

平成 29 年 度

理 科

物	理	1 ページ～ 9 ページ
化	学	10 ページ～17 ページ
生	物	18 ページ～28 ページ

注意事項

1. 監督者の許可があるまでは、中を見てはいけない。
2. 問題冊子に欠けている部分や印刷が不鮮明な箇所などがあれば申し出ること。
3. 解答用紙は、物理(その1, その2), 化学(その1～その4), 生物(その1～その4)の3科目分を綴ってある。

解答を始める前に、自分の選択する2科目に関係なく全科目の解答用紙に必ず受験番号を記入すること。なお、受験票の理科受験科目届の○で囲んだ科目以外を解答した場合は採点されないので注意すること。

4. 解答は、必ず解答用紙の所定の解答欄に記入すること。
5. 問題用紙の余白は、計算用紙として利用してもよい。

物 理

1 図1のように、鉛直上向きで磁束密度 B の一様な磁界(磁場)中を、長さ R の細い導体棒 OP がその一端の点 O を中心として、水平面内を一定の角速度 ω で回転している。このとき、導体棒 OP 中の自由電子が磁界からローレンツ力を受けるために、 OP 間には誘導起電力が生じる。点 O から距離 r の点を Q 、電子の電荷を $-e$ 、質量を m として、以下の問いに答えよ。

問 1 点 Q における自由電子が、磁界から受けるローレンツ力の大きさ f を、 B 、 ω 、 r 、 e を用いて表せ。また、その向きは“ O から P ”、“ P から O ”のうちどちらか、答えよ。

問 2 問 1 のローレンツ力を受けた自由電子が移動することにより、導体棒中には電界(電場)が作られる。点 Q における電界の強さ E を、 B 、 ω 、 r を用いて表せ。

問 3 点 Q における電界の強さ E を r の関数 ($0 \leq r \leq R$) としてグラフに示せ。グラフには、必要とされる物理量の値を記入すること。

問 4 図 1 において、点 Q 近傍の長さ Δr の微小部位を考える。 Δr の両端には、自由電子の移動により電界が作られ、微小電位差 ΔV が生じる。 ΔV を B 、 ω 、 r 、 Δr を用いて表せ。

問 5 OP 間に生じる誘導起電力の大きさ V は、 Δr の導体棒を長さ R になるまでつなぎ合わせたものと等価となる。 V を B 、 R 、 ω を用いて表せ。

問 6 $B = 0.50 \text{ T}$, $\omega = 88 \text{ rad/s}$ のとき, 点 Q において, 自由電子が受けるローレンツ力の大きさ f に対し, 遠心力の大きさ F が十分に小さいことを確かめたい。 $\frac{F}{f}$ の値を有効数字 2 桁で求めよ。ただし, 電子の比電荷 $\frac{e}{m} = 1.76 \times 10^{11} \text{ C/kg}$ とする。

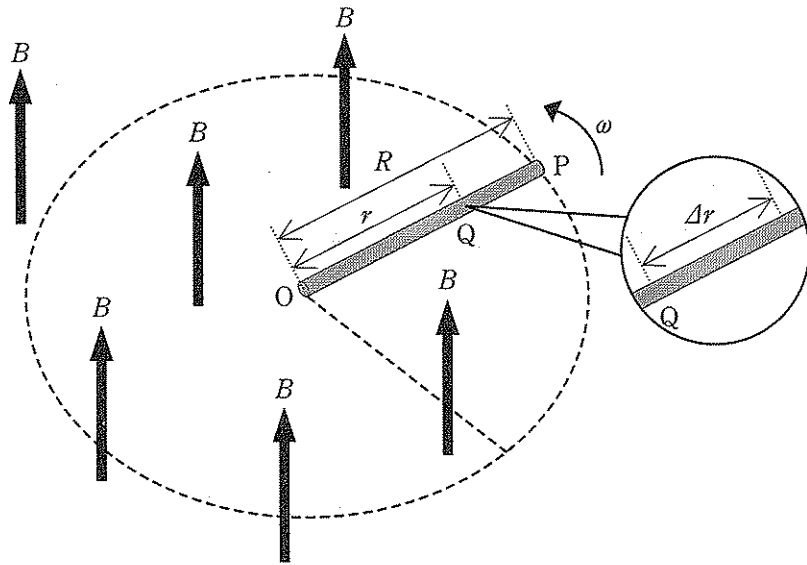


図 1

2 質量 m_p の惑星探査船(以下, 探査船)と質量 $M_0 (> m_p)$ の本体からなる全質量 $M (= M_0 + m_p)$ の宇宙ステーション S(以下, S)を, 図 2-1 のように, 地表上の点 A から地表に対して鉛直上向きに, 速さ V_0 で打ち上げた。このとき, S が到達できる地表からの最大高度は h であった。地球は半径 R , 質量 M_E の密度が均一な球で, 静止しているものとする。また, 地球の中心を O, A から h の距離にある点を P とし, 点 O, A, P は同一直線 L 上にあるものとする。

万有引力定数を G , 地表における重力加速度を g として, 以下の問いに答えよ。ただし, 探査船, 本体および S は, それぞれ, 質点とみなすことができるものとし, これらと地球との間に働く万有引力に対して, 探査船と本体との間の万有引力, 他の天体との間の相互作用, 地球の大気の影響などは無視できるものとする。

問 1 地表における重力加速度 g と万有引力定数 G は $GM_E = gR^2$ を満たす。いま, S が最大高度 h の点 P に達したとき, S に働く万有引力の大きさ F_s および位置エネルギー U_s を, M, g, R, h を用いて表せ。ただし, 万有引力による位置エネルギーの基準点は無限遠点とする。

問 2 最大高度 h を V_0, g, R を用いて表せ。

問 3 S が点 P に達した直後, L と垂直の向きに速さ V_1 の速度を S に与え, O を中心として半径 $R + h$ の等速円運動をさせた。 V_1 を h, g, R を用いて表せ。

問 4 次に, 等速円運動をしている S から, 探査船を, S の速度と同一の向きに, 本体に対して速さ v_p で発射し, 本体と分離した。探査船が無限遠方に到達するために必要な v_p の最小値 v_m を, V_1 を用いて表せ。

問 5 無限遠方に向けて飛行していた探査船は、その後、地球への帰還の途についた。帰還飛行において、探査船は、図 2-2 のように、O から $2R$ の距離にある L 上の点 B に L と垂直の向きに速さ v_B で突入し、BC を長軸とする楕円軌道に入り周回運動をした。ただし、点 C は O から $3R$ の距離にある L 上の点である。

探査船が C を通過するときの速さ v_C と v_B の比 $\frac{v_C}{v_B}$ を求めよ。また、 v_B を g 、 R を用いて表せ。

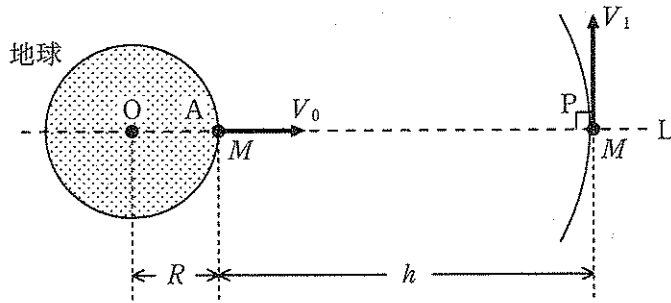


図 2-1

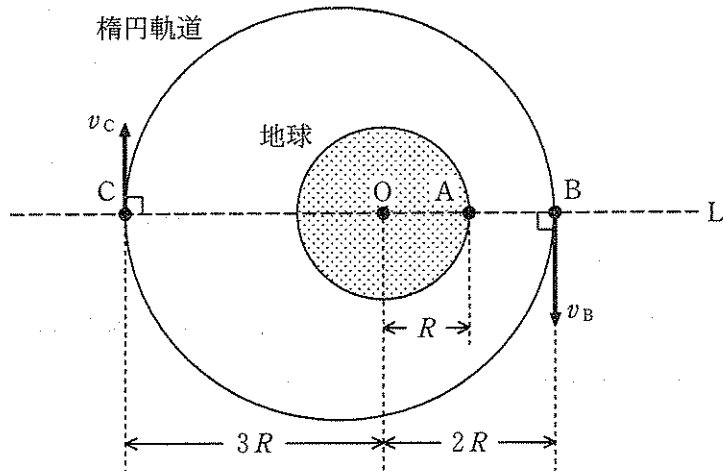


図 2-2

3 透明で正方形型の薄い平面ガラス板(一辺の長さは a)を2枚向い合わせにして、空気中で光の干渉実験を行う。いま、下部ガラス板の一辺の中心を点 O 、向かい合った他辺の中心を点 A とし、線分 OA を x 軸上にとる。さらに、点 O を原点とし下部ガラス板に対し垂直上向きに y 軸をとると、図3のようになった。この図より、原点 O での2枚のガラス板の隙間は d であり、また、上部ガラス板は下部ガラス板に対し角度 θ 傾いていることがわかる。この θ は十分に小さく、 $\sin \theta \approx \theta$ 、 $\cos \theta \approx 1$ という近似式が使用できるものとする。

いま、上部ガラス板の真上から波長 λ_A の単色光を y 軸に対して平行に入射させ、真上から観測したところ、平行で等間隔の明暗の縞模様が見えた。 $x = 0$ および $x = a$ の位置には暗線が見えた。空気の屈折率を1として、以下の問いに答えよ。

問1 原点 O から数えて m 番目(原点 O の暗線は0番目)の暗線が $x = x_m$ に現れるための条件を、 θ 、 λ_A 、 $m(m = 0, 1, 2, \dots)$ 、 x_m を用いて表せ。

問2 隣り合う暗線の間隔が Δx であったとする。 Δx を θ と λ_A を用いて表せ。

問3 $0 \leq x \leq a$ の範囲に暗線が全部で N_A 本見えた。暗線の間隔 Δx を、 a 、 N_A を用いて表せ。また、 θ を a 、 N_A 、 λ_A を用いて表せ。

次に、上部ガラス板の真上から入射させる単色光の波長を、 λ_A から徐々に長くしながら真上から観測した。その結果、単色光の波長を λ_B としたとき ($\lambda_A < \lambda_B$) に再び $x = 0$ の位置が暗線となり、平行で等間隔の明暗の縞模様が見られることがわかった。このとき、 $x = a$ の位置にも暗線が見えた。 $0 \leq x \leq a$ の範囲に見えた暗線の総数を N_B として、問いに答えよ。

問4 N_B を λ_A 、 λ_B 、 N_A を用いて表せ。

問5 隙間 d を λ_A 、 λ_B を用いて表せ。

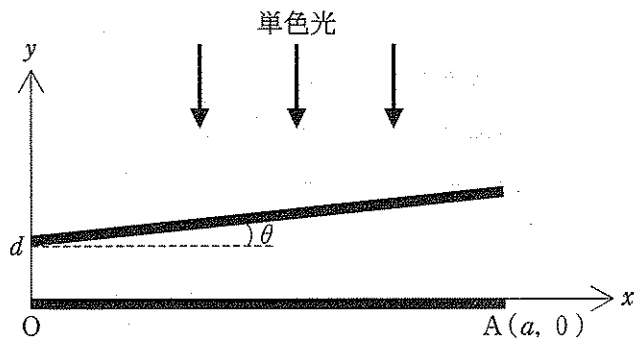


图 3

4 図4に示すように、断面積が等しく、なめらかに動くピストンのついた2つのシリンダーA、Bを水平な床の上に固定した。両シリンダーに同種の単原子分子理想気体(定積モル比熱を C_V とする)を1 mol ずつ入れてピストンで閉じこめ、ピストンどうしを伸び縮みしない棒でつないだ。シリンダーの壁とピストンは断熱材でできているが、両シリンダーの底部は熱を通すようになっていて、温度調節器が取り付けられている。はじめ、シリンダーA内とシリンダーB内の両気体(以下、気体A、気体Bとよぶ)の状態はともに圧力 p_0 、体積 V_0 、温度 T_0 であり、これらに以下の2つの過程を経る変化をさせた。問いに答えよ。

過程1：気体Bの温度を T_0 に保ちながら、気体Aを加熱し、気体Bの圧力をはじめての圧力 p_0 の α 倍($1 < \alpha < 1.5$)にした。これを状態1とする。

問1 状態1での気体Aの体積と温度を求めよ。

問2 過程1における気体Aの内部エネルギーの変化量を求めよ。

過程2：状態1から、気体Aは温度が変化しないように調節しながら加熱し、気体Bは冷却して、両気体の圧力をはじめての圧力 p_0 と同じにした。これを状態2とする。

問3 状態2での気体Aの体積を求めよ。

問4 状態2での気体Bの温度を求めよ。

問5 過程2における気体Bの内部エネルギーの変化量を求めよ。

問 6 過程 1 における気体 A の状態変化(㉞とする)と過程 2 における気体 B の状態変化(㉟とする)を表す体積 V と圧力 p の関係を、ともに $\alpha = 1.25$ としてグラフに示せ。対応するグラフに㉞, ㉟の記号を添え、変化の向きを矢印で示せ。

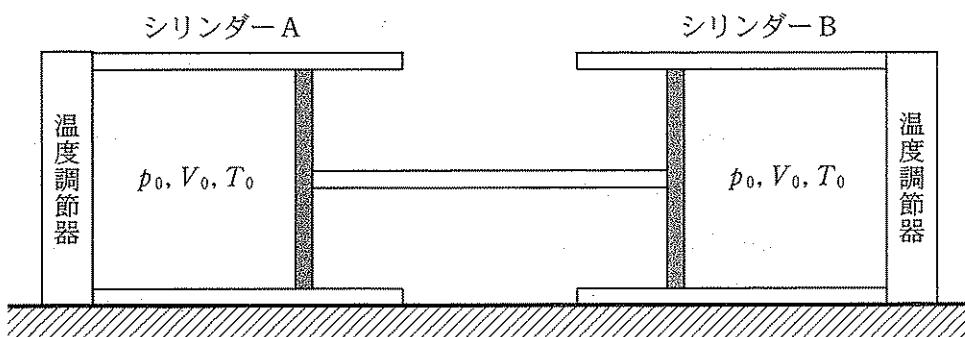


図 4

5 次の文中の(①)~(⑯)に入る適切な語句や記号, 数値, 数式を答えよ。

天然に存在する原子核には, ウランUやトリウムThなど, 不安定なものがあり, これらは放射線を出しながら, 別の原子核に変わっていく。たとえば, ${}^{232}_{90}\text{Th}$ は(①)原子核の流れである α 線を放出する α 崩壊や, (②)の流れである β 線を放出する β 崩壊を繰り返しながら最終的には安定な ${}^{208}_{82}\text{Pb}$ に変化する。この間に α 崩壊は(③)回, β 崩壊は(④)回起きる。 β 崩壊に際しては, 原子核内では(⑤)から(⑥)へと核子が変わっている。この崩壊系列はトリウム系列とよばれ, 質量数が(⑦)という特徴をもつ。なお, α 崩壊や β 崩壊で生じる新しい原子核がエネルギーの高い(⑧)状態にある場合には, 余分なエネルギーを(⑨)である γ 線として放出し, よりエネルギーの低い状態へと変化する。

α 線, β 線, γ 線のうち, 電離作用が最も強いものは(⑩)であり, 透過力が最も強いものは(⑪)である。

原子核が崩壊によって他の原子核へと変化するとき, もとの原子核の数が半分になるまでの時間のことを(⑫)といい, この(⑫)は原子核の種類によって異なる。はじめの原子核の数を N_0 , 時間 t 後に崩壊せずに残っている原子核の数を N , (⑫)を T とすると, $N = (⑬)$ と表すことができる。単位時間あたりの崩壊数は放射能の強さに相当し, N に比例する。すなわち, 放射能の強さを A とすると $A = \lambda N$ と表される。このときの比例定数 λ は崩壊定数とよばれ, $\lambda = \frac{\log_e 2}{T}$ (e は自然対数の底)で表される。 N が同じであれば, (⑫)が長いものほど放射能が(⑭), (⑫)が短いものほど放射能が(⑮)といえる。なお, 放射能の強さを表す際には(⑯)という単位を用いる。