、電気容量 C_2 のコンデンサーには上側の極板に $2Q_0$ 、下側の極板に $-2Q_0$ の電気量を与えた。この状態からスイッチ S を、端子 A あるいは端子 I に接続する場合について、下の問い(問1、問2)に答えよ。

[解答番号 1 ~ 6]

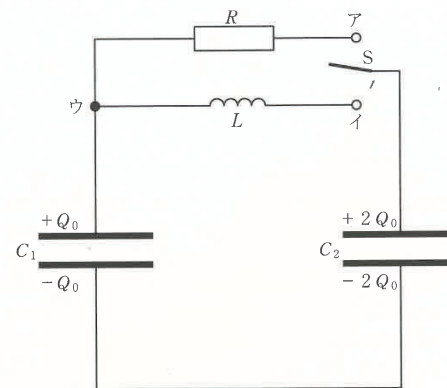


図1

問1 図1の状態からスイッチ S を A に接続すると、回路に電流が流れはじめた。このとき、次の問い((a)~(c))に答えよ。

(a) S を A に接続した直後に回路に流れる電流の大きさを $\frac{AQ_0}{R}$ と表すと、 A はいくらか。

正しいものを、次の①～⑨のうちから一つ選べ。

$A =$ 1

- | | | |
|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| ① $\frac{1}{C_1 + C_2}$ | ② $\frac{1}{2C_1 + C_2}$ | ③ $\frac{2}{C_1 + C_2}$ |
| ④ $\frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2}$ | ⑤ $\frac{2C_1 + C_2}{C_1 C_2}$ | ⑥ $\frac{2(C_1 + C_2)}{C_1 C_2}$ |
| ⑦ $\frac{C_1 - C_2}{C_1 C_2}$ | ⑧ $\frac{2C_1 - C_2}{C_1 C_2}$ | ⑨ $\frac{2(C_1 - C_2)}{C_1 C_2}$ |

- (b) SをAに接続してしばらく後に時間が経過した後の、電気容量 C_1 のコンデンサーの上側の極板の電気量はいくらか。正しいものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。

2

- ① $\frac{C_1 Q_0}{C_1 + 2C_2}$ ② $\frac{C_1 Q_0}{2C_1 + C_2}$ ③ $\frac{2C_1 Q_0}{C_1 + C_2}$
 ④ $\frac{3C_1 Q_0}{C_1 + C_2}$ ⑤ $\frac{(C_1 + 2C_2) Q_0}{C_2}$ ⑥ $\frac{(2C_1 + C_2) Q_0}{C_2}$
 ⑦ $\frac{2(C_1 + C_2) Q_0}{C_2}$ ⑧ $\frac{3(C_1 + C_2) Q_0}{C_2}$

- (c) SをAに接続してからしばらく後に時間が経過するまでに、抵抗で発生するジュール熱はいくらか。正しいものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。

3

- ① $\frac{(C_1 - C_2)^2 Q_0^2}{2C_1 C_2 (C_1 + C_2)}$ ② $\frac{(C_1 - C_2)^2 Q_0^2}{C_1 C_2 (C_1 + C_2)}$
 ③ $\frac{(C_1 - C_2)^3 Q_0^2}{2C_1 C_2 (C_1 + C_2)^2}$ ④ $\frac{(C_1 - C_2)^3 Q_0^2}{C_1 C_2 (C_1 + C_2)^2}$
 ⑤ $\frac{(C_1 - C_2)(2C_1 - C_2) Q_0^2}{2C_1 C_2 (C_1 + C_2)}$ ⑥ $\frac{(2C_1 - C_2)^2 Q_0^2}{2C_1 C_2 (C_1 + C_2)}$
 ⑦ $\frac{(C_1 - C_2)^2 (2C_1 - C_2) Q_0^2}{2C_1 C_2 (C_1 + C_2)^2}$ ⑧ $\frac{(C_1 - C_2)(2C_1 - C_2)^2 Q_0^2}{2C_1 C_2 (C_1 + C_2)^2}$

問2 図1の状態からスイッチSをイに接続する場合を考えよう。Sをイに接続した瞬間を時刻 $t = 0$ とし、時刻 t の瞬間には電気容量 C_1 のコンデンサーの上側の極板の電気量が、

$$Q_0 + q$$

となり、図1の電気量 Q_0 に比べて q だけ増加していると、また、時刻 t にコイルをイからウの向きに流れる電流が I であるとして、次の問い((a)～(c))に答えよ。

- (a) コイルをイからウの向きに流れる電流 I が、時刻 t から $t + \Delta t$ までの短い時間 Δt の間に $I \rightarrow I + \Delta I$ と変化したとする。このときの電流の時間的変化の割合 $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ は、キルヒホッフの第2法則を適用し問1(a)のAを用いると、

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = -\frac{1}{L} (Bq - A Q_0) \quad (1)$$

と表すことができる。ただし、 B は時刻 t によらない正の定数とする ($B > 0$)。 B として正しいものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。

B = 4

- ① $\frac{1}{C_1 + C_2}$ ② $\frac{2}{C_1 + C_2}$ ③ $\frac{1}{C_1 - C_2}$
 ④ $\frac{2}{C_1 - C_2}$ ⑤ $\frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2}$ ⑥ $\frac{2(C_1 + C_2)}{C_1 C_2}$
 ⑦ $\frac{C_1 - C_2}{C_1 C_2}$ ⑧ $\frac{2(C_1 - C_2)}{C_1 C_2}$

- (b) 電流 I を運動する物体の速度に対応させると、 $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ は物体の加速度に対応し、 q は物体の位置に対応するので、式(1)は物体の加速度を運動方程式で表したものに对应している。また、式(1)の右辺を

$$-\frac{B}{L} \left(q - \frac{A}{B} Q_0 \right)$$

と表すと、 q (物体の位置に対応) を $\frac{A}{B} Q_0$ に引きもどすように、 $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ (物体の加速度に対応) が生じることを示している。物体の運動における単振動に対応して、 q が時刻 t の関数として振動することがわかり、電流 I も振動電流となる。ただし、コイルの自己誘導のため、Sをイに接続した直後には回路に電流は流れないので、時刻 $t = 0$ に q と I の両方が0となる。このことから、 q は t の関数として、式(1)の A, B を用いてどのように表されるか。正しいものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。

q = 5

- ① $\frac{A}{B} Q_0 \sin \left(\frac{B}{L} t \right)$ ② $\frac{2A}{B} Q_0 \sin \left(\frac{B}{L} t \right)$
 ③ $\frac{A}{B} Q_0 \left(1 - \cos \left(\frac{B}{L} t \right) \right)$ ④ $\frac{2A}{B} Q_0 \left(1 - \cos \left(\frac{B}{L} t \right) \right)$
 ⑤ $\frac{A}{B} Q_0 \sin \left(t \sqrt{\frac{B}{L}} \right)$ ⑥ $\frac{2A}{B} Q_0 \sin \left(t \sqrt{\frac{B}{L}} \right)$
 ⑦ $\frac{A}{B} Q_0 \left(1 - \cos \left(t \sqrt{\frac{B}{L}} \right) \right)$ ⑧ $\frac{2A}{B} Q_0 \left(1 - \cos \left(t \sqrt{\frac{B}{L}} \right) \right)$

(c) 前問で求めた 5 の結果で、 q が時刻 t の関数として振動する周期を T としよう。コイルに蓄えられるエネルギーを U とすると、時刻 $t = \frac{T}{3}$ の瞬間の U は、式(1)の A, B を用いてどのように表されるか。正しいものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。

6

- ① $\frac{A^2 Q_0^2}{8B}$ ② $\frac{3A^2 Q_0^2}{8B}$ ③ $\frac{A^2 Q_0^2}{4B}$ ④ $\frac{3A^2 Q_0^2}{4B}$
 ⑤ $\frac{LA^2 BQ_0^2}{8}$ ⑥ $\frac{3LA^2 BQ_0^2}{8}$ ⑦ $\frac{LA^2 BQ_0^2}{4}$ ⑧ $\frac{3LA^2 BQ_0^2}{4}$

第3問 図1のように、ピストンと板によって内部を分けられた断面積 S のシリンダーがあり、ピストンと板はシリンダー内をなめらかに動くものとする。図1のように静止しているピストンの位置を原点 O として、右方向を正の方向として x 軸をとる。板は $x = L (> 0)$ の位置に静止している。ピストンと板ではさまれた部屋には、圧力 p_0 、絶対温度 T_0 の単原子分子の理想気体が 1 mol 封じ込められており、この部屋には大きさの無視できるヒーターが設置されている。板の右の部屋は真空で、板とシリンダーの壁はばね(ばね定数 k)でつながれ、図1の状態のばねは自然長から長さ L だけ縮んでいる。ピストン、板、シリンダーは薄い断熱材でつくられており、厚みや質量は無視できるものとする。気体定数を R 、単原子分子理想気体の定積モル比熱を $\frac{3}{2}R$ として、下の問い(問1～問3)に答えよ。[解答番号 1 ～ 6]

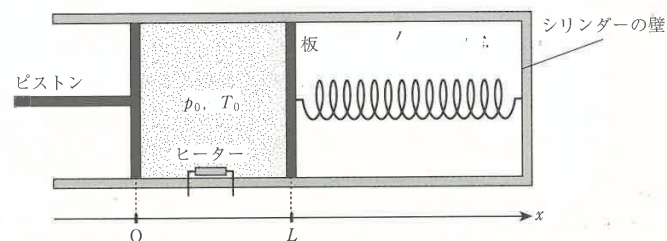


図1

問1 図1の状態で、板にはたらく力のつり合いと理想気体の状態方程式を用いると、温度 T_0 はどのように表されるか。正しいものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。

$T_0 =$ 1

- ① $\frac{kL}{S}$ ② $\frac{kL}{2S}$ ③ $\frac{kL^2}{S}$ ④ $\frac{kL^2}{2S}$
 ⑤ $\frac{kL}{R}$ ⑥ $\frac{kL}{2R}$ ⑦ $\frac{kL^2}{R}$ ⑧ $\frac{kL^2}{2R}$

問2 図1の状態、ピストンの位置がOから動かないように固定し、ヒーターのスイッチを入れて一定時間だけ気体を加熱してスイッチを切る。ヒーターのスイッチを入れた後、板は $x = L$ からゆっくり動き、スイッチを切った後、図2のように板は $x = \frac{3}{2}L$ の位置で静止した。図2の状態における気体の内部エネルギーはいくらか。また、図2の状態になるまでに、ヒーターが気体に加えた熱量はいくらか。正しいものを、下の①～⑧のうちから一つずつ選べ。

内部エネルギー =

熱量 =

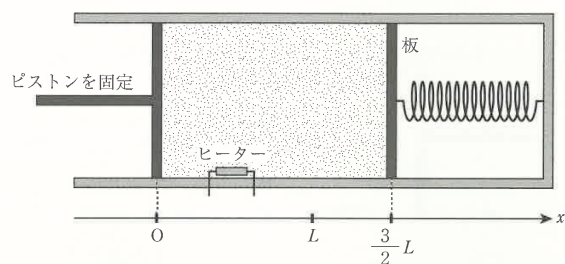


図2

- | | | | |
|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| ① $\frac{9kL^2}{8}$ | ② $\frac{9kL^2}{4}$ | ③ $\frac{5kL^2}{2}$ | ④ $3kL^2$ |
| ⑤ $\frac{27kL^2}{8}$ | ⑥ $4kL^2$ | ⑦ $\frac{9kL^2}{2}$ | ⑧ $\frac{45kL^2}{8}$ |

問3 図1の状態でヒーターを取り外し、シリンダー内の気体は外部と熱のやり取りがないようにする。この状態から、ピストンを $x = 0$ から $x = a (> 0)$ の位置までゆっくりと押し込むと、板は $x = L$ から $x = L + b (b > 0)$ の位置まで移動し静止した(図3)。このとき、シリンダー内の気体は圧力と絶対温度がそれぞれ $p_0 \rightarrow p'$, $T_0 \rightarrow T'$ と変化した。ただし、以下では a および b がじゅうぶん小さい場合を考えることにする。この断熱変化について、下の問い((a)～(c))に答えよ。

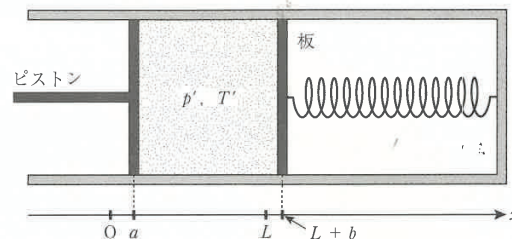


図3

(a) 板にはたらく力のつり合いと理想気体の状態方程式を用いると、図3の温度 T' は a と b を用いて表される。温度変化の割合 $\frac{T' - T_0}{T_0}$ はいくらか。正しいものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし、 a および b はじゅうぶん小さいので、 a^2 , b^2 , ab は無視できるものとする。

$$\frac{T' - T_0}{T_0} = \text{$$

- | | | | |
|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| ① $\frac{a+b}{L}$ | ② $\frac{2(a+b)}{L}$ | ③ $\frac{a-b}{L}$ | ④ $\frac{b-a}{L}$ |
| ⑤ $\frac{a-2b}{L}$ | ⑥ $\frac{2b-a}{L}$ | ⑦ $\frac{2a-b}{L}$ | ⑧ $\frac{b-2a}{L}$ |

(b) この断熱変化に熱力学第1法則を適用することでも $\Delta T = T' - T_0$ を計算できる。ただし、 a と b がじゅうぶん小さいので、この断熱変化における仕事を計算するとき、気体の圧力は一定としてよい。このようにして計算した ΔT と問3(a)の結果から、 b は a の何倍か。正しいものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。 倍

- | | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| ① $\frac{1}{5}$ | ② $\frac{1}{4}$ | ③ $\frac{1}{3}$ | ④ $\frac{2}{5}$ |
| ⑤ $\frac{4}{7}$ | ⑥ $\frac{3}{5}$ | ⑦ $\frac{5}{8}$ | ⑧ $\frac{5}{7}$ |

(c) 図1の気体の体積を V_0 、図3の気体の体積を V' で表す。この断熱変化において、圧力変化と体積変化の比は

$$\frac{p' - p_0}{V' - V_0} = \boxed{6} \times \frac{p_0}{V_0}$$

と表すことができる。 $\boxed{6}$ を埋めるのに正しいものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。

① $-\frac{5}{2}$

② $-\frac{5}{3}$

③ $-\frac{3}{2}$

④ $-\frac{4}{3}$

⑤ $-\frac{2}{3}$

⑥ $-\frac{1}{2}$

⑦ $-\frac{1}{3}$

⑧ $-\frac{1}{4}$

Ⅱ 次の問いに答えよ。解答用紙の所定の欄には、結果だけでなく考え方と途中の式も記せ。

質量 m の小球 A とその k 倍 ($k > 1$) の質量をもつ小球 B を、それぞれ長さ L の軽い糸で点 O からつり下げ 2 つの振り子をつくった。図 1 のように、小球 A をつるした糸と鉛直線とのなす角 $\angle AOB$ が θ_0 の位置から A を静かに放し、O の真下で静止している小球 B と衝突させる。小球 A と小球 B の間の反発係数を e ($0 < e < 1$) とし、下の問い(問 1～問 3)に答えよ。ただし、空気抵抗は無視できるものとし、重力加速度の大きさを g とする。

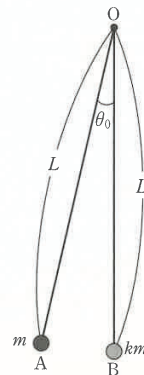


図 1

問 1 小球 A が静かに放されてから小球 B に最初に衝突するまでの A の運動で、A をつるした糸が $\angle AOB = \theta$ ($0 < \theta < \theta_0$) となる位置にきた瞬間について考える。このときの小球 A の速さは θ_0 で決まる。このことから、 $\angle AOB = \theta$ のとき、小球 A を糸が引く力の大きさは θ_0 、 θ 、 m 、 g を用いてどのように表されるか。

問 2 小球 A が小球 B に最初に衝突する直前の、小球 A の速さを v で表すものとする。このとき、最初の衝突直後の小球 A の速度 v' と小球 B の速度 V' は、 v を用いてそれぞれどのように表されるか。ただし、衝突直前の A の速度の向きを正とする。

問 3 図 1 の θ_0 がじゅうぶん小さい場合を考える ($\theta_0 \ll 1$)。このとき、衝突前後の 2 つの振り子の振れの角もじゅうぶん小さいので、角 θ がじゅうぶん小さい場合に成り立つ三角関数の関係式

$$\sin \theta \approx \theta$$

$$\cos \theta = \sqrt{1 - \sin^2 \theta} \approx 1 - \frac{\theta^2}{2}$$

を用いて、次の問い((a)~(c))に答えよ。

- (a) 上の三角関数の近似式を使うとき、小球 A が小球 B に最初に衝突する直前の速さ v は、 L , g , θ_0 を用いてどのように表されるか。
- (b) 最初の衝突の後、2 つの振り子はもどってきて、小球 A と小球 B は 2 度目の衝突をする。最初の衝突の瞬間を時刻 $t = 0$ として、2 度目の衝突の時刻を $t = t_2$ とする。振り子の振幅はじゅうぶん小さいので、2 つの小球は水平方向の直線上を動くとしてよい。この直線を x 軸とし、図 1 での B の静止位置を原点にとり、右方向を正の方向とする。 $x = 0$ の位置での最初の衝突の後、2 つの振り子が 2 度目の衝突をするまでの時間 ($0 < t < t_2$) において、小球 A と小球 B の 2 球の重心の x 座標を時刻 t の関数として求めよ。また、2 度目の衝突の時刻 t_2 はいくらか。ただし、重心の x 座標は L , g , k , θ_0 , t を用いて表せ。
- (c) 小球 A と小球 B の 2 度目の衝突直後の小球 B の速度は、最初の衝突直前の A の速さ v を用いてどのように表されるか。ただし、最初の衝突直前の A の速度の向きを正とする。

化 学

必要なら次の値を用いなさい。原子量：H = 1.0, C = 12, N = 14, O = 16, Na = 23, S = 32, Cl = 35.5, Cr = 52, Cu = 63.5, アボガドロ定数： $N_A = 6.0 \times 10^{23}/\text{mol}$, 気体定数： $R = 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol})$, ファラデー定数： $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$, $\log_{10} 2 = 0.30$, $\log_{10} 3 = 0.48$, $\log_{10} 5 = 0.70$, $\sqrt{2} = 1.41$, $\sqrt{3} = 1.73$, $\sqrt{5} = 2.24$ とする。また、気体はすべて理想気体として扱い、化学式が[]で囲まれている場合は、その物質のモル濃度[mol/L]を表している。

I 以下の問題(第1問～第3問)の答えをマークシートに記しなさい。

第1問 次の各問いに答えなさい。[解答番号 1 ~ 8]

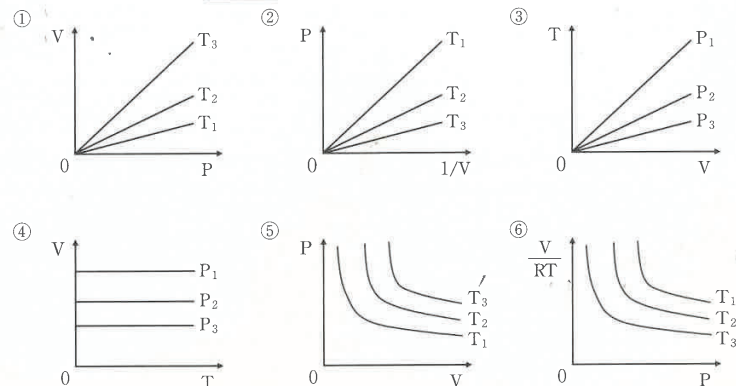
問1 塩素には ^{35}Cl と ^{37}Cl の同位体が、炭素には ^{12}C と ^{13}C の同位体が存在するとして、四塩化炭素には質量数の和が異なる分子が何種類存在するか。正しい数を①～⑥の中から一つ選びなさい。ただし、四塩化炭素は炭素を中心とした正四面体の分子である。 1

① 4 ② 5 ③ 8 ④ 10 ⑤ 16 ⑥ 20

問2 次の有機化合物1 molをそれぞれ完全燃焼させたとき、生じる二酸化炭素の物質量が最も多い化合物はどれか。正しいものを①～⑥の中から一つ選びなさい。 2

① CH_4 ② CH_2O ③ $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
④ CH_3COH ⑤ CH_3COCH_3 ⑥ CH_3COOH

問3 1 molの理想気体の性質に関して、正しい関係を表しているグラフを①～⑥の中から一つ選びなさい。ただし体積V[L], 圧力P[Pa], 絶対温度T[K]であり, $P_1 < P_2 < P_3$, $T_1 < T_2 < T_3$ とする。 3



問4 金属Mを含む, $\text{MCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ の化学式で表される物質Aがある。金属Mのイオン(M^{3+})には、塩化物イオンや水が配位子として結合しており, M^{3+} を中心とした正八面体構造をとる。Aを水に溶かして硝酸銀水溶液を充分加えたが、沈殿は生じなかった。 M^{3+} と配位子を立体配置の違いで区別すると正八面体の種類はいくつあるか。正しい数を①～⑥の中から一つ選びなさい。ただし M^{3+} と配位子間の結合距離は配位子の種類に関わらずすべて等しいものとする。 4

① 1 ② 2 ③ 3 ④ 4 ⑤ 5 ⑥ 6

問5 硫酸ナトリウム十水和物5.0 gを水100 gに溶かした。この水溶液の凝固点は何℃か。最も近い値を①～⑥の中から一つ選びなさい。ただし水の凝固点を0.0℃, 水のモル凝固点降下を1.86 K · kg/molとし, 硫酸ナトリウムは水溶液中で完全に電離するものとする。 5℃

① -0.15 ② -0.28 ③ -0.37 ④ -0.45 ⑤ -0.56 ⑥ -0.84

問 6 次の問い(a)～(c)に答えなさい。

(a) 硫酸銅(Ⅱ)は20℃で100 gの水に対して最大20.2 g溶ける。20℃における硫酸銅(Ⅱ)飽和水溶液の質量パーセント濃度は何%か。最も近い値を①～⑥の中から一つ選びなさい。 6 %

- ① 10.8 ② 14.5 ③ 16.8 ④ 21.6 ⑤ 28.7 ⑥ 33.6

(b) (a)の20℃の硫酸銅(Ⅱ)飽和水溶液から、 4.00×10^{-2} mol/Lの硫酸銅(Ⅱ)水溶液を1.00 Lつくるとき必要な硫酸銅(Ⅱ)飽和水溶液は何 g か。最も近い値を①～⑥の中から一つ選びなさい。

- 7 g
① 10.8 ② 12.5 ③ 24.8 ④ 28.6 ⑤ 32.8 ⑥ 38.0

(c) 60℃における硫酸銅(Ⅱ)飽和水溶液100 gを20℃まで冷却したところ、質量 x [g]の硫酸銅(Ⅱ)五水和物が析出した。硫酸銅(Ⅱ)のモル質量[g/mol]を M 、水のモル質量[g/mol]を m とし、硫酸銅(Ⅱ)は60℃で100 gの水に対して最大 A [g]溶けるとして、この20℃の水溶液中に溶解している硫酸銅(Ⅱ)の質量[g]はどう表されるか。正しい式を①～⑥の中から一つ選びなさい。 8

- ① $\frac{(A-x)M}{M+5m}$ ② $\frac{(100A-x)M}{M+5m}$
③ $\frac{100A}{100+A} - \frac{Mx}{M+5m}$ ④ $\frac{100^2}{100+A} - \frac{Mx}{M+5m}$
⑤ $\frac{100A(M+5m)}{100M-5mA} - \frac{Mx}{M+5m}$ ⑥ $A - \frac{Mx}{M+5m}$

第2問 次の各問いに答えなさい。〔解答番号 1 ～ 9 〕

水酸化ナトリウムを食塩水の電気分解によって製造するイオン交換膜法を考える。この方法では、図1に示すように電気分解槽内部がイオン交換膜によって陽極側と陰極側に分けられている。陽極側では反応(I)が起こり、陰極側では反応(Ⅱ)が起こる。イオン交換膜法で純度の高い水酸化ナトリウムを得ることができるのは、イオン交換膜が イ のみを選択的に透過させるからである。ただしこの電気分解は25℃、 1.013×10^5 Paでおこなわれたものとし、極板が溶解する反応は起こらないものとする。また必要であれば次の表1を参考にしなさい。

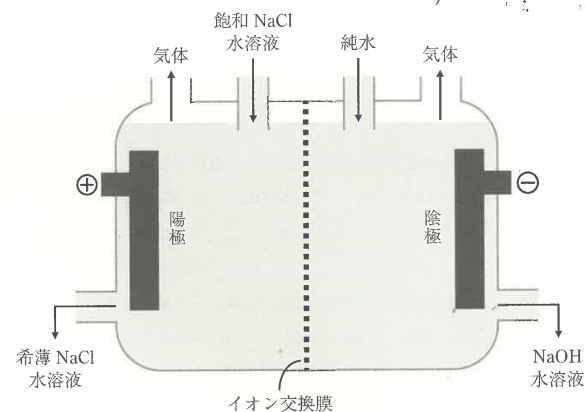


図1

表1

反応式	エンタルピー (25℃, 1.013×10^5 Pa)
$\text{H}_2(\text{気}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{気}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{液})$	$\Delta H = -286 \text{ kJ}$
$\text{Na}(\text{固}) + \frac{1}{2} \text{Cl}_2(\text{気}) \rightarrow \text{NaCl}(\text{固})$	$\Delta H = -411 \text{ kJ}$
$\text{NaCl}(\text{固}) + \text{aq} \rightarrow \text{NaCl aq}$	$\Delta H = +4.0 \text{ kJ}$
$\text{Na}(\text{固}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{気}) + \frac{1}{2} \text{H}_2(\text{気}) \rightarrow \text{NaOH}(\text{固})$	$\Delta H = -425.5 \text{ kJ}$
$\text{NaOH}(\text{固}) + \text{aq} \rightarrow \text{NaOH aq}$	$\Delta H = -44.5 \text{ kJ}$

問 1 に当てはまる物質を①～⑥の中から一つ選びなさい。

- ① Cl_2 ② H_2 ③ O_2 ④ Na^+ ⑤ Cl^- ⑥ OH^-

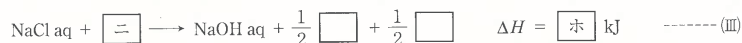
問 2 に当てはまる物質を①～⑩の中から一つ選びなさい。

- ① NaCl ② H_2O ③ NaOH ④ Cl_2 ⑤ H_2
⑥ O_2 ⑦ H^+ ⑧ Na^+ ⑨ Cl^- ⑩ OH^-

問 3 に当てはまる物質を①～⑩の中から一つ選びなさい。

- ① NaCl ② H_2O ③ NaOH ④ Cl_2 ⑤ H_2
⑥ O_2 ⑦ H^+ ⑧ Na^+ ⑨ Cl^- ⑩ OH^-

問 4 反応(I)および反応(II)による水酸化ナトリウムの製造に関する次の問い(a), (b)に答えなさい。このときの電気分解反応全体の式を反応(III)とする。



(a) に当てはまる物質を①～⑩の中から一つ選びなさい。

- ① NaCl ② H_2O ③ NaOH ④ Cl_2 ⑤ H_2
⑥ O_2 ⑦ H^+ ⑧ Na^+ ⑨ Cl^- ⑩ OH^-

(b) に当てはまる最も近い値を①～⑫の中から一つ選びなさい。 kJ

- ① -446 ② -223 ③ -184 ④ -143 ⑤ -121 ⑥ -63
⑦ 63 ⑧ 121 ⑨ 143 ⑩ 184 ⑪ 223 ⑫ 446

問 5 図 1 の電気分解をイオン交換膜を使わずにおこなった場合、反応(III)では発生していなかった漂白作用を示す物質が、反応(IV)によって生成した。次の問い(a), (b)に答えなさい。



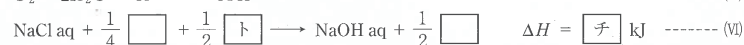
(a) に当てはまる物質を①～⑩の中から一つ選びなさい。

- ① NaCl ② H_2O ③ NaOH ④ Cl_2 ⑤ H_2
⑥ O_2 ⑦ H^+ ⑧ Na^+ ⑨ Cl^- ⑩ OH^-

(b) 反応(IV)で生成した漂白作用を示す物質を①～⑥の中から一つ選びなさい。

- ① NaCl ② H_2O_2 ③ NaOH ④ Cl_2 ⑤ H_2 ⑥ NaClO

問 6 消費電力削減のために、イオン交換膜法の陰極で酸素を直接還元する反応(V)を利用する方法が開発されている。反応(I)および反応(V)による水酸化ナトリウムの製造に関する次の問い(a), (b)に答えなさい。このときの電気分解反応全体の式を反応(VI)とする。



(a) に当てはまる物質を①～⑩の中から一つ選びなさい。

- ① NaCl ② H_2O ③ NaOH ④ Cl_2 ⑤ H_2
⑥ O_2 ⑦ H^+ ⑧ Na^+ ⑨ Cl^- ⑩ OH^-

(b) に当てはまる最も近い値を①～⑫の中から一つ選びなさい。 kJ

- ① -368 ② -320 ③ -252 ④ -160 ⑤ -126 ⑥ -80
⑦ 80 ⑧ 126 ⑨ 160 ⑩ 25 ⑪ 320 ⑫ 368

第3問 [解答番号 1 ~ 8]

炭素、水素、酸素からなり、4つのエステル結合をもつ化合物Wは炭素数が20の有機化合物である。1.0 molのWを加水分解したところ、4つのエステル結合がすべて分解され、ヒドロキシ基とカルボキシ基のいずれかの官能基、または両方の官能基、の数の合計が2つである3つの化合物X、Y、Zが合計4.0 mol得られた。この3つの化合物に含まれる酸素原子はすべてヒドロキシ基またはカルボキシ基に属しており、3つの化合物には三重結合は含まれない。Xはベンゼン環に2つの官能基のみが直接^{オルト}に置換されており、YおよびZは直鎖状の構造で官能基は両末端に1つずつ結合していた。Yとシュウ酸をエステル化すると2つのエステル結合をもつ化合物が得られ、この化合物の分子式とZの分子式が同じであった。

次の各問いに答えなさい。ただし化合物中のカルボキシ基とヒドロキシ基はその位置やその化合物の化学的性質にかかわらずエステル結合できるとし、加水分解反応ではエステルの分解のみが、エステル化反応ではエステルの生成のみが起こり、反応は完全に進行するとする。

問1 1.0 molのWが完全に加水分解されたとき、生成するX、Y、Zの物質質量比(X:Y:Z)はどうなるか。正しいものを①~③の中から一つ選びなさい。 1

- ① 2:1:1 ② 1:2:1 ③ 1:1:2

問2 Xに関する記述として正しいものを①~⑥の中から一つ選びなさい。 2

- ① ^{オルト} -キシレンを過マンガン酸カリウムで酸化すると得られる。
 ② 工業的にはクメン法で得られる。
 ③ ポリエチレンテレフタラートの原料となる。
 ④ 無水酢酸と混合し濃硫酸を触媒として加えると、解熱鎮痛剤として用いられる針状結晶が得られる。
 ⑤ トルエンを穏やかな条件で酸化した後、還元すると得られる。
 ⑥ フェノールに無水酢酸を反応させると得られる。

問3 Yが一般的に使用される用途として最も適切なものを①~⑥の中から一つ選びなさい。

- 3
 ① 除菌剤や消毒液として用いられる。
 ② 電気火災の消火剤として用いられる。
 ③ 自動車エンジンの冷却液として用いられる。
 ④ 吸湿性が強く、乾燥材として用いられる。
 ⑤ 胃腸薬(制酸剤)として用いられる。
 ⑥ 防腐剤として用いられる。

問4 Zの分子式として正しいものを①~⑥の中から一つ選びなさい。 4

- ① $C_2H_2O_2$ ② $C_2H_2O_3$ ③ $C_2H_2O_4$ ④ $C_3H_3O_3$ ⑤ $C_3H_3O_4$ ⑥ $C_4H_4O_4$

問5 Wのモル質量は何g/molか。最も近い値を①~⑥の中から一つ選びなさい。

5 g/mol

- ① 306 ② 360 ③ 378 ④ 382 ⑤ 432 ⑥ 454

問6 95.5 mgのWに乾燥した酸素を加えながら完全燃焼させた。次の問い(a)、(b)に答えなさい。

(a) 発生した二酸化炭素は何mgか。最も近い値を①~⑥の中から一つ選びなさい。

6 mg

- ① 185 ② 195 ③ 220 ④ 233 ⑤ 255 ⑥ 275

(b) 生成された水は何mgか。最も近い値を①~⑥の中から一つ選びなさい。

7 mg

- ① 26.5 ② 27.9 ③ 31.5 ④ 39.3 ⑤ 53.0 ⑥ 55.8

問7 Wとして考えられる物質はいくつあるか。正しい数を①~⑥の中から一つ選びなさい。

ただし鏡像異性体および幾何異性体を区別しなさい。 8

- ① 1 ② 2 ③ 3 ④ 4 ⑤ 5 ⑥ 6

Ⅱ 以下の問題(第1問・第2問)の答えを解答用紙に記しなさい。

温度によらず、水のイオン積： $K_w = 1.0 \times 10^{-14} (\text{mol/L})^2$ 、酢酸の酸の電離定数： $K_{a(\text{ac})} = 2.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ 、アンモニアの塩基の電離定数： $K_{b(\text{am})} = 2.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ としなさい。

第1問 水溶液のpHに関する次の各問いに答えなさい。

問1 次の問い(a)、(b)に答えなさい。

濃度が C_{am} [mol/L] の酢酸アンモニウム水溶液では、酢酸アンモニウムは水溶液中で完全に電離し、アンモニウムイオンと酢酸イオンとなる。加水分解の影響が十分に小さい(酢酸アンモニウム濃度がある程度大きい)場合、電離平衡の式(I)において、 $[\text{NH}_4^+]$ と $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$ 、また $[\text{NH}_3]$ と $[\text{CH}_3\text{COOH}]$ は互いに等しいと考える。



このとき、 $K_{a(\text{ac})}$ 、 $K_{b(\text{am})}$ 、 K_w を用いた式(II)が成立する。

$$K_{a(\text{ac})} \times \frac{K_w}{K_{b(\text{am})}} = \text{ (A) } \quad \text{----- (II)}$$

よってこの水溶液のpHは式(III)で表すことができる。

$$\text{pH} = \text{ (B) } \quad \text{----- (III)}$$

(a) 式(II)の (A) に当てはまる最も適切な文字式を $[\text{H}^+]$ を用いて表しなさい。

(b) 式(III)の (B) から pH の値を求めなさい。解答欄には求めた値のみを書くこと。

問2 次の問い(a)～(c)に答えなさい。

純水に酸や塩基を加えるとそのpHは大きく変化するが、酢酸と酢酸ナトリウムの混合水溶液に酸や塩基を少量加えてもpHの変化は少ない。このようなpHがあまり変化しないような働きを、(C) 作用という。

濃度が C_{ac} [mol/L] の酢酸水溶液と濃度が C_{so} [mol/L] の酢酸ナトリウム水溶液を混合した、混合水溶液の電離平衡は式(IV)、 $K_{a(\text{ac})}$ は式(V)と表せる。



$$K_{a(\text{ac})} = \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \quad \text{----- (V)}$$

この混合水溶液では式(IV)の電離平衡が左に偏るため、 $[\text{CH}_3\text{COOH}]$ は初めの酢酸濃度 C_{ac} [mol/L] に等しく、 $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$ は初めの酢酸ナトリウム濃度 C_{so} [mol/L] に等しいと考える。よってこの混合水溶液のpHは式(VI)で表すことができる。

$$\text{pH} = -\log_{10} K_{a(\text{ac})} + \text{ (D) } \quad \text{----- (VI)}$$

(a) 文中の (C) に当てはまる最も適切な言葉を書きなさい。

(b) 式(VI)の (D) に当てはまる最も適切な文字式を C_{ac} 、 C_{so} を用いて書きなさい。

(c) アンモニウムイオンは酸として水に水素イオンを与えるため酸の電離反応を考えると考えられるが、酢酸と酢酸ナトリウムが同じ濃度の混合水溶液中にアンモニウムイオンがある程度含まれていたとしてもその影響はほとんど無視でき、pH変化は非常に小さい。その理由として混合水溶液の (C) 作用の他にどのような理由が考えられるか。混合水溶液のpHの値およびアンモニウムイオンの酸の電離定数の値を考慮して述べなさい。ただし化学式は用いないこと。

第2問 次の各問いに答えなさい。

ある物質Xは式Ⅶのように弱塩基として働き、標準状態では気体である。また $(\text{XH})_2\text{CO}_3$ (モル質量: 96.0 g/mol)は標準状態で固体として存在するが、60℃前後以上で式Ⅷのように熱分解されるとする。



体積可変の容器にメタン、酸素、および5.28 gの $(\text{XH})_2\text{CO}_3$ を封入し、体積を2490 mLで固定した。27℃において混合気体の全圧は 1.425×10^6 Paであった。容器内のメタンを完全燃焼させ、 $(\text{XH})_2\text{CO}_3$ も完全に熱分解させた。メタンと酸素は過不足なく反応した。気体部分の体積を2490 mLに保ちながら容器に102.0 mLの純水を注入し温度を27℃まで冷却してこの温度を保った。ただし初めに封入した $(\text{XH})_2\text{CO}_3$ の体積は無視でき、気体の溶解による液体の体積変化は無視する。また液体の密度はすべて1.00 g/cm³であり、27℃における水の蒸気圧は 5.00×10^3 Paで一定とし、炭酸の2段階目の電離は考慮しない。炭酸の酸の電離定数： $K_{\text{a}(\text{ca})} = 4.0 \times 10^{-7}$ mol/L、Xの塩基の電離定数： $K_{\text{b}(\text{X})} = 2.0 \times 10^{-5}$ mol/Lとしなさい。

問1 メタンを完全燃焼させたときの化学反応式を書きなさい。

問2 初めに封入したメタンの質量は何gか。

問3 メタンの燃焼と、 $(\text{XH})_2\text{CO}_3$ の熱分解によって発生した二酸化炭素の物質量は何molか。

問4 次の問い(a), (b)に答えなさい。ただしpHを求める際、第1問問1あるいは問2のpHの求め方のうち、適切な方を用いて答えなさい。また中和が進行することによって気相から新たに気体は溶解しないとし、中和によって生じた塩は水溶液中で完全に電離しているものとする。

(a) 次の問い(i), (ii)に答えなさい。

(i) 27℃における二酸化炭素とXの水への溶解量はそれぞれ、 5.00×10^{-2} mol/(L・10⁵ Pa)および1.00 mol/(L・10⁵ Pa)であるとする、二酸化炭素とXはそれぞれ容器内の水に何mol溶解したか。ただしそれぞれの気体はヘンリーの法則に従うものとする。

(ii) 溶解した二酸化炭素とXは水溶液中で中和反応する。反応が終了した時点の水溶液のpHはいくつになるか。

(b) 仮にすべてのXが水溶液中に溶解したとする。次の問い(i), (ii)に答えなさい。

(i) このとき二酸化炭素もXと同じ物質量が溶解し中和反応が進行したとすると反応が終了した時点の水溶液のpHはいくつになるか。

(ii) このとき二酸化炭素はXの2倍の物質量が溶解し中和反応が進行したとすると反応が終了した時点の水溶液のpHはいくつになるか。

生 物

I

第1問 生体内の物質に関する以下の各問い(問1～3)に答えよ。

[解答番号 1 ～ 20]

問1 表1は人体に含まれる水および有機物の重量の割合(%)とその主な構成元素を示している。また、表2は人体および海水に含まれる主な元素の原子の数の割合(%)を示している。表を参考に以下の(1)、(2)の各問いに答えよ。なお、これらの数値は資料や測定条件によって異なる場合がある。

表1 人体に含まれる水および有機物の重量の割合(%)とそれを構成する主な元素

水および有機物	重量(%)	主な構成元素					
A	70	ア	イ				
B	18	ア	イ	ウ	エ		キ
C	5	ア	イ	ウ		カ	
D	2	ア	イ	ウ			
E	1	ア	イ	ウ	エ	カ	

表2 人体および海水に含まれる主な元素の原子の数の割合(%)

元素	人体	海水
ア	63	66.6
イ	25.6	32.8
ウ	9.5	0.0014
エ	1.4	0.00022
オ	0.24	0.0062
カ	0.2	0.0000014
キ	0.049	0.0173
ク	0.041	0.289
ケ	0.032	0.0063
コ	0.027	0.337
サ	0.013	0.033

注：ク～コのイオンを細胞内外で比較すると、クとコは細胞外に、ケは細胞内に多く分布している。

(1) A～Eに最も適当なものを、次の①～⑤のうちから一つずつ選べ。

1 ～ 5

- ① 核 酸 ② 脂 質 ③ 炭水化物
④ タンパク質 ⑤ 水

(2) ア～サに最も適当なものを、次の①～⑪のうちから一つずつ選べ。

6 ～ 16

- ① C ② Ca ③ Cl ④ H ⑤ K ⑥ Mg
⑦ N ⑧ Na ⑨ O ⑩ P ⑪ S

問2 アミノ酸に関する以下の(1)、(2)の各問いに答えよ。 17 , 18

(1) タンパク質のジスルフィド結合はどのアミノ酸の側鎖間で形成されるか。最も適当なものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。

- ① グルタミン酸 ② システイン ③ ヒスチジン
④ プロリン ⑤ トリプトファン

(2) 硫黄を含むアミノ酸として最も適当なものを、次の①～⑤のうちから二つ選べ。なお、解答は同一欄に2つマークすること。

- ① アスパラギン酸 ② ヒスチジン ③ メチオニン
④ システイン ⑤ トリプトファン

問3 核酸を構成する糖に関する以下の(1)、(2)の各問いに答えよ。 19 , 20

(1) 塩基は、糖の何番目の炭素に結合しているか。最も適当なものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。

- ① 1番目 ② 2番目 ③ 3番目 ④ 4番目 ⑤ 5番目

(2) 核酸を構成する糖の構造について最も適当なものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。

- ① DNAもRNAも構成する糖には構造的な違いはない。
② DNAを構成する糖は六単糖、RNAを構成する糖は五単糖である。
③ DNAを構成する糖はATPを構成する糖と構造が異なるが、RNAを構成する糖はATPを構成する糖と同じ構造である。
④ DNAもRNAも構成する糖にNを含んでいる。
⑤ 糖の2番目の炭素にDNAではOHが、RNAではHが結合している。

第2問 ヒトの脳および神経に関する以下の各問い(問1, 2)に答えよ。

[解答番号 ~]

問1 図1は脳の縦断面を示している。図を参考に以下の(1), (2)の各問いに答えよ。

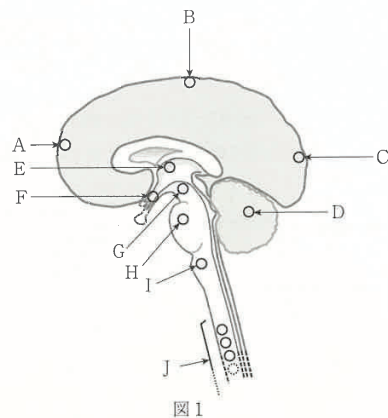


図1

(1) 次の(ア)~(オ)のはたらきをする箇所は図1のA~Jのどの部位か、下の①~⑩のうちから最も適当なものをそれぞれ一つずつ選べ。 ~

- (ア) 姿勢を保つ
(イ) 視覚情報が集まる
(ウ) 大脳へ向かう感覚神経の中継点
(エ) 随意運動の中枢
(オ) からだの平衡を保つ

- ① A ② B ③ C ④ D ⑤ E
⑥ F ⑦ G ⑧ H ⑨ I ⑩ J

(2) 次の(イ)~(ト)は、感覚情報とそれに対する反応を示している。それぞれの反応について、解答欄のaには感覚情報を受容し効果器に指令を出す中枢を、また解答欄のbにはその指令を効果器に伝える末梢神経が中枢より出ていく箇所を図1のA~J(下の選択肢①~⑩)のうちから一つずつ選べ。なお、同じ選択肢を何度選んでもよい。

~

- (イ) 血糖濃度が増加した場合、すい臓からのインスリンの分泌を促す。
(ロ) 血糖濃度が低下した場合、すい臓からのグルカゴンの分泌を促す。
(ハ) 血液中の二酸化炭素濃度が増加した場合、心拍数の増加を促す。
(ニ) 血液中の二酸化炭素濃度が低下した場合、心拍数の減少を促す。
(ホ) 皮膚から寒冷刺激が伝えられた場合、心拍数の増加を促す。
(ヘ) 皮膚から温熱刺激が伝えられた場合、心拍数の減少を促す。
(ト) 目に強い光が当たった場合、瞳孔の収縮を促す。

- ① A ② B ③ C ④ D ⑤ E
⑥ F ⑦ G ⑧ H ⑨ I ⑩ J

問2 次の図2のア～エは4つのタイプの神経回路をあらわしている。シナプス前細胞の興奮が伝達された際のシナプス後細胞の電位変化を記録したところ、二つのタイプでは図3のXのような電位変化を示し、残りの二つはYまたはZの電位変化を示した。図を参考に以下の(1), (2)の各問いに答えよ。ただし、シナプス前細胞の興奮は1回で、すべて同時に起こったものとする。

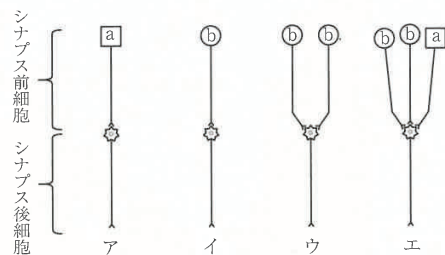


図2

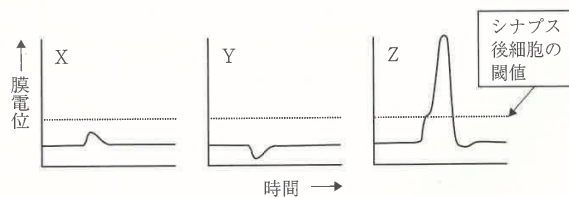


図3

(1) ア～エのシナプス後細胞が示す電位変化はどれか、最も適当なものを次の①～③のうちから一つずつ選べ。なお、同じものを何度選んでもよい。 20 ～ 23

- ① X ② Y ③ Z

(2) 興奮性シナプスを形成するシナプス前細胞はa, bのどちらか、最も適当なものを次の

①, ②のうちから一つ選べ。 24

- ① a ② b

第3問 植物の配偶子形成に関する以下の各問い(問1, 2)に答えよ。

[解答番号 1 ～ 19]

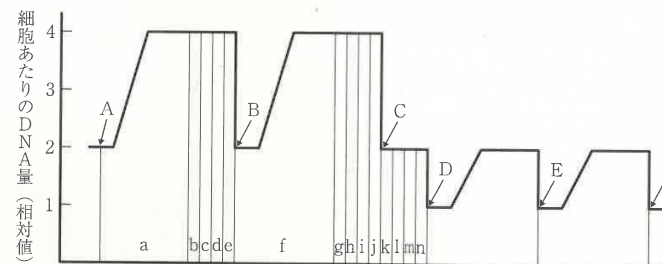
問1 次の文の空欄A～Kに最も適当な語を、下の①～⑭のうちからそれぞれ一つずつ選べ。

1 ～ 11

A の中では、B が C 分裂を行って D ができる。
D の細胞はそれぞれ E になる。E の細胞は、細胞質の少ない
F と細胞質の多い G に分裂した後、F が G の中に取りこ
まれて、成熟した E となる。E が H につくと I をのば
す。I の中で F はさらに J 分裂して K となる。

- ① 花 粉 ② 花粉管 ③ 花粉管細胞 ④ 花粉四分子
⑤ 花粉母細胞 ⑥ 反足細胞 ⑦ 雄原細胞 ⑧ 極 核
⑨ 精細胞 ⑩ 体細胞 ⑪ 減 数 ⑫ 胚 珠
⑬ や く ⑭ 柱 頭

問2 下の図はある被子植物の雄性配偶子が形成される過程を追って、1つの細胞あたりのDNA量を計測し、その推移を表したものである。なお、b～e, g～nはある細胞の核分裂の各期を示している。図を参考に以下の(1)～(6)の各問いに答えよ。



(1) fに含まれる細胞周期の進行として最も適当なものを、次の①～⑥のうちから一つ選べ。 12

- ① $G_1 \rightarrow G_2 \rightarrow S$ ② $G_1 \rightarrow S \rightarrow G_2$ ③ $G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow S$
④ $G_2 \rightarrow S \rightarrow G_1$ ⑤ $S \rightarrow G_2 \rightarrow G_1$ ⑥ $S \rightarrow G_1 \rightarrow G_2$

(2) 乗換えが起こるのはいつか。最も適当な時期を、次の①～⑭のうちから一つ選べ。

13

- ① a ② b ③ c ④ d ⑤ e ⑥ f ⑦ g
⑧ h ⑨ i ⑩ j ⑪ k ⑫ l ⑬ m ⑭ n

(3) 二価染色体が赤道面に並ぶのはいつか。最も適当な時期を、次の①～⑭のうちから一つ選べ。 14

- ① a ② b ③ c ④ d ⑤ e ⑥ f ⑦ g
⑧ h ⑨ i ⑩ j ⑪ k ⑫ l ⑬ m ⑭ n

(4) 核相が2nからnになるのはいつか。最も適当なものを、次の①～⑥のうちから一つ選べ。 15

- ① A ② B ③ C ④ D ⑤ E ⑥ F

(5) D, Fで観察した核はどの細胞のものか。最も適当なものを、次の①～⑧のうちから一つずつ選べ。 16, 17

- ① 花粉管細胞 ② 花粉四分子 ③ 花粉母細胞 ④ 助細胞
⑤ 反足細胞 ⑥ 精細胞 ⑦ 中央細胞 ⑧ 雄原細胞

(6) Aの段階にある1個の細胞から、DとFの段階の細胞はそれぞれ何個作られるか。最も適当なものを①～⑦のうちから一つずつ選べ。 18, 19

- ① 1 ② 2 ③ 4 ④ 8 ⑤ 16 ⑥ 32 ⑦ 64

Ⅱ 免疫に関する次の文を読み、以下の各問い(問1～5)に答えよ。解答は記述式解答用紙に記入せよ。解答に字数制限のあるものは、解答用紙のマス目一つにつき一文字ずつ記入せよ。なお、句読点やアルファベット、記号などは、一文字として扱うこと。

病原体などの異物を排除する仕組みである免疫は、自然免疫と適応(獲得)免疫とに大きく分けられる。^(a)自然免疫では、白血球の約60%を占めるア^(a)や、大型の食細胞であるイ^(a)やウ^(a)などがはたらいている。イ^(a)には、血管から組織に移動した単球から分化したこともある。ウ^(b)は、適応(獲得)免疫の活性化に重要である。自然免疫ではたらくリンパ球であるエ^(b)は、病原体が感染した細胞を死滅させて排除する。適応(獲得)免疫ではたらくリンパ球には、オ^(c)や、形質細胞に分化して抗体を産生するカ^(c)がある。なお、オ^(d)もカ^(d)も、機能などによってさらに細かく分類できる。適応(獲得)免疫の活用の例として、予防接種や抗体の利用がある。

問1 免疫に関する上の文の空欄ア～カに入る適当な語句を答えよ。

問2 下線部(a)に関連して、自然免疫と適応(獲得)免疫の違いをまとめたのが下の表1である。この表1には誤りが含まれている。誤りを含む欄の記述を直して、解答用紙の表の該当する欄に記述せよ。なお、誤りが含まれていない欄については、丸印(○)を表の該当する欄に記入すること(空欄にしないこと)。

表1 自然免疫と適応(獲得)免疫の違いのまとめ

	自然免疫	適応(獲得)免疫
病原体などの異物の認識の様式	特定の病原体に存在する特定の特徴を認識する。	病原体に広く存在する特徴を幅広く認識する。
存在する生物	脊椎動物にだけ存在する。	脊椎動物にだけ存在する。
病原体侵入後の応答の速さ	病原体の侵入後、遅れて応答する。	病原体の侵入後、ただちに応答する。
過去の感染の効果	過去に感染した病原体に対して効果的にはたらく。	過去に感染した病原体に対して効果的にはたらく。

問 3 下線部(b)に関連して、病原体などの異物を取り込んだ ウ が適応(獲得)免疫に関わるリンパ球を活性化する仕組みに関する以下の(1)～(3)の各問いに答えよ。

- (1) ウ などが取り込んだ病原体などの異物の情報を適応(獲得)免疫に関わるリンパ球に伝えることを何と呼ぶか。その名称を答えよ。
- (2) ウ は病原体などの異物を取り込んだのち、体のどこで適応(獲得)免疫に関わるリンパ球に異物の情報を伝えるか。その部位の名称を答えよ。
- (3) ウ によって異物の情報を伝えられる適応(獲得)免疫に関わるリンパ球は何か。その名称を答えよ。

問 4 下線部(c)に関連して、ヒト免疫不全ウイルス(HIV)はある特定の種類のリンパ球に感染する。しかし、その影響はHIVが感染しない種類のリンパ球にも及ぶなど、HIV感染は適応(獲得)免疫全体の機能の低下につながる。HIV感染が適応(獲得)免疫全体の機能低下を引き起こす理由を、80字以内で説明せよ。なお、HIVが感染するリンパ球と感染しないリンパ球の違いが明確に分かるように、適切な用語を使うこと。

問 5 下線部(d)に関連して、予防接種と抗体についての次の文を読み、以下の(1)～(4)の各問いに答えよ。

あるウイルス(以降、Vウイルス)への感染に対する予防接種(ワクチン接種)を、Vウイルスに感染したことがない一卵性の三つ子の被験者(人物1、人物2、人物3)が、次の方法で受けた。その結果、Vウイルスに対する全ての抗体の量は図1の(A)～(C)に示すように変化した。

人物1

- ・0日目にVウイルスに対する1回目のワクチン接種(この時のワクチンをワクチンV1とする)を受けた。
- ・40日目に受けるはずだった2回目のワクチン接種を忘れてしまった。

人物2

- ・0日目にVウイルスに対する1回目のワクチン接種(ワクチンV1)を受けた。
- ・40日目に同じワクチン(ワクチンV1)の2回目の接種を受けた。

人物3

- ・0日目にVウイルスに対する1回目のワクチン接種(ワクチンV1)を受けた。
- ・40日目にVウイルスに対する別のワクチン(この時のワクチンをワクチンV2とする)の接種を受けた。

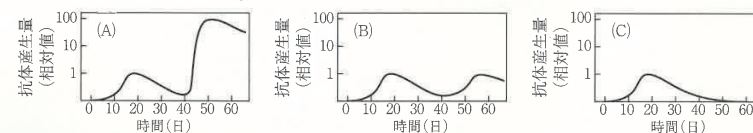


図1 予防接種後の抗体産生量の変化

- (1) 人物1、人物2、人物3の抗体量の変化を表すグラフとして最も適当なものを、(A)～(C)のうちから一つずつ選べ。なお、同じものを何度選んでもよい。
- (2) (A)のグラフには、免疫応答を示す大小二つの山が見られる。それぞれの応答の名称を答えよ。
- (3) (A)のグラフの40日目以降に見られる急速かつ大量の抗体の産生のためには適応(獲得)免疫にどのような仕組みが必要か。適切な用語を使い100字以内で説明せよ。

- (4) 図1のグラフの縦軸が「Vウイルスに対する全ての抗体の量」ではなく「ワクチンV1に用いた抗原に対する抗体の量」を表すとき、人物1、人物2、人物3のワクチンV1に用いた抗原に対する抗体の量の変化を表すグラフとして最も適当なものを、(A)～(C)のうちから一つずつ選べ。なお、同じものを何度選んでもよい。

