

2025 年度(令和 7 年度)

後 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 24 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、「物理」, 「化学」のうちから 1 科目を選択し、解答用紙の指定された欄に記入しなさい。
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 万有引力を受けて惑星Oを周回する物体の運動について考えよう。万有引力定数を $G[\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2]$ ，惑星Oの質量を $W[\text{kg}]$ として以下の設問に答えよ。惑星から万有引力を受けて円運動や楕円運動する物体にはケプラーの法則が成り立つとし，惑星以外の物体間にはたらく万有引力は無視できるものとする。惑星Oによる万有引力の位置エネルギーの基準点は無限遠とし，惑星の自転と公転の影響は無視できるとする。物体の質量は惑星の質量に比べて十分小さく，惑星と物体の大きさは考えないとする。また，数値を求める設問では分数，根号，指数はそのまま解答してよい。

はじめ質量 $M[\text{kg}]$ の物体Sが，図1のように惑星Oを中心とする半径 $R[\text{m}]$ の円軌道上を反時計まわりに周回し，その速さは惑星Oから見て $V_0[\text{m/s}]$ であった。

- (1) 物体Sは惑星Oによる万有引力を向心力として等速円運動していることを考えて， V_0 を R ， W ， G を用いて表せ。
- (2) 物体Sの周回の周期 $T_0[\text{s}]$ を， R ， W ， G を用いて表せ。

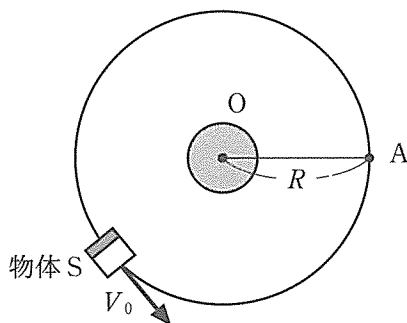


図 1

物体 S は図 1 の点 A に到達した。この瞬間(図 2(a))，物体 S は物体 S 2 を，物体 S の速度と逆向きに射出することで，質量 m [kg] ($m < M$) の物体 S 1 と質量 $(M - m)$ の物体 S 2 に分裂した(図 2(b))。分裂直後，物体 S 1 の速さは V_A [m/s] であり，物体 S 2 は物体 S 1 から見て速さ V [m/s] ($V > 0$) で遠ざかった。

- (3) 惑星 O から見た，分裂直後の物体 S 2 の速度 [m/s] を書け。ただし，分裂直前の物体 S の速度の向きを正とする。
- (4) 分裂の直前と直後で物体の運動量が保存することを表す式を， M ， m ， V_0 ， V_A ， V を用いて書け。

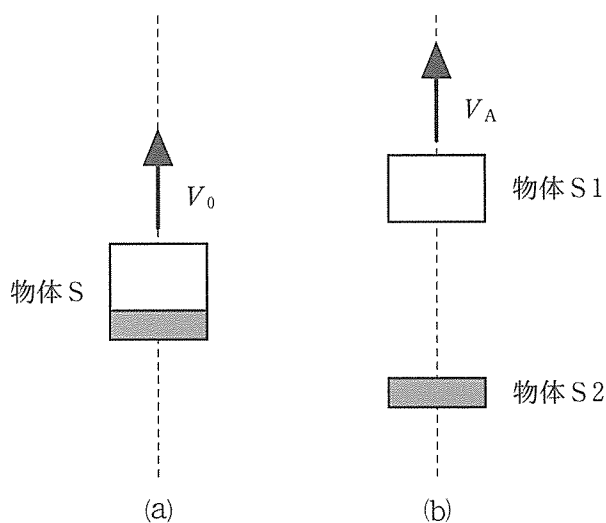


図 2

その後、図3のように物体S1は、惑星Oを焦点の一つとし、ABを長軸とするような楕円軌道上を反時計まわりに運動し、点Bに到達した。この時点で物体S1の速さは V_B [m/s]、惑星Oからの距離は $8R$ であった。

- (5) 点Aと点Bで物体S1の力学的エネルギーが保存することを表す式を V_A , V_B , m , W , G , R のみを用いて書け。
- (6) 物体S1が点Aを出発してから微小時間 Δt [s]の間に、物体S1と惑星Oを結ぶ線分が通過する面を直角三角形で近似し、その面積[m²]を V_A , R , Δt のみを用いて書け。
- (7) ケプラーの第二法則(面積速度一定の法則)から、 V_B を V_A のみを用いて表せ。
- (8) 前問(1), (5), (7)の結果を用いて、比 $\frac{V_A}{V_0}$ を数値で求めよ。

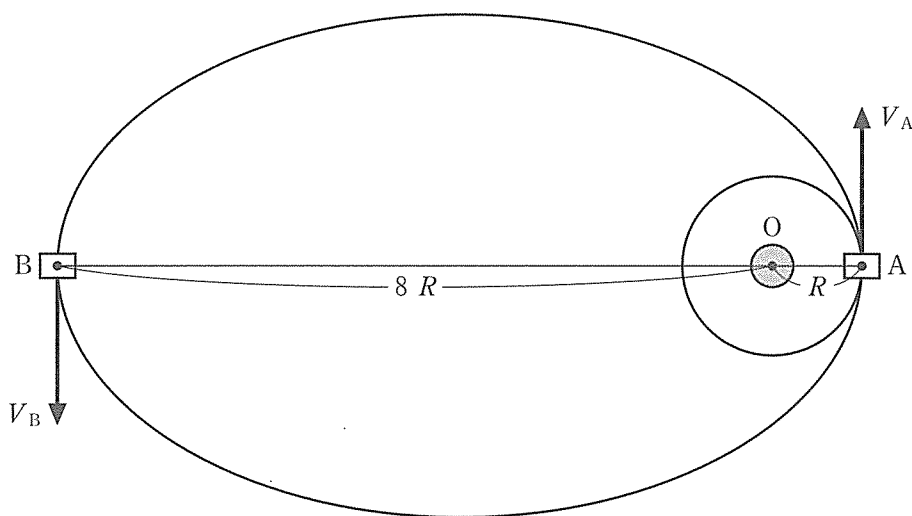


図3

以後、分裂直後に、物体 S1 から見て物体 S2 が遠ざかる速さ V は V_0 の 2 倍 ($V = 2V_0$) であったとする。

(9) 惑星 O から見た、分裂直後の物体 S2 の速さ [m/s] を V_0 のみを用いて表せ。

(10) 物体 S1 と物体 S の質量比 $\frac{m}{M}$ を数値で求めよ。

分裂後、物体 S2 は惑星 O を焦点の一つとする、物体 S1 とは異なる楕円軌道上を運動した。物体 S2 は、図 3 において惑星 O と点 B を結ぶ線分を横切ったときに惑星 O に最も近づき、その際の惑星 O からの距離は r [m] であった。

(11) 比 $\frac{r}{R}$ を数値で求めよ。

最後に、楕円軌道の周回の周期と長半径(半長軸の長さ)の関係を表すケプラーの第三法則について考えよう。円軌道は楕円軌道の特別な場合なので、円軌道の場合にもケプラーの第三法則は成り立つ。これより、前問(2)で求めた円軌道の周回の周期 T_0 と半径 R の関係式から、ケプラーの第三法則を類推することができる。

(12) 2 つの異なる楕円軌道の周回の周期を T_P [s], T_Q [s], 対応する楕円の長半径をそれぞれ L_P [m], L_Q [m] とする。ケプラーの第三法則より、比 $\frac{T_P}{T_Q}$ を L_P , L_Q のみを用いて表せ。

(13) 物体 S1 の周回の周期を T_1 [s] とする。比 $\frac{T_1}{T_0}$ を数値で求めよ。

Ⅱ 導体・半導体に電界・磁界を加えた場合に生じる効果について，導体・半導体における荷電粒子の運動から考える。

図1に示すように， x ， y ， z 方向の長さがそれぞれ a [m]， b [m]， a [m]の直方体の導体試料がある。導体試料には直流電源を用いて y 軸の正の向きに大きさ I [A]の一樣な電流を流している。直流電源により導体試料に加えられる y 軸方向の電界は一樣であり，導体試料内の自由電子は電界からの力，および運動と逆向きの抵抗を受け，一定の速さ v_m [m/s]で y 軸方向に運動しているとする。抵抗力の大きさは v_m に比例し，比例定数 k を用いて kv_m [N]と表すことができる。自由電子の電荷を $-e$ [C] ($e > 0$)とする。

- (1) 導体試料の抵抗率を ρ [$\Omega \cdot \text{m}$]としたとき，電流 I に対する導体試料の電気抵抗 [Ω]を a ， b ， ρ のうち必要な記号を用いて表せ。

以下の設問では，前問(1)で求めた電気抵抗を R [Ω]とする。

- (2) 導体試料内の自由電子1個が電界から受ける力の大きさ [N]と向きを示せ。ただし，大きさは a ， b ， R ， I ， e のうち必要な記号を用いて表せ。また，向きは解答用紙の該当するものに○をつけよ。
- (3) v_m を a ， b ， R ， I ， e ， k のうち必要な記号を用いて表せ。

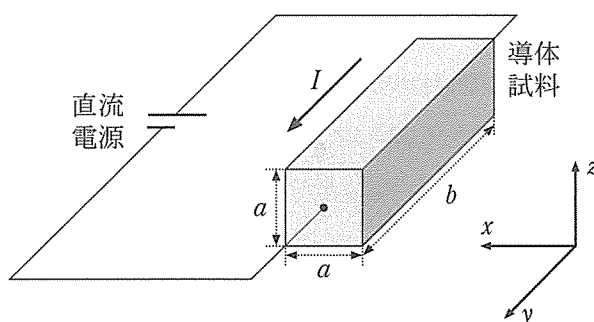


図1

次に、同じ導体試料に対し、さらに磁界を加えた場合について考える。導体・半導体試料において、流れる電流に対し垂直な磁界成分が存在するときホール効果が生じる。ホール効果は、試料中に存在するキャリア(電流を担う荷電粒子)の電荷の符号および単位体積当たりの個数を求める実験手法に応用することができる。図 2(a)のように、同じ導体試料に直流電源を用いて y 軸の正の向きに大きさ I [A] の電流を流している。直流電源により導体試料に加えられる y 軸方向の電界は一様であり、導体試料内の自由電子は一定の速さ v_m [m/s] で y 軸方向に運動しているとする。図 2(b)に導体試料における x - z 面に平行な断面を示す。断面における導体試料の上辺、下辺の中点をそれぞれ点 P、Q とする。 x 軸の正の方向に磁束密度の大きさ B [T] の一様な磁界を加えたところ、ホール効果が生じた。ホール効果により導体試料内に生じる電界は一様であり、点 P、Q の間に大きさ V_m [V] の電圧(ホール電圧)が生じた。点 P、Q における電位を比較したところ、点 P の電位が点 Q の電位より高かった。導体試料における単位体積当たりの自由電子の個数を n [個/m³] とする。

- (4) 導体試料内の自由電子 1 個が磁界から受けるローレンツ力の大きさ [N] と向きを示せ。大きさは a , b , B , e , v_m のうち必要な記号を用いて表せ。向きは解答用紙の該当するものに○をつけよ。
- (5) V_m を a , b , B , e , v_m のうち必要な記号を用いて表せ。
- (6) n を a , b , I , V_m , B , e のうち必要な記号を用いて表せ。

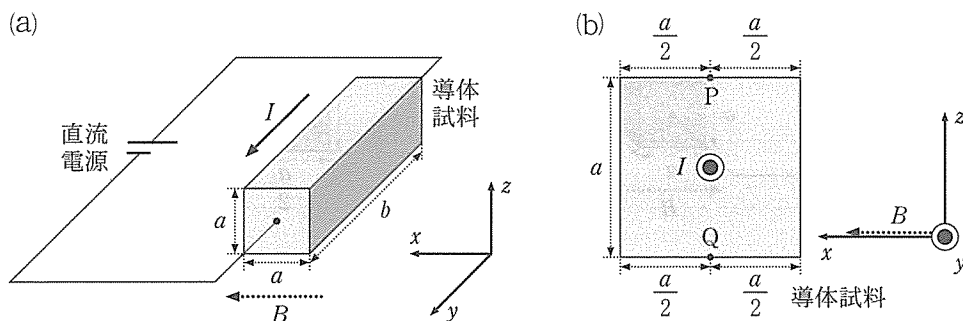


図 2

次に，導体試料に代わり半導体試料を用いた場合について考える。図 3 (a) のような，前問で用いた導体試料と同じ大きさ，形状を持つ半導体試料がある。半導体試料には直流電源を用い y 軸の正の向きに大きさ I [A] の電流を流している。半導体試料中のキャリアの電荷の大きさは e [C] で，符号は正または負のいずれか一方である。直流電源により半導体試料に加えられる y 軸方向の電界は一樣であり，半導体試料中のキャリアは一定の速さ v_s [m/s] で y 軸方向に運動しているとする。図 3 (b) に半導体試料における x - z 面に平行な断面を示す。前問で用いた導体試料と同様に半導体試料においても点 P, Q を取る。 x 軸の正の向きに磁束密度の大きさ B [T] の一様な磁界を加えた。ホール効果により半導体試料内に生じる電界は一樣であり，点 P, Q 間に大きさ V_s [V] のホール電圧が生じた。点 P, Q における電位を比較したところ，点 P の電位が点 Q の電位より低かった。

- (7) 半導体試料内のキャリア 1 個が磁界から受けるローレンツ力の大きさ [N] と向きを示せ。大きさは a , b , B , e , v_s のうち必要な記号を用いて示せ。向きは解答用紙の該当するものに○をつけよ。
- (8) キャリアの電荷の符号について，解答用紙の該当するものに○をつけよ。
- (9) 半導体試料の単位体積あたりのキャリアの個数 [個/m³] を V_s , e , および前問で示した導体試料における V_m , n のうち必要な記号を用いて示せ。

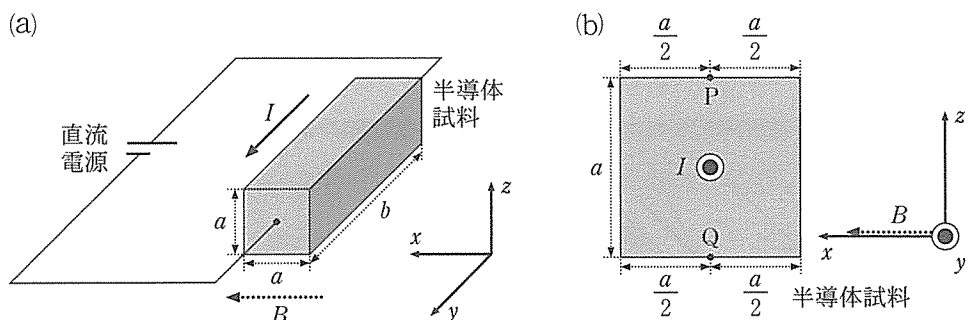


図 3

次に、同じ半導体試料に対し、加える磁界の方向が及ぼす影響について考える。

図 4 は、図 3(a)を z 軸正の方向から見た図である。半導体試料には直流電源を用い y 軸の正の向きに大きさ I [A] を持つ電流を流している。直流電源により半導体試料に加えらる y 軸方向の電界は一様であり、半導体試料中のキャリアは一定の速さ v_s [m/s] で y 軸方向に運動しているとする。図 3(b)では x 軸の正の向きを向いていた磁束密度の大きさ B [T] の一様な磁界について、図 4 の通り磁界の向きを x 軸の正の向きから z 軸まわりに回転させる。磁界の向きは x 軸の正の向きを基準とし、反時計まわりを正とする角度 θ [rad] ($-\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2}$) で表す。ホール効果により半導体試料内に生じる電界は一様であり、図 3(b)に示した半導体試料における点 P, Q 間の電圧の大きさは θ により変化した。 $\theta = 0$ における点 P, Q 間の電圧の大きさは前問で示した V_s であり、点 P の電位が点 Q の電位より低かった。

- (10) $\theta = \frac{\pi}{3}$ において、半導体試料内のキャリア 1 個が磁界から受けるローレンツ力の大きさ [N] と向きを示せ。大きさは a, b, B, e, v_s のうち必要な記号を用いて示せ。向きは解答用紙の該当するものに○をつけよ。
- (11) 点 P, Q 間の電圧の大きさを a, b, V_s, B, θ のうち必要な記号を用いて表せ。

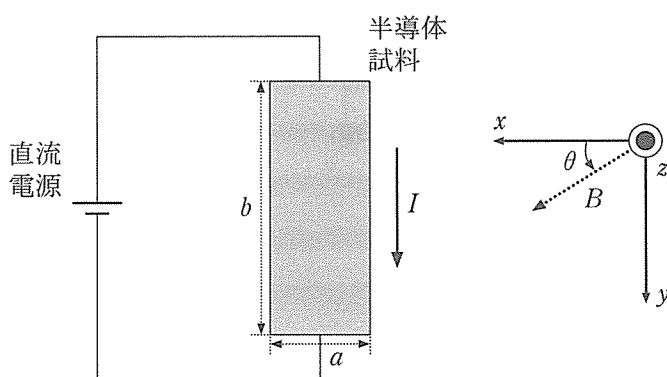


図 4

次に、同じ半導体試料に対し、磁界の向きが y 軸まわりで変化した場合について考える。半導体試料には直流電源を用い y 軸の正の向きに大きさ I [A] の電流を流している。直流電源により半導体試料に加えられる y 軸方向の電界は一樣であり、半導体試料中の全てのキャリアは一定の速さ v_s [m/s] で y 軸方向に運動しているとする。図 5 (a) は図 3 (b) と同様に半導体試料における x - z 面に平行な断面を示したものである。図 5 (a) の通り、磁束密度の大きさが B [T] で一樣な磁界の向きを x 軸の正の向きを基準とし、時計まわりを正とする角度で $\frac{\pi}{4}$ rad とした。ホール効果により半導体試料内に生じる電界は一樣であるとする。

- (12) 半導体試料内のキャリア 1 個が磁界から受けるローレンツ力の大きさ [N] を a, b, B, e, v_s のうち必要な記号を用いて示せ。また、ローレンツ力の向きとして最も適切なものを図 5 (b) の(ア)～(エ)から一つ選べ。
- (13) 断面に形成される等電位線として最も適切なものを図 5 (c) の(カ)～(ケ)から一つ選べ。また、点 P, Q における電位の大小関係について解答用紙の該当するものに○をつけよ。

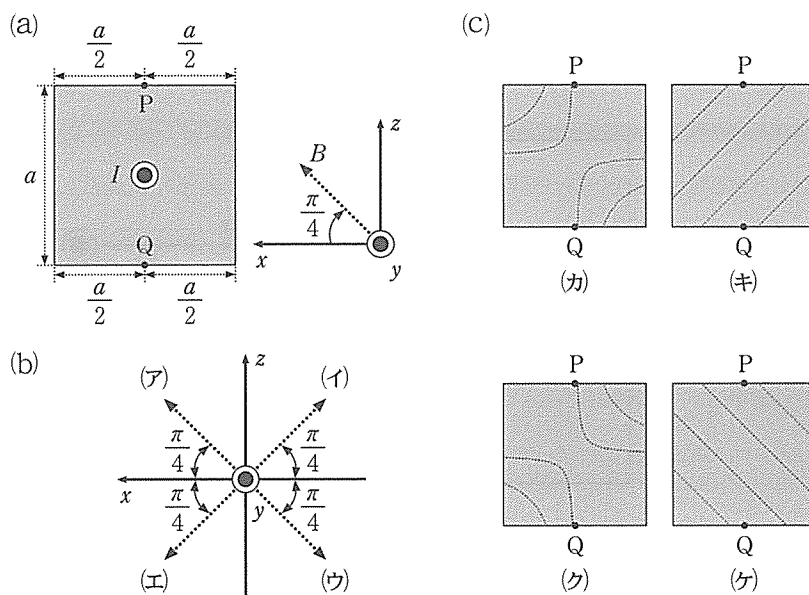


図 5

Ⅲ 光ディスク(CD や DVD など)の記録面には情報が記録されており, 微細な突起が等間隔に配置されている。いま, CD を反射型回折格子として用いて, 簡易分光器を設計したい。なお, 分光器とは, 回折格子による光の干渉現象などを利用して光の波長を求めるときにつかう実験装置である。

問 1 CD による光の回折現象を理解するために, 図 1 に示すような, 屈折率 $n(n > 1)$ の透明な樹脂層と金属の線状突起構造からなる回折格子を考える。突起は周期 D [m] で等間隔に並んでおり, 突起の上面と樹脂層の表面は平行である。いま, 突起の上面以外の金属では光が乱反射されるものと仮定し, 入射光の樹脂層表面での反射などの図に示されていない光路は考えないものとする。

空气中(屈折率 1)での波長が λ [m] の平面波単色光を, 樹脂層に対して右斜め下向きに入射したところ, 回折光が観察された。ここで, 樹脂層への入射角は θ_1 [rad] ($0 < \theta_1 < \frac{\pi}{2}$) とし, 回折した光は境界面の法線に対して角度 ϕ_1 [rad] ($-\frac{\pi}{2} < \phi_1 < \frac{\pi}{2}$) で空气中へ出ていくものとする。なお, 角度の符号は, 反時計まわりを正とする。点 a, b は隣り合う突起の中心であり, 点 b への入射光線と点 b からの回折光線に点 a から下ろした垂線の足をそれぞれ点 c, d とする。

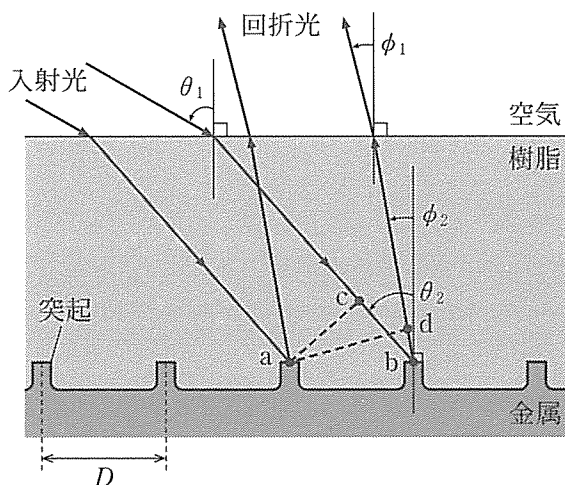


図 1

図1のように、入射角 θ_1 で入射した光は樹脂層表面で屈折し、突起の上面へ入射角 θ_2 [rad] で入射した。

- (1) 樹脂層中における回折光の角度 ϕ_2 [rad] が、 $0 \leq \phi_2 < \frac{\pi}{2}$ の場合を考える。点 a からの回折光線と点 b からの回折光線の位相差は、それらの経路差(線分 bc と bd の長さの和)によって生じる。この経路差[m] を D 、 θ_2 、 ϕ_2 で表せ。また、樹脂層中での光の波長[m] を λ 、 n で表せ。

前問(1)で求めた経路差の式は、 $-\frac{\pi}{2} < \phi_2 < 0$ の範囲においても成立する。

- (2) $-\frac{\pi}{2} < \phi_2 < \frac{\pi}{2}$ の全範囲において、回折光が強め合う条件を θ_2 、 ϕ_2 、 D 、 λ 、 n 、整数 m (回折光の次数) を用いて表せ。ただし $\phi_2 = -\theta_2$ となるときに $m = 0$ 、 $\phi_2 > -\theta_2$ のときに $m > 0$ となるようにとること。

光を $\theta_1 = \frac{\pi}{6}$ で入射し、樹脂層から出てきた回折光の前方に、十分大きいスクリーンを樹脂層表面に対して平行に置いたところ、明線がいくつか観察された。

- (3) $\sin \phi_2$ を D 、 λ 、 n 、 m を用いて表せ。
- (4) 回折光の角度 ϕ_2 が、ある角度の範囲からはずれると、樹脂層から出ていく回折光が消失する。回折光がスクリーン上で観察されるために $\sin \phi_2$ が満たすべき条件式を示せ。
- (5) 回折光の次数 m が取り得る値の範囲を D 、 λ を用いて答えよ。
- (6) 波長が 6.40×10^{-7} m のレーザー光を用いて実験を行ったところ、スクリーン上に1次の回折光が、 $\sin \phi_1 = -0.10$ を満たす角度で観察された。このとき、周期 D を求めよ。
- (7) 前問(6)のように、波長 6.40×10^{-7} m のレーザー光を入射した場合、回折による明線がスクリーン上でいくつみえるか、その本数を答えよ。

問 2 図 2 に示すように、スリットの正面に問 1 で用いた回折格子をとりつけ、簡易分光器を作製する。スクリーンは、回折格子の法線方向、距離 0.50 m の位置にあり、回折格子に対して平行に配置されている。回折格子に対して垂直に平面波白色光をあてたとき、可視光全波長領域の 1 次回折光のスペクトルが、スクリーン上に幅 $W[\text{m}]$ で観察された。ここで、可視光の波長領域は $4.00 \times 10^{-7}\text{ m}$ から $8.00 \times 10^{-7}\text{ m}$ とする。いま、スリットによる回折効果は無視できるものとする。

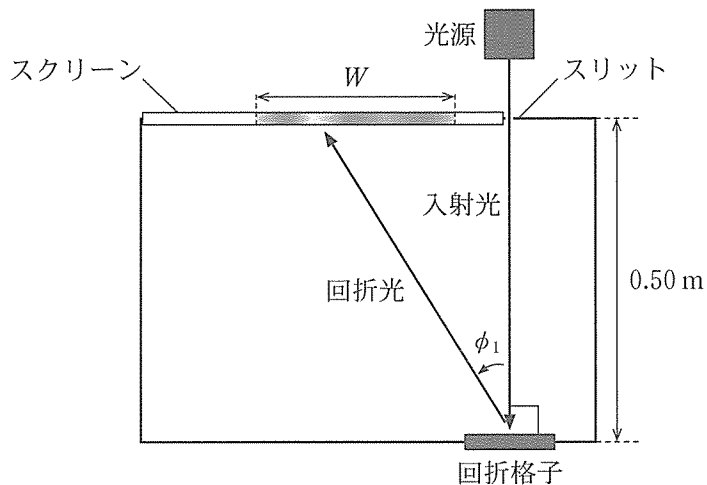


図 2

(8) 1 次回折光のスペクトルにみられる色をスリットから遠い順番に左から並べたとき、並び方として最も適当なものを以下の中からひとつ選び、解答欄に記号で記せ。

- (ア) 赤, 緑, 紫
- (イ) 赤, 紫, 緑
- (ウ) 緑, 赤, 紫
- (エ) 緑, 紫, 赤
- (オ) 紫, 赤, 緑
- (カ) 紫, 緑, 赤

(9) 1 次の回折光の出射角 ϕ_1 について，入射光の波長 $4.00 \times 10^{-7} \text{ m}$ と $8.00 \times 10^{-7} \text{ m}$ に対する $\sin \phi_1$ の値をそれぞれ求めよ。

(10) 幅 W を有効数字 2 桁で求めよ。必要であれば，以下の平方根の近似値を用いよ。

$$\sqrt{2} = 1.414$$

$$\sqrt{3} = 1.732$$

$$\sqrt{5} = 2.236$$

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４に答えよ。問３の(イ)と(ウ)，問４については，解答に至る導出過程も記すこと。必要であれば，以下の値を用いよ。

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

水の密度 1.00 g/cm^3

絶対零度 $-273 \text{ }^\circ\text{C}$

重力(N) = 質量(kg) × 重力加速度(m/s^2)

重力加速度 9.80 m/s^2

$1.00 \text{ Pa} = 1.00 \text{ N/m}^2$

原子量 H : 1.0 C : 12 O : 16 Na : 23

コロイドとは，直径が 程度の大きさの粒子が溶液中に均一に分散している状態をいう。このとき，分散している粒子をコロイド粒子という。このコロイド粒子を含む溶液を，コロイド溶液または という。豆乳やセッケン水などはコロイド溶液である。コロイド粒子は，ろ紙は通過できるが，セロハン等の半透膜は通過できない。

コロイド溶液()には，加熱などの操作によって流動性を失い，全体が固まった状態になるものがある。この状態を といい，豆腐やゆで卵などが である。この を乾燥させたものを という。

コロイド溶液の入った容器に横から強い光線を当てると，光の通路が明るく輝いて見える。これはコロイド粒子がふつうの分子やイオンより大きく，光を散乱させるため，光の通路が輝いて見えるのである。この現象を 現象という。この 現象を限外顕微鏡で観察すると，光った点(コロイド粒子)が絶えず不規則に運動しているのが見える。このような運動を 運動という。

デンプンやタンパク質など分子量が大きく、溶液中で1つの分子でコロイド粒子になるものを コロイドという。また、セッケン水はある濃度以上ではセッケン分子が多数集まった集合体になって、水中に分散している。このようなコロイドを コロイドという。

セッケンは、油脂を水酸化ナトリウム水溶液でけん化することで得られる脂肪酸ナトリウム塩で、疎水基である炭化水素基部分と親水基であるカルボキシ基部分から構成される。油をセッケン水に入れて振り混ぜると、セッケン分子が油のまわりを取り囲み、水中に分散する。この働きを 作用という。

セッケン分子の親水基はアニオン性(陰イオン性)であるが、この親水基がカチオン性(陽イオン性)の分子もあり、このような分子はマイナスに帯電している繊維や毛髪の表面に吸着することにより、その表面の電氣的性質を変えることができる。また、カチオン性の場合、表面がマイナスに帯電している細菌等にも作用するため、殺菌性がある。

問 1 文中の空欄 について、最も適当なものをa～eから1つ選び、記号で記せ。

a : $10^{-12} \sim 10^{-10}$ m

b : $10^{-9} \sim 10^{-7}$ m

c : $10^{-6} \sim 10^{-4}$ m

d : $10^{-3} \sim 10^{-2}$ m

e : $10^{-1} \sim 1$ m

問 2 文中の空欄 ～ に当てはまる適切な語を記せ。

問 3 図1のように、U字管の中央に半透膜を取り付けた浸透圧測定器の左側に純水 100 cm^3 を、右側にセッケンであるミリスチン酸ナトリウム ($\text{C}_{13}\text{H}_{27}\text{COONa}$) 6.40 mg を完全に溶解させた水溶液 100 cm^3 を入れた。 $27.0\text{ }^\circ\text{C}$ において、U字管右側の水溶液の液面になめらかに動くピストンをのせ、その上に液面の高さが同じになるようにおもりをのせて釣り合わせると、おもりの重さは 60.5 g であった。これについて、以下の(ア)から(ウ)に答えよ。ただし、U字管の断面積は 4.90 cm^2 で一定であり、半透膜は水分子のみを通し、ピストンの質量は無視できるものとする。また、この水溶液は希薄溶液であり、ミリスチン酸ナトリウムは水中で集合体を形成しておらず、測定器の内壁、ピストン、半透膜には吸着しないものとする。水溶液の密度は 1.00 g/cm^3 、実験中の大気圧は $1.00 \times 10^5\text{ Pa}$ で変化せず、水の蒸発は無視できるものとする。(イ)と(ウ)について、解答に至る導出過程も記すこと。

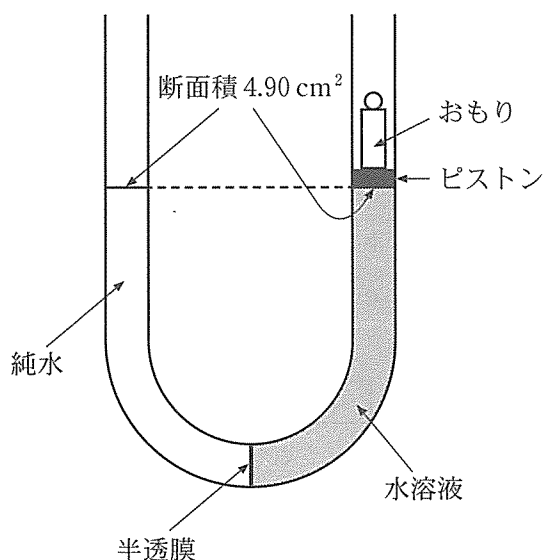
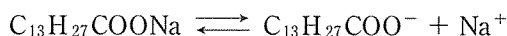


図 1

- (ア) 希薄溶液の浸透圧 Π (Pa) は、溶媒や溶質の種類によらず、溶液中の溶質のモル濃度と絶対温度 T (K) に比例する。体積を V (L)、溶質の物質質量 (mol) を n 、気体定数を R としたとき、この溶液の浸透圧の式を記すとともに、この法則を提唱した化学者の名前を記せ。
- (イ) 水溶液の浸透圧 Π (Pa) を求め、4桁目を四捨五入して有効数字3桁で記せ。
- (ウ) ミリスチン酸ナトリウムは、電離度 α として、水中で電離して、次のように $\text{C}_{13}\text{H}_{27}\text{COONa}$ と $\text{C}_{13}\text{H}_{27}\text{COO}^-$ と Na^+ が共存して平衡状態にある。



これから、水溶液中のミリスチン酸ナトリウムの電離度 α を求め、3桁目を四捨五入して有効数字2桁で記せ。

問4 図1のU字管型浸透圧測定器において、左側に純水 100 cm^3 を、右側にミリスチン酸ナトリウム x (mg) を完全に溶解させた水溶液 100 cm^3 を入れ、ピストンやおもりを設置せず、 27.0°C において静置させたところ、水溶液の液面が次第に上昇し、U字管左右の液面差が 8.00 cm となったところで止まった。このときのミリスチン酸ナトリウムの質量 (mg) を求め、3桁目を四捨五入して有効数字2桁で記せ。なお、問3で求めた電離度 α の値を用いること。ただし、問3と同様、U字管の断面積は 4.90 cm^2 で一定であり、半透膜は水分子のみを通すものとする。また、この水溶液は希薄溶液であり、ミリスチン酸ナトリウムは水中で集合体を形成しておらず、測定器の内壁、ピストン、半透膜には吸着しないものとする。水溶液の密度は 1.00 g/cm^3 、実験中の大気圧は $1.00 \times 10^5\text{ Pa}$ で変化せず、水の蒸発は無視できるものとする。解答に至る導出過程も記すこと。

Ⅱ 次の文章を読み、以下の問 1 ～問 9 に答えよ。問 3 は解答に至る導出過程も記すこと。必要であれば、下の値を用いよ。

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

原子量 H : 1.0 C : 12 N : 14 O : 16

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

酸素は、 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、 25°C では無色無臭の二原子分子の気体である。乾燥空気中には体積比で約 21 % 含まれており、窒素の次に多い成分である。また、地球の A に最も多く含まれる元素は酸素であり、石英の成分である二酸化ケイ素が A の大部分を構成している。酸素は、実験室では過酸化水素の水溶液に触媒として二酸化マンガンを加えるか、または二酸化マンガン⁽¹⁾を触媒として塩素酸カリウム⁽²⁾を加熱することによって得られる。工業的には、沸点の違いを利用して液体空気の分留により酸素が得られる。

オゾン⁽³⁾は、酸素の B である。分子式は O_3 で、C 型の構造をもつ。 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、 25°C では生臭く特徴的な刺激臭をもつ有毒な気体である。地球には、高度約 20 km から 40 km の D 圏内のオゾン層に多く存在している。このオゾン層は有害な紫外線を吸収して地上の生物を守っているが、冷媒として用いられていたフロンによるオゾン層破壊が問題になり、モントリオール議定書により世界規模で段階的にフロン不使用の規制強化が図られている。強い酸化力を持つオゾンは、空気や飲料水の殺菌・消毒に用いられるほか、繊維の漂白などにも用いられる。

酸素は非常に多くの元素と酸化物をつくる。酸化物は、酸素と結びつく元素の種類によって性質に違いが生じ、その反応性によって酸性酸化物、両性酸化物、塩基性酸化物の 3 つに分類される。一般に、酸性酸化物が水と反応するとオキソ酸が生じる。また、遷移元素であるクロムやマンガンは酸化数の大きな酸化物をつくり、その酸化物⁽⁴⁾は酸性水溶液中では強い酸化作用を示す。

問 1 文中の空欄 A ～ D に当てはまる適切な語を記せ。

問 2 下線部(1)と(2)の化学反応式をそれぞれ記せ。

問 3 酸素と水素を用いた燃料電池を使って、2.0 A の電流で5時間22分間放電を行った。それに用いた酸素は、0.50 mol/L の過酸化水素の水溶液に触媒として二酸化マンガンを加えて発生させた。過酸化水素の水溶液から発生した酸素は全て燃料電池に消費したとして、この放電に0.50 mol/L の過酸化水素の水溶液は何 L 必要か。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、反応に必要な水素はこの発電に十分な量があり、水溶液中に溶解する酸素の量は無視できるものとする。

問 4 下線部(3)のオゾンは水で湿らせたヨウ化カリウムデンプン紙で検出できる。ヨウ化カリウムデンプン紙は何色になるか答えよ。また、オゾンとヨウ化カリウム水溶液の化学反応式を記せ。

問 5 一酸化窒素の気体がオゾンの気体と 1.013×10^5 Pa, 25 °C で反応すると何色になるか答えよ。また、その際に生じている反応の化学反応式を記せ。

問 6 オゾンを実験室内で発生させる方法を2行以内で2つ記せ。

問 7 14 族と 18 族以外の第3周期の元素それぞれについて、酸化数が最も大きくなる酸化物を、酸性酸化物、両性酸化物、塩基性酸化物に分類して化学式を解答欄に記せ。ただし、酸素の酸化数を -2 とする。

問 8 問7で酸性酸化物に分類した酸化物が水と反応して得られる化合物を化学式でそれぞれ記せ。

問 9 下線部(4)で述べられたクロムの化合物である二クロム酸カリウムの希硫酸水溶液に少量ずつ水酸化バリウム水溶液を加えると白色固体の沈殿が生じた。さらに、^①水酸化バリウム水溶液を加え続けると黄色固体の沈殿が生じた。下線部^①および^②の際に生じている反応の化学反応式をそれぞれ記せ。

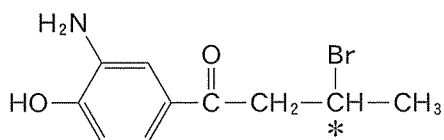
Ⅲ A, B共に全員が解答すること。

A 次の文章を読み、以下の問1～問6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*をつけて記すこと。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

[例]



炭素原子、水素原子、酸素原子からなる、分子量 200 以下のエステル A がある。

12.8 mg の A を完全に燃焼させて、生じた物質を塩化カルシウム管とソーダ石灰管へ順に通したところ、塩化カルシウムの質量は 10.8 mg 増加し、ソーダ石灰の質量は 30.8 mg 増加した。A を加水分解したところ、化合物 B と化合物 C が得られた。B は弱い酸性を示す化合物であり、不斉炭素原子をもっていた。C はカルボニル化合物であり、フェーリング液を還元し、ヨードホルム反応を示した。

化合物 D はエステル結合を 2 つもち、その分子式は $\text{C}_{13}\text{H}_{24}\text{O}_4$ で表される。D を加水分解したところ、弱い酸性を示す化合物 E と 2 種類のアルコール F および G が得られた。F と G は互いに構造異性体の関係にあった。D は不斉炭素原子を 2 つもっており、F は不斉炭素原子を 1 つもっていたが、E と G は不斉炭素原子をもっていなかった。F を酸化したところ、触媒を用いて 2-ブチンに水を付加させて得ることができるカルボニル化合物 H が生成した。一方、G は酸化されにくいことから第三級アルコールであることがわかった。

問 1 A の組成式を記せ。解答に至る導出過程も記すこと。

問 2 下線部(a)の化学反応式を A の分子式を用いて記せ。

問 3 A, D の構造式を例にならって記せ。不斉炭素原子の上または下に*をつけて記すこと。

問 4 B, C, E, F, G, H 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*をつけて記すこと。

問 5 エステル I は B の構造異性体である。I を加水分解したところ、化合物 J とアルコール F が得られた。J は銀鏡反応を示し、炭酸水素ナトリウムと反応して気体を発生した。J を炭酸水素ナトリウムと反応させたときの化学反応式を記せ。

問 6 化合物 K は H の構造異性体である。K は環状構造をもち、不斉炭素原子をもっていない。K が単体のナトリウムと反応して水素を発生するとき、K に可能なすべて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 8 に答えよ。問 8 は解答に至る導出過程も記すこと。必要であれば、原子量は以下の値を用いよ。

H : 1.0 C : 12 S : 32

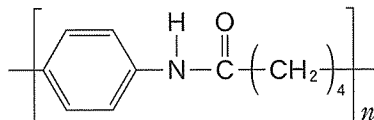
天然高分子化合物は、動物や植物のエネルギー源となる多糖⁽¹⁾、生体機能を担うタンパク質⁽²⁾、遺伝に関与している核酸⁽³⁾がよく知られている。それらはいずれも、低分子量の化合物が重合してできており、多糖ではそれ以上加水分解されない糖類である **ア**、タンパク質ではアミノ酸、核酸ではリン酸・糖・塩基が結合した **イ** である。また、ゴムの木から採取される白い液状の **ウ** に酸を加えてゴム成分を **エ** させて得られる生ゴムや、二酸化ケイ素が構成単位である水晶のような無機高分子化合物⁽⁴⁾⁽⁵⁾も、広義では天然高分子化合物といえる。

天然高分子化合物の代替材料として、人工的に作られた合成高分子化合物が開発されている。例えば、多糖やタンパク質が主成分の天然繊維の代替材料としては、ポリビニルアルコールをホルムアルデヒドで **オ** 化して得られる綿によく似た性質^(A)をもつビニロンがある。生ゴムの代替材料としては、クロロプレンを **カ** 重合させて得られるクロロプレングム^(B)(ポリクロロブレン)がある。

問 1 文中の空欄 **ア** ～ **カ** に当てはまる適切な語を記せ。

問 2 文中の下線部(A)、(B)の構造式を以下の例にならって記せ。

[例]



問 3 下線部(1)において、以下に示す多糖を含む糖類の中から還元性を示すものを、次の(a)~(g)からすべて選び、記号で記せ。

- (a) フルクトース (b) マルトース (c) ガラクトース (d) ラクトース
(e) セルロース (f) スクロース (g) デンプン

問 4 下線部(2)において、タンパク質やペプチドの検出方法として正しいものを、次の(a)~(e)からすべて選び、記号で記せ。

- (a) ビウレット反応は、タンパク質水溶液に硫酸銅(Ⅱ)水溶液を加えて酸性にし、水酸化ナトリウム水溶液を少量加えると赤紫色になる反応である。
(b) タンパク質水溶液にニンヒドリン水溶液を加えて温めると、アミノ酸やタンパク質のもつアミノ基とニンヒドリンが反応して赤紫～青紫色になる。
(c) ビウレット反応では、アミノ酸やペプチド結合を1つしかもたないジペプチドとペプチド結合を2つだけもつトリペプチドは呈色しない。
(d) キサントプロテイン反応はベンゼン環のニトロ化により起こるため、ベンゼン環をもつアミノ酸を含むタンパク質を検出できる。
(e) システインを含むタンパク質水溶液に水酸化ナトリウム水溶液を加えて熱し、酢酸鉛(Ⅱ)水溶液を加えると、黒色沈殿が生じる。

問 5 下線部(3)において、DNA はアデニン・グアニン・シトシン・チミンの4種類の核酸塩基をもつ。この DNA が二重らせん構造を形成した時の塩基の組み合わせとその水素結合の数を例にならってすべて記せ。

例： アデニンとグアニン (5)

問 6 下線部(4)において、生ゴムに関する次の文章を完成せよ。ただし、空欄 1 ～ 5 は解答欄に記した語のいずれかに丸をつけ、 理由 は 1 行で記せ。

生ゴムの主成分は 1 形ポリイソプレンであり、分子鎖が折れ曲がっているため、分子全体が丸まった形をしている。引っ張ると分子鎖が伸びた形となり、ゴムに熱湯をかけると 理由 ためゴムは 2 。また、グタペルカ(グッタペルカ)のような 3 形ポリイソプレンは、分子間力が 4 ため 5 物質である。

問 7 下線部(5)において、水晶は結晶であるが、炭酸ナトリウム塩を含む二酸化ケイ素を高温で融解した後、冷却することで成形されるソーダ石灰ガラスは非晶質である。ソーダ石灰ガラスが非晶質である理由を、解答欄に記した「ガラス成形時に、」に続けて Si—O 結合 と Na⁺ イオン の語句を用いて 2 行以内で記せ。

問 8 生ゴムの主成分であるポリイソプレンの架橋構造を調節することでゴム弾性を制御できる。生ゴムに 30 質量パーセント濃度(※)以上の硫黄を加えて加硫すると、黒色で硬い物質であるエボナイトが得られる。

では、硫黄の質量パーセント濃度(※)が 32 % になるようにポリイソプレンに硫黄を加えて加硫する時、加硫前のポリイソプレンの繰り返し単位の数と加えた硫黄原子の数の比を、最も簡単な整数比で記せ。なお、ポリイソプレンの末端の構造は無視し、解答に至る導出過程も記すこと。

(※) 全体の質量に対する硫黄の質量の割合を百分率で表した濃度