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($0 \leqq r \leqq R$)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　$B = 0.50\,\mathrm{T}$，$\omega = 88\,\mathrm{rad/s}$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。$\dfrac{F}{f}$の値を有効数字2桁で求めよ。ただし，電子の比電荷$\dfrac{e}{m} = 1.76 \times 10^{11}\,\mathrm{C/kg}$とする。

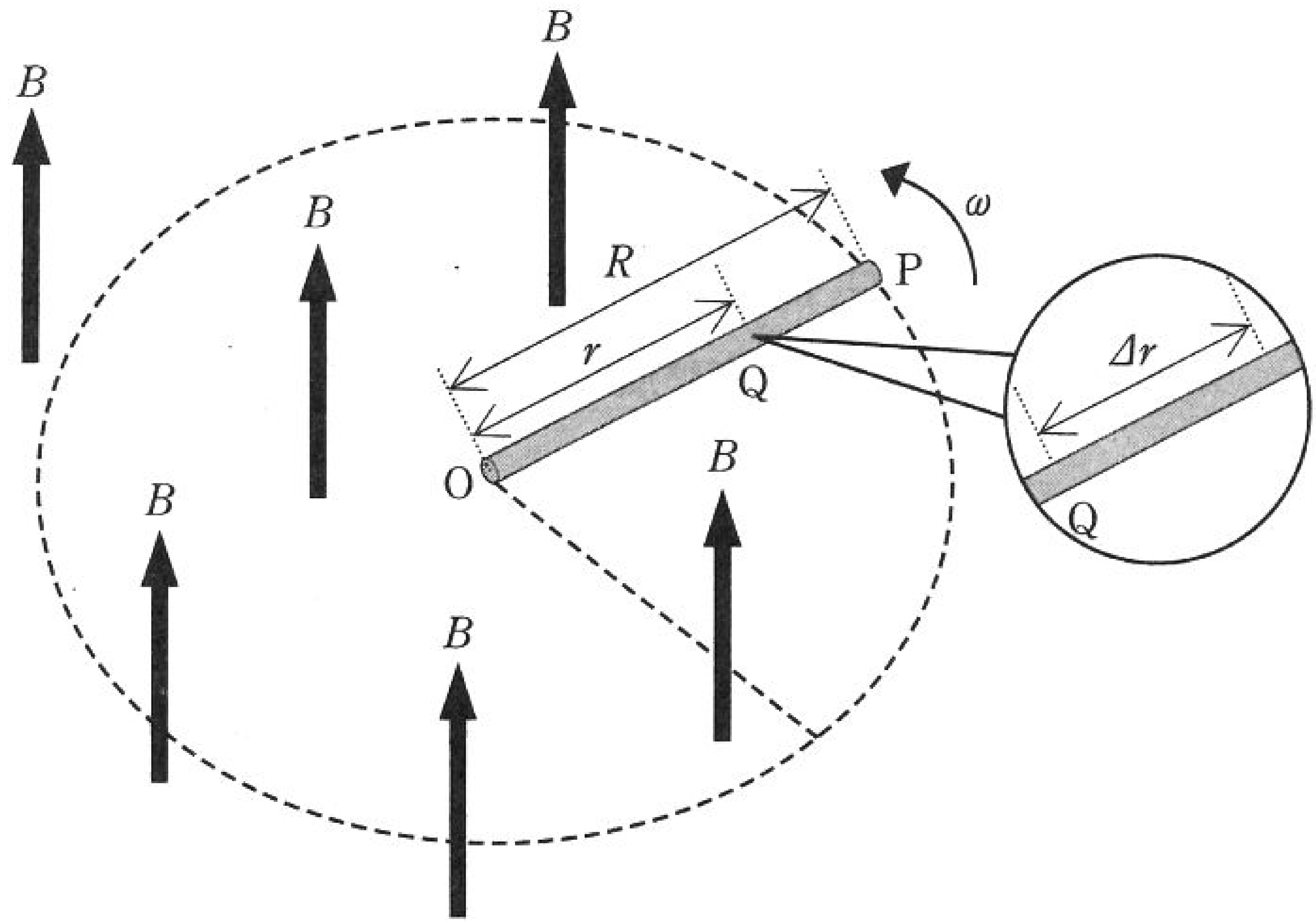

図 1

2 質量 m_{p} の惑星探査船(以下，探査船)と質量 $M_0(> m_{\mathrm{p}})$ の本体からなる全質量 $M(= M_0 + m_{\mathrm{p}})$ 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} の密度が一様な球で，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 $GM_{\mathrm{E}} = gR^2$ 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できるために必要な 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 $\dfrac{v_C}{v_B}$ を求めよ。また，v_B を g, R を用いて表せ。

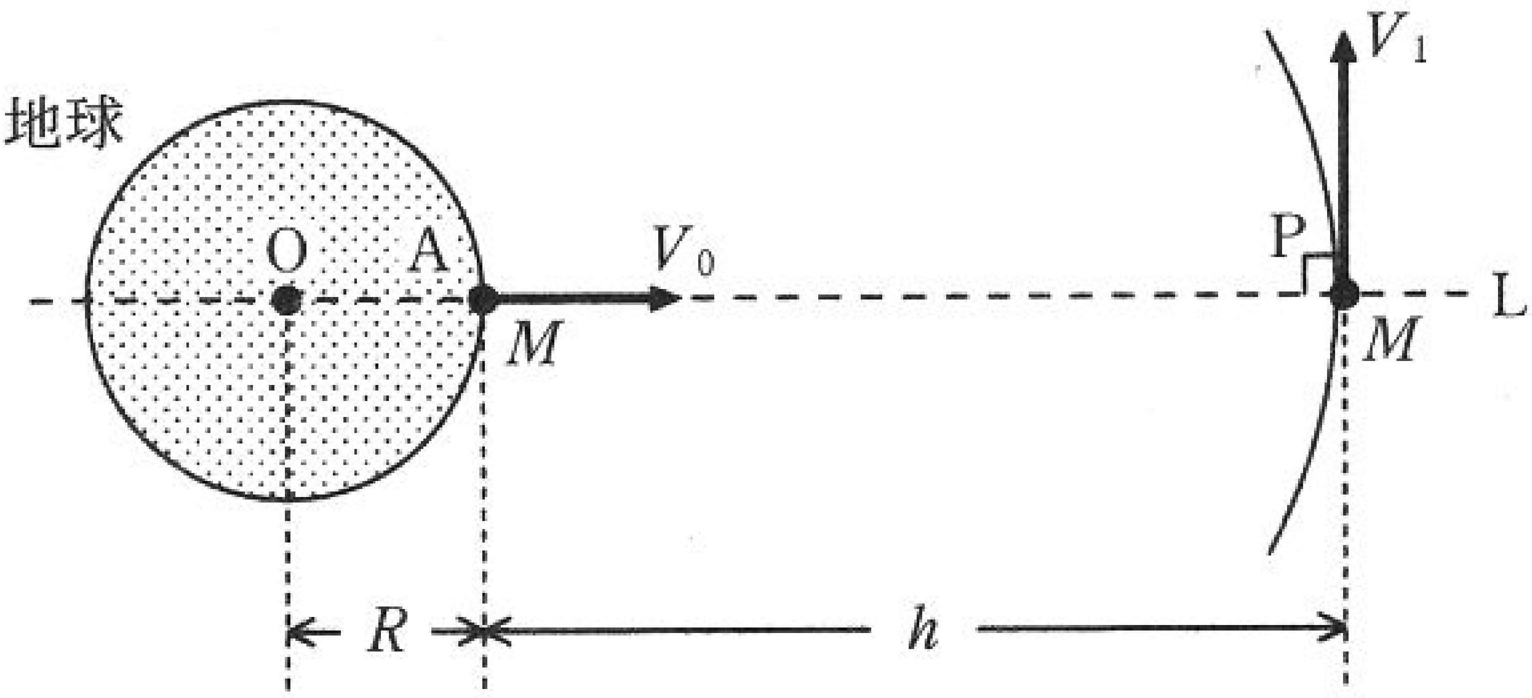

図 2－1

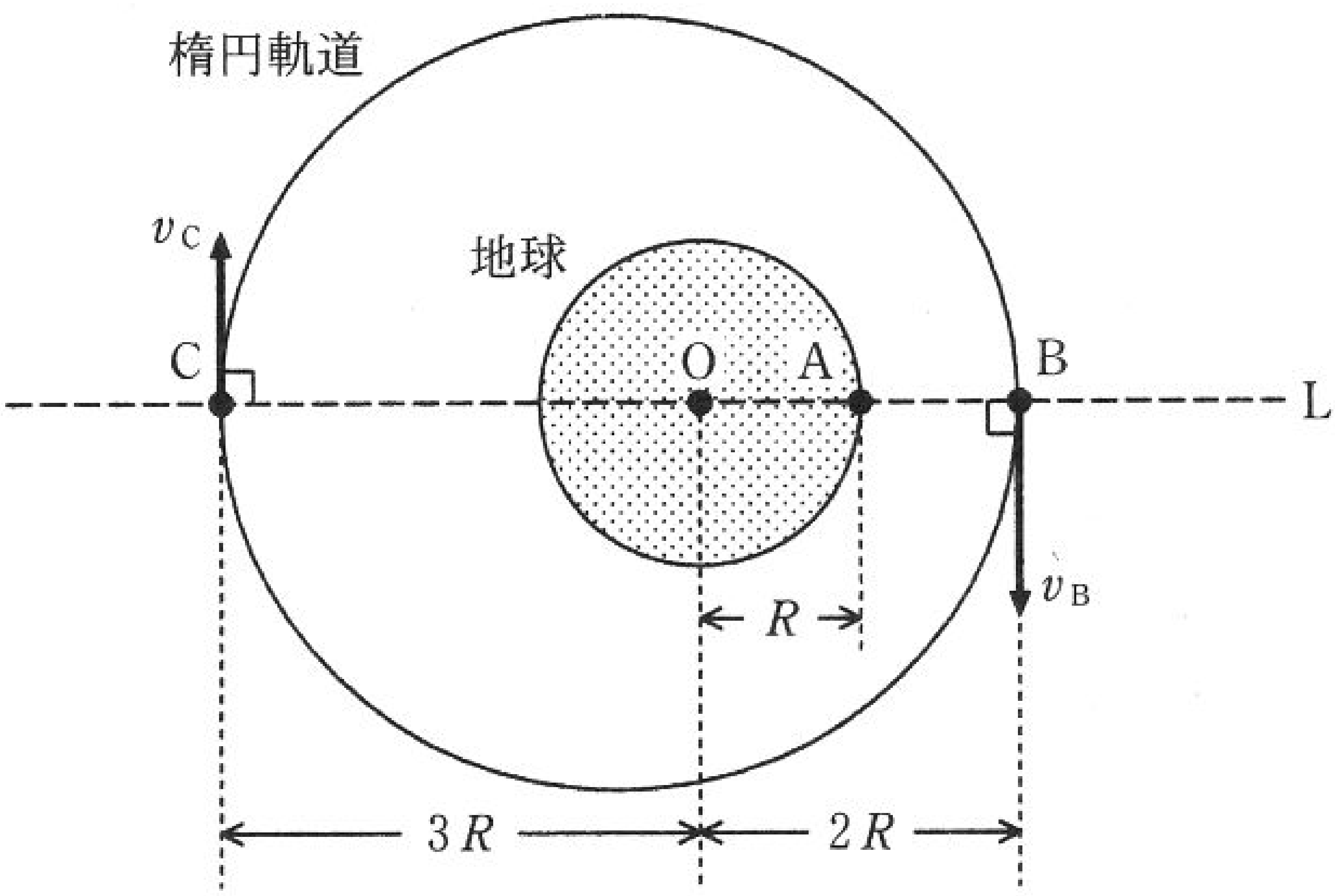

図 2－2

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，$\sin\theta \fallingdotseq \theta$，$\cos\theta \fallingdotseq 1$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，$m(m = 0, 1, 2, \cdots)$，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　$0 \leqq x \leqq a$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現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。$0 \leqq x \leqq a$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。

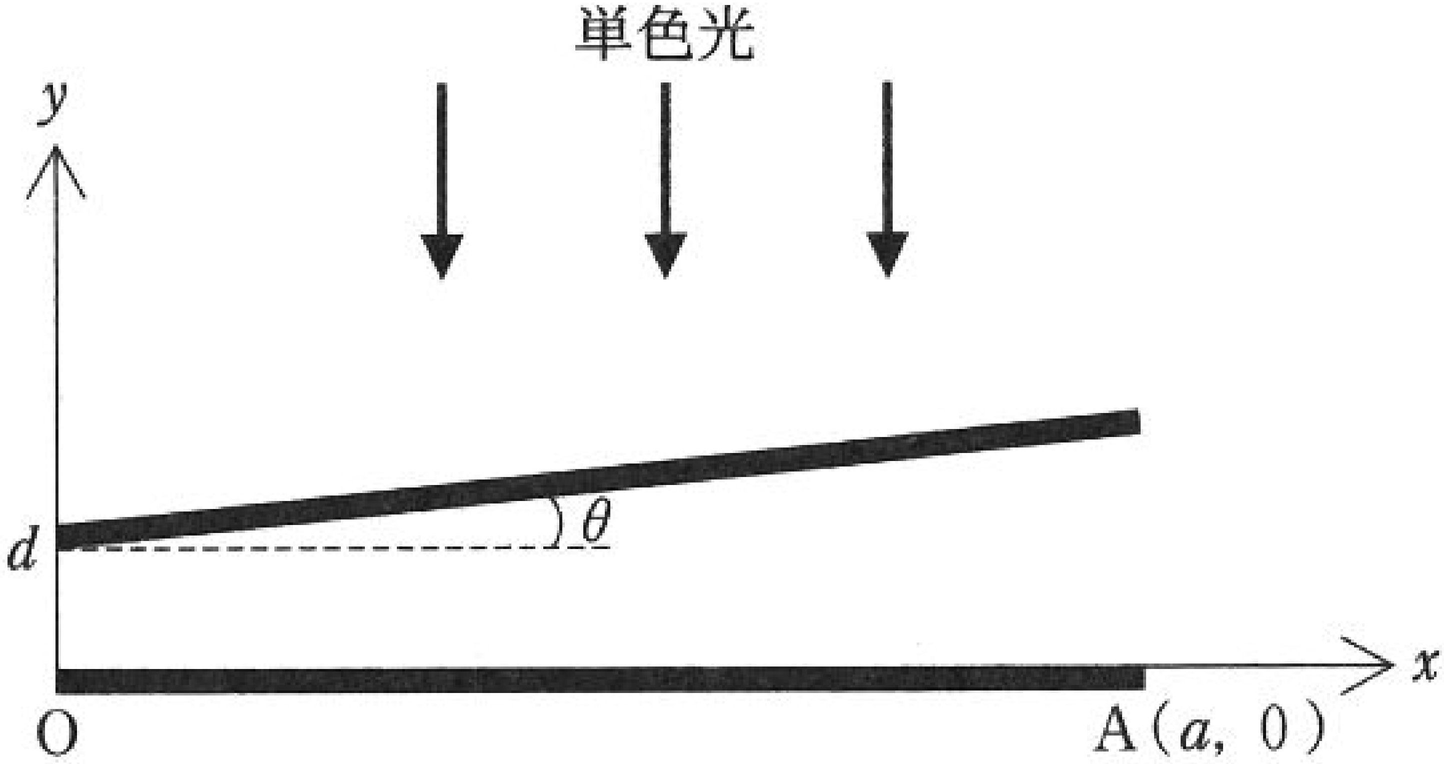

図 3

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，温度調節器が取りつけられている。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(㋐とする)と過程2における気体Bの状態変化(㋑とする)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。対応するグラフに㋐，㋑の記号を添え，変化の向きを矢印で示せ。

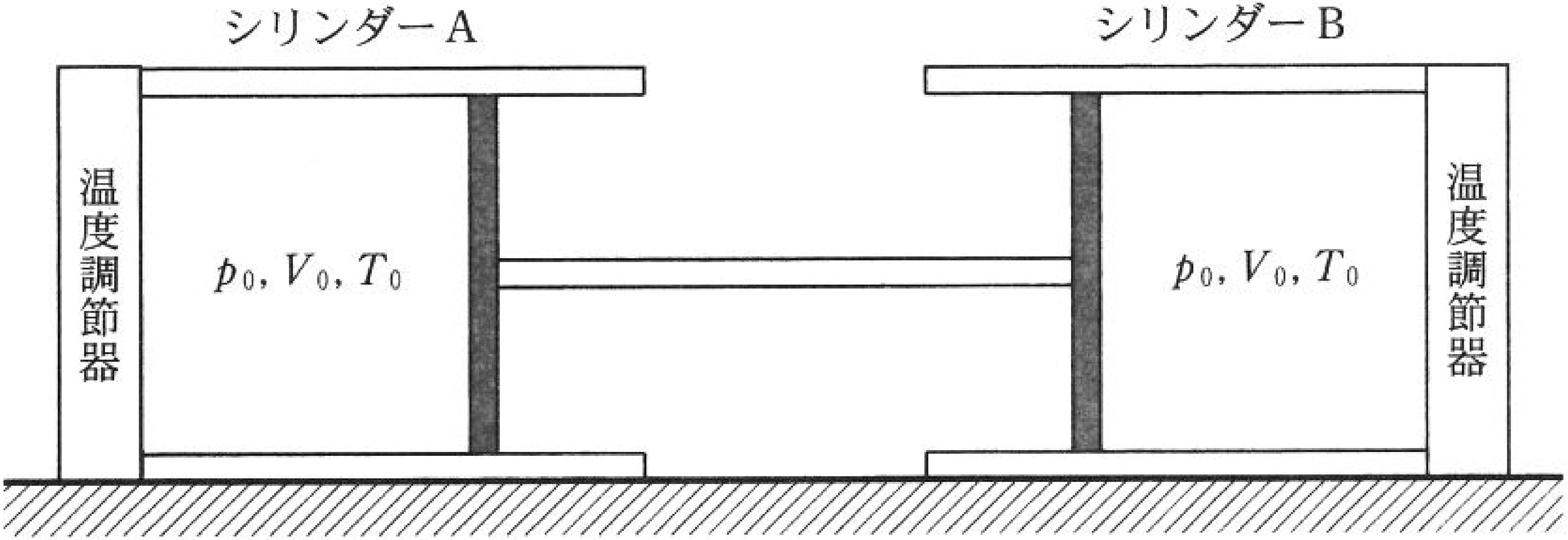

図4

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，${}^{232}_{90}\mathrm{Th}$ 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 ${}^{208}_{82}\mathrm{Pb}$ 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　）へと核子が変化している。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，$\lambda = \dfrac{\log_e 2}{T}$（$e$ 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。