

2023 年度(令和 5 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 26 ページまであります。解答用紙は、「物理」は , , の 3 枚、「化学」は , , , 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 物体の運動に関する以下の問 1～問 3 に答えよ。重力加速度の大きさを g [m/s^2] とする。物体および台車は、以下の各図で紙面内を運動するものとし、水平方向の加速度、速度および変位は、紙面に向かって右向きを正とする。また、床は水平であるとし、物体の大きさは無視できるものとする。

問 1 質量 m [kg] の物体 A が床上に静止している。図 1 のように一定の水平な力 F [N] を作用させ始めたところ、物体 A は力 F の作用と同時に床上を滑り始めた。物体 A と床とのあいだの動摩擦係数を μ とする。

- (1) 滑り始めてから時間 T [s] の間の物体 A の変位を求めよ。
- (2) 距離 x_1 [m] 滑る間に物体 A が力 F と摩擦力からなされる仕事の和を求めよ。
- (3) 物体 A が滑り始めてから距離 x_1 進んだところで力 F を作用させるのをやめたところ、物体 A はさらに距離 x_2 [m] を滑って静止した。 x_2 の x_1 に対する比 $\frac{x_2}{x_1}$ を求めよ。

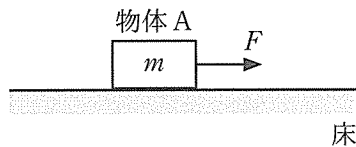


図 1

問 2 図 2 のように床上に静止した台車の水平な台上に質量 m [kg] の物体 A が静止している。この状態から台車を床上で図 3 のように時刻 $t = 0$ から t_1 [s] までは正の加速度 a [m/s^2] の等加速度運動、時刻 t_1 から $3t_1$ の間は等速度運動、時刻 $3t_1$ から $4t_1$ までは負の加速度 $-a$ の等加速度運動をさせ、時刻 $4t_1$ 以降は台車を再び静止させた。物体 A は台車を動かし始めると同時に台車上で滑り始めた。物体 A と台車とのあいだの動摩擦係数を μ とし、台車は十分に大きく物体 A は台車から落下しないものとする。

- (4) 台車を動かし始めてから静止するまでの、台車の床から見た変位を求めよ。
- (5) 滑り始めたときの物体 A の床から見た運動は等加速度運動である。このときの物体 A の床から見た加速度を答えよ。
- (6) 台車の加速・減速時の加速度の大きさ a が $a = 7\mu g$ のとき、台車の運動中に台車と物体 A の床から見た速度が等しくなる時刻を求めよ。
- (7) 上問(6)の後、物体 A は台車から見て反対向きに滑り始め、台車の静止後しばらくして静止した。時刻 $t = 0$ に台車上で滑り始めてから静止するまでの、物体 A の台車から見た変位を求めよ。

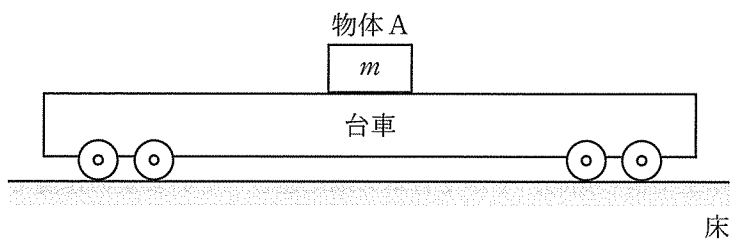


図 2

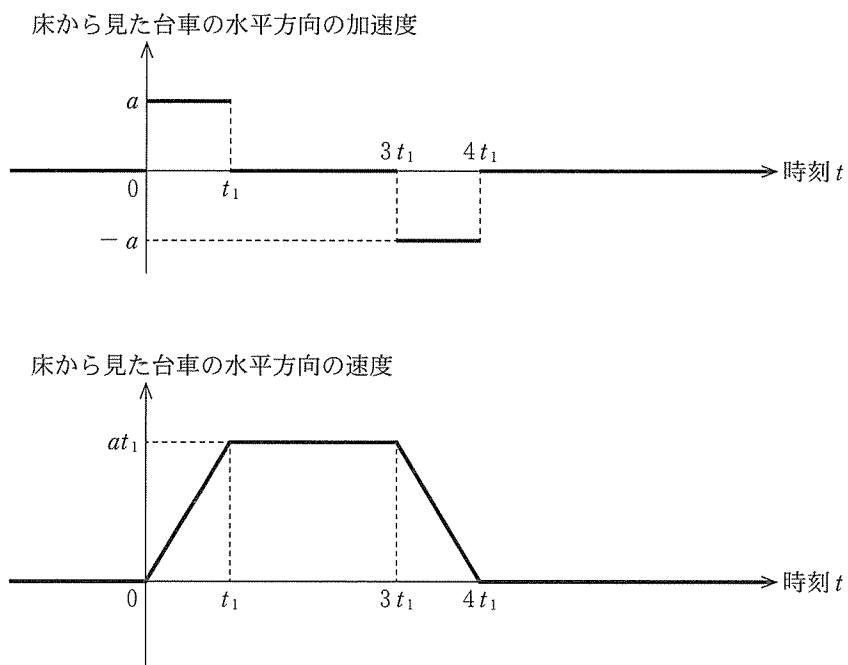


図 3

問 3 図 4 のように床上に静止した長さ L (m)、高さ H (m) の台車の水平な台の中央に質量 m (kg) の物体 A が静止している。この状態から台車を床上で正の加速度 a (m/s²) で等加速度運動させた。物体 A は台車を動かし始めると同時に台車上で滑り始め、やがて台車の端に達してそのままの速度で台車から飛び出した。物体 A と台車とのあいだの動摩擦係数を μ とする。

- (8) 台車を動かし始めてから物体 A が台車の端から飛び出すまでの、物体 A の床から見た水平方向の変位を求めよ。
- (9) 台車の端から飛び出すときの、物体 A の床から見た水平方向の速度を求めよ。
- (10) 物体 A が台車の端から飛び出してから床に衝突するまでの時間を求めよ。また、この間の物体 A の床から見た水平方向の変位を求めよ。
- (11) $\mu = \frac{1}{4}$, $a = \frac{3}{4}g$, $L = 4H$ のとき、台車を動かし始めてから物体 A が床に衝突するまでの、床から見た物体 A が描く軌跡を解答欄に線で示せ。解答欄の原点 O は台車を動かし始めるときの物体 A の位置を表す。また、台車の端から飛び出すときの物体 A の位置を、軌跡の線上に・印をつけて示せ。なお、解答欄の 1 目盛は水平、鉛直方向ともに $\frac{H}{5}$ である。

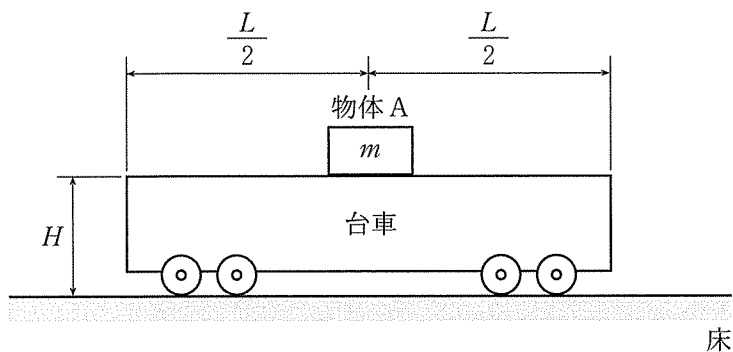


図 4

物体 A と床の 1 回目の衝突は、鉛直方向には反発係数 $e = \frac{1}{2}$ の非弾性衝突であった。また、この衝突により物体 A の水平方向の速度は $\frac{3}{4}$ 倍に変化した。

- (12) 1 回目の床との衝突の後、2 回目に床と衝突するまでの間に物体 A が達する最大の高さ h_1 [m] の、台車の高さ H に対する比 $\frac{h_1}{H}$ を求めよ。
- (13) 物体 A が台車の端から飛び出してから 1 回目に床に衝突するまでの時間を T_1 [s] として、物体 A と床の 1 回目の衝突から 2 回目の衝突までの時間 T_2 [s] の T_1 に対する比 $\frac{T_2}{T_1}$ を求めよ。
- (14) 物体 A が台車の端から飛び出すときの床から見た水平方向の速度を v_0 [m/s] として、1 回目と 2 回目の床との衝突の間の物体 A の床から見た水平方向の変位を、 v_0 、 H および g を用いて表せ。

II 電場および磁場中の荷電粒子に関する以下の問 1, 問 2 に答えよ。真空の誘電率を ϵ_0 [F/m], 真空の透磁率を μ_0 [N/A²] とする。各図に示されているように, xy 面を紙面に選び, z 軸は, 紙面に垂直で裏から表の向きを正とする。

問 1 電流が流れている 2 本の平行な直線導線は, 互いに力を及ぼし合う。これは, 運動する荷電粒子(電子)が磁場を生じること, また磁場が運動する荷電粒子に力(ローレンツ力)を及ぼすことに由来している。ここでは, 図 1 に示すように, 真空中で距離 a [m] だけ離れた十分長い 2 本の平行導線 P_1, P_2 に, それぞれ一定の電流を $-y$ の向きに流す。導線 P_1, P_2 の太さは距離 a に対して十分小さいとする。

(1) 導線 P_1 を流れる電流の強さが I_1 [A] であるとき, この電流が導線 P_2 の位置につくる磁束密度の大きさ B_1 [T] を求めよ。またその向きとして正しいものを解答欄の選択肢から 1 つ選んで ○ で囲め。

(2) 導線 P_2 を流れる電流の強さが I_2 [A] であるとき, 導線 P_2 の長さ L [m] の部分が上問(1)の磁束密度 B_1 により受ける力の大きさ F [N] を, I_2, B_1, L, a のうち必要なものを用いて表せ。またその向きとして正しいものを解答欄の選択肢から 1 つ選んで ○ で囲め。

上問(2)で求めた力 F は, 導線 P_2 中を運動する電子が受ける力の総和と考えてよい。ここで, 導線 P_2 の断面積を S [m²], 単位体積あたりの自由電子の数を n_e [m⁻³], 電子 1 個の電気量を $-e$ [C], また導線 P_2 の位置に生じている磁束密度の大きさを B_1 とする。

(3) 導線 P_2 中の電子の平均速度の大きさが v [m/s] のとき, 導線 P_2 を流れる電流の強さ I_2 を求めよ。

(4) このとき、導線 P_2 の長さ L の部分が受ける力の大きさ F を、 I_1 、 I_2 を用いずに表せ。

上問(4)の結果を、導線 P_2 の長さ L の部分にある自由電子の総数で除すことにより、運動する電子 1 個が磁場から受けるローレンツ力が導かれる。

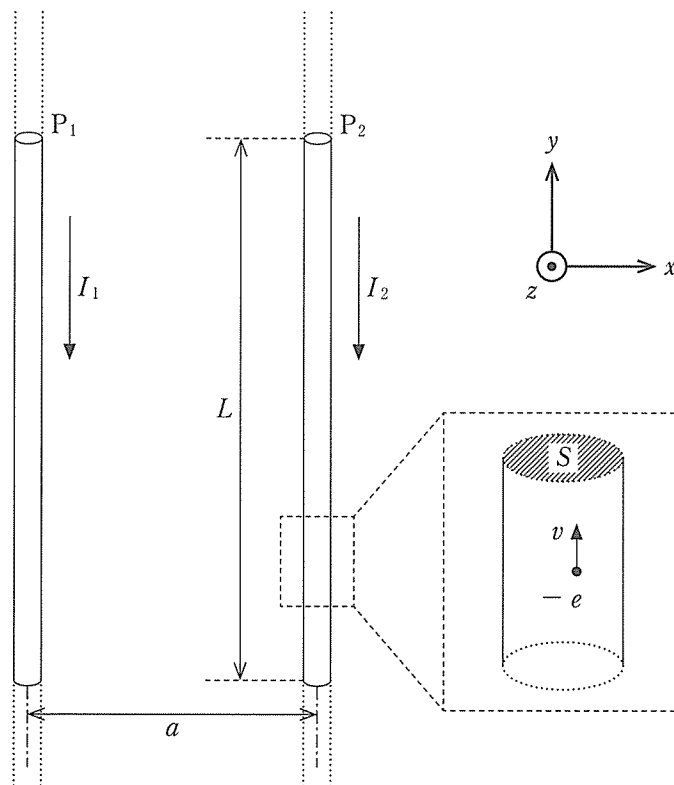


図 1

問 2 真空中に正の点電荷 Q_0 [C] ($Q_0 > 0$) が固定されている。図 2 に示すように、この点電荷 Q_0 から $+x$ の向きに距離 r [m] の点 R に、質量が m [kg] である負の点電荷 $-Q$ [C] ($Q > 0$) を置く。

- (5) 点電荷 Q_0 が点 R につくる電場の大きさを求めよ。またその向きとして正しいものを解答欄の選択肢から 1 つ選んで \bigcirc で囲め。
- (6) 点電荷 $-Q$ にはたらくクーロン力の大きさを求めよ。またその向きとして正しいものを解答欄の選択肢から 1 つ選んで \bigcirc で囲め。

点 R に置かれた点電荷 $-Q$ に、図 2 の $+y$ の向きに大きさ v_1 [m/s] の初速度を与えたところ、点電荷 Q_0 を中心として等速円運動した。

- (7) 点電荷 $-Q$ の円運動を記述する半径方向の運動方程式を、(質量) \times (半径方向の加速度) = (半径方向の力) の形で記せ。ただし、加速度および力は円運動の中心に向かう向きを正とし、加速度は r と v_1 を用いて表すこと。

- (8) 点電荷 $-Q$ に与えた初速度の大きさ v_1 を求めよ。

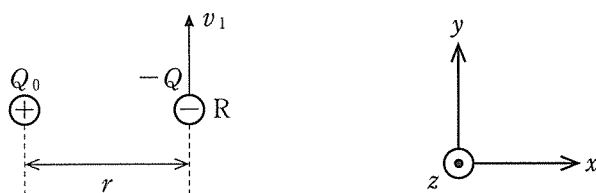


図 2

(問 2 は次頁につづく)

図2の負の点電荷 $-Q$ に代えて、質量 m の等しい正の点電荷 Q を、点 R に置くことを考える。また、図3に示すように、導線を単位長さあたりの巻き数 n [m^{-1}] で円筒状に巻いたコイル(ソレノイド)を、点電荷 Q_0 および Q が内部に収まるよう、中心軸を z 軸と平行にして置く。ソレノイドは十分大きく、図3に矢印で示したように時計回りの向きに流れる強さ I [A] の電流により、内部には磁束密度の大きさ B_2 [T] の一様な磁場が z 軸方向に発生している。

- (9) 点 R において点電荷 Q にはたらくクーロン力の大きさを求めよ。またその向きとして正しいものを解答欄の選択肢から1つ選んで \bigcirc で囲め。
- (10) ソレノイド内に大きさ B_2 の磁束密度を生じる電流の強さ I を求めよ。

点電荷 Q に、図3の $+y$ の向きに大きさ v_2 [m/s] の初速度を与えたところ、点電荷 Q_0 を中心として等速円運動した。

- (11) 点 R を通過する瞬間に点電荷 Q がソレノイド内の磁場から受けるローレンツ力の大きさを求めよ。またその向きとして正しいものを解答欄の選択肢から1つ選んで \bigcirc で囲め。
- (12) 点電荷 Q の半径方向の運動方程式を、上問(7)と同様の形で記せ。
- (13) 点電荷 Q の初速度の大きさ v_2 が、上問(7)における点電荷 $-Q$ の初速度の大きさ v_1 と等しいとき、磁束密度 B_2 を Q , m , r , v_2 を用いて表せ。
- (14) この場合の等速円運動の周期を、 Q , m , B_2 を用いて表せ。

ここで等速円運動している点電荷 Q は、円形電流とみなすことができる。

- (15) この円形電流の強さ(単位時間あたりに点 R を通過する電気量)を, r , v_2 , Q を用いて表せ。
- (16) この円形電流が, 点電荷 Q_0 の位置につくる磁束密度の大きさを, μ_0 , r , v_2 , Q を用いて表せ。またその向きと, ソレノイドが作る磁場の向きの関係について, 正しい記述を解答欄の選択肢から選んで \bigcirc で囲め。

ソレノイドに流れる電流の強さを保ったまま, 点電荷 Q_0 を取り除いた。点 R に置いた点電荷 Q に, 前問までと同じ大きさ v_2 (m/s) の初速度を $+y$ の向きに与えた。この場合にも, 点電荷 Q の運動は等速円運動となった。

- (17) この場合の円運動の半径を, r を用いて表せ。

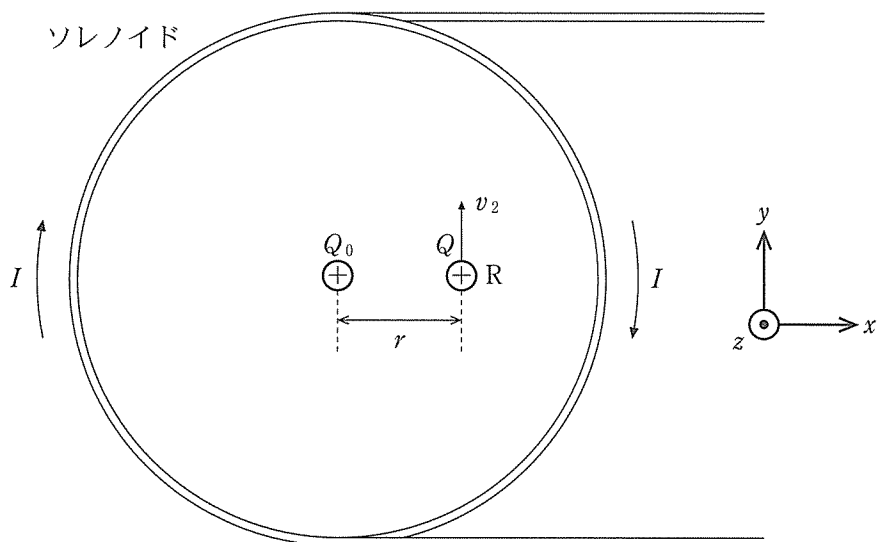


図 3

Ⅲ 波のドップラー効果とその応用に関する以下の問 1, 問 2 に答えよ。

問 1 一定の音速 V [m/s] をもつ音波のドップラー効果を利用して, 物体の速度を測定する方法を考える。図 1 に示すように, 振動数 f [Hz] の音波の音源が設置された台車 A と音波を反射する壁が設置された台車 B が, 水平な床上をそれぞれ右向きに一定の速度 v_A [m/s] と v_B [m/s] で動くことができる。なお, v_A と v_B は音速 V に比べて十分小さいものとし, 右向きを正とする。

最初に, 台車 A と B のうち一方のみが動いている場合を考える。

- (1) 台車 B が静止し ($v_B = 0$), 台車 A が右向きに速度 v_A で動いている場合を考える。ある時刻に音源を出た波は時間 t [s] の間に距離 Vt だけ台車 B に向かって進む。この間に台車 A は距離 $v_A t$ だけ進み, 音源からは ft 個の波が出る。このことに注意して, 台車 B で観測される音波の波長と振動数を求めよ。
- (2) 台車 A が静止し ($v_A = 0$), 台車 B が右向きに速度 v_B で動いているとき, 台車 B で観測される音波の振動数を求めよ。解答欄には導出過程も示し, 台車 B が時間 t [s] の間に進む距離と受け取る波の数, 音源の出す音の波長を明記すること。

次に、台車 A と B が右向きにそれぞれ速度 v_A , v_B で動いている場合を考える。

- (3) 台車 B で観測される音波の振動数 f_B (Hz) を、 f を用いて表せ。
- (4) 台車 B の壁によって反射された音波は、上問(3)で求めた振動数 f_B の音波が台車 B に設置された音源から発せられたものとして考えることができる。台車 A でこの音波を観測したときの振動数 f_A (Hz) と f_B の関係から、台車 B の速度 v_B を求めよ。ただし、解答には v_A , V , f_A , f のみを用いること。

このように音波のドップラー効果を利用して、台車 A に設置された音源と計測器によって得られる情報から台車 B の速度を求めることができる。



図 1

次に、うなりに注目してみよう。一般にうなりとは、振動数が少しだけ異なる音を同時に鳴らしたときに、音が周期的に大きくなったり小さくなったりして聞こえる現象のことである。図1の台車AとBの間に、図2に示すように、計測器を設置した台車Pを置いた。台車Pは右向きに一定の速度 v_P [m/s] で動くことができる。台車Aは静止しており ($v_A = 0$)、台車Bは速度 v_B で右向きに動いている。この状態で台車Pにおいて、台車Aの音源から直接届いた音波 W_0 と台車Bに設置された壁に反射して届いた音波 W_1 のうなりを計測した。なお、 v_P は右向きを正とし、音速 V よりも十分小さいものとする。

- (5) 台車Pが静止しているとき ($v_P = 0$)、音波 W_0 と W_1 によって生じる単位時間あたりのうなりの回数 n [s^{-1}] を v_B 、 V 、 f のみを用いて表せ。
- (6) 台車Pがある速度 v_P で動いているときには、うなりが観測されなかった。このときの v_P を求めよ。

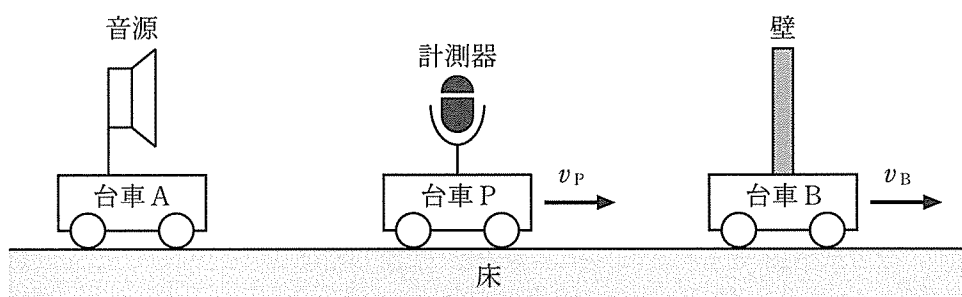


図2

問 2 光も波であり、音波と同様にドップラー効果が生じる。以下では光に対しても音波と同じドップラー効果の式が成り立つものとして、光のドップラー効果の応用について考えてみよう。

図 3 に示すように、試料を設置した台車が水平でなめらかな床に置かれ、一端を固定されたばねにつながれている。試料から十分離れた位置に単色光源が設置され、光源は振動数 F [Hz] の光を放出している。光は速度 c [m/s] で水平右向きに進み、試料に照射される。試料は、振動数 F_1 [Hz] の光のみを吸収し、それ以外の振動数の光を透過させるものとする。試料を透過した光は、試料の後方に設置された測定器で観測される。

ばねが自然長の位置 O から右向きに D [m] だけ伸びた位置で、時刻 $t = 0$ に台車を静かに放すと、台車は床上で左右方向に単振動した。この単振動の角振動数は ω [rad/s] であった。

試料中で光の速度の変化はないものとする。また、試料を透過した光が測定器に到達するまでの時間は十分に短く、無視できるものとする。

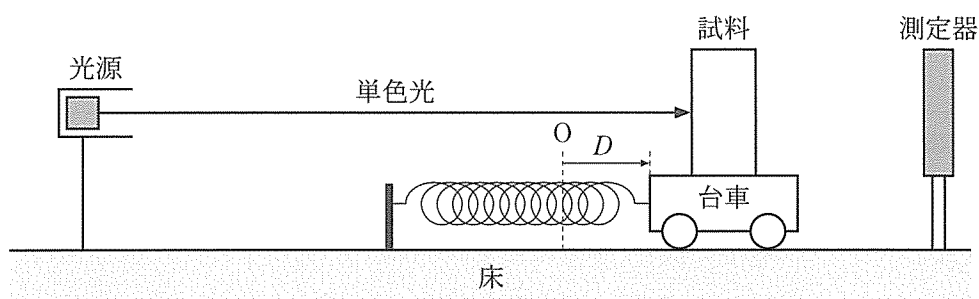


図 3

- (7) 試料を設置した台車が、ある速度のときに、測定器で観測される光の強度が弱くなった。すなわち、試料で観測される光の振動数が F_1 と等しくなり、試料が光を吸収した。このときの台車の速度を求めよ。ただし、紙面右向きに運動しているときの速度を正とする。
- (8) 測定器で観測される光の強度が弱くなった時刻を t_1 [s] とする。時刻 t_1 における台車の速度を考えて、 $\sin \omega t_1$ を求めよ。
- (9) 今回の測定では $\omega t_1 = \frac{\pi}{4}$ のときの台車の速度で、測定器において観測される光の強度が弱くなった。台車が1周期だけ単振動するあいだに、観測される光の強度が弱くなる条件と回数について、正しい記述を以下の(あ)~(お)の中から1つ選び、記号で記せ。
- (あ) $\omega t_1 = \frac{\pi}{4}$ のときの1回のみである。
- (い) $\omega t_1 = \frac{\pi}{4}$, $\frac{3\pi}{4}$ のときの2回である。
- (う) $\omega t_1 = \frac{\pi}{4}$, $\frac{5\pi}{4}$ のときの2回である。
- (え) $\omega t_1 = \frac{\pi}{4}$, $\frac{7\pi}{4}$ のときの2回である。
- (お) $\omega t_1 = \frac{\pi}{4}$, $\frac{3\pi}{4}$, $\frac{5\pi}{4}$, $\frac{7\pi}{4}$ のときの4回である。

このように、試料で吸収される光の振動数 F_1 は、それに近い振動数の光源を用いることで、台車の速度の測定から精度よく求められる。

試料が吸収する光がガンマ線の場合の振動数は試料中の原子核のエネルギー状態を反映しており、これを測定することで試料中の原子間結合などの情報を得ることができる。このような測定はメスバウアー分光法として知られており、その礎を築いたメスバウアー(R.L. Mössbauer)は1961年にノーベル物理学賞を受賞した。

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 次の文を読み、以下の問1～問3に答えよ。なお、問2(1)、(2)、問3(2)(b)、(3)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。

原子量 H : 1.0 C : 12 N : 14 O : 16 Na : 23

物質が反応する時は、化学エネルギーが変化し、エネルギーの出入りがある。エネルギーを放出する反応を 反応といい、エネルギーを吸収する反応を 反応という。反応の進行に伴って放出または吸収されるエネルギー(熱量)を という。溶媒に物質が溶解する際に発生または吸収される熱量を溶解熱といい、広い意味で の1つである。病気で熱が出た時やスポーツ後の体の局所冷却に使う「冷却パック」は溶解熱をうまく利用した製品である。

問1 文中の空欄 ～ に入る適切な語を記せ。

問2 硝酸ナトリウムの水への溶解熱を求めるために次の実験を行った。次の文章を読み、(1)、(2)の問いに答えよ。

室温が20℃に保たれている実験室において、ガラス製のビーカーに水を100g入れ、水温が20℃になるのを確認した。その後、硝酸ナトリウム17gをビーカー内に入れ、かくはんしながら溶解させた。硝酸ナトリウム投入直後の時間($t=0$)から、水溶液の温度を一定時間ごとに測定した結果を図1に●で示す。かくはんにより硝酸ナトリウムが徐々に溶解していき、溶解熱により温度が下がっていく。完全に溶解した後は、室内の大气から熱を奪って、徐々に温度は上昇していく。図中に記した実線は図1の時間領域①の温度変化を近似した直線である。

- (1) 硝酸ナトリウムが水に溶解する熱化学方程式(aq は大量の水を表す)は次式となる。

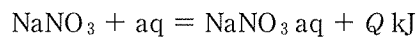


図1に示した実験結果をふまえて溶解熱(kJ/mol)を求め、3桁目を四捨五入して有効数字2桁で記せ。なお、1gの水溶液の温度を1K上昇させるのに必要な熱量(比熱容量)を4.2J/(g・K)とする。

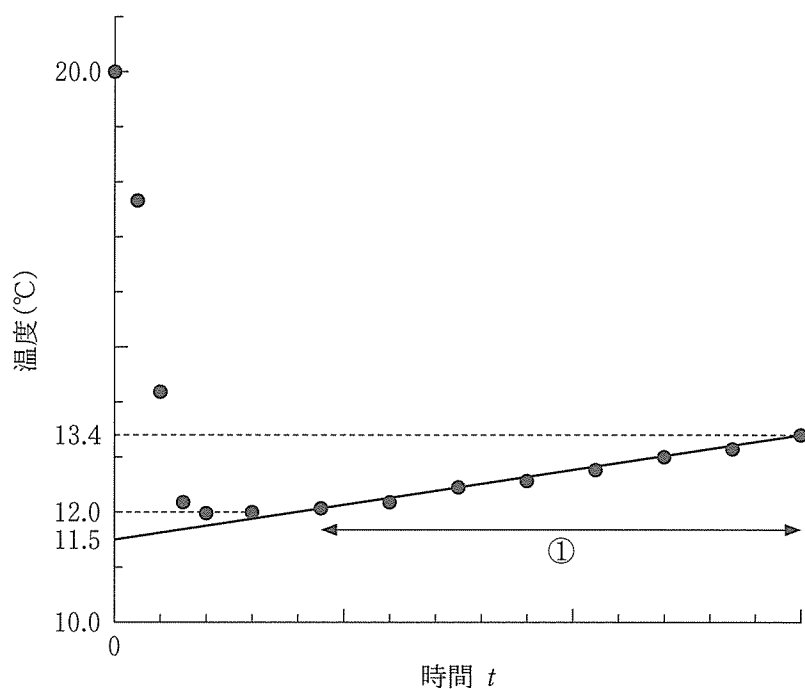


図1 水溶液の温度変化

- (2) 図2に硝酸ナトリウム水溶液の溶解度曲線を示す。問2の実験で得られた硝酸ナトリウム水溶液を冷却して10℃に保ち、水を蒸発させて飽和溶液にした。このときに蒸発させた水の質量(g)を求め、小数点以下第1位を四捨五入し、整数で記せ。

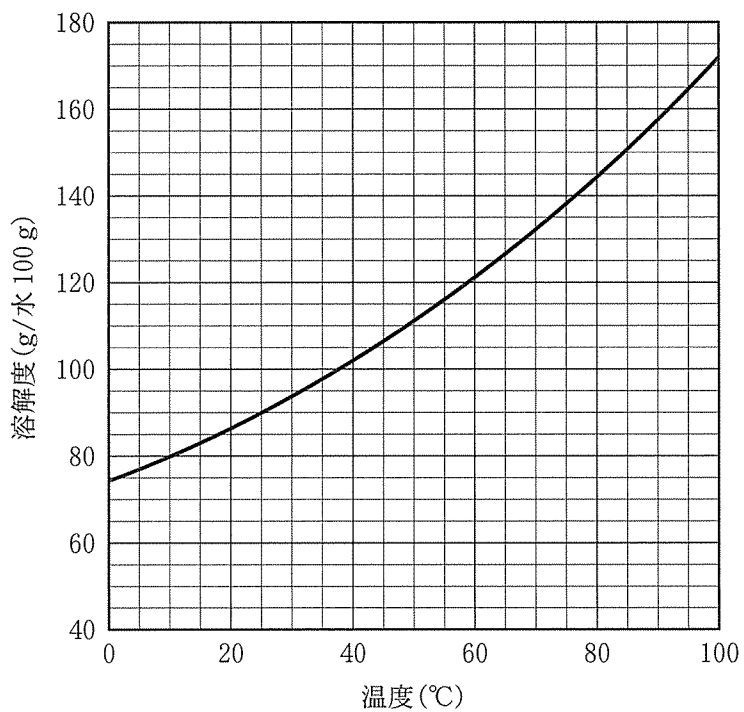


図2 硝酸ナトリウムの溶解度曲線

問 3 ウ は、反応経路によらず、反応前の状態と反応後の状態で決まるという法則がある。次の(1)~(3)の問いに答えよ。

- (1) この法則の名称を記せ。
- (2) 質量パーセント濃度 4.00 % の水酸化ナトリウム水溶液 200 g と質量パーセント濃度 6.30 % の硝酸 200 g を混合して中和反応を行った。
 - (a) この中和反応の化学反応式を記せ。
 - (b) 中和熱が 56.5 kJ/mol であるとき、問 3 (2)(a)の反応で放出される熱量(kJ)を求め、4 桁目を四捨五入して有効数字 3 桁で記せ。
- (3) 問 3 (2)(a)の反応で得られた水溶液を 25 °C に保った。25 °C において飽和溶液にするために、さらに硝酸ナトリウムを溶解させていった。図 2 を用いて、このときに加えた硝酸ナトリウムの質量(g)を求め、小数点以下第 1 位を四捨五入して整数で記せ。

Ⅱ 次の文章を読み、以下の問1～問7に答えよ。なお、問2(2)、問4、問5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。

原子量 H : 1.0 C : 12 O : 16 Cl : 35.5 Ba : 137

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

炭素は、生物・有機化合物・高分子化合物を構成する主要元素の1つであり、我々にとって非常に身近な元素である。炭素には質量数が12、13、14の3つの同位体が存在する。質量数12の同位体は最も多く存在する同位体である。質量数13の同位体は核磁気共鳴(NMR)法による物質の構造解析に役立っている。また、質量数14の同位体は放射性同位体であり、生物由来の炭素原子を含む物質が存在した年代の推測^(a)に用いられている。また炭素には 、、、カーボンナノチューブなどの同素体が存在する。は黒色で、その構造はを基本単位とする平面層状構造を形成し、層と層は分子間力で積み重なっている。はサッカーボール形などの球状の分子構造をとる物質の総称である。は無色透明でとても硬く、すべての炭素原子が結合で結びついており、その構造は正四面体が基本単位となっている。

炭素の酸化物にはとがあり、は水に溶けにくい気体で、きわめて毒性が高い。は水に少し溶け、その水溶液の液性は性を示す。またの固体はと呼ばれ、昇華性がある。

炭素と同族元素であるの単体の結晶は、炭素の同素体の1つであると同じ結合の結晶を形成し、電気伝導性は体の性質を示す。の酸化物であるは、水晶や石英の主成分であり安定な化合物であるが、フッ化水素酸とは反応する。^(b)

問1 文中の空欄～に当てはまる適切な語を記せ。

問 2 下線部(a)について、質量数 14 の炭素の同位体は、 β 崩壊により電子を 1 個放出し異なる核種に変わる。

(1) この β 崩壊によって生成する核種を例にならって記せ。

[例] ${}^{14}_6\text{C}$

(2) この β 崩壊は炭素の濃度によらず一定の半減期をもち、その値は 5.7×10^3 年である。遺跡より 1.71×10^4 年前のものと考えられる木片が発掘された。この木片中の質量数 14 の炭素の同位体の存在率(%)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。ただし、自然界における当時および現在の質量数 14 の炭素の同位体の存在率は、 $1.2 \times 10^{-8} \%$ で一定である。

問 3 炭素の同素体 ~ のうち、電気伝導性が最も優れている同素体の物質名を記せ。

問 4 150 K において 33 g の がある。これを 1.0×10^5 Pa で 300 K にしたときの気体の体積(L)を求め、3桁目を四捨五入して有効数字 2 桁で記せ。なお、解答に至る導出過程も記すこと。

問 5 標準状態で 448 mL の と からなる混合気体を 0.10 mol/L の水酸化バリウム水溶液 100 mL 中に通して、 を完全に吸収させた。析出した沈殿をろ過により除去し、ろ液を全て集めてから、0.20 mol/L の塩酸で滴定したところ、中和に 30 mL を要した。ただし、滴定中に気体は発生しなかった。混合気体中に含まれていた を完全燃焼させるために必要な酸素分子の物質質量(mol)を求め、3桁目を四捨五入して有効数字 2 桁で記せ。なお、解答に至る導出過程も記すこと。

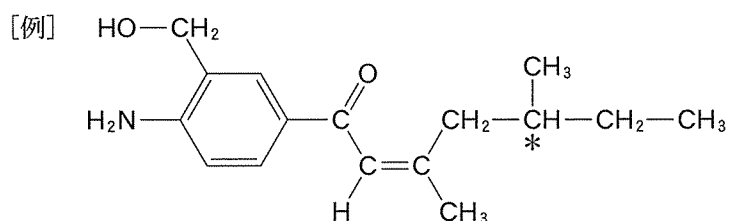
問 6 昇華とはどのような現象か、1行で説明せよ。

問 7 下線部(b)について、この反応の化学反応式を記せ。

Ⅲ A, B共に全員が解答すること。

A 次の文を読み、問1～問8に答えよ。ただし、構造式は下の例にならって記すこと。鏡像異性体は区別しなくてよいが、不斉炭素原子がある場合には、不斉炭素原子の上または下に*をつけて記すこと。シス-トランス異性体は違いがわかるように構造を記すこと。必要であれば、原子量は以下の値を用いよ。

H : 1.0 C : 12 O : 16



- (a) 分子式 $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_3$ で示される化合物 A 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、酸性化合物 B と中性化合物 C が得られた。化合物 B は不斉炭素原子を有する。化合物 B を少量の濃硫酸とともにエタノールを加えて加熱すると分子式 $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_3$ の化合物 D が生成した。化合物 D を無水酢酸とともに加熱すると、分子式 $\text{C}_7\text{H}_{12}\text{O}_4$ の化合物 E が生成した。化合物 C は水によく溶ける。また化合物 C は銅触媒の存在下、高温で空気酸化すると化合物 F に変化し、さらに酸化すると酸性を示す化合物 G を生じた。化合物 G は銀鏡反応を示した。

問 1 化合物 A の構造式を記せ。

問 2 化合物 F, G の構造式を記せ。

問 3 化合物 D, E の構造式を記せ。

問 4 化合物 G を濃硫酸と熱すると脱水して気体が生じる。この反応の化学反応式を記せ。

(b) 分子式 $C_{13}H_{22}O_4$ で示される化合物 H 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、2 価のカルボン酸 I とアルコール J, K が得られた。化合物 I, J, K について以下の知見が得られた。

- (1) カルボン酸 I に含まれる炭素原子を分析したところ、カルボキシ基以外は CH_2 のみで構成されていた。カルボン酸 I を加熱すると分子内で脱水して化合物 L になった。
- (2) 化合物 J, K を酸化したところ、それぞれ対応するアルデヒドを経てカルボン酸が生成した。
- (3) 化合物 J はペンタノールの構造異性体の 1 つで不斉炭素原子を有する。
- (4) 化合物 J の構造異性体であるアルコール O は酸化されにくい。
- (5) 化合物 J の構造異性体であるアルコール P には不斉炭素原子はない。アルコール P は酸化されてケトンを生じた。
- (6) 化合物 K は分子量 80 以下で環状構造を含む。

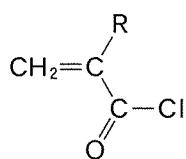
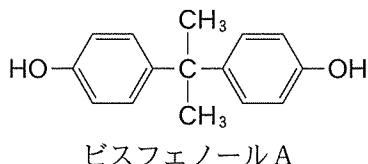
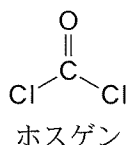
問 5 化合物 L の構造式を記せ。

問 6 化合物 O, P の構造式を記せ。

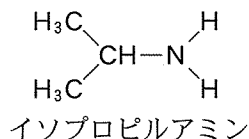
問 7 化合物 H の構造式を記せ。

問 8 化合物 K が環状構造を含まない場合、考えられる化合物 K の構造式をすべて記せ。

B 次の文を読み、以下の問1～問5に答えよ。なお、文中の波線部の化合物の構造を下に記した。



アクリル酸クロリド(R=H)
メタクリル酸クロリド(R=CH₃)



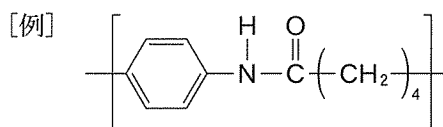
エステル結合やアミド結合を主鎖や側鎖に導入した合成高分子化合物は、その構造に応じて様々な特性を発現することができる。エステル結合やアミド結合はそれぞれ、カルボン酸塩化物(カルボン酸クロリド)とアルコールもしくはアミンとの温和な条件下における反応により生成させることができる。カルボン酸塩化物は、カルボン酸のヒドロキシ基を塩素に置換した構造である。例えば、代表的な合成繊維である6,6-ナイロンは、アジピン酸ジクロリドをモノマーとして用いた界面における⁽¹⁾ ア 重合により室温で合成される。ホスゲンはカルボニル炭素に2つの塩素が結合した構造であり、アジピン酸ジクロリドと同様に二官能性モノマーである。ホスゲンは反応性が高く、ビスフェノールAとの ア 重合により、透明光学材料であるポリカーボネートが合成される。また、メタクリル酸クロリドと過剰量のエチレングリコールとの反応により合成されるメタクリル酸2-ヒドロキシエチルを原料とする イ 重合によりポリ(メタクリル酸2-ヒドロキシエチル)⁽³⁾が得られる。ヒドロキシ基が側鎖にあるため親水性があり、この高分子化合物のハイドロゲルはコンタクトレンズとして用いられている。アクリル酸クロリドとイソプロピルアミンとの反応により得られる*N*-イソプロピルアクリルアミドを原料とする イ 重合からはポリ(*N*-イソプロピルアクリルアミド)⁽⁴⁾が得られる。この高分子化合物のアミド結合部^(b)

位は水分子と水素結合するため、20℃では水に完全に溶解する。この水溶液の温度を上昇させると水素結合が切断されて水和している水分子が引き離され、疎水基が集まり高分子化合物が凝集する。この変化が32℃付近で急激に観察される。

ポリ(*N*-アルキルアクリルアミド)類については、アルキル基の疎水性の違いにより凝集する温度が異なる。^(c)このような温度応答性高分子化合物はバイオマテリアルやドラッグデリバリーシステムへの応用が期待されている。

問 1 文中の空欄 と に当てはまる適切な語を記せ。

問 2 下線部(1)~(4)の化合物の構造式を例にならって記せ。



問 3 下線部(a)について、反応に用いるエチレングリコールの量を減少させると、副生成物が生じた。この副生成物の構造を記せ。また、この副生成物が混入したまま重合反応を行うと、得られる高分子化合物の構造は副生成物が混入していない場合とどのように異なるかを理由と共に2行以内で記せ。

問 4 下線部(b)について、高分子化合物が凝集した水溶液に光をあてると、光が散乱して全く通過しなかった。光が通過する割合(透過率)を縦軸に水溶液の温度を横軸にとり、この現象を示すグラフを作成せよ。なお、解答欄のグラフ中の点線は32℃を示している。

問 5 下線部(c)について、ポリ(*N*-エチルアクリルアミド)(高分子①)とポリ(*N*-ブチルアクリルアミド)(高分子②)が水溶液中で凝集する温度は、32℃より高温となるか低温となるかを、それぞれ記せ。