

2022 年度(令和 4 年度)

前 期 日 程

理 科 (100 分)

注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開いてはいけません。
2. 問題は、「物理」が 1 ページから 16 ページまで、「化学」が 17 ページから 25 ページまであります。解答用紙は、「物理」は

前 1

 ,

前 2

 ,

前 3

 の 3 枚、「化学」は

前 4

 ,

前 5

 ,

前 6

 ,

前 7

 の 4 枚からなっています。ページの脱落等に気付いたときは、手をあげて監督者に知らせなさい。
3. 解答は、以下の指示に従い解答用紙の指定された欄に記入しなさい。
 - (ア) 生命・応用化学科、物理工学科、社会工学科、創造工学教育課程を志望するものは、「物理」、「化学」のうちから 1 科目を選択し、解答しなさい。
 - (イ) 電気・機械工学科、情報工学科を志望するものは、「物理」を解答しなさい。
4. 監督者の指示に従って、選択した科目のすべての解答用紙の該当欄に志望学科名(社会工学科を志望するものは志望分野名、創造工学教育課程を志望するものは志望コース名)及び受験番号(2 か所)を記入しなさい。
5. 解答用紙の※を付した欄には、何も記入してはいけません。
6. 問題冊子の白紙と余白は下書きに適宜利用してもよいが、どのページも切り離してはいけません。
7. 試験終了後、この問題冊子及び下書き用紙は持ち帰りなさい。

物 理

注 意 問題は I, II, III の 3 題である。

I 浮力と単振動に関する以下の問 1 と問 2 に答えよ。ただし、重力加速度の大きさは g [m/s^2] とする。

問 1 図 1 のように密度 ρ [kg/m^3] の静止した液体が入った容器に、質量 M [kg]、高さ h [m]、底面積 S [m^2] の円柱が静止して浮いており、その底面は液面と平行になっている。このとき円柱の底面から液面までの距離は y_0 [m] ($0 < y_0 < h$) であった。この円柱が液面に対し垂直方向に単振動する運動について、以下の設問(1)~(9)に答えよ。ただし、容器は十分に大きく、円柱の運動による液面の高さの変化は無視できる。また、円柱が動く速さは十分に小さく、液体と空気の抵抗および液面の振動は無視できるものとする。運動している円柱が受ける浮力は、同じ深さで静止している円柱と同じとする。

- (1) 円柱の質量 M を ρ , h , S , y_0 の中から必要な記号を用いて表せ。
- (2) 図 1 のように静止した円柱の上面より H [m] 高い位置から、質量 m [kg] の小球を水平方向に速度 v_0 [m/s] で射出したところ、ちょうど円柱の上面中央に衝突してはねかえり、容器の外に飛び出した。円柱の上面は滑らかであるものとする。円柱と衝突する直前における小球の速度の鉛直方向成分(下向きを正とする) v [m/s] を求めよ。
- (3) 円柱と小球の反発係数(はねかえり係数)を e として、衝突した直後の円柱の速度の鉛直方向成分(下向きを正とする) V [m/s] と衝突した直後の小球の速度の鉛直方向成分(下向きを正とする) v' [m/s] を、 M , m , e , v を用いて表せ。ただし、円柱が小球と衝突中に液体から受ける力は無視できるものとする。

円柱と小球の衝突後、円柱は傾くことなく鉛直方向にゆっくりと小さな振幅で単振動を始めた。以下で円柱の位置は、その底面の液面からの距離 y [m] を用いて表す。

- (4) 円柱が単振動をしているときにその底面が y の位置にある瞬間に、円柱にはたらいている力を鉛直下向きを正として、 ρ , S , g , y , y_0 を用いて表せ。
- (5) つりあいの位置からの鉛直下向きの円柱の変位を Y ($Y = y - y_0$) とし、また、円柱の加速度を a (m/s^2) として、鉛直方向の運動方程式を M , ρ , S , g , a , Y を用いて表せ。
- (6) この単振動の周期 T [s] を求めよ。ただし、 y_0 を用いてはならない。
- (7) この単振動の振幅 A [m] を M , m , e , ρ , S , H を用いて表せ。

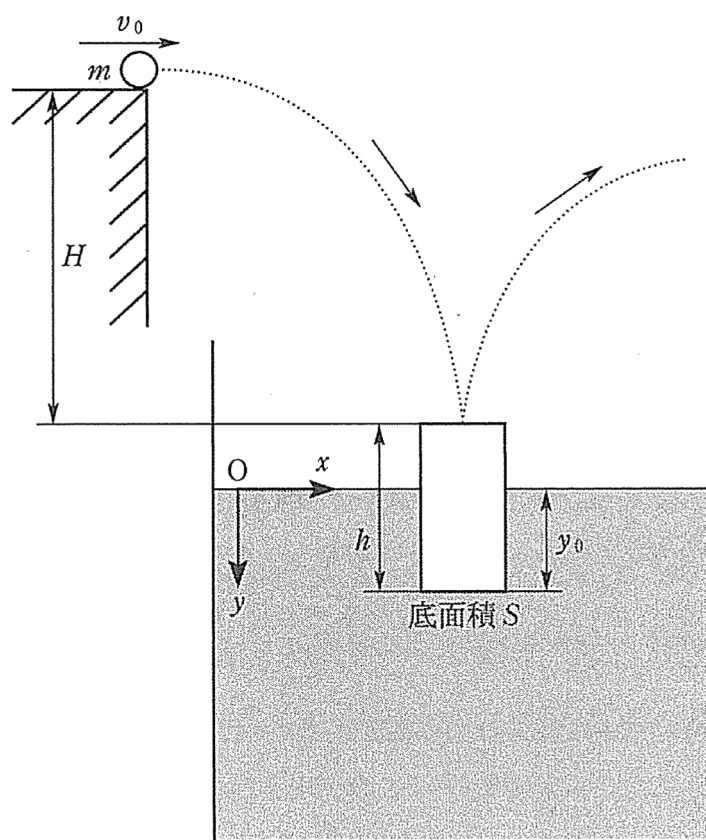


図 1

容器全体に水平方向左向きの一定の加速度を加えると、液面は図2に示すように直線的に傾いた。容器の幅を W (m) とすると、右側の壁面での液面の高さが左側の壁面より $\frac{5}{12}W$ だけ高くなった。また、円柱の底面は液面と平行となり、容器に対して相対的に静止していた。

- (8) 容器と同じ運動をする観測者から見た場合、加速度によって円柱にはたらく見かけの力は、紙面に向かって見たときにどちら向きか答えよ。また、その大きさを求めよ。
- (9) 円柱を液面に対して垂直方向にわずかに引き下げて放すと、円柱はそのままの向きで液面に対して垂直方向に単振動をした。この時の振動の周期 T (s) を M , ρ , S , g を用いて表せ。

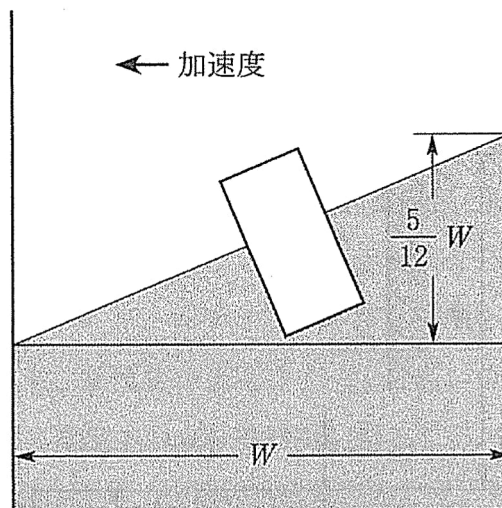


図2

問 2 図 3 のように上部には密度 ρ [kg/m³], 下部には密度 ρ' [kg/m³] ($\rho < \rho'$) の混合しない 2 種類の静止した液体が容器に入っている。質量 M [kg], 高さ h [m], 底面積 S [m²] の円柱が, 容器の底部に一端が固定されたばね定数 k [N/m] のばねにつながれており, 2 種類の液体の間に浮いている。このときその底面は液面と平行になっている。上部と下部の液体の界面(上部と下部の液体が接している境界面)の高さを原点として鉛直下向きに y 軸をとると, 円柱の底面が $y = y_1$ [m] ($0 < y_1 < h$) で静止している。このばねの自然の長さは l_0 [m] であり, このとき円柱にはたらく力によって引き伸ばされてその長さは l [m] ($l > l_0$) となっていた。以下の設問(10)~(13)に答えよ。ただし, 容器は十分に大きく, 円柱の運動による界面の高さの変化は無視できる。また, 円柱が動く速さは十分に小さく, 液体の抵抗および界面の振動は無視できるものとする。運動している円柱が受ける浮力は, 同じ深さで静止している円柱と同じとする。

- (10) 円柱がつり合いの位置にあるとき, 円柱にはたらく重力と浮力とばねによる力の大きさをそれぞれ求めよ。
- (11) このとき, 円柱にはたらく力のつり合いの関係式を求めよ。
- (12) つりあいの状態から円柱をわずかに引き下げて放すと, 円柱が界面に対し垂直方向に単振動した。つりあいの位置から鉛直下向きの円柱の変位を Y' ($Y' = y - y_1$) とし, また, その加速度を a' [m/s²] として, 鉛直方向の運動方程式を $M, \rho, \rho', S, g, k, a', Y'$ を用いて表せ。
- (13) この単振動の周期 T'' [s] を求めよ。

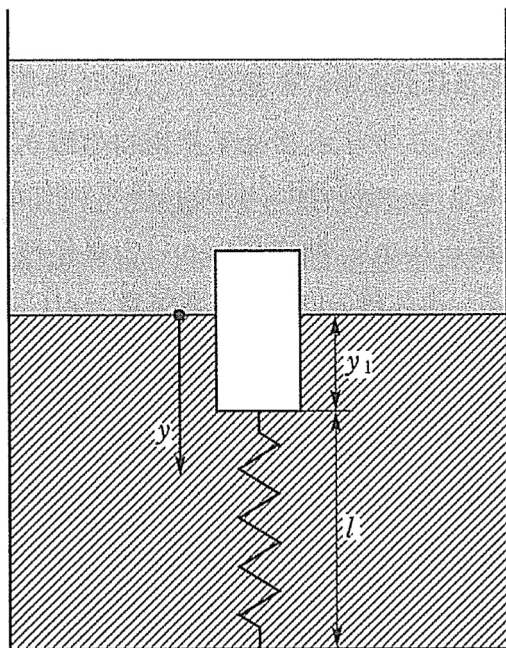


图 3

II 磁場中を運動する導体棒に生じる誘導起電力と、磁場中の電流にはたらく力に関する以下の問1, 問2に答えよ。

問1 図1に示すように、 z 軸の正の向きに磁束密度 B [T] の一様な磁場が加えられた空間で、長さ L [m]、断面積 S [m²] の導体棒 PQ が x 軸に平行な向きを保って運動する。導体棒の内部には電気量 $-e$ [C] の自由電子が多数存在し、その単位体積あたりの個数を n [m⁻³] とする。

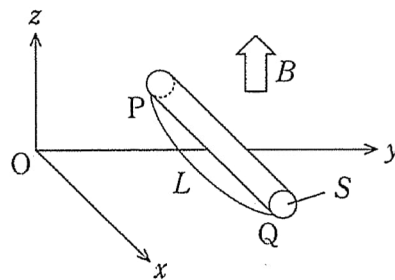


図1

- (1) 導体棒中で導体棒に対して静止している1個の自由電子が磁場から受ける力 \vec{f} [N] は電気量 $-e$ に比例し、成分表示により一般に $\vec{f} = -e(b_x, b_y, b_z)$ と表される。このとき、導体棒の PQ 間に生じる起電力はどう表されるか。ただし起電力は点 P を基準としたときの点 Q の電位により定義する。
- (2) ある自由電子の速度が (v_x, v_y, v_z) [m/s] であるとき、この電子が磁場から受ける力 \vec{f} を3次元成分表示で表せ。
- (3) 導体棒 PQ の速度を $(0, u_y, u_z)$ [m/s] とするとき、磁場により PQ 間に生じる誘導起電力を求めよ。

この導体棒に $P \rightarrow Q$ の向きの電流 I [A] を流す。

- (4) 静止した導体棒内における自由電子の平均速度を $(v_e, 0, 0)$ [m/s] とする。 v_e を n, e, L, S, I のうち必要なものを用いて表せ。
- (5) この導体棒が磁場から受ける力の向きと大きさを、自由電子にはたらくローレンツ力から導け。導出過程を記すこと。

以下の設問(6)~(8)では、導体棒の材料である金属の原子量を $M = 60$ (すなわち 1 mol あたりの質量が 60 g)、密度を $\rho = 10 \text{ g/cm}^3$ とし、この金属中には原子 1 個あたり 1.0 個の自由電子があるとする。導体棒の断面積は $S = 10 \text{ mm}^2$ 、長さは $L = 0.1 \text{ m}$ である。また電気素量を $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 、電子の質量を $m_e = 1.0 \times 10^{-30} \text{ kg}$ 、アボガドロ定数を $N_A = 6.0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 、重力加速度の大きさを $g = 10 \text{ m/s}^2$ とする。

- (6) n の値を有効数字 1 桁で求め、単位とともに記せ。
- (7) この導体棒に $I = 1.0 \text{ A}$ の電流が流れているとき、 v_e の大きさを有効数字 1 桁で求め、単位とともに記せ。
- (8) 磁束密度が $B = 0.1 \text{ T}$ で、この導体棒に $I = 1.0 \text{ A}$ の電流が流れているとき、この導体棒内の電子にはたらく平均のローレンツ力の大きさは電子にはたらく重力の大きさの何倍であるか、有効数字 1 桁で答えよ。

問 2 図 2 に示すように、長さ L [m]、質量 m [kg] の導体棒 PQ の両端を長さ r [m] の平行な導線で吊って水平に保つ。導線は上端のまわりで鉛直面内を滑らかに回転でき、上端はスイッチ S を介して装置 X-Y につながれている。最初スイッチ S は開いている。導体棒のまわりには鉛直上向きに磁束密度 B [T] の一様な磁場が加えられている。この導体棒を、導線の上端を支点として振り子運動させる。鉛直線を基準として、導体棒を吊っている導線の振れ角(右側に振れているときを正にとる)を θ [rad] ($-\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2}$) とし、導体棒を P → Q の向きに流れる電流を I [A] とする。重力加速度の大きさを g [m/s²] とし、導線の質量と電気抵抗、導体棒の電気抵抗、および空気抵抗の影響は無視できるものとする。

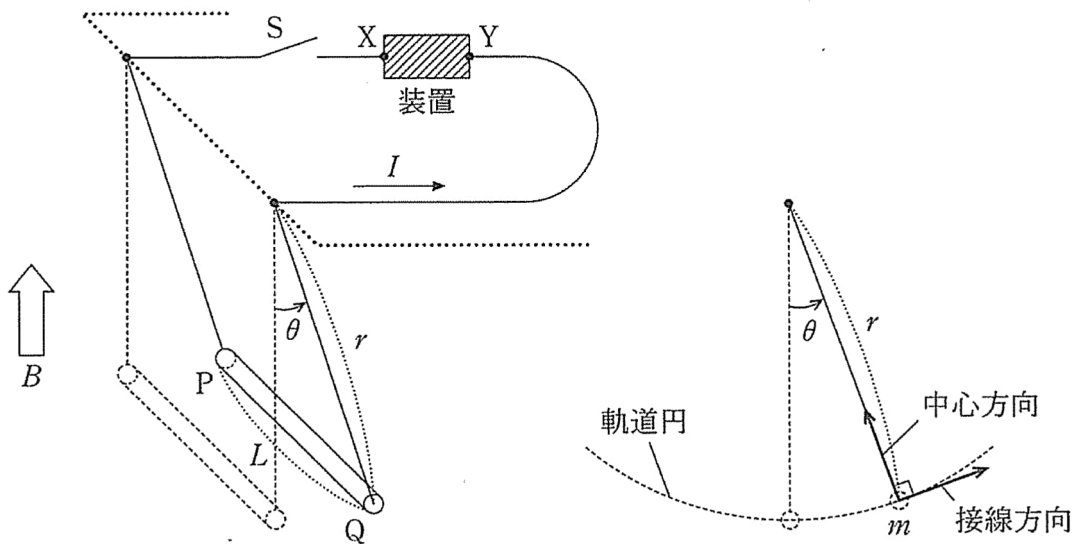
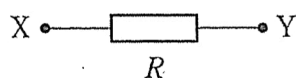


図 2

- (9) スイッチ S を開いたまま、振れ角 θ_0 [rad] ($0 < \theta_0 < \frac{\pi}{2}$) の位置で導体棒を静かに放す。その後、導体棒が振れ角 θ ($-\theta_0 < \theta < \theta_0$) の位置を最初に通過する瞬間に、PQ 間に生じている起電力を求めよ。ただし起電力は、端点 P を基準としたときの端点 Q の電位により定義する。

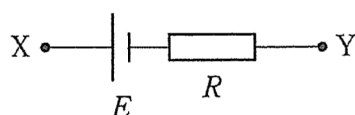
- (10) スイッチ S を閉じ、導体棒に電流が流れている場合の振り子運動について考える。導体棒の運動を軌道円の接線方向と中心方向とに分解すると、運動方程式より接線方向の加速度は導体棒にはたらく力の接線方向の成分に比例する。接線方向(反時計まわり)の加速度を a [m/s²]、導体棒に流れる電流を I として、接線方向についての導体棒の運動方程式を記せ。ただし回路を流れる電流がつくる磁場の影響は無視できるものとする。

- (11) 装置 X-Y が抵抗 R [Ω] であるとする。



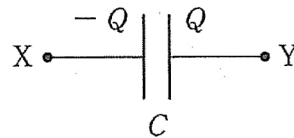
スイッチ S を閉じ、振れ角 θ_0 [rad] ($0 < \theta_0 < \frac{\pi}{2}$) の位置で導体棒を静かに放す。その後の導体棒の運動が時間とともにどのように変化するか、その概略を理由とともに 2 行程度で記述せよ。

- (12) 装置 X-Y を、起電力 E [V] の直流電源と抵抗 R [Ω] を直列につないだものとする。電源は端子 X 側を正極とする。



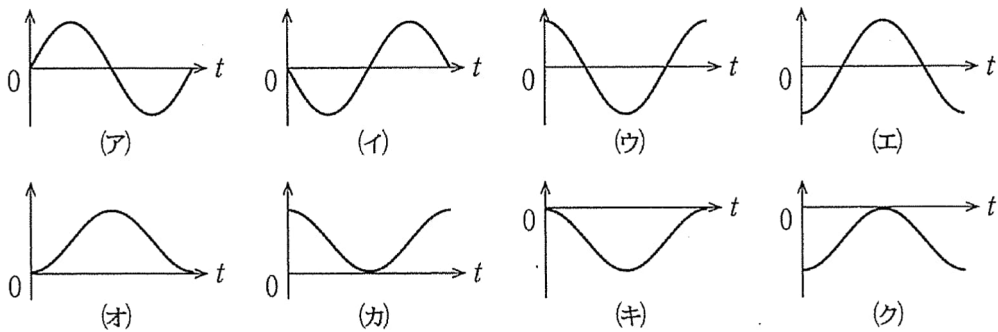
スイッチ S を閉じると導体棒に電流が流れて磁場からの力がはたらき、十分時間が経過すると、導体棒は振れ角 θ_1 [rad] の位置で静止した。 $\tan \theta_1$ を求めよ。

- (13) 装置 X-Y が電気容量 C [F] のコンデンサーの場合を考える。コンデンサーの端子 Y 側の極板に蓄えられている電気量を Q [C] とし、最初 $Q = 0$ である。



スイッチ S を閉じ、振れ角 θ_0 [rad] ($\theta_0 > 0$) の位置で導体棒を静かに放す。ただし θ_0 は十分小さく、運動を通して $\sin \theta \cong \theta$, $\cos \theta \cong 1$ が成り立つとする。

- (a) 導体棒を放してから振り子運動 1 周期の間の、コンデンサーの電気量 Q 、および導体棒を流れる電流 I の時間変化を表すものとして適切なものを、それぞれ以下の(ア)~(ク)から選び、記号で答えよ。



- (b) 振り子運動の過程で導体棒を流れる電流の最大値を求めよ。

Ⅲ 圧力 p_0 [Pa] の大気中に断熱材でできているピストン付きシリンダーを設置し、その内部に封じ込められた理想気体の振る舞いを考える。ピストンはなめらかに動く。ここで扱う理想気体の定積モル熱容量(定積モル比熱) C_V [J/(mol·K)]、定圧モル熱容量(定圧モル比熱) C_p [J/(mol·K)] は、いずれも定数とする。気体定数を R [J/(mol·K)] として以下の問 1 ~ 問 3 に答えよ。ある平衡状態の理想気体の内部エネルギーは、どのような経路で到達したかによらず同じ値をとることを使ってよい。解答に分数が含まれる場合は分数のままよい。

問 1 図 1(a)のようにシリンダー内に弁のついた仕切りの断熱壁を設置する。断熱壁は、左側の部屋の体積が V_0 [m³] となる位置に固定されており、その左の部屋には熱交換器が設置され加熱・冷却ができるようになっている。弁は断熱材でできており、仕切りの断熱壁、弁、熱交換器の体積と熱容量は無視できるものとする。

はじめ、断熱壁の右側の部屋の体積が V_0 となる位置でピストンを固定し、弁を閉じた状態で右の部屋を真空とし、左の部屋には 1 mol の理想気体を大気圧 p_0 で封入した。この圧力 p_0 、体積 V_0 の理想気体の状態を状態 A とする (図 1)。

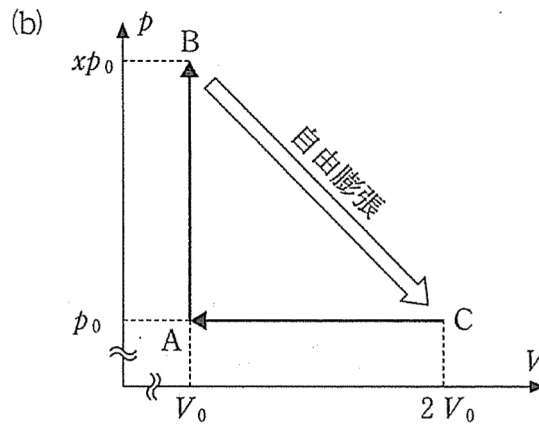
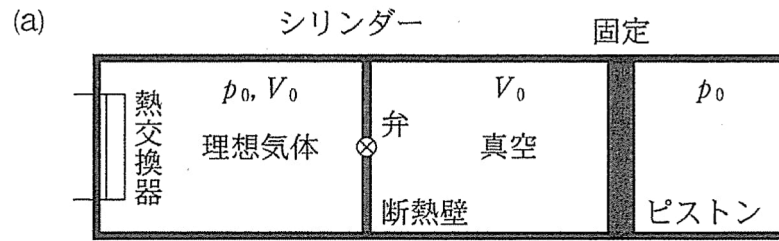


図 1

(1) 状態 A の理想気体の温度を答えよ。

状態 A の理想気体の温度を T_0 [K] とする。次に、弁を閉じたまま熱交換器を使って、圧力が状態 A の x 倍 ($x > 1$) になるまで十分にゆっくりと理想気体を加熱した。加熱後の状態を状態 B とする (図 1 (b))。

(2) 状態 A と状態 B の間で理想気体が受け取った熱 Q_{AB} [J] と、理想気体になされた仕事 W_{AB} [J] を求め、 x 、 T_0 を使って表せ。

次に、弁を開けて気体分子を真空の右の部屋へ噴出させた。この過程を自由膨張という。弁を開けてから十分時間が経過し平衡に達した状態を状態 C とする。状態 C の圧力は状態 A の圧力と同じであった(図 1 (b))。

(3) 状態 B と状態 A の圧力比 x を求めよ。

ピストンの固定を外したのちに熱交換器をはたらかせ、理想気体の状態をふたたび状態 A に戻した。その間、ピストンは十分にゆっくりと移動し、シリンダー内の圧力は一定に保たれていた。

(4) 状態 C から状態 A に戻る間に理想気体が受け取った熱 Q_{CA} [J] と、理想気体になされた仕事 W_{CA} [J] を求め、 T_0 を使って表せ。

(5) 上記の過程は、状態 A から始まり状態 A に戻っているため、状態 A → 状態 B → 状態 C → 状態 A というサイクルを構成している(図 1 (b))。このサイクルの理想気体に熱力学第 1 法則を適用することで、定積モル熱容量 C_V と定圧モル熱容量 C_p の間の関係式を導け。導く過程を以下のキーワードと記号を使って論述せよ。

キーワード：熱力学第 1 法則 内部エネルギー変化 自由膨張 サイクル

記号： Q_{AB} W_{AB} Q_{CA} W_{CA}

問 2 問 1 と同じ，内部が 2 部屋に仕切られたピストン付きシリンダーを用意し，断熱壁の右側の部屋の体積が V_0 となる位置でピストンを固定する。

はじめに弁を閉じて，左の部屋には 1 mol の 2 原子分子理想気体を，右の部屋には 1 mol の単原子分子理想気体を大気圧 p_0 で封入した(図 2)。この時の各部屋の理想気体の温度は T_0 である。ここで用いた 2 原子分子理想気体の定積モル熱容量は $\frac{5}{2}R$ であり，単原子分子理想気体の定積モル熱容量は $\frac{3}{2}R$ で，いずれも定数である。以下の設問(6)~(8)では，記号 C_p ， C_v を使わずに解答すること。

この状態から弁を閉じたまま熱交換器を使って左の部屋の理想気体を加熱した。熱交換器を止めて平衡状態に達するまでしばらく放置したところ，左の部屋の理想気体の圧力は y 倍になった。

(6) この間の左の部屋の内部エネルギー変化を求め， T_0 を使って表せ。

次に，弁を開けて左右の部屋の理想気体を混合した。

(7) 弁を開けてから十分時間が経過し平衡に達した状態の温度を求め， T_0 を使って表せ。

弁を開けたまま熱交換器をはたらかせ，設問(6)と同じ量の熱を混合理想気体に加え，熱交換器を停止させた。

(8) 熱交換器を停止させてから十分に時間が経過し平衡が達成されたあとの混合理想気体の温度を求め， T_0 を使って表せ。

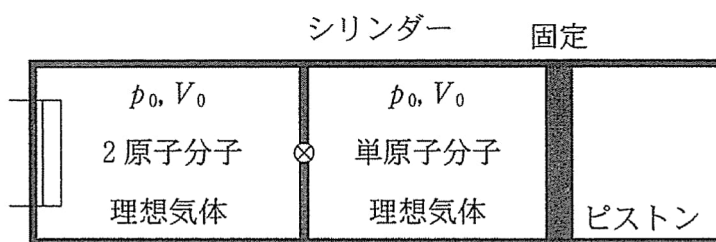


図 2

問 3 断熱材でできたピストン付きシリンダーに、圧力 p_0 、体積 V_0 となるように単原子分子理想気体 1 mol を封入する(図 3(a))。この時の理想気体の状態は状態 A で、温度は T_0 であり、封入した単原子理想気体の定積モル熱容量は $\frac{3}{2}R$ で定数である。断熱環境下で十分にゆっくりとこの理想気体の体積を変化させた場合、圧力 p と体積 V の間にポアソンの関係式が成立し $pV^{\frac{5}{3}}$ が一定に保たれる。ピストンは質量が無視でき、かつ、なめらかに動くものとして以下の問いに答えよ。以下の設問(9)~(15)では、記号 C_p 、 C_v を使わずに解答すること。

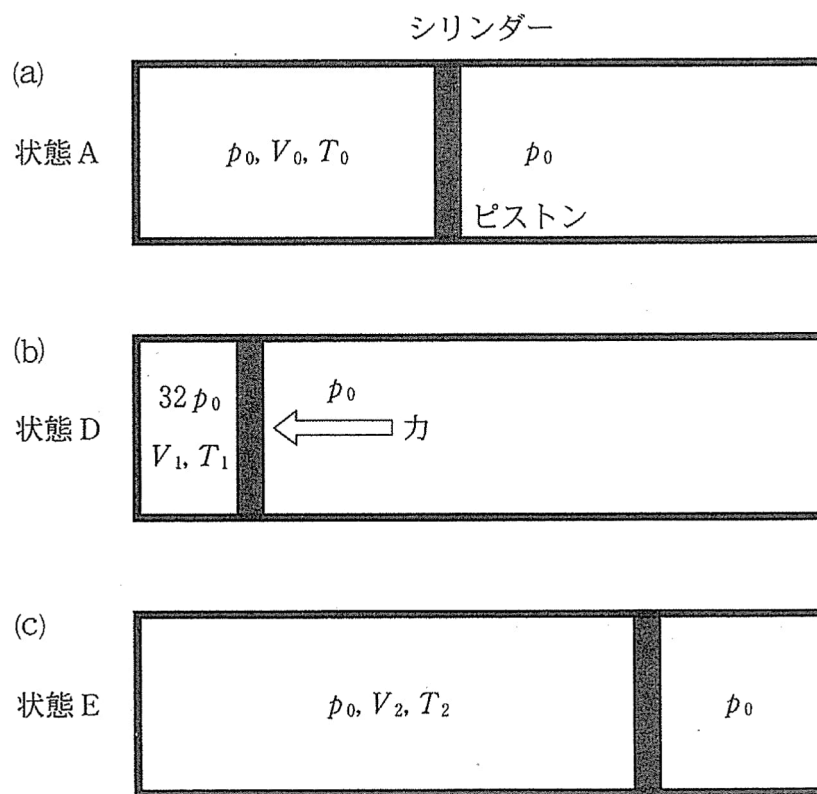


図 3

ピストンに外部から力を加えて、理想気体の圧力が大気圧 p_0 の 32 倍になるまでピストンを十分にゆっくりと押し込んだ(図 3(b))。この状態を状態 D とする。

- (9) 状態 D の理想気体の体積が V_0 の何倍か答えよ。
- (10) 状態 A, D の間の理想気体の内部エネルギー変化が RT_0 の何倍か答えよ。
- (11) 状態 D の理想気体の体積を V_1 [m^3], 温度を T_1 [K] として, 状態 D の状態方程式を書け。

この状態でピストンに外部から加えていた力を瞬間的に取り除くと, ピストンは急激に移動し, 理想気体の圧力と大気圧がつりあったところでピストンは停止する。力を取り除いてから十分に時間が経過して平衡が達成された後の理想気体の状態を状態 E とする (図 3 (c))。この間, ピストンの移動による仕事以外に, 理想気体と大気との間でエネルギーのやり取りはなかった。この変化は断熱環境下の膨張過程ではあるが, ピストンが急激に移動しているため不可逆変化となりポアソンの関係式を用いることができない。

以下の設問(12)~(14)までは V_0 , T_0 を使わずに解答すること。

- (12) 状態 E の理想気体の体積を V_2 [m^3], 温度を T_2 [K] として, 状態 E の状態方程式を書け。

状態 D から状態 E までの間にピストンが移動することで, 大気は仕事を受け取っている。

- (13) 状態 D から状態 E までの間に, ピストンの移動により大気が受け取った仕事を答えよ。
- (14) 状態 D から状態 E までの間の理想気体の状態変化について, 熱力学第 1 法則の式を書け。
- (15) 設問(12)~(14)までで導出した関係式を連立させ, 状態 E の理想気体の体積 V_2 が V_0 の何倍か求めよ。導出過程も解答欄の所定の箇所に記載せよ。

化 学

注 意 問題はⅠ，Ⅱ，Ⅲの3題である。解答に単位が必要なものには単位をつけて記すこと。また，問題文中の体積の単位記号Lは，リットルを表す。

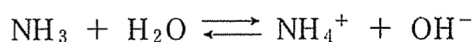
Ⅰ 次の文章を読み，以下の問1～問7に答えよ。問1，問3，問4，問6，問7は解答に至る導出過程も記すこと。ただし，水溶液や純水の温度は一定とする。必要であれば，下の値を用いよ。

原子量 H : 1.0 O : 16

純水の密度 $1.0 \times 10^3 \text{ g/L}$ 水のイオン積 $1.0 \times 10^{-14} (\text{mol/L})^2$

$\log_{10} 23 = 1.36$, $\log_{10} 2 = 0.30$, $\sqrt{41} = 6.4$

強酸や強塩基は，水溶液中ではほぼ完全に電離しているのに対し，弱酸や弱塩基は，条件によってはわずかしか電離しない。ここではアンモニアを例に考える。水溶液中において，次のような電離平衡が成立する。



希薄な水溶液では，水はアンモニアに比べて多量に存在する。よって上式の電離平衡に関与する水分子は，関与しないものに比べると無視できるほど少なく，水のモル濃度 $[\text{H}_2\text{O}]$ (mol/L) は一定とみなせる。このとき，水溶液中のアンモニアのモル濃度を $[\text{NH}_3]$ (mol/L)，アンモニウムイオンのモル濃度を $[\text{NH}_4^+]$ (mol/L)，水酸化物イオンのモル濃度を $[\text{OH}^-]$ (mol/L) とおくと，上式の電離平衡における塩基の電離定数 K_b は，以下の(1)式で定義される。

$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} \quad (1)$$

K_b の値は 2.3×10^{-5} mol/L とする。ここでモル濃度 c (mol/L) のアンモニア水溶液の電離度を α とおくと、電離平衡に達したときの $[\text{NH}_3]$, $[\text{NH}_4^+]$, $[\text{OH}^-]$ のモル濃度 (mol/L) は、 c と α を使ってそれぞれ , , と表される。よって(1)式を使えば、 K_b は c と α を使って と表せる。ここで $\alpha < 0.05$ が成立する場合、 $1 - \alpha$ を 1 に等しいとみなしてよいとすると、濃度 0.10 mol/L のアンモニア水溶液の pH は となる。それに対して、濃度を 2.3×10^{-4} mol/L に調製したアンモニアの α は であり、その pH は濃度 0.10 mol/L のアンモニア水溶液よりも中性に近い。

弱酸とその塩、または弱塩基とその塩の混合溶液には、酸や塩基を加えても、水溶液の pH をほぼ一定に保つ働きがある。この働きを 作用という。 液としては、酢酸と酢酸ナトリウムの混合溶液が有名であるが、アンモニアと塩化アンモニウムの混合溶液にも 作用がある。アンモニア水溶液では(1)式に基づく電離平衡が成立するが、このアンモニア水溶液に塩化アンモニウムを加えると、塩化アンモニウムはアンモニウムイオンと塩化物イオンにほぼ完全に電離する。

ここで、 液を調製するために、濃度 0.15 mol/L のアンモニア水溶液 60 mL に、濃度 0.10 mol/L の塩酸 30 mL を加えることを考える。得られた混合溶液 90 mL 中には、 mol のアンモニアが中和されずに残るものと考えればよい。その結果、この混合溶液の pH は となり、 作用を示す。この溶液に少量の酸を加えても、この酸から生じた水素イオンが溶液中の と反応して を生成し、pH はそれほど変化しない。また少量の塩基を加えた場合も、この塩基から生じた水酸化物イオンが溶液中の と反応し、 を生成するため、pH はそれほど変化しない。

問 1 純水における水のモル濃度 (mol/L) を求め、3桁目を四捨五入して有効数字 2桁で記せ。解答に至る導出過程も記すこと。

問 2 文中の ~ に入る文字式を記せ。

問 3 文中の に入る pH の値を求め、小数点以下第 2 位を四捨五入して小数点以下第 1 位までを記せ。解答に至る導出過程も記すこと。

問 4 文中の に入る α の値を求め、小数点以下第 3 位を四捨五入して小数点以下第 2 位までを記せ。解答に至る導出過程も記すこと。

問 5 文中の ~ に入る語を記せ。

問 6 文中の に入る物質質量 (mol) を求め、3 桁目を四捨五入して有効数字 2 桁で記せ。解答に至る導出過程も記すこと。

問 7 文中の に入る pH の値を求め、小数点以下第 2 位を四捨五入して小数点以下第 1 位までを記せ。解答に至る導出過程も記すこと。

Ⅱ 次の文章を読み、問1～問5に答えよ。なお、問2(2)および問4(2)は解答に至る導出過程を記すこと。必要であれば、下の値を用いよ。

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

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

ウィルスの消毒や色素の漂白には、化学反応を利用している。塩素はそれらによく用いられる元素である。塩素単体(塩素ガス)は反応性が高く、天然には存在しない。実験室では に濃塩酸を加えて加熱することによって得られる。また、プールの消毒などに用いられる高度さらし粉に塩酸を加えることによっても発生する。工業的には塩化ナトリウム水溶液を電気分解して合成される。また、融解させた塩化ナトリウム液体を電気分解することによっても生じる。⁽¹⁾

塩素ガスを、湿ったヨウ化カリウムデンプン紙と接触させると、生成する とデンプンが反応して青紫色を示す。また、塩素ガスは水に少し溶解する。その水溶液中では塩素は水と一部反応し、塩化水素と次亜塩素酸が生じる。塩化水素は、実験室では、塩化ナトリウムに濃硫酸を加えて加熱することで得ている。得られた塩化水素は、アンモニアに接触すると白煙が生じることにより検出できる。この白煙の微粒子の物質名は、 である。一方、次亜塩素酸は高い 力を持ち、消毒剤として用いられる。しかし、保存時の日光や熱によって分解が生じ、消毒能力が低下することがある。次亜塩素酸のナトリウム塩は塩素系漂白剤としてよく使用されるが、トイレ等の個室において、塩酸を含む酸性洗浄剤と接触して有毒な塩素ガスが発生する事故が報告されている。また、コロナウィルスの消毒に有効な成分として、塩素酸と過酸化水素を反応させて得られる亜塩素酸も利用されている。⁽³⁾

問1 文中の空欄 に入る最も適当な語を以下の①～④から選び、その記号を記せ。また、その物質と濃塩酸から、塩素ガスが発生する反応の化学反応式を記せ。

- | | |
|-------------|-------------|
| ① 塩化マンガン(Ⅱ) | ② 酸化マンガン(Ⅳ) |
| ③ 臭素 | ④ ヨウ素 |

問 2 以下の問に答えよ。

- (1) 下線部(1)の陽極と陰極で起こる反応の電子を含む反応式を記せ。
- (2) 下線部(1)の電気分解を、5.0 A の一定電流で 20 分間行った場合、得られた塩素ガスの標準状態での体積(L)を求め、3桁目を四捨五入して有効数字2桁で記せ。ただし、塩素の液体への溶解は無視できるものとする。なお、解答に至る導出過程も記すこと。

問 3 文中の空欄 ~ に入る最も適切な語を記せ。

問 4 下線部(2)に関する以下の問に答えよ。

- (1) 塩酸と次亜塩素酸ナトリウムの反応の化学反応式を記せ。
- (2) 1.0 mol/L の塩酸を含む洗浄剤 150 mL と、0.50 mol/L の次亜塩素酸のナトリウム塩を含む漂白剤 300 mL を混ぜた時に発生する塩素ガスの、27.0 °C、1013 hPa における体積(L)を求め、3桁目を四捨五入して、有効数字2桁で記せ。ただし、化学反応は完全に進行するものとし、塩素の水への溶解は無視できるものとする。なお、解答に至る導出過程も記すこと。
- (3) 塩素ガス発生時、個室上部と下部のどちらがより危険になるかを理由とともに記せ。

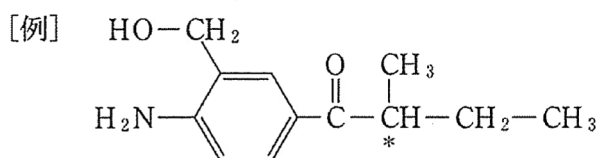
問 5 下線部(3)に関する以下の問に答えよ。

- (1) 塩素酸と亜塩素酸の化学式を記し、各々の塩素の酸化数を記せ。
- (2) 塩素酸と過酸化水素水が反応する際には、酸素が発生する。この時の塩素酸と過酸化水素の酸化剤・還元剤としての働きを表す電子を含む反応式を各々について記せ。
- (3) 塩素酸と過酸化水素水の反応の化学反応式を記せ。

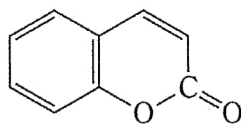
Ⅲ A, Bともに解答すること。

A 次の文章を読み、問1～問4に答えよ。構造式は例にならって記すこと。必要であれば、下の値を用いよ。

原子量 H:1.0 C:12 O:16



2つのベンゼン環をもつ分子式C₁₇H₁₆O₃のエステル化合物A, B, Cがある。化合物Aを加水分解して中和すると、化合物DとEが得られた。化合物Dに含まれる炭素原子間の二重結合はトランス形であり、Dのシス形異性体を分子内で脱水縮合させると、桜の葉の芳香成分であるクマリンが生成する。



クマリン

化合物Eに水酸化ナトリウム水溶液とヨウ素を加えて反応させると、特有の臭気をもつヨードホルムの沈殿が生じた。この反応は、化合物Eが されてCH₃CO-Rの構造を経由して起こる。化合物Eの構造異性体である化合物Fを して得られる分子量120の化合物Gに 水溶液を加えて加熱すると、銀が析出した(銀鏡反応)。化合物FやGを過マンガン酸カリウムと反応させると、ポリエチレンテレフタラートの合成原料が得られる。

化合物Bを加水分解して中和すると、化合物D、およびベンゼン環に2つの置換基をもつ化合物Hが得られた。化合物Hに塩化鉄(Ⅲ)水溶液を加えると呈色した。化合物Hのベンゼン環にニトロ基を1つ導入すると2種類の構造異性体を得られた。

化合物 C を加水分解して中和すると、化合物 I と J が得られた。分子量 136 の化合物 I を過マンガン酸カリウムと反応させるとフタル酸が得られた。化合物 J はオルト位に 2 つの置換基をもつ芳香族化合物であり、ケト形とエノール形の異性体が存在する。化合物 J に 水溶液を加えて加熱すると銀が析出したが、塩化鉄(Ⅲ)水溶液を加えても呈色しなかった。

問 1 化合物 A と B, ならびに D~I の構造式を例にならって記せ。不斉炭素原子が存在するものに関しては、不斉炭素原子の上または下に*を付けて記すこと。

問 2 文中の空欄 と に当てはまる適当な語を記せ。

問 3 下線部について、フタル酸を加熱すると脱水反応が起こる。その反応の化学反応式を記せ。

問 4 化合物 J として考えられる全ての構造式を例にならって記せ。ただし、化合物 J については、以下のことがわかっているとする。

- 1) エーテル結合を含まない
- 2) エノール形に含まれる炭素原子間の二重結合はトランス形である
- 3) 不斉炭素原子は含まない

B 次の文章を読み、以下の問1～問5に答えよ。問4は解答に至る導出過程も記すこと。各元素の原子量は下の値を用いよ。

原子量 H : 1.0 C : 12 O : 16

グルコースを単量体とする天然高分子のデンプンとセルロースは植物中に存在し、それぞれエネルギー貯蔵と植物繊維の主成分となっている。これらの天然高分子はグルコースの [ア] 反応によって生じる [イ] 結合により形成している。セルロースではグルコースが [ウ] 結合により直鎖状の結晶性構造を形成し、一方、デンプンではグルコースが [エ] 結合による直鎖構造から [オ] 結合により分岐鎖を形成している。デンプンは、[エ] 結合のみで形成される [カ] と [オ] 結合を含む [キ] からなり、[カ] は特徴的な [ク] 状の立体構造を有する。動物細胞の中にもエネルギー貯蔵の役割をもつ [ケ] が存在する。デンプンや [ケ] はさまざまな酵素により [コ] 分解される。サツマイモに含まれるβ-アミラーゼはデンプンを分解し、⁽¹⁾ 甘み成分のマルトース(麦芽糖)を生成する。マルトースはマルターゼにより [コ] 分解され、2分子のグルコースを生成する。グルコースは発酵⁽²⁾により2分子の乳酸に変換される。

問1 文中の空欄 [ア] ~ [コ] に当てはまる適当な語を記せ。

問2 下線部(1)で、美味しい焼き芋をつくるには、デンプンが糊化する温度(約70℃)で時間をかけて加熱する必要がある。この温度で活性を示すβ-アミラーゼが糊化したデンプンを十分にマルトースに分解し、より甘みが増す。しかし、オーブンなどで高温で急速に加熱するとβ-アミラーゼは活性を失い、甘みが十分でない焼き芋となる。β-アミラーゼが活性を失う理由を2行以内で答えよ。

問3 β-アミラーゼは [カ] をほぼ分解することができるが、[キ] では分岐構造の部分を分解できない。これは酵素のどのような性質によるものか。

問 4 下線部(2)において、生分解性プラスチックのポリ乳酸を作るために、デンプンから乳酸に変換した後に重合した。デンプンがすべて乳酸に変換され、重合反応が 100 % で起こるとすると、162 g のデンプンから何 g のポリ乳酸が得られるかを求め、整数で記せ。なお、解答に至る導出過程も記すこと。高分子の末端部分は無視してよい。

問 5 ヒトではエネルギー源として食物から摂取したデンプンを単糖にまで分解し、肝細胞などで再び分子量数百万程度に高分子化した として細胞中に貯蔵する。もしグルコースがそのまま細胞中に貯蔵されるとすれば、細胞においてどのような致命的なことが起こるかを次の (a) ~ (c) の事項を元に 3 行以内で答えよ。

- (a) 肝細胞に貯蔵されている の濃度は約 1×10^{-8} mol/L で、グルコースとしての濃度は 0.4 mol/L 相当と考えられる。
- (b) 細胞外(血液中)のグルコース濃度は約 5×10^{-3} mol/L であるとする。
- (c) 細胞膜(細胞を取り囲む膜)は半透膜の性質をもつ。