

2025 年度(令和 7 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 13 ページまで、「化学」が 14 ページから 23 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。ただし，円周率を π とする。

- Ⅰ 図１のように，直線と円弧からなるレール ABCDEFGHIJ の上に質量 m (kg) の小物体を置いて，同一鉛直面内で運動させる場合を考える。重力の向きは図の下向きとする。レールはなめらかで小物体との間に摩擦はなく，円弧 CE，FH は，点 C，E，F，H で直線部分 AC，EF，HJ となめらかに接続されている。直線 AC，EF，HJ は，水平面と角度 θ (rad) ($0 < \theta < \frac{\pi}{2}$) をなしている。点 O，O' は，それぞれ円弧 CE と FH の中心であり，円弧 CE，FH の半径はいずれも r (m) である。点 I には厚さの無視できる壁が鉛直に設置されており，点 K は壁の上端である。小物体の高さは，点 D を通る水平面を基準とする。点 D は円弧 CE の最下点，点 G は円弧 FH の最高点であり，点 B，O，F，H，K と点 C，E，O'，I はそれぞれ同じ高さである。重力加速度の大きさは g (m/s²) とする。空気抵抗は無視する。

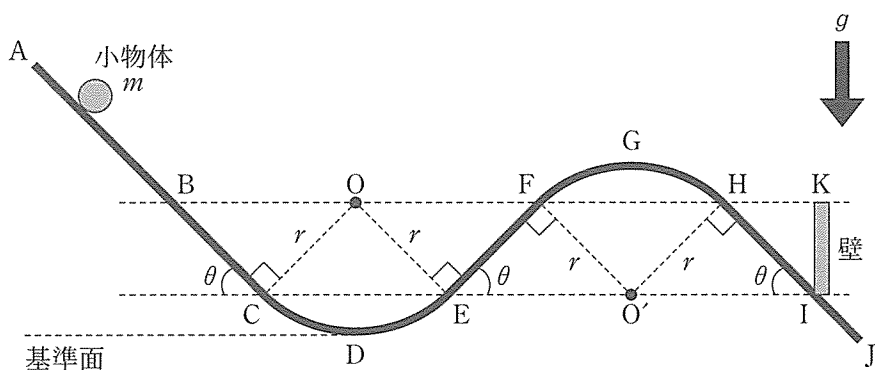


図 1

問 1 図 2 のように、高さ h_1 [m] の位置 (レール上の BC 間) から小物体が静かにすべり出す場合を考える。

- (1) 小物体がすべり始めた直後の加速度の大きさ $[\text{m/s}^2]$ を m, g, θ, r, h_1 のうち必要なものを用いて表せ。
- (2) 点 D における小物体の速さ $[\text{m/s}]$ を m, g, θ, r, h_1 のうち必要なものを用いて表せ。
- (3) 点 D において小物体がレールから受ける垂直抗力の大きさ $[\text{N}]$ を m, g, θ, r, h_1 のうち必要なものを用いて表せ。

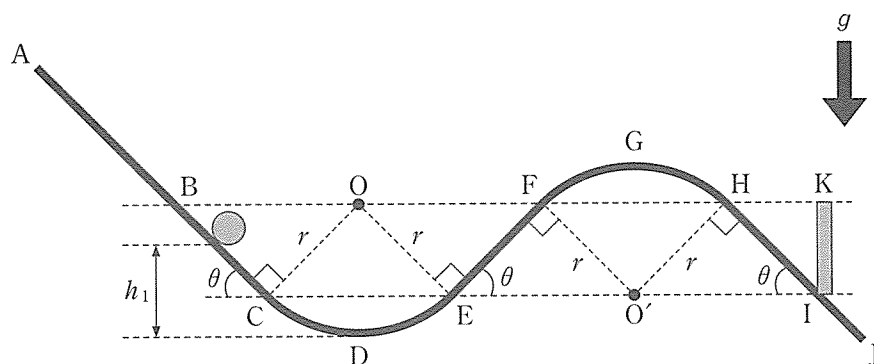


図 2

問 2 図 3 のように、高さ h_2 [m] の位置 (レール上の AB 間) から小物体が静かにすべり出す場合を考える。このとき、小物体は一度も浮き上がることなく点 I に到達した。

- (4) BI 間における小物体の速さの最大値 [m/s] と最小値 [m/s] を m , g , θ , r , h_2 のうち必要なものを用いて表せ。
- (5) CE, EF, FH, HI の各区間における、小物体がレールから受ける垂直抗力の大きさの時間変化について、以下の選択肢からそれぞれ正しいものを選べ。
- (ア) 増加し続ける (イ) 減少し続ける (ウ) 増加した後、減少する
(エ) 減少した後、増加する (オ) 変化しない
- (6) 小物体が一度も浮き上がらずに点 I に到達するためには、高さ h_2 はある値よりも小さい必要がある。その値を θ と r のみを用いて表せ。
- (7) θ を変えてレール ABCDEFGHIJ をつくり直す場合、小物体が浮き上がることなく点 I に到達する h_2 が存在するためには、 θ がある条件を満たすことが必要である。その条件を $\cos \theta$ に対する不等式で表せ。

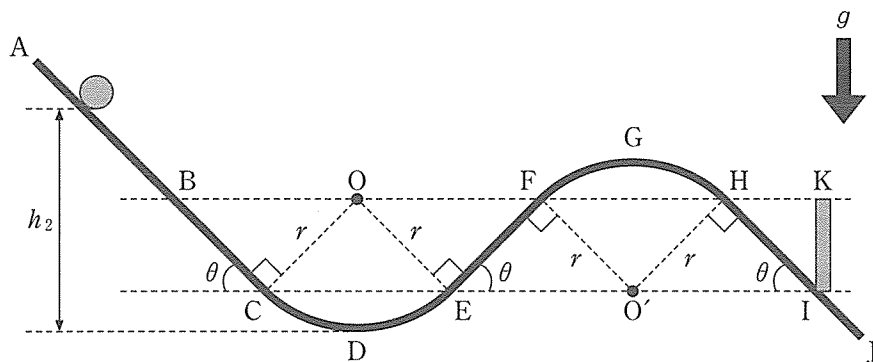


図 3

問 3 図 4 に示すように、 $\theta = \frac{\pi}{3}$ として、高さ h_3 [m] の位置から小物体が静かにすべり出す場合を考える。このとき、小物体は BI 間のある点でレールから浮き上がった。

- (8) 小物体がレールから浮き上がった瞬間の速さ V [m/s] を m , g , r , h_3 のうち必要なものを用いて表せ。
- (9) 浮き上がった小物体がレールに再び接触することなく壁に衝突する場合、小物体が浮き上がってから壁に衝突するまでの時間 [s] を V と r のみを用いて表せ。
- (10) 小物体のすべり出す高さ h_3 がある値を超えると、浮き上がった小物体は再びレールに接触することなく壁を飛び越える。その値を r のみを用いて表せ。

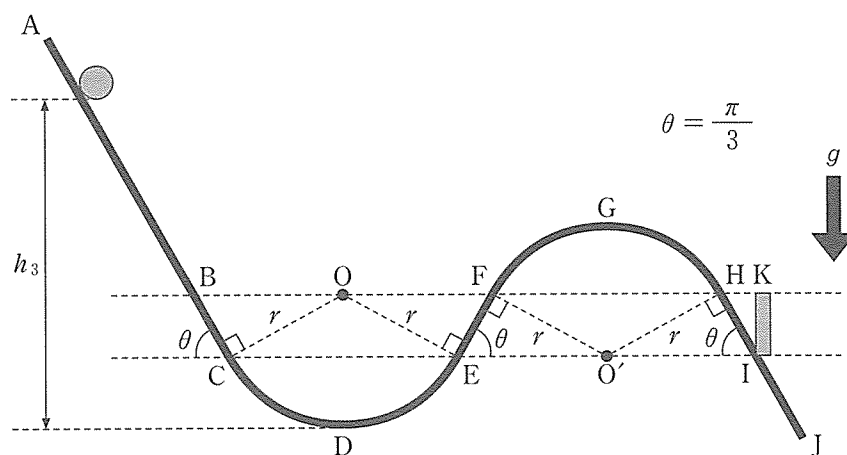


図 4

Ⅱ 直流と交流の電気回路に関する以下の問 1，問 2 に答えよ。

問 1 図 1 のように，起電力 E [V]，内部抵抗 r [Ω] の直流電源，抵抗値 R [Ω] を自由に調整できる可変抵抗，自己インダクタンス L [H] のコイル，電気容量 C [F] のコンデンサー，2 つのスイッチ S_1 ， S_2 で構成される直流回路がある。コイルを流れる電流を I_L [A]，コンデンサーを流れる電流を I_C [A] とし，図 1 中の矢印の向きを正とする。図 1 中の点 b を基準としたときの点 a の電位を V_L [V] とする。最初， S_1 ， S_2 は開いており，コンデンサーに電荷は蓄えられていない。

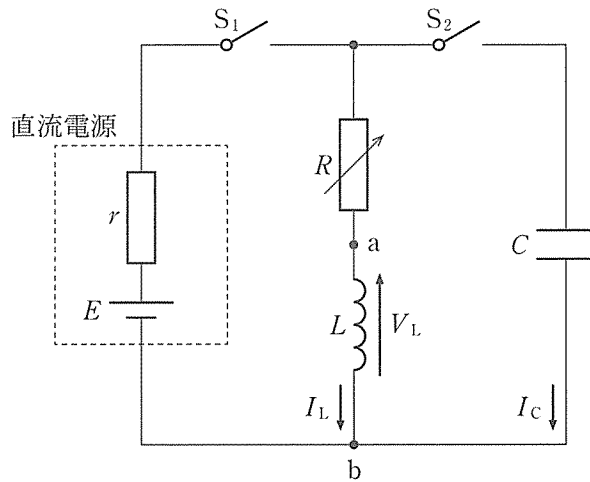


図 1

はじめに， S_1 のみを閉じる場合を考える。

- (1) S_1 を閉じた直後の I_L と V_L を答えよ。
- (2) S_1 を閉じて十分に時間が経過した後の I_L と V_L を答えよ。
- (3) S_1 を閉じた後の任意の時刻における I_L を， E ， r ， R ，および，その時刻における V_L を用いて表せ。

いま、 S_1 を閉じて十分に時間が経過した後、可変抵抗の抵抗値を調整して可変抵抗での消費電力を最大化することを考える。

- (4) 抵抗値が R のときの可変抵抗での消費電力 $[W]$ を、 E , r , R を用いて表せ。
- (5) 可変抵抗での消費電力が最大となる R を答えよ。

次に、 S_2 が開いた状態で S_1 を閉じて十分に時間が経過した後、 S_2 を閉じてから S_1 を開く場合を考える。なお、 S_2 を閉じてから S_1 を開くまでの時間は極めて短く、その間においてコンデンサーの電荷に変化はないものとする。

- (6) S_1 を開いた直後の I_C の説明として適当なものを下記の(ア)～(ウ)の中からひとつ選び、解答欄に記号を記せ。
- (ア) $I_C > 0$ (イ) $I_C = 0$ (ウ) $I_C < 0$
- (7) S_1 を開いて十分に時間が経過した後の I_C を答えよ。
- (8) S_1 を開いてから十分に時間が経過するまでの間に回路で発生するジュール熱の総量 $[J]$ を、 E , r , R , L を用いて表せ。

問 2 図 2 のように、電圧 V [V] の交流電源、抵抗値 R [Ω] の抵抗、自己インダクタンス L [H] のコイル、電気容量 C [F] のコンデンサー、2 つのスイッチ S_1 、 S_2 で構成される交流回路がある。電源を流れる電流を I [A]、抵抗を流れる電流を I_R [A]、コイルを流れる電流を I_L [A]、コンデンサーを流れる電流を I_C [A] とし、図 2 中の矢印の向きを正とする。電源電圧 V [V] は図 2 中の点 b を基準としたときの点 a の電位とし、最大値 V_0 [V]、角周波数 ω [rad/s]、時刻 t [s] を用いて $V = V_0 \sin \omega t$ と表せる。最初、 S_1 、 S_2 は開いており、コンデンサーに電荷は蓄えられていない。

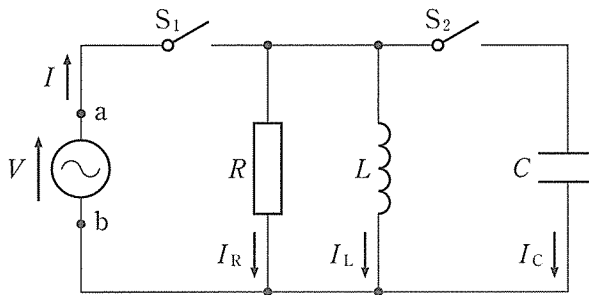


図 2

はじめに、 S_1 のみを閉じて十分に時間が経過した後について考える。

- (9) 電源電圧の実効値 [V] を答えよ。
- (10) I_R と I_L を、それぞれ V_0 、 ω 、 R 、 L 、 t の中から必要なものを用いて表せ。
- (11) 回路の平均消費電力 [W] を、 V_0 、 R を用いて表せ。
- (12) 電源を流れる電流を、最大値 I_0 [A]、電源電圧に対する位相差 θ [rad] を用いて $I = I_0 \sin(\omega t + \theta)$ と表すとき、 I_0 と $\tan \theta$ を、それぞれ V_0 、 ω 、 R 、 L の中から必要なものを用いて表せ。
- (13) I 、 I_R 、 I_L 、 V をそれぞれ xy 平面内において角速度 ω で反時計まわりに回転するベクトル $\vec{I}$ 、 $\vec{I}_R$ 、 $\vec{I}_L$ 、 $\vec{V}$ の y 成分で表すとき、各ベクトルの関係として適当なものを図 3 の(ア)～(エ)の中からひとつ選び、解答欄に記号を記せ。

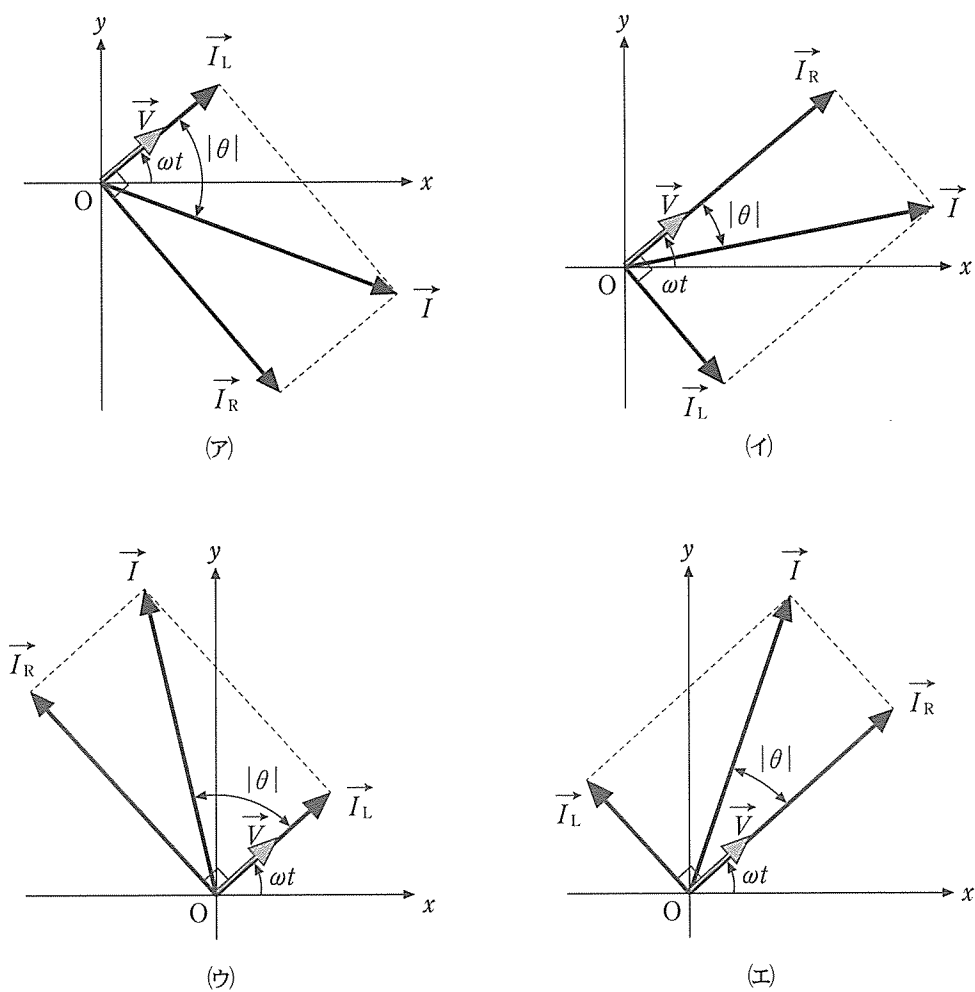


図 3

次に、 S_1 を閉じたまま、 S_2 を閉じて十分に時間が経過した後について考える。

(14) I_C を、 V_0 、 ω 、 C 、 t を用いて表せ。

(15) 回路の電流を測定したところ、 $I = I_R$ であった。 C を、 ω 、 L を用いて表せ。

Ⅲ 熱エネルギーを用いてピストンを動かし、液体を押し上げる現象について考える。図 1 に示すように、高さ $\frac{9}{2}L$ [m]、一様な断面積 S [m²] の容器が水平面上に設置されている。重力の向きは図の下向きとする。容器には、なめらかに上下に動く気密性のあるピストンがついており、はじめは、ピストンが固定具により高さ $3L$ [m] の位置に水平に固定されている。ピストン上部の領域は外気に開放されており、外気圧は p_0 [Pa] で一定である。ピストン下部の領域は、バルブのついた仕切板により部屋 A と部屋 B に分けられている。仕切板は、高さ $2L$ [m] の位置に水平に固定されている。はじめ、バルブは閉じており、部屋 A には、物質 $3n_0$ [mol] の単原子分子の理想気体が、圧力 p_0 [Pa]、温度 $\frac{T_0}{3}$ [K] で封入されており、部屋 B は真空である。部屋 A と部屋 B には、それぞれ、ヒーター A とヒーター B が備えられている。容器、ピストン、固定具、仕切板、バルブを通した熱の出入りは無い。なお、ピストン、固定具、仕切板、バルブ、ヒーターの体積、質量、熱容量は無視できるものとする。また、重力加速度の大きさは g [m/s²] とする。以下の設問に答えよ。

※ 設問(1)～(3)には、 n_0 、 p_0 、 T_0 、 S 、 L の中から必要なものを用いて解答すること。

- (1) 気体定数 [J/(mol・K)] を求めよ。
- (2) ヒーター A を稼働し、部屋 A の気体をゆっくり加熱して、部屋 A の気体の圧力を $3p_0$ とした後、ヒーター A を停止させ、図 1 の状態 1 から図 2 の状態 2 にした。状態 2 の部屋 A の気体の温度 T_2 [K]、およびこの過程において部屋 A の気体が受け取った熱 Q_{12} [J] を求めよ。
- (3) 状態 2 からバルブを開いて、部屋 A の気体を部屋 B の真空中に噴出した。この過程を自由膨張とよび、熱の出入りはなく、気体は仕事をしないため、内部エネルギーは変化しない。バルブを開いてから十分に時間が経過したのち、再びバルブを閉め、図 3 に示す状態 3 にした。このときの、部屋 B の気体の温度 T_3 [K]、圧力 p_3 [Pa] および物質 n_b [mol] を求めよ。

状態 1

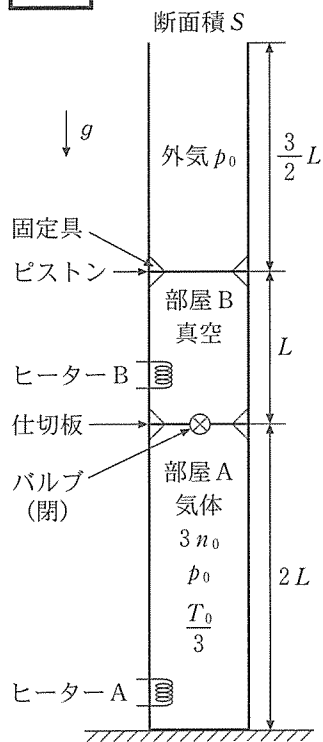


図 1

状態 2

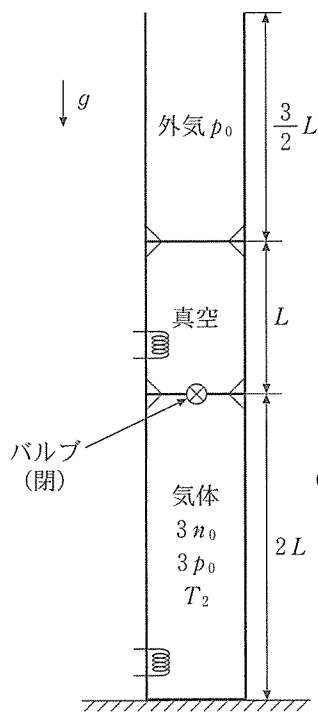


図 2

状態 3

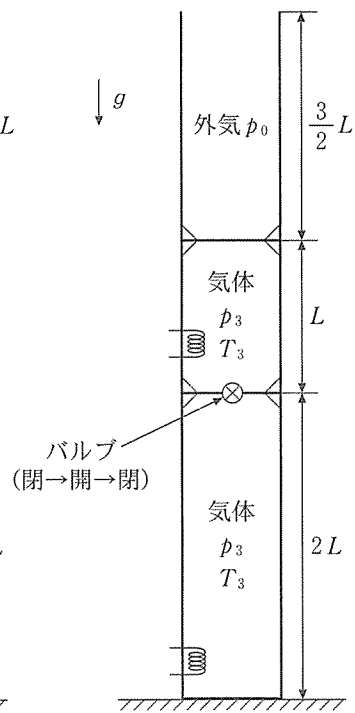


図 3

状態 3 から、図 4 に示すように、容器のピストン上部に液体を注ぎ、ピストンの固定具を取り外したところ、ピストンの位置は変わらず静止したままだった。液体部分の高さは L である。この状態を状態 4 とする。なお、液体の蒸発、および表面張力は無視でき、液体の密度は一定とする。外気圧が p_0 であることに注意し、以下の設問に答えよ。

- (4) 液体の密度 $[\text{kg}/\text{m}^3]$ を、 p_0 , S , L , g の中から必要なものを用いて示せ。
- (5) 状態 4 においてヒーター B を稼働し、部屋 B の気体をゆっくり加熱し、ピストンを $\frac{L}{2}$ 上昇させた後、ヒーター B を停止して図 5 に示す状態 5 にした。状態 5 における部屋 B の気体の圧力 p_5 [Pa] および温度 T_5 [K] を、 p_0 , T_0 の中から必要なものを用いて示せ。

状態 4

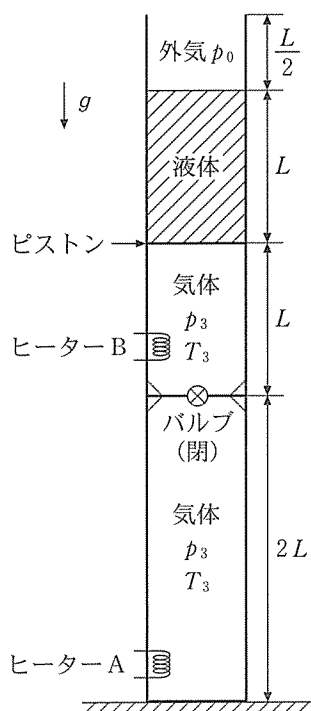


図 4

状態 5

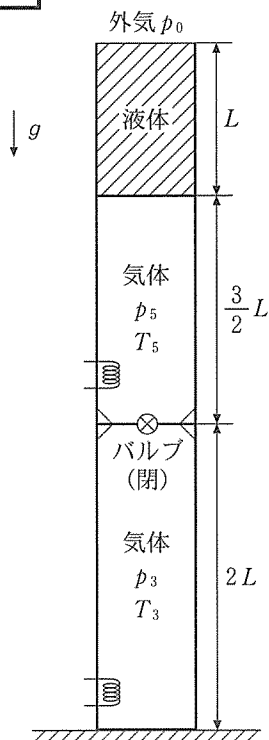


図 5

状態 6

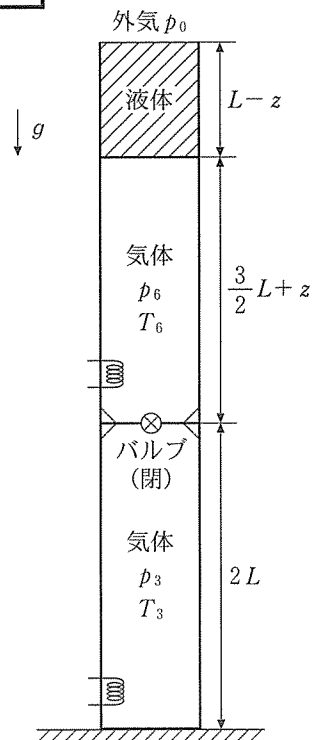


図 6

状態 5 から、さらにピストンを上昇させる。状態 5 からのピストン上昇量を $z[\text{m}]$ ($z \geq 0$) とする。状態 5 から再びヒーター B を稼働し、ゆっくり加熱し続けると、はじめはピストンがゆっくり上昇し、液体が容器の開放口から徐々に外にこぼれていくが、あるピストン上昇量 $z = z^*[\text{m}]$ に達すると、ピストンが一気に上昇し、液体が噴き出してしまう。 $z^* < z \leq L$ の条件において、ピストンをつり合いの状態に保つには、 z の増加とともに熱を部屋 B の外に放出する必要がある。この現象について考察する。

(6) $z < z^*$ の条件を満たす、図 6 の状態 6 を考える。状態 6 の部屋 B の気体の圧力 $p_6[\text{Pa}]$ および体積 $V_6[\text{m}^3]$ を求めよ。ただし、 p_0 , S , L , z の中から必要なものを用いて示すこと。

(7) p_6 を p_0 , S , L , V_6 を用いて示せ。

(8) 前問(7)の p_6 と V_6 の関係式を考慮すると、状態 5 から状態 6 において部屋 B の気体がした仕事 W_{56} [J] は、次の式で求められる。空欄(ア)および(イ)に入る数値を求めよ。

$$W_{56} = p_0 SL \left\{ \boxed{\text{ア}} \left(\frac{z}{L} \right)^2 + \boxed{\text{イ}} \frac{z}{L} \right\}$$

(9) 状態 6 の部屋 B の気体の温度 T_6 [K]，および状態 5 から状態 6 における部屋 B の気体の内部エネルギーの変化 ΔU_{56} [J] は、次の式で求められる。空欄(ウ)～(キ)に入る数値を求めよ。

$$T_6 = T_0 \left\{ \boxed{\text{ウ}} \left(\frac{z}{L} \right)^2 + \boxed{\text{エ}} \frac{z}{L} + \boxed{\text{オ}} \right\}$$
$$\Delta U_{56} = p_0 SL \left\{ \boxed{\text{カ}} \left(\frac{z}{L} \right)^2 + \boxed{\text{キ}} \frac{z}{L} \right\}$$

(10) 状態 5 から状態 6 において部屋 B の気体に与えられる熱 Q_{56} [J] は、熱力学第一法則から、 W_{56} と ΔU_{56} の和で求められる。このことを考慮し、 z^* を求めよ。

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2～問5は解答に至る導出過程も記すこと。ただし，気体は全て理想気体であるとする。必要であれば，下の値を用いよ。

結合エンタルピー(結合エネルギー) (単位は kJ/mol)

C—H : 416, O—H : 463, H—H : 436, O=O : 498, C=O : 804

気体定数 $R = 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{mol} \cdot \text{K})$

様々な可燃性化合物の燃焼反応が熱エネルギーを獲得するために利用されている。大気には酸素が含まれているから“燃料”といえば可燃性化合物を示す。熱エネルギー獲得という行為のみに着目すれば，“燃料”を低コストで大量に得る方法・技術を追求することは重要といえる。しかし，熱エネルギー獲得の代償として温室効果ガスを大量に発生させてはいけな。ここでは，“燃料”としてメタンと水素を取り上げ，持続発展可能な社会を実現するために必要な化学反応について考えてみたい。両者の1 mol 当たりの理論的燃焼エンタルピー(燃焼熱) Q (kJ/mol) はメタンの方が大きい。が，温室効果ガスを発生するのでメタンを燃焼反応で利用することは避けなければならない。一方，水素の燃焼反応は温室効果ガスを発生しないのでその利用は理想的といえるが，天然資源として水素を大量に得ることはできない。したがって水素の調達コストはメタンよりもかなり高い。以上を踏まえると，比較的安価なメタンから低コストに水素を製造する技術の開発が，メタンを有効に利用する方法の1つと考えられる。メタンをその成分元素の単体へ分解する反応をここでは“メタンの分解反応”とよぶ。この分解反応は温室効果ガスを生成しない化学反応である。しかし，メタンの分解反応は平衡反応で高温にしないと分解効率が向上しない。加熱に要するエネルギー源が大量の温室効果ガスを生むのであれば環境にやさしいとはいえない。メタンの分

解反応を進めるのに必要な加熱操作などにおいて温室効果ガスの発生を最小限に抑える技術と、分解反応を促進させるための触媒に関する研究が活発に行われている。多くの英知を結集し、地球温暖化を阻止する努力を続けていかなければならない。

問 1 以下の A～C の化学反応式を記せ。各物質の $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $1.013 \times 10^5\text{ Pa}$ における状態を化学式の後ろに必ず付記すること(固体は(固)、液体は(液)、気体は(気)と記せ。)。また、不可逆反応と可逆反応の違いがわかるように記せ。

A. 水素の燃焼反応 B. メタンの燃焼反応 C. メタンの分解反応

問 2 結合エンタルピー(結合エネルギー)の値を用いて、水素、メタンそれぞれ 1 mol が燃焼するときのエンタルピー変化(放出される熱量)の絶対値を求め、整数で記せ。

問 3 メタン 1.0 mol のみを内容積 $V(\text{L})$ の頑丈な耐熱性容器に封入して分解反応を進行させたところ、温度 $T(\text{K})$ においてメタンの一部が分解し平衡状態となった。このときの容器内の圧力 P は $3.7 \times 10^5\text{ Pa}$ であった。また分析の結果、容器内に共存するメタンではない気体成分の分圧が $3.4 \times 10^5\text{ Pa}$ であることも確認された。容器内のメタンの分圧 $P_{\text{CH}_4}(\text{Pa})$ と分解率 $x_{\text{CH}_4}(\%)$ を求め、3 桁目を四捨五入して有効数字 2 桁で記せ。

問 4 問 3 の平衡状態における温度 T は 1600 K であった。容器の内容積 $V(\text{L})$ を求め、3 桁目を四捨五入して有効数字 2 桁で記せ。なお、容器内に固体がある場合、その体積は十分小さいので無視してよい。

問 5 平衡定数 K は、圧平衡定数 K_p で表すことができる。メタンの分解反応における圧平衡定数 K_p を定義する式を記せ。また、問 3 の平衡条件における K_p を求め、3 桁目を四捨五入して有効数字 2 桁で記せ。なお、解答に単位が必要な場合には単位をつけて記すこと。

問 6 問 3 と同じ物質質量，温度で容器の内容積 $V(\text{L})$ を半分にした場合，水素の生成量はルシャトリエの原理にもとづいて，どのように変化するかを理由とともに 2 行以内で記せ。

問 7 図 1 に，圧力 $P(\text{Pa})$ と温度 $T(\text{K})$ を一定に保ちながら触媒を使用せずにメタンの分解反応を進めた際の，生成物の生成量と反応時間の関係を点線で模式的に示す。水平な細線はこの分解反応が平衡に達した際の生成物の生成量を示している。触媒を用いて同一条件下で分解反応を調べると，生成物の生成量と反応時間の関係はどのように変化するだろうか。解答用紙の図に実線で記入せよ。また，そのように描いた理由を 2 行以内で記せ。

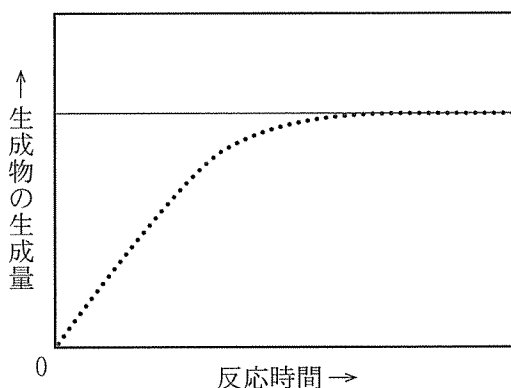


図 1

Ⅱ 次の文章を読み、以下の問 1 ～問 4 に答えよ。問 2，問 3 (1)，(2)，問 4 (3)は解答に至る導出過程も記すこと。必要であれば、下の値および記号を用いよ。

原子量 H : 1.0 C : 12 O : 16 Na : 23

水のイオン積 : $K_w (\text{mol/L})^2$

酸と塩基は、化学反応を考える上で非常に重要な概念のひとつである。例えば、反応の進行に酸や塩基が必須となる反応では、用いられる酸や塩基の強さによって、その反応速度は大きく変化することがある。また、溶液反応を考える場合、溶質の酸や塩基の強さは、用いる溶媒の酸や塩基としての強さと相対的な関係にあり、溶媒の選択も反応の進行に多大な影響を与える。このようなことから、酸と塩基の概念は研究者の興味を集め、多くの定義づけが試みられてきた。アレニウスは、酸は水に溶けて を生じる物質であり、塩基は水に溶けて を生じる物質であると定義し、一定の成功を収めた。1923 年にブレンステッドとローリーはそれぞれ独立に、今日でも有用な酸塩基説を発表した。この説においては、酸は を与える物質であり、塩基は を受け取る物質であると定義される。この説により、 を含まないアンモニアや炭酸イオンなども塩基に含まれることになった。溶液中における物質の酸あるいは塩基としての強さは、 を与えることあるいは受け取ることの容易さであり、電離度の値で判断できる。水に酸や塩基を溶解させたときの水溶液の酸性、塩基性の強さは pH で表わされ、 濃度の関数として $\text{pH} = \text{ウ}$ の関係がある。

問 1 文中の空欄 から に入る適切な語、式を記せ。

問 2 ある 1 価の酸 0.0030 mol が溶解した水溶液 100 mL の pH は 3.0 であった。このときのある 1 価の酸の電離度を求め、3 桁目を四捨五入して有効数字 2 桁で記せ。なお、解答に至る導出過程も記すこと。

問 3 酢酸水溶液に関する以下の(1)~(3)に答えよ。

- (1) pH が 4 の酢酸水溶液の全酢酸濃度(酢酸と酢酸イオンの濃度の和: mol/L)を酢酸の電離定数 K_a (mol/L)を用いて表せ。なお、解答に至る導出過程も記すこと。
- (2) (1)の酢酸水溶液を 10 倍に希釈した。この溶液の水素イオン濃度(mol/L)を酢酸の電離定数 K_a (mol/L)を用いて表せ。なお、解答に至る導出過程も記すこと。水の電離は無視できるものとする。
- (3) (1)の酢酸水溶液 100 mL を中和するのに必要な 0.010 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液の体積(mL)を、酢酸の電離定数 K_a (mol/L)を用いて記せ。

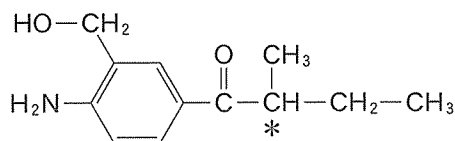
問 4 濃度未知の酢酸水溶液を水酸化ナトリウム水溶液で中和滴定した。以下の

- (1)~(4)に答えよ。ただし、(3)と(4)については、中和滴定で生成する塩の電離と比べて酢酸と水の電離は無視できるものとする。
- (1) この中和滴定の中和点において、溶液は酸性、中性、塩基性のいずれになると考えられるか。またその理由を記せ。
- (2) この中和滴定において水溶液の pH の変化を観察したところ、中和点に到達する前の領域で、水酸化ナトリウム水溶液を滴下しても pH があまり変化しない領域があった。このようなはたらきを緩衝作用というが、この作用が起こる理由を 2 行以内で記せ。
- (3) (2)の緩衝作用がおこる領域の pH を、そのときの酢酸水溶液中の全酢酸濃度(酢酸と酢酸イオンの濃度の和) C_A (mol/L)、滴下した水酸化ナトリウム水溶液によるナトリウムイオン濃度 C_B (mol/L)、酢酸の電離定数 K_a (mol/L)を用いて表せ。なお、解答に至る導出過程も記すこと。ただし、中和滴定により生成する酢酸ナトリウムはすべて電離しているものとする。
- (4) (3)の水溶液の緩衝作用の能力が最大となるのは電離していない酢酸と電離した酢酸イオンの濃度が等しい場合である。このときの pH を全酢酸濃度 C_A (mol/L)、滴下した水酸化ナトリウム水溶液によるナトリウムイオン濃度 C_B (mol/L)、酢酸の電離定数 K_a (mol/L)のうち必要なものを用いて記せ。

Ⅲ A, B共に全員が解答すること。

A 次の文章を読み、問1～問5に答えよ。構造式は例にならって記すこと。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。

[例]

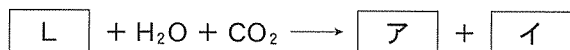


(a) 分子式 $\text{C}_{11}\text{H}_{14}\text{O}_3$ の芳香族化合物 A～C はエステル結合をもつベンゼンの二置換体である。これらを水酸化ナトリウム水溶液で加水分解し、塩酸で酸性にすると、共通の酸性の芳香族化合物 D とともに、化合物 A～C から中性化合物 E～G がそれぞれ得られた。化合物 D は、ナトリウムフェノキシドと二酸化炭素を加熱・加圧した後、希硫酸を加えて合成される。化合物 D と無水酢酸に濃硫酸を加えて反応させると、解熱鎮痛剤に用いられる化合物 H が得られる。化合物 E～G は金属ナトリウムと反応して水素を発生する。化合物 E は不斉炭素原子をもつ。化合物 F を酸化すると化合物 I を経て、酸性を示す化合物 J になるが、化合物 G は酸化されにくい。化合物 F, G に脱水反応を行ったところ、同一の化合物 K のみ得られた。

問 1 化合物 A～C の構造式を例にならって記せ。

問 2 化合物 H～K の構造式を例にならって記せ。

問 3 化合物 D に水酸化ナトリウムを完全に反応させ L を得た。この L の水溶液に二酸化炭素を十分に通じた際の化学変化について、以下の空欄 L, ア, イに適切な化合物を記し、化学反応式を完成せよ。ただし、空欄 L とアには構造式を例にならって記せ。



問 4 化合物 D と H を呈色反応で区別するにはどうすればよいか。2 行以内で記せ。

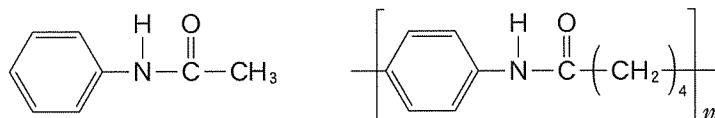
- (b) トルエン(メチルベンゼン)を穏やかな条件下で酸化すると、銀鏡反応を示す化合物 M になる。塩基性条件下では、化合物 M どうしで酸化反応と還元反応が進行し、反応混合物を塩酸で酸性にすると化合物 N と化合物 O が得られる。化合物 N を酸化すると、化合物 M を経て化合物 O になる。化合物 O はトルエンを塩基性の過マンガン酸カリウム水溶液とともに加熱しても得られる。

問 5 化合物 M~O の構造式を例にならって記せ。

B 次の文章を読み、以下の問 1 ～問 5 に答えよ。構造式は例にならって記せ。必要に応じて、下の値を用いよ。

原子量 H : 1.0 C : 12 N : 14 O : 16

[例]



炭素—炭素間に不飽和結合を有する化合物は単量体として高分子化合物を合成する重要な原料である。エチレンやアセチレンに分子を付加させる反応を経由することで、様々な単量体へと誘導できる。例えば、エチレンに塩素を付加することにより 1,2-ジクロロエタンを合成し、その後、塩化水素を脱離させることで A が得られる。アセチレンと塩化水素との触媒を用いた反応からも A を合成することができる。同様に触媒を用いて、アセチレンに酢酸を付加させると B が得られ、アセチレンにシアン化水素を付加させると C が得られる。一方、触媒を用いてアセチレンに水^(a)を付加させてもビニル基をもつ化合物は得られない。

マレイン酸の分子内脱水反応からは酸無水物である D が得られる。さらに D とアニリン^(b)の反応により、イミド結合(—CO—NR—CO—)を有する化合物 E が得られる。

1 分子中に 2 つの官能基を有する化合物は、縮合重合の単量体として重要である。*p*-キシレンを酸化することによりジカルボン酸である F が得られる。一方で、*o*-キシレン^(c)を酸化し、さらに分子内脱水反応させることにより酸無水物が得られる。

問 1 化合物 A～F の構造式を記せ。

問 2 化合物 F と 2 価アルコールである 1,4-ブタンジオールとの縮合重合により得られる高分子の構造式を記せ。

問 3 化合物 D とスチレンとの共重合体 G を分析したところ、脂肪族の水素の数と芳香族の水素の数が等しくなった。共重合体 G 中の化合物 D とスチレンの繰り返し単位の数比(化合物 D : スチレン)を最も簡単な整数比で記し、共重合体 G の構造式を記せ。

問 4 問 3 で分析した共重合体 G とアニリンとの反応により、酸無水物部位を部分的にイミド結合へと変換し、共重合体 H を合成した。共重合体 H の元素分析から炭素と窒素の質量比は 40 : 1 となった。イミド結合へと変換された割合 x ($0 < x < 1$) を求め、3 桁目を四捨五入して有効数字 2 桁で記せ。なお、解答に至る導出過程も記すこと。

問 5 次の(あ)~(く)の文章のうち正しいものをすべて選び、記号で記せ。

- (あ) 単量体 A の付加重合により得られる高分子は、塩素を含有するため難燃性である。
- (い) 単量体 B の付加重合により得られる高分子は、水族館の水槽の有機ガラスなどに用いられている高強度の透明材料である。
- (う) 単量体 B の付加重合により得られる高分子の側鎖を加水分解し、さらにアセタール化することにより、ナイロンが得られる。
- (え) 単量体 C の付加重合により得られる高分子はアクリル繊維の主成分であり、高温で加工することで炭素繊維へと変換することができる。
- (お) 下線部(a)の理由は、生成するビニル基をもつ化合物が容易に脱水反応を起こしてしまうためである。
- (か) 下線部(b)に関して、マレイン酸の異性体であるフマル酸はトランス形であり、カルボキシ基同士の距離が遠いため、分子内脱水反応は起こらない。

- (き) 単量体 F と *p*-フェニレンジアミンから防弾チョッキなどに用いられているアミド繊維が得られる。なお、*p*-フェニレンジアミンは下記の構造である。



図 *p*-フェニレンジアミン

- (く) 下線部(c)で得られる酸無水物は二重結合を有するため、その付加重合により高分子化合物を合成できる。