

試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。

令和 6 (2024) 年度 入学者選抜
一般選抜 「後期日程」

個別学力検査 問題

理 科

(物理, 化学)

注 意 事 項

1. 物理の問題は問題 1 から問題 4 まで、化学の問題は問題 1 から問題 4 までの、計 20 ページです。
2. 物理の解答用紙は **5**，化学の解答用紙は **6**，**7** の、計 3 枚です。
3. 物理か化学のどちらかを選択して、解答しなさい。
4. 解答用紙の受験番号欄に受験番号を、氏名欄に氏名を記入しなさい。
5. 解答は全て解答用紙の指定された枠内に記入しなさい。
枠外や裏面に記入してはいけません。

物 理

問題 1

以下の問題文を読んで、 ~ の中に適切な式を解答群から選択し、その記号を解答しなさい。また、 ~ の中には適切な式を書きなさい。

図 1 に示すように、角度が一定の傾きをもつ斜面があり、その斜面に沿って上向きに x 軸をとる。いま、この斜面に沿って物体 A が運動している。物体 A が点 p を通過した瞬間に B を点 q に静かに置いた。そのときの物体 A の速さは v_0 [m/s] であった。物体 A と B は、B を置いた瞬間から斜面に沿って等加速度運動をして、時間 T [s] 後に衝突した。このときの物体 A と B の加速度の大きさを a [m/s²] とする。加速度の向きは x 軸に対して常に負の向きである。また、物体 A が最高点に達するまでの時間を t [s] とすると、 t [s] と T [s] の関係は $t < T$ であった。物体 A と B が衝突する瞬間の B の速さは斜面の下に向かって $3v_0$ [m/s] であった。ここで、物体 A と B の大きさ、摩擦および空気抵抗は無視できるものとする。

[I] 物体 A が点 p を速さ v_0 [m/s] で通り過ぎた後、A と B が衝突する瞬間における A の変位 l_A は [m]、B の変位 l_B は [m] である。このとき、物体 A と B の加速度の大きさ a は T 、 v_0 を用いて表すと [m/s²] である。物体 A と B は点 p から斜面の下方方向に移動した点で衝突した。点 p から 2 つの物体が衝突した点までの距離は T 、 v_0 を用いて [m] と表すことができ、物体 A の速さは v_0 を用いて表すと [m/s] である。また、時間 T [s] の間に物体 B が移動する距離は T 、 v_0 を用いて [m] と表せることから、点 p と q の間の距離は T 、 v_0 を用いて表すと [m] である。

と の解答群

$$(ア) v_0 T + \frac{1}{2} a T^2 \quad (イ) \frac{1}{2} a T^2 \quad (ウ) v_0 T - \frac{1}{2} a T^2 \quad (エ) -\frac{1}{2} a T^2$$

〔II〕 物体 B を静かに置いた瞬間から A と B は等加速度運動を始めた。このとき、
 物体 A が最高点に達するまでの時間 t は iii [s] である。したがって、そ
 の間における物体 A と B の移動距離は T, v_0 を用いて表すと、それぞれ
6 [m], 7 [m] となる。また、物体 A が最高点に達したときの
 A と B の間の距離は iv [m] である。

iii の解答群

- (ア) $\frac{1}{2} T$ (イ) $\frac{1}{3} T$ (ウ) $\frac{2}{3} T$ (エ) $\frac{1}{4} T$

iv の解答群

- (ア) $\frac{1}{2} v_0 T$ (イ) $\frac{1}{3} v_0 T$ (ウ) $\frac{2}{3} v_0 T$ (エ) $\frac{1}{4} v_0 T$

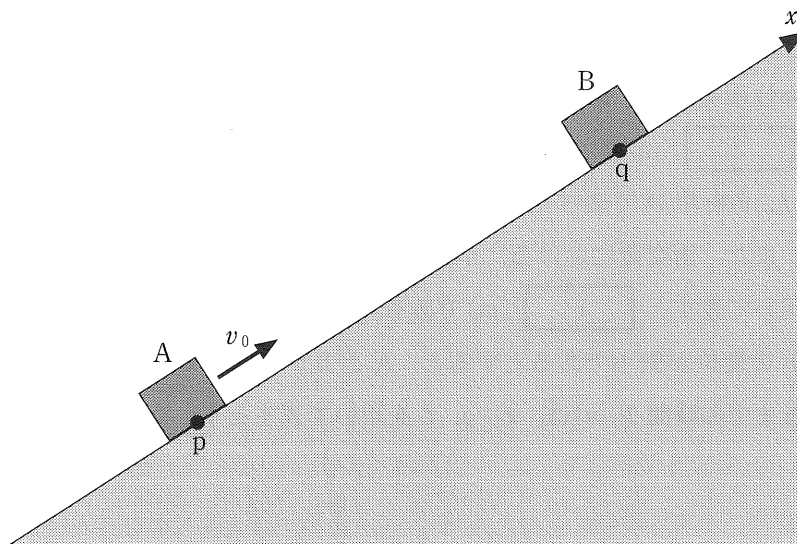


図 1

問題 2

以下の問題文を読んで、 ~ の中に適切な式を書きなさい。ただし、重力は図 2-1 ~ 図 2-4 に示す y 軸と平行な負の向きにはたらき、重力加速度の大きさは $g[\text{m/s}^2]$ とする。また、ひもの重さとばねの重さは無視できるものとする。小球 A, B と物体 C は、質点とみなして空気抵抗は無視できるものとし、紙面に平行な 2 次元平面内でのみ運動するものとする。

- [I] 図 2-1 のように、質量 $m[\text{kg}]$ の小球 A と B が、長さ $L[\text{m}]$ のひもで天井から吊り下げられて、互いに接触して平行に並んで静止している。次に、ひもを張った状態のまま、ひもと y 軸のなす角が $\theta[\text{rad}]$ となるように小球 A を移動した。このときの小球 A の y 方向の変位の大きさを $\Delta h[\text{m}]$ とすると、A の重力による位置エネルギーの変化は、 $m, g, \Delta h$ を用いて表すと [J] となる。次に、小球 A から静かに手を放すと、A は半径 L の円軌道上を移動して B と弾性衝突した。衝突直前の小球 A の速さ $v_A[\text{m/s}]$ は、 g, L, θ を用いて表すと [m/s] であり、衝突直後の A と B の速さ $v_A'[\text{m/s}]$, $v_B'[\text{m/s}]$ は、 g, L, θ を用いて表すと、それぞれ [m/s], [m/s] となる。また、衝突後における、小球 B の元の位置からの y 方向の最大変位は L, θ を用いて表すと [m] である。小球 A と B の衝突は繰り返し起こり、A と B の変位が微小であるとする、A と B が最初に衝突してから 2 回目に衝突するまでの時間 $T_1[\text{s}]$ は、 π, g, L を用いて表すと [s] となる。

〔II〕 図2-2のように、小球AとBを運動前の位置に戻して静止させ、Bを支えるひもを天井から $\frac{L}{2}$ [m]の位置で釘を使って留めた。〔I〕の場合と同様にして、ひもとy軸とのなす角が θ となるように小球Aを移動した後、Aから静かに手を放した。小球Aは運動してBと弾性衝突し、Bは釘の位置を中心に半径 $\frac{L}{2}$ の円軌道上を移動した。小球Bの静止位置からのy方向の最大変位は、 L 、 θ を用いて表すと 7 [m]となる。その後、小球Bは運動を続けて、再びAと衝突した。小球AとBの変位が微小であるとすると、AとBが最初に衝突してから2回目に衝突するまでの時間 T_2 [s]は、 π 、 g 、 L を用いて表すと 8 [s]である。

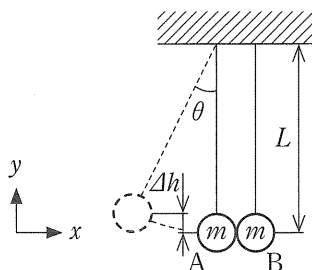


図2-1

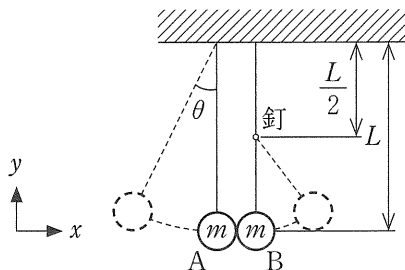


図2-2

〔Ⅲ〕 次に、図 2-3 のように、摩擦を無視できるなめらかな床と壁を設置した。小球 B はひもが取り除かれており、床で支えられているものとする。また、壁にはばね定数 k [N/m] のばねの一端が固定されており、片側には質量 m [kg] の物体 C を取り付けた。このとき、ばねの長さは自然長であり、ばねは x 軸の正と負の向きに伸び縮みできるものとし、ばねと物体 C は静止しているものとする。〔Ⅰ〕の場合と同様にして、ひもと y 軸とのなす角が θ となるように小球 A を移動した後、A から静かに手を放し、A と B を弾性衝突させた。その衝突後、小球 B は d [m] だけ移動して物体 C と衝突した。この衝突後、図 2-4 のように、小球 B は物体 C と一体となればねを最大で Δx [m] だけ押し縮めた。 Δx は m, k, g, L, θ を用いて表すと $\boxed{9}$ [m] である。その後、小球 B と物体 C は、ばねの復元力により x 軸の負の向きに運動して、ばねの長さが自然長になったときに離れ、B は離れた時の速度を保持したまま A と衝突した。小球 A と B が最初に衝突してから 2 回目に衝突するまでの時間 T_3 [s] は、 m, k, d 、および A と B の最初の衝突直後の B の速さ v_B' を用いて表すと $\boxed{10}$ [s] である。

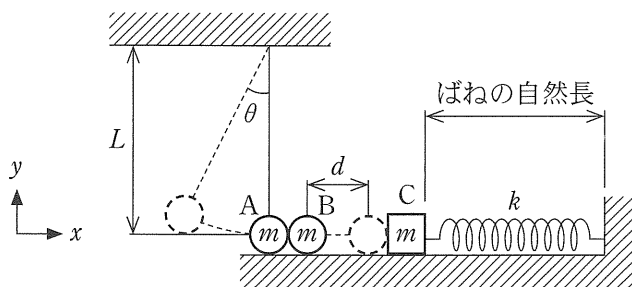


図 2-3

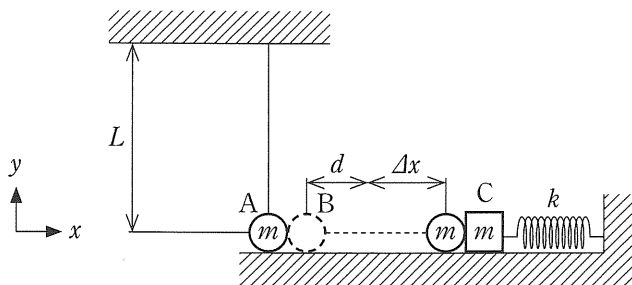


図 2-4

次ページに続く

問題 3

以下の問題文を読んで、 ~ の中に適切な数値を書きなさい。
 ただし、有効数字を考慮すること。 と には解答欄にグラフを描きなさい。また、グラフの縦軸の目盛りには適切な数値を書きなさい。

図3のように、起電力 E (V) の電池と抵抗値 R_1 (Ω), R_2 (Ω) の電気抵抗, 電気容量 C_1 (F), C_2 (F), C_3 (F) のコンデンサー, スイッチ S_1 , S_2 , S_3 をつないだ回路を考える。時刻 $t = 0$ s のとき, スイッチ S_1 , S_2 は開いているがスイッチ S_3 は端子 f につながれており, 全てのコンデンサーには電荷がたくわえられていない状態とする。ここで, 電池の内部抵抗および導線の抵抗は無視できるものとし, $E = 60$ V, $R_1 = 10$ Ω , $R_2 = 20$ Ω , $C_1 = 100$ μ F, $C_2 = 200$ μ F, $C_3 = 600$ μ F とする。

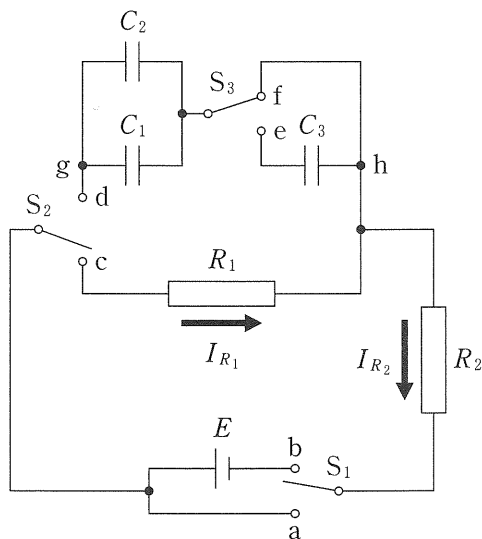


図 3

[I] 時刻 $t = t_1$ [s] のとき, スイッチ S_1 を端子 b につなぎスイッチ S_2 を端子 c につないだ。このとき抵抗 R_1 に流れる電流 I_{R_1} は A である。

〔Ⅱ〕 次に、時刻 $t = t_2$ [s] のとき、スイッチ S_2 を端子 d につなぎかえた。このときコンデンサー C_1 と C_2 の合成容量は μF であり、十分に時間が経った後にこれらのコンデンサーにたくわえられる電気量は C である。

〔Ⅲ〕 次に、時刻 $t = t_3$ [s] のとき、スイッチ S_1 を端子 a につないでコンデンサー C_1 と C_2 にたくわえられた電荷を全て放電した。時刻 $t = t_4$ [s] にスイッチ S_1 を端子 b につないで S_3 を端子 e につないだ。このときコンデンサー C_1 と C_2 、 C_3 の合成容量は μF であり、十分に時間が経った後にコンデンサー全体にたくわえられる電気量は C、静電エネルギーは J である。このとき、抵抗 R_2 に流れる電流 I_{R_2} は A である。

〔Ⅳ〕 次に、 t_4 から十分に時間が経った後の時刻 $t = t_5$ [s] にスイッチ S_1 を端子 a につないだ。時刻 $t = t_6$ [s] にはコンデンサー C_1 、 C_2 、 C_3 にたくわえられた電荷は全て放電された。結節点 gh 間にかかる電圧 V_{gh} [V] の時間的な変化をグラフで表すと となる。ただし、時刻 $t = t_4 \sim t_6$ [s] の V_{gh} の変化を太実線で例示してあるので、それを参考に時刻 $t = 0 \sim t_4$ [s] の V_{gh} の変化を描くこと。このときの抵抗 R_2 に流れる電流 I_{R_2} [A] の時間的な変化をグラフで表すと となる。ただし、 I_{R_2} の流れる向きは図 3 の矢印の方向を正とする。

問題 4

以下の問題文を読んで、 ~ の中に適切な記述を解答群から選択しその記号を解答しなさい。また、 ~ の中には適切な式を書きなさい。 は単位を含めて適切な数値(根号や分数を含む)を書きなさい。

貴重な美術品の展示における照明について考える。図4(a)に示すように、美術品は壁のなかに設けた展示スペースに置かれ、展示スペースの入り口には見学者が美術品に直接さわれないように透明なカバーが取り付けられている。カバーは平らなガラス製で、その表面には厚さが一定の薄膜が付着されている。展示スペースに置かれた美術品は、天井から下ろした垂線から角度 θ_s [rad] 傾けて設置されたスポットライトから出る波長 λ [m] の単色かつ平行な光でカバーを通して照明される。このスポットライトは必要に応じて角度や高さを調整することができるものとする。なお、カバーの表面は天井と垂直であり、カバーの平面と天井から下ろした垂線は互いに平行である。

図4(b)はスポットライトからの光がカバー表面の薄膜とガラスで反射や屈折する様子を示した拡大図である。スポットライトからの照明光が反射する方向から美術品を観察したときに、スポットライトからの光がカバー表面でまぶしく反射することを防ぎ、展示スペースのなかの美術品がよく見えるカバー表面の薄膜の条件を調べてみよう。ここで、薄膜の厚さを d [m] とし、薄膜の屈折率 n_A はガラスの屈折率 n_B よりも小さい ($n_A < n_B$) とし、空気の屈折率は1とする。また、本問題ではカバー表面での光の反射・屈折のみに注目し、カバー裏面のガラスと展示スペース内の空気との境界での反射は考慮しない。

〔I〕 スポットライトからの平行な光がカバー表面の薄膜に入射するとき、入射角は図4(b)の中に示した角度のうち である。この入射角をスポットライトの設置角度 θ_s を用いて表すと となる。入射した光の一部は薄膜表面で反射し、一部は屈折して薄膜内へ伝わっていく。薄膜表面での光の反射角は図4(b)内の であり、 θ_s を用いて表すと となる。このとき、薄膜表面で反射する光の位相は 。薄膜内を進む光の屈折角を θ_r (rad) とすると、その正弦 $\sin \theta_r$ は薄膜の屈折率 n_A と入射角 を用いて表すと、 $\sin \theta_r =$ となる。

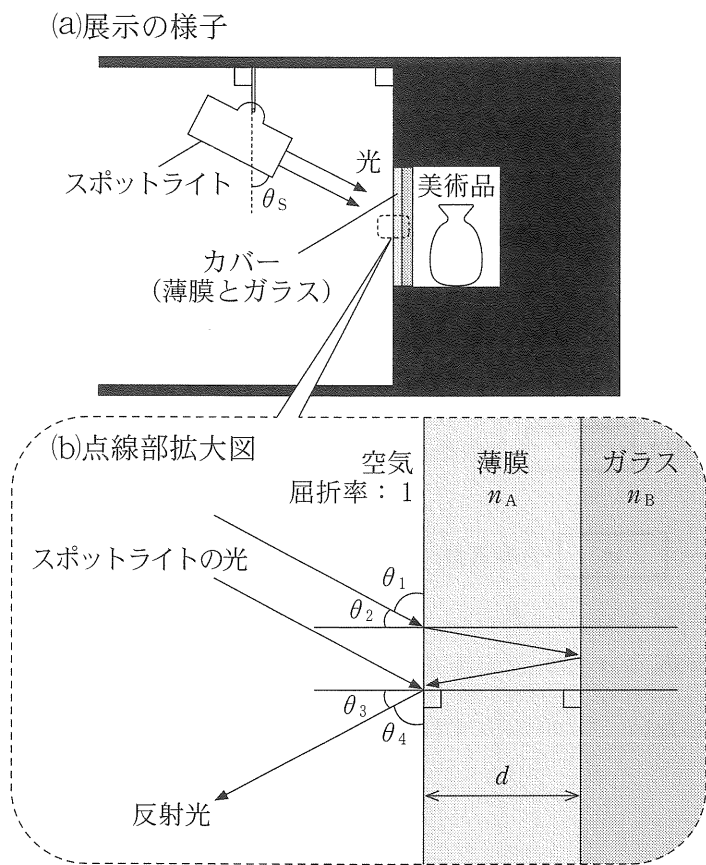


図4

〔Ⅱ〕 薄膜内を伝わりガラスへ入射する光の一部はガラス表面で反射し、一部は屈折してガラス内へ伝わっていく。ここで、ガラス表面で反射して薄膜内へ伝わる光の位相は反射の際に $\boxed{\text{vi}}$ 。薄膜表面で反射した光と薄膜内を伝わってガラスの表面で反射して薄膜表面から出る光との光路差は、薄膜の厚さ d 、 n_A 、 θ_r を用いて表すと $\boxed{2}$ となる。展示スペースに置かれた美術品を観察しやすくするためにはカバー表面での照明光の反射を抑えるとよい。それは薄膜表面で反射した光とガラス表面で反射した光とが弱めあう干渉条件を満たすときに実現される。2つの反射光が弱めあう光路差の条件は波長 λ と整数 $m = 0, 1, 2, \dots$ を用いて表すと $\boxed{2} = \boxed{3}$ となる。この条件を満たすもっとも薄い薄膜の厚さ $d_{\min} [\text{m}]$ は、 n_A 、 λ 、 θ_r を用いて表すと $d_{\min} = \boxed{4} [\text{m}]$ となる。これをスポットライトの設置角度 θ_s と n_A 、 λ を用いて表すと $d_{\min} = \boxed{5} [\text{m}]$ となる。

〔Ⅲ〕 いまスポットライトの設置角度を $\theta_s = 45^\circ$ で照明し、観察者はスポットライトからの光がカバー表面で反射された方向から展示スペースの中の美術品を観察する場合を考える。薄膜の屈折率が $n_A = \sqrt{2}$ 、スポットライトからの光の波長が $\lambda = 560 \text{ nm}$ のとき、カバー表面での反射光が弱めあうもっとも薄い薄膜の厚さ d_{\min} の値は $\boxed{6}$ となる。

$\boxed{\text{i}}$ ~ $\boxed{\text{vi}}$ の解答群

- | | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------|
| (ア) θ_1 | (イ) θ_2 | (ウ) θ_3 | (エ) θ_4 |
| (オ) $\frac{\pi}{2} - \theta_s$ | (カ) $\frac{\pi}{2} + \theta_s$ | (キ) $\pi - \theta_s$ | (ク) $\pi + \theta_s$ |
| (ケ) 変化しない | (コ) $\frac{\pi}{2}$ ずれる | (サ) π ずれる | (シ) $\frac{3}{2}\pi$ ずれる |

次ページに続く

化 学

問題 1 次の文章を読み、以下の各問いに答えなさい。

① ブレンステッド・ローリーの定義では、酸は (a) を (b) 物質であり、塩基は (a) を (c) 物質である。

② 硫酸と塩化ナトリウムの反応から (d) が生成する。

(d) の水溶液は水素よりもイオン化傾向が (e) 金属と反応して、水素を発生する。

フッ化水素の水溶液はフッ化水素酸とよばれ、(f) と反応するためポリエチレン製の容器に保存される。

ハーバー・ボッシュ法で合成される (g) の水溶液は弱塩基性を示す。

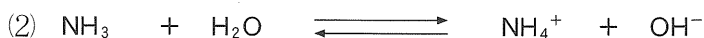
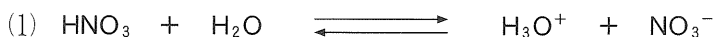
③ 800℃でPtを触媒として (g) を酸化し、冷却後さらに酸化して得られた窒素化合物を水に溶かすと (h) が生成する(オストワルト法)。

(h) は強酸として働く他、強い (i) としても働き、イオン化傾向の (j) 銅や銀のなどを酸化して溶かして一酸化窒素、二酸化窒素を発生する。

一方、アルミニウムや鉄は濃い酸には溶けない。これは表面に緻密な (k) が生じるためである。この状態は (l) と呼ばれる。

問 1 上の文章の空欄(a)~(l)に入る適切な語句を記入して、文章を完成させなさい。

問 2 下線部①において(1)、(2)の反応の水は酸と塩基どちらの働きをしているか書きなさい。



問 3 下線部②の (d) が生成する反応の化学反応式を書きなさい。

問 4 下線部③の (h) が生成する 3 段階の反応の化学反応式を書きなさい。

問題 2 次の文章を読み、以下の各問いに答えなさい。

化学反応 $A + B \rightarrow C + D$ について考える。

物質 A および B から物質 C および D が生成するという反応で、生成した C と D が反応物 A と B に戻ることはない場合、反応は右向きにのみ進行する。このような反応を (a) 反応という。

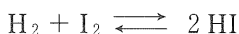
一方、反応物から生じた生成物が再び反応物に戻ることがある。右向きにも左向きにも起きる反応を (b) 反応という。

(b) 反応は一般的に、 $A + B \rightleftharpoons C + D$ と表される。

化学反応には瞬時に反応が進む速い反応から、長い時間をかけて進む遅い反応までさまざまなものがある。同じ反応であっても、濃度、温度、圧力などさまざまな条件によって反応が進む速さは大きく変わる。化学反応の速さは、単位時間あたりの反応物の減少量、または生成物の増加量で表す。

(b) 反応において右向きの反応と左向きの反応が釣り合っているとき、見かけ上、A、B、C および D の濃度は変化しない。この状態を (c) という。

例えば、水素とヨウ素からヨウ化水素が生成する反応は、ヨウ化水素が分解して水素とヨウ素が生成する逆向きの反応も起きるので (b) 反応である。



空の容器に水素とヨウ素を入れて高温に保つとヨウ化水素が生成する。

一定の温度と圧力で HI の生成速度 v_1 と HI の分解速度 v_2 を実験的に求めたところ、前者は水素濃度 $[\text{H}_2]$ (mol/L) とヨウ素濃度 $[\text{I}_2]$ (mol/L) の積に比例し、後者はヨウ化水素濃度 $[\text{HI}]$ (mol/L) の 2 乗に比例することがわかった。

空の容器に水素とヨウ素を入れた瞬間を開始時間 ($t = 0$) として、時間 t の経過に伴う v_1 と v_2 を表した図を作成した。 $t = 0$ のとき v_1 は最大であり、時間経過とともに減少する。

一方、 $t = 0$ のとき $[\text{HI}] =$ (d) だから $v_2 =$ (e) である。時間経過とともに v_2 は増大する。やがて (f) となり、(c) に達する。このときの水素、ヨウ素、ヨウ化水素の濃度を知らなければ、(c) を表す定数を求めることができる。

- 問 1 空欄(a)から(c)に当てはまる適当な語を答えなさい。
- 問 2 下線部①において、比例定数を k_1 としたとき、HI の生成速度 v_1 を $[H_2]$ と $[I_2]$ を用いて表しなさい。
- 問 3 下線部②において、比例定数を k_2 としたとき、HI の分解速度 v_2 を $[HI]$ を用いて表しなさい。
- 問 4 空欄(d), (e)に入る適当な数値を答えなさい。
- 問 5 空欄(f)に入る v_1 と v_2 の関係を式で示しなさい。
- 問 6 空欄(c)の状態が成立しているとき、 H_2 , I_2 , HI の濃度の間にある関係が成立する。その関係を $[H_2]$, $[I_2]$, $[HI]$, k_1 , k_2 を使って表しなさい。
- 問 7 下線部③の図を作成しなさい。その際、 v_1 を実線で、 v_2 を破線で表しなさい。また、(c)に達したことがわかるところまで記しなさい。
- 問 8 10 L の容器に 0.20 g の水素と 25.38 g のヨウ素を封入して、ある一定温度で(c)に達したときのヨウ化水素の質量は 12.79 g であった。これらの結果からこの温度における $\frac{k_2}{k_1}$ の値を求めなさい。なお、水素、ヨウ素、ヨウ化水素のモル質量はそれぞれ 2.0, 253.8, 127.9 g/mol とする。

問題 3 次の文章を読み、以下の各問いに答えなさい。

原料にエタノールを用いて次の実験を行った。

実験 1：エタノールに濃硫酸を加えて 160～170 °C に加熱したところ化合物 A と水が生成した。

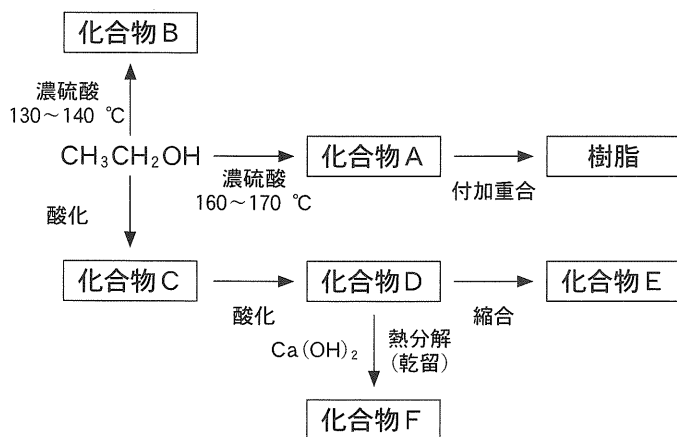
実験 2：エタノールに濃硫酸を加えて 130～140 °C に加熱したところ化合物 B と水が生成した。

実験 3：化合物 A を付加重合させたところ、樹脂が生成した。

実験 4：触媒を用いてエタノールを酸化したところ化合物 C が生成し、さらに酸化させたところ、化合物 D が生成した。

実験 5：化合物 D を縮合させたときに化合物 E が生成した。

実験 6：化合物 D に水酸化カルシウムをいれ、得られた固体を熱分解(乾留)し、化合物 F が生成した。



問 1 化合物 A～F の構造式を書きなさい。

問 2 n モルの化合物 A を完全に反応させたときの下線部の反応式を書きなさい。

問 3 化合物 D を完全に縮合させたときに 6 mol の化合物 E が生成した。このときの化合物 D の質量を答えなさい。ただし、水素、炭素、酸素の原子量はそれぞれ 1, 12, 16 とする。

問 4 化合物 F には、組成式が同じでありながら構造式が異なる異性体がある。この異性体を 異性体という。(a)に入る語句を書きなさい。また、 異性体のうち、環状構造を持つ化合物の数を書きなさい。

問題 4 次の文章を読み、以下の各問いに答えなさい。

炭素は、周期表 (a) 族の非金属元素であり、価電子を (b) 個持つ。炭素の単体には黒鉛、ダイヤモンド、フラーレンなどの (c) が存在する。黒鉛は、炭素原子が正 (d) 角形の各頂点に位置し、1つの炭素原子が (e) 個の炭素原子と共有結合して平面の層状構造を形成する。この層同士が、比較的弱い (f) によりゆるく結合している。

ダイヤモンドは、炭素原子が正 (g) 面体の中心と各頂点に位置し、1つの炭素原子が (h) 個の炭素原子と共有結合した立体構造を形成する。

フラーレン C_{60} は、60個の炭素原子各々が隣り合う3つの炭素原子と結合した、サッカーボール状の分子である。

黒鉛とダイヤモンドは同じ炭素の単体でありながらその性質は大きく異なる。① ダイヤモンドはあらゆる物質の中で最も硬い一方で、黒鉛は軟らかくて脆い。また、
ダイヤモンドは電気伝導性を持たないが、黒鉛は電気をよく通す。

② これらの炭素の (c) 同士のエネルギー的な安定性について比較する。黒鉛の燃焼熱は 394 kJ/mol 、ダイヤモンドの燃焼熱は 396 kJ/mol 、フラーレン C_{60} の燃焼熱は 25930 kJ/mol である。③ ダイヤモンド 1 mol を黒鉛から生成する際の反応熱は ア kJ/mol で、(i). (発熱・吸熱) 反応となる。また、フラーレン C_{60} 1 mol を黒鉛から生成する際の反応熱は イ kJ/mol で、(j). (発熱・吸熱) 反応となる。

問 1 上の文章の空欄(a)~(j)に入る適切な語句を記入もしくは選択して、文章を完成させなさい。

問 2 下線部①、②に示した、それぞれの性質の違いを示す原因について、簡潔に答えなさい。

問 3 下線部③のフラーレン C_{60} 燃焼反応について、熱化学方程式を示しなさい。

問 4 上の文章の空欄ア, イに入る数値を整数で答えなさい。

問 5 黒鉛, ダイヤモンドおよびフラーレン C_{60} について, 炭素原子 1 mol あたりに含まれるエネルギーが大きい順に並べなさい。