2019年度 〔試験時間　80分〕

Q 3　物　理

この冊子は，物理の問題で１ページより 35 ページまであります。

〔注　　意〕

(1) 試験開始の指示があるまで，この冊子を開いてはいけません。

(2) 監督者から受験番号等記入の指示があったら，解答用マークシートに受験番号と氏名を記入し，さらに受験番号をマークしてください。

(3) 解答は，所定の解答用マークシートにマークしたものだけが採点されます。

(4) 解答用マークシートについて

① 解答用マークシートは，絶対に折り曲げてはいけません。

② マークには黒鉛筆（ＨＢまたはＢ）を使用してください。
　指定の黒鉛筆以外でマークした場合，採点できないことがあります。

③ 誤ってマークした場合は，消しゴムで丁寧に消し，消しくずを完全に取り除いたうえ，新たにマークしてください。

④ 解答欄のマークは，横１行について１箇所に限ります。
　２箇所以上マークすると採点されません。
　あいまいなマークは無効となるので，はっきりマークしてください。

⑤ 解答用マークシートに記載されている解答上の注意事項を，必ず読んでから解答してください。

(5) 試験開始の指示があったら，初めに問題冊子のページ数を確認してください。
　ページの落丁・乱丁，印刷不鮮明等に気づいた場合は，手を挙げて監督者に知らせてください。

(6) 問題冊子は，試験終了後，持ち帰ってください。

（下書き用紙）

（下書き用紙）

1 次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき正しい答をそれぞれの**解答群**の中から選び，その番号を**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。必要なら，同一番号を繰り返し用いてよい。 (25点)

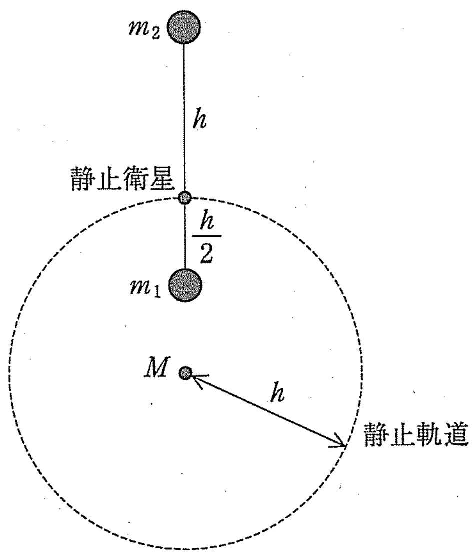
万有引力を受けて運動している物体について考える。万有引力は，地球との万有引力のみを考える。地球を半径 R〔m〕，質量 M〔kg〕の球として，万有引力定数を G〔N·m^2/kg^2〕とする。また地球の自転の角速度を ω〔rad/s〕とする。なお，地球に関する万有引力を考えるときは，地球を，地球の中心に位置する質量 M の質点に置き換えてよい。また大気による摩擦や公転の影響は考えない。

(1) 地球の地表すれすれの円軌道を回っている物体では，万有引力と向心力が等しくなっている。このときの物体の速さは $\boxed{(ア)}$ 〔m/s〕である。

(2) 地表から打ち上げられた物体が，地球の重力圏から抜け出して，無限遠に飛んでいくためには，物体の初速度の大きさを $\boxed{(イ)}$ 〔m/s〕以上にすればよい。

(3) 物体が赤道上空で，地球の自転周期と同じ周期で円運動する軌道(静止軌道)の半径(地球の中心から静止軌道までの距離) h〔m〕は $\boxed{(ウ)}$ 〔m〕である。このとき物体の速さは $\boxed{(エ)}$ 〔m/s〕である。

赤道上空の静止軌道を周回している静止衛星から，図のように地球に向かう方向と，地球から遠ざかる方向に，丈夫なワイヤーで，それぞれおもりをつないだ。地球側のおもりと静止衛星の間の距離が $\frac{h}{2}$，地球と反対側のおもりと静止衛星の間の距離が h のとき，静止衛星に働く二つの張力がつりあい，ワイヤーはたわまず，二つのおもりをむすぶ方向は常に地球の中心と静止衛星をむすぶ方向と一致した状態で，静止衛星と二つのおもりは同じ角速度 ω で等速円運動を行った。静止衛星から地球側のおもりの質量を m_1〔kg〕，地球と反対側のおもりの質量を m_2〔kg〕とし，ワイヤーの質量はゼロとする。おもりは質点と考えてよく，静止衛星の質量および m_1，m_2 は M よりじゅうぶん小さい。



図

(4) 静止衛星にはたらく二つの張力がつりあい，静止衛星が静止軌道にとどまるためには，m_2 は m_1 の $\boxed{\text{(オ)}}$ 倍でなければならない。また，静止衛星と質量 m_1 のおもりを結ぶワイヤーにはたらく張力は m_1 を用いて

$\boxed{\text{(カ)}} \times \boxed{\text{(キ)}} \times m_1$〔N〕である。

(5) 静止衛星から地球と反対側にワイヤー上の距離 x〔m〕$(0 < x < h)$ だけ離れたところに小物体が付着していた。この小物体が，ワイヤーから静かに離れた。離れた瞬間は，小物体はワイヤーに垂直な方向に運動した。小物体の質量は m_1，m_2 や静止衛星の質量よりじゅうぶん小さく，小物体が離れても，おもり，ワイヤー，静止衛星からなる系の運動は変化しないとする。

ワイヤーから離れた小物体が，地球の重力圏から抜け出し，無限遠まで飛んでいくためには，x は $x \geqq \boxed{\text{(ク)}} \times h$ の条件を満たさなければならない。

x が $0 < x < \boxed{\text{(ク)}} \times h$ の条件を満たすとき，ワイヤーから離れた小物体は，地球の中心を焦点とする楕円軌道を描く。この楕円軌道においては，小物体をワイヤーから離した地点が近地点(最も地球に近づいた地点)となっている。いま，近地点における地球の中心から小物体までの距離は，遠地点(最も地球から離れた地点)における地球の中心からの距離の半分になった。このとき，遠地点における小物体の速さは，近地点における速さの $\boxed{\text{(ケ)}}$ 倍となる。このような楕円軌道を描くのは x が $\boxed{\text{(コ)}} \times h$ のときである。

（下書き用紙）

(ア), (イ)の解答群

0 $\sqrt{GM}$ 　 1 $\sqrt{2GM}$ 　 2 $\sqrt{\dfrac{GM}{2}}$ 　 3 $2\sqrt{GM}$

4 $\dfrac{\sqrt{GM}}{2}$ 　 5 $\sqrt{\dfrac{GM}{R}}$ 　 6 $\sqrt{\dfrac{2GM}{R}}$ 　 7 $\sqrt{\dfrac{GM}{2R}}$

8 $2\sqrt{\dfrac{GM}{R}}$ 　 9 $\dfrac{1}{2}\sqrt{\dfrac{GM}{R}}$

(ウ), (エ), (キ)の解答群

00 $(GM\omega)^{\frac{1}{3}}$ 　 01 $(2GM\omega)^{\frac{1}{3}}$ 　 02 $\left(\dfrac{GM\omega}{2}\right)^{\frac{1}{3}}$

03 $2(GM\omega)^{\frac{1}{3}}$ 　 04 $\dfrac{1}{2}(GM\omega)^{\frac{1}{3}}$ 　 05 $\dfrac{1}{\omega}(GM\omega)^{\frac{1}{3}}$

06 $\dfrac{1}{\omega}(2GM\omega)^{\frac{1}{3}}$ 　 07 $\dfrac{1}{\omega}\left(\dfrac{GM\omega}{2}\right)^{\frac{1}{3}}$ 　 08 $\dfrac{2}{\omega}(GM\omega)^{\frac{1}{3}}$

09 $\dfrac{1}{2\omega}(GM\omega)^{\frac{1}{3}}$ 　 10 $\omega(GM\omega)^{\frac{1}{3}}$ 　 11 $\omega(2GM\omega)^{\frac{1}{3}}$

12 $\omega\left(\dfrac{GM\omega}{2}\right)^{\frac{1}{3}}$ 　 13 $2\omega(GM\omega)^{\frac{1}{3}}$ 　 14 $\dfrac{\omega}{2}(GM\omega)^{\frac{1}{3}}$

(オ)の解答群

0 1 　 1 2 　 2 4 　 3 8

4 $\dfrac{1}{2}$ 　 5 $\dfrac{1}{4}$ 　 6 $\dfrac{1}{8}$

(カ), (ケ)の解答群

0 $\dfrac{1}{2}$ 　 1 1 　 2 $\dfrac{3}{2}$ 　 3 2 　 4 $\dfrac{5}{2}$

5 3 　 6 $\dfrac{7}{2}$ 　 7 4 　 8 $\dfrac{9}{2}$ 　 9 5

(ク), (コ)の解答群

00 1 01 $\sqrt{\frac{4}{3}}-1$ 02 $\sqrt{\frac{4}{3}}+1$ 03 $\sqrt{\frac{5}{3}}-1$

04 $\sqrt{\frac{5}{3}}+1$ 05 $\sqrt{2}-1$ 06 $\sqrt{2}+1$ 07 $\left(\frac{4}{3}\right)^{\frac{1}{3}}-1$

08 $\left(\frac{4}{3}\right)^{\frac{1}{3}}+1$ 09 $\left(\frac{5}{3}\right)^{\frac{1}{3}}-1$ 10 $\left(\frac{5}{3}\right)^{\frac{1}{3}}+1$ 11 $2^{\frac{1}{3}}-1$

12 $2^{\frac{1}{3}}+1$

2 次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき正しい答をそれぞれの**解答群**の中から選び，その番号を**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。必要なら，同一番号を繰り返し用いてよい。　(25 点)

(1) **図 1** のように面積が等しい 2 枚の金属板を平行に向かい合わせ，平行板コンデンサーを作る。金属板の面積は S〔m^2〕，間隔は d〔m〕であり，端の効果は無視できる。真空の誘電率を ε_0〔F/m〕とすると，このコンデンサーの電気容量は $\boxed{(ア)}$〔F〕である。

図 1

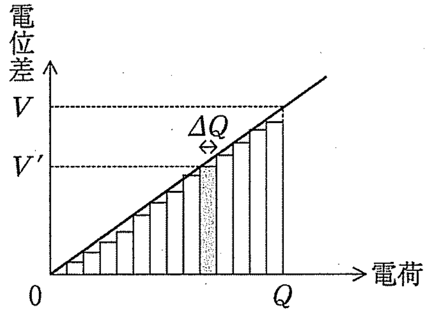


図 2

この平行板コンデンサーの上側の金属板に電荷 Q〔C〕> 0，下側の金属板に $-Q < 0$ を与えたとき，金属板の間の電場の大きさ E_0〔N/C〕は $\boxed{(イ)}$ $\times Q$ である。

初めに電荷がゼロであったこの平行板コンデンサーで，上下の金属板にそれぞれ電荷 Q，$-Q$ を蓄えるのに必要な仕事は，以下のように求められる。電荷を下側から上側の金属板に移動している途中で金属板間の電位差が V'〔V〕になったとき，小さな電荷 ΔQ〔C〕を下側の金属板から上側の金属板に移動するのに必要な仕事は，この間の電位差が一定であるとみなして，$\Delta QV'$ となる。**図 2** のように，横軸を電荷，縦軸を電位差とすると，$\Delta QV'$ は幅の狭い長方形の面積となる。電位差は電荷に対する一次関数となるので，平行板コンデンサーを電荷 Q まで充電するのに必要な全仕事 W_0〔J〕は，**図 2** の長方形の面積の総和になる。ΔQ を限りなく小さくとると，これは三角形の面積となり，Q と V を電場の大きさ E_0 を用いて表すことにより W_0 は $\boxed{(ウ)}$ $\times$ $\boxed{(エ)}$ $\times E_0^2$ となる。

(2)　図3のように，(1)と同じ金属板を3枚，互いに平行に置いて固定した。間隔はいずれも d とする。すべての金属板の電荷がゼロの状態から，上側の金属板に $-Q$，中央に $2Q$，下側に $-Q$ の電荷を蓄えるのに要する仕事を考える。まず，下側の金属板から中央の金属板に電荷 Q を移動させる。このときに必要な仕事は $\boxed{\text{(オ)}}$ $\times W_0$ となる。次にこの状態から，上側の金属板から中央の金属板に電荷 Q を移動させる。このときに必要な仕事は $\boxed{\text{(カ)}}$ $\times W_0$ となる。以上より $\boxed{\text{(オ)}}$ $\times W_0$ と $\boxed{\text{(カ)}}$ $\times W_0$ を加えたものが求める仕事である。

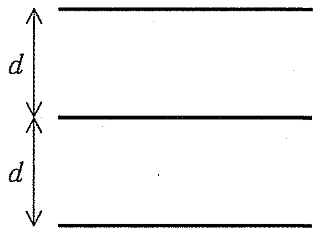


図3

(3)　図4のように，(1)と同じ金属板を3枚，互いに平行に置いて固定した。間隔は，上側と中央の板の間が$(d+x)$〔m〕，中央と下側の板の間が$(d-x)$〔m〕となっている。ただし$d>x>0$である。それぞれの金属板の電荷がゼロの状態から，上側に$2Q$，中央に$-Q$，下側に$-Q$の電荷を蓄えるのに要する仕事を考える。まず，下側の金属板から上側の金属板に電荷Qを移動させる。このときに必要な仕事は $\boxed{\text{(キ)}}$ $\times W_0$となる。次にこの状態から，中央の金属板から上側の金属板に電荷Qを移動させる。中央の金属板から上側の金属板に電荷q〔C〕$(0<q<Q)$だけ移動させたとき，つまり上側の金属板に電荷$Q+q$があるときの，上側の金属板と中央の金属板の間の電場の大きさは $\boxed{\text{(ク)}}$ $\times E_0$である。qを0からQまで変化させたときの，下側の金属板に対する上側の金属板の電位をグラフに書くと $\boxed{\text{(ケ)}}$ のようになる。よって，中央の金属板から上側の金属板に電荷Qを移動させるときに必要な仕事は $\boxed{\text{(コ)}}$ $\times$ $\boxed{\text{(サ)}}$ $\times W_0$となる。以上より $\boxed{\text{(キ)}}$ $\times W_0$と $\boxed{\text{(コ)}}$ $\times$ $\boxed{\text{(サ)}}$ $\times W_0$を加えたものが求める仕事である。また，この結果より，中央の金属板には $\boxed{\text{(シ)}}$ 方向に $\boxed{\text{(ス)}}$ $\times \dfrac{W_0}{d}$〔N〕の大きさの力が働いていることが分かる。

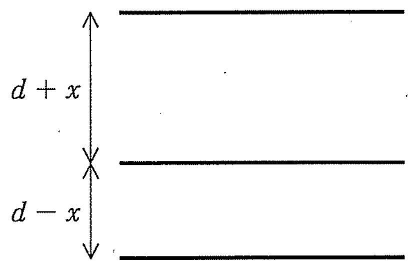


図4

(ア), (イ), (エ)の解答群

00 ε_0	01 S	02 d	03 Sd
04 $\varepsilon_0 Sd$	05 $\varepsilon_0 S$	06 $\varepsilon_0 d$	07 $\dfrac{1}{\varepsilon_0 S}$
08 $\dfrac{1}{\varepsilon_0 d}$	09 $\dfrac{1}{\varepsilon_0 Sd}$	10 $\dfrac{d}{\varepsilon_0 S}$	11 $\dfrac{S}{\varepsilon_0 d}$
12 $\varepsilon_0 \dfrac{d}{S}$	13 $\varepsilon_0 \dfrac{S}{d}$		

(ウ), (オ), (カ), (キ), (コ), (ス)の解答群

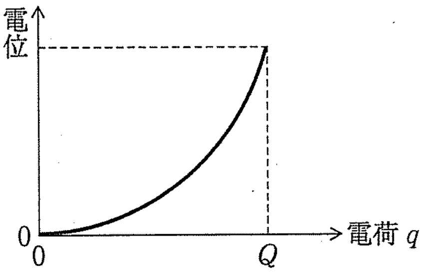
0 0	1 $\dfrac{1}{2}$	2 1	3 $\dfrac{3}{2}$	4 2
5 $\dfrac{5}{2}$	6 3	7 $\dfrac{7}{2}$	8 4	9 $\dfrac{9}{2}$

(ク)の解答群

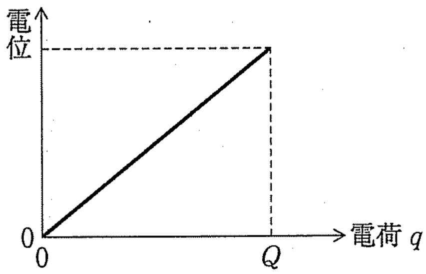
00 $\dfrac{q}{2Q}$	01 $\dfrac{q+Q}{2Q}$	02 $\dfrac{q}{Q}$	03 $\dfrac{q+Q}{Q}$
04 $\dfrac{Q}{q}$	05 $\dfrac{Q}{q+Q}$	06 $\dfrac{2Q}{q}$	07 $\dfrac{2Q}{q+Q}$
08 $\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{q}{Q}\right)^2$	09 $\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{q+Q}{Q}\right)^2$	10 $\left(\dfrac{q}{Q}\right)^2$	11 $\left(\dfrac{q+Q}{Q}\right)^2$
12 $\left(\dfrac{Q}{q}\right)^2$	13 $\left(\dfrac{Q}{q+Q}\right)^2$	14 $2\left(\dfrac{Q}{q}\right)^2$	15 $2\left(\dfrac{Q}{q+Q}\right)^2$

(ケ)の解答群

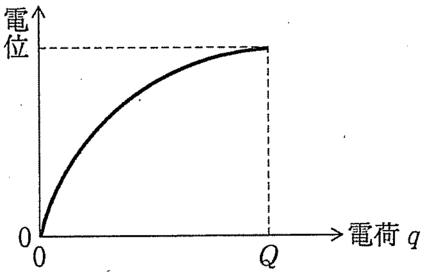
0



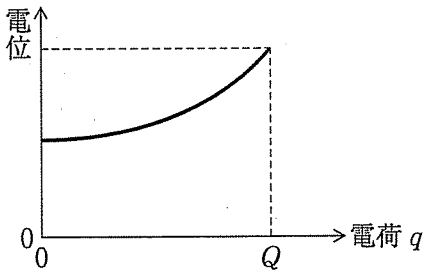
1



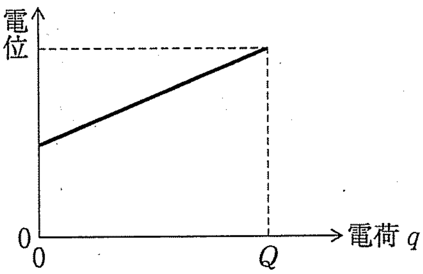
2



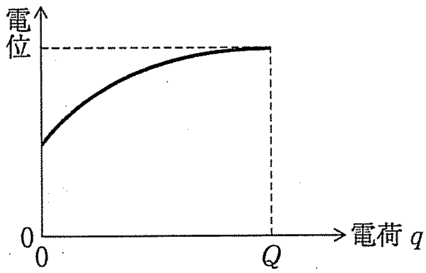
3



4



5



(サ)の解答群

0 $\dfrac{d+x}{d}$　　1 $\dfrac{d-x}{d}$　　2 $\dfrac{d+x}{x}$

3 $\dfrac{d-x}{x}$　　4 $\left(\dfrac{d+x}{d}\right)^2$　　5 $\left(\dfrac{d-x}{d}\right)^2$

6 $\left(\dfrac{d+x}{x}\right)^2$　　7 $\left(\dfrac{d-x}{x}\right)^2$　　8 $\left(\dfrac{d+x}{d}\right)\left(\dfrac{d-x}{d}\right)$

9 $\left(\dfrac{d+x}{x}\right)\left(\dfrac{d-x}{x}\right)$

(シ)の解答群

0 上　　1 下

（下書き用紙）

（下書き用紙）

3 次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき正しい答をそれぞれの**解答群**の中から選び，その番号を**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。必要なら同一番号を繰り返し用いてよい。　　(25点)

図1のように，西側の平地(A，標高0 m)から山すそに沿って上昇した空気のかたまりが，B地点(標高1000 m)から山頂(C，標高2000 m)において雲を形成し雨を降らせ，山頂を越えるときには雲粒(水滴)を含まない空気になったとする。この空気が山を越えて吹き降りて東側の平地(D，標高0 m)に達したとき，A地点と比べて空気のかたまりの温度が何度上昇するか考えよう。また，大気に仕切りはないが，その一部分の空気のかたまりについて，ある体積 V〔$\mathrm{m^3}$〕，圧力 p〔Pa〕，温度 T〔K〕，物質量 n〔mol〕を用いて表現できるとし，これを気塊と呼ぶことにする。気塊は大気中をじゅうぶんゆっくり移動するので，V，p，T などはゆっくり変化するとしてよい。気塊が地点A，B，C，Dにあるときの温度をそれぞれ T_A〔K〕，T_B〔K〕，T_C〔K〕，T_D〔K〕とする。空気1 molあたりの質量を $M = 29.0 \times 10^{-3}$ kg/mol，重力加速度の大きさを $g = 9.81\ \mathrm{m/s^2}$ とする。また，気体定数を $R = 8.31$ J/(mol·K)，空気の定積モル比熱を $C_v = 20.8$ J/(mol·K) とする。理想気体の定圧モル比熱は $C_p = C_v + R$ で与えられる。設問(ク)，(ケ)，(コ)はもっとも近い値を選びなさい。

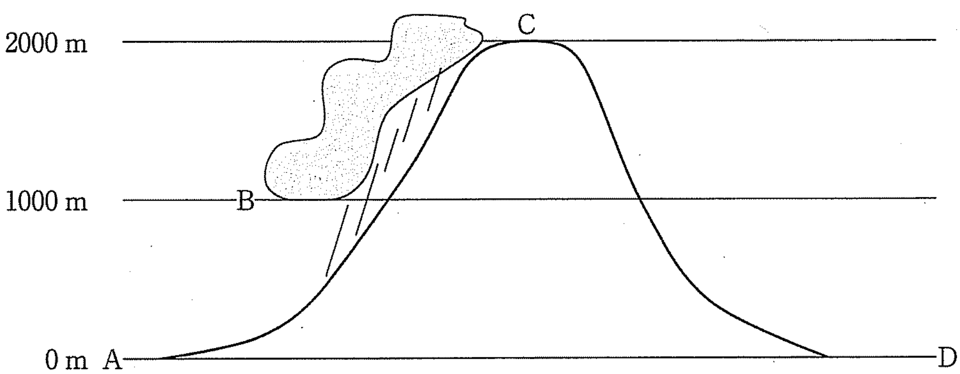


図1

（下書き用紙）

(1)　まず理想気体の状態方程式を考える。物質量 n の理想気体の体積を V, 圧力を p とすると，その温度は気体定数 R を用いて，$T=$ $\boxed{\text{(ア)}}$ と表される。状態がわずかに変化して体積が $V+\Delta V$, 圧力が $p+\Delta p$ に変わったとき，温度が $T+\Delta T$ に変わったとする。ここで，$|\Delta p|$, $|\Delta V|$, $|\Delta T|$ はそれぞれ p, V, T に対してじゅうぶんに小さい量である。これらに理想気体の状態方程式を適用し，微小量どうしの積は非常に小さいと考えて無視すると，

$$p\Delta V+V\Delta p=\boxed{\text{(イ)}} \qquad (\text{式 I})$$

となる。

物質量 n の理想気体が Q の熱を受けてそのために温度が ΔT だけ上昇し，体積が ΔV だけ膨張したとすると，定積モル比熱 C_v を用いて，

$$Q=\boxed{\text{(ウ)}}+p\Delta V$$

と表される。(式 I)を用いて ΔV を消去すると

$$Q=\boxed{\text{(エ)}}-V\Delta p \qquad (\text{式 II})$$

となる。

(ア)の解答群

0　$nRpV$　　1　$\dfrac{nR}{pV}$　　2　$\dfrac{RpV}{n}$　　3　$\dfrac{npV}{R}$　　4　$\dfrac{pV}{nR}$

(イ)の解答群

0　nRT　　1　$nR\Delta T$　　2　$nR(T+\Delta T)$　　3　$2nRT$

4　$\dfrac{nRT}{2}$　　5　$2nR\Delta T$　　6　$\dfrac{nR\Delta T}{2}$

(ウ)，(エ)の解答群

0　$C_v\Delta T$　　1　$nC_v\Delta T$　　2　$C_v\Delta T+R\Delta T$

3　$C_v\Delta T+nR\Delta T$　　4　$C_v\Delta T+2R\Delta T$　　5　$C_v\Delta T+2nR\Delta T$

6　$nC_v\Delta T+R\Delta T$　　7　$nC_v\Delta T+nR\Delta T$　　8　$nC_v\Delta T+2R\Delta T$

9　$nC_v\Delta T+2nR\Delta T$

（下書き用紙）

(2) 図1のAからBへ気塊が移動したときの温度変化を考える。このとき，気塊は水蒸気を含んでいるが，その影響は無視して理想気体の結果を適用してよい。気塊が山を登るとき，地表面からの鉛直方向の高さ(以下，高度と呼ぶ)によって大気圧が異なる。いま，図2に示すような底面が単位面積の気塊の柱(気柱)を考え，高度z〔m〕における気圧をp_0〔Pa〕，$z + \Delta z$〔m〕における気圧を$p_0 + \Delta p$〔Pa〕とすると，高度差Δz〔m〕による気圧の差は図2の斜線部内の空気に働く重力によって生ずる。空気の密度をρ〔kg/m^3〕とすると，$|\Delta p| =$ $\boxed{\text{(オ)}}$ である。

気塊が上昇，下降している場合，熱の出入りによる影響よりも膨張や圧縮による影響がはるかに大きいので，断熱変化をすると仮定することができる。このとき(式Ⅱ)より　$\Delta T =$ $\boxed{\text{(カ)}}$ $\times \Delta p$である。この式に $\boxed{\text{(オ)}}$ を代入し，VとnをMとρで表すことにより

$$\frac{\Delta T}{\Delta z} = \boxed{\text{(キ)}}\ \text{〔K/m〕} \qquad \text{(式Ⅲ)}$$

となる。$\dfrac{\Delta T}{\Delta z}$は一定なので，温度の変化は高度の変化に比例する。AからBに変化するときの高度の変化は1000 mなので，

$$T_B - T_A = \boxed{\text{(ク)}}\ \text{K}$$

となる。

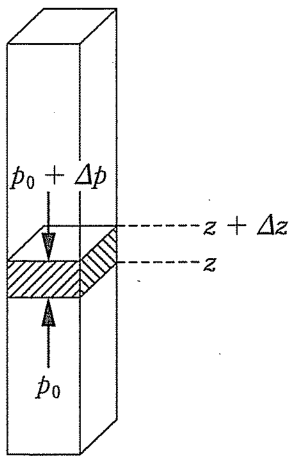


図2

（下書き用紙）

(3) BからCへ気塊が移動する場合は，水蒸気が水滴に変化して雲が生じる際に熱を放出するため，(2)の理想気体の計算をそのまま適用することはできない。その影響を考慮すると，$T_{\mathrm{C}} - T_{\mathrm{B}} = -5\mathrm{K}$ となる。一方，CからDへ移動するときは，気塊は水滴を含んでいないので，(式Ⅲ)を用いて，$T_{\mathrm{D}} - T_{\mathrm{C}} =$ $\boxed{(ケ)}$ Kとなる。よって $T_{\mathrm{D}} - T_{\mathrm{A}} =$ $\boxed{(コ)}$ Kとなる。

(オ)の解答群

0 $\rho g\Delta z$　　1 $\dfrac{\rho g\Delta z}{2}$　　2 $\dfrac{\rho g\Delta z}{4}$　　3 $2\rho g\Delta z$

4 $4\rho g\Delta z$

(カ)の解答群

0 $\dfrac{V}{nC_\mathrm{v}}$　　1 $\dfrac{nV}{C_\mathrm{v}}$　　2 $\dfrac{C_\mathrm{v}}{nV}$　　3 $\dfrac{nC_\mathrm{v}}{V}$

4 $\dfrac{V}{nC_\mathrm{p}}$　　5 $\dfrac{nV}{C_\mathrm{p}}$　　6 $\dfrac{C_\mathrm{p}}{nV}$　　7 $\dfrac{nC_\mathrm{p}}{V}$

(キ)の解答群

0 $\dfrac{Mg}{C_\mathrm{v}}$　　1 $\dfrac{C_\mathrm{v}}{Mg}$　　2 $\dfrac{Mg}{C_\mathrm{p}}$　　3 $\dfrac{C_\mathrm{p}}{Mg}$

4 $-\dfrac{Mg}{C_\mathrm{v}}$　　5 $-\dfrac{C_\mathrm{v}}{Mg}$　　6 $-\dfrac{Mg}{C_\mathrm{p}}$　　7 $-\dfrac{C_\mathrm{p}}{Mg}$

(ク), (ケ), (コ)の解答群

0　-20	1　-15	2　-10	3　-5	4　0
5　5	6　10	7　15	8　20	9　25

4 次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき正しい答をそれぞれの**解答群**の中から選び，その番号を**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。必要なら，同一番号を繰り返し用いてよい。 (25 点)

光は，音波や水面波に比べて非常に短い波長をもつ。そのため，日常生活ではあまり回折は目立たない。しかし，じゅうぶんに幅の狭いスリットを通った光や，幅の狭い領域から反射した光は回折を起こす。**図 1** のような，金属板の片面に多くの細いすじ(溝)を等間隔で平行に引いた反射型回折格子を考える。回折格子に入射した光は，すじの中では乱反射してしまうが，平らな部分で反射した光は，平らな部分が狭いため回折を起こし，他の面からの回折光と干渉を起こす。すじとすじの間隔を d〔m〕とする。なお，空気の屈折率は 1 とする。

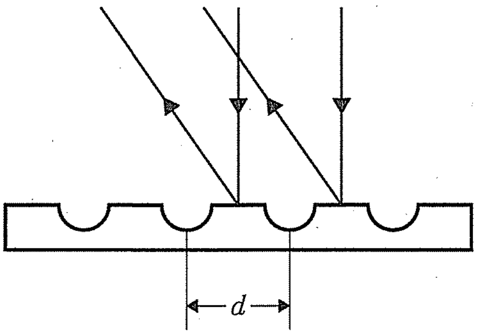


図 1

（下書き用紙）

(1) 図2のように，この回折格子から $L = 0.2\,\mathrm{m}$ 離れたところに，回折格子と平行に1枚のスクリーンを置いた。スクリーンに開けられた穴から波長 λ〔m〕の単色光が回折格子の面に垂直に入射するとき，入射光と角 θ〔rad〕($\theta > 0$)をなす方向のスクリーン上に明線が見られた。このとき，$m\lambda =$ $\boxed{\text{(ア)}}$ と表される。ここで $m = 1, 2, 3, \cdots$ である。穴の中心から最初の明線までの距離を x〔m〕とおくと，$d =$ $\boxed{\text{(イ)}}$ となる。

今，最初の明線が $x = 0.15\,\mathrm{m}$ に見られた。$d = 10^{-6}\,\mathrm{m}$ とすると，$\lambda =$ $\boxed{\text{(ウ)}}$ $\times 10^{-9}\,\mathrm{m}$ である。

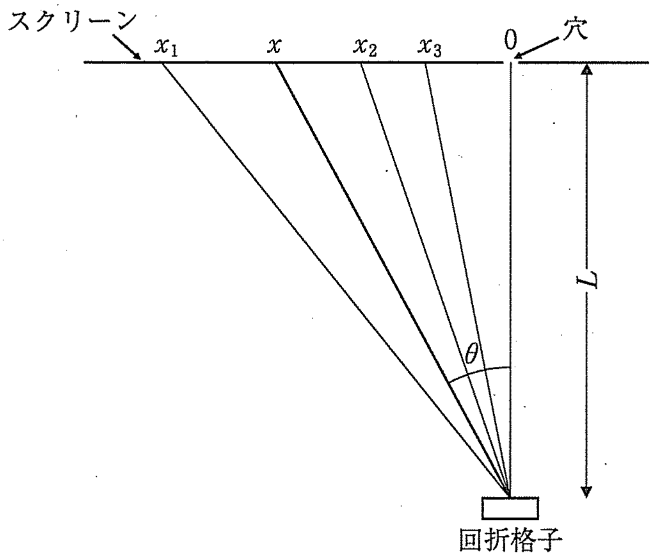


図2

(ア)の解答群

0 $d\sin\theta$　　1 $d\cos\theta$　　2 $d\tan\theta$　　3 $2d\sin\theta$

4 $2d\cos\theta$　　5 $2d\tan\theta$　　6 $\dfrac{d}{2}\sin\theta$　　7 $\dfrac{d}{2}\cos\theta$

8 $\dfrac{d}{2}\tan\theta$

(イ)の解答群

0 $\lambda\sqrt{L^2+x^2}$　　1 $\dfrac{\lambda\sqrt{L^2+x^2}}{x}$　　2 $\dfrac{\lambda\sqrt{L^2+x^2}}{L}$

3 $2\lambda\sqrt{L^2+x^2}$　　4 $\dfrac{2\lambda\sqrt{L^2+x^2}}{x}$　　5 $\dfrac{2\lambda\sqrt{L^2+x^2}}{L}$

6 $\dfrac{\lambda}{2}\sqrt{L^2+x^2}$　　7 $\dfrac{\lambda\sqrt{L^2+x^2}}{2x}$　　8 $\dfrac{\lambda\sqrt{L^2+x^2}}{2L}$

(ウ)の解答群

0 300　　1 400　　2 500　　3 600　　4 700

(2) 光源が単色光でなく，複数の波長の光を含む場合を考える。そのような場合にこの装置を用いると，スクリーンの異なる位置にそれぞれの波長に対応した色の明線が現れる。水素放電管からの光を回折格子に垂直に入射させたところ，**図2**のように，$x_1 = 0.191\ \mathrm{m}$，$x_2 = 0.119\ \mathrm{m}$，$x_3 = 0.103\ \mathrm{m}$ に赤，青緑，紫の3本の明線が観察された。これらは，それぞれの波長の光の最初の明線に対応している。それぞれの波長 λ_1〔m〕，λ_2〔m〕，λ_3〔m〕を x_1，x_2，x_3，L などを用いて表すと，

$\dfrac{1}{\lambda_1} : \dfrac{1}{\lambda_2} : \dfrac{1}{\lambda_3} = 1 : \boxed{(エ)} : \boxed{(オ)}$ と表され，

$\dfrac{1}{\lambda_1} : \dfrac{1}{\lambda_2} : \dfrac{1}{\lambda_3} = 1 : 1.35 : 1.51$ と近似された。

バルマーは，これらの波長に対しては，整数 n，n' を用いて

$\dfrac{1}{\lambda} = R\left(\dfrac{1}{n'^2} - \dfrac{1}{n^2}\right)$ $(n = n' + 1,\ n' + 2,\ n' + 3)$ の関係があることを発見した。ここで $n' = \boxed{(カ)}$ で，R〔1/m〕はリュードベリ定数と呼ばれる。

(エ), (オ)の解答群

00 $\dfrac{x_1}{x_2}\sqrt{\dfrac{L^2+{x_1}^2}{L^2+{x_2}^2}}$	01 $\dfrac{x_1}{x_2}\sqrt{\dfrac{L^2+{x_2}^2}{L^2+{x_1}^2}}$	02 $\dfrac{x_1}{x_3}\sqrt{\dfrac{L^2+{x_1}^2}{L^2+{x_3}^2}}$
03 $\dfrac{x_1}{x_3}\sqrt{\dfrac{L^2+{x_3}^2}{L^2+{x_1}^2}}$	04 $\dfrac{x_2}{x_1}\sqrt{\dfrac{L^2+{x_2}^2}{L^2+{x_1}^2}}$	05 $\dfrac{x_2}{x_1}\sqrt{\dfrac{L^2+{x_1}^2}{L^2+{x_2}^2}}$
06 $\dfrac{x_3}{x_1}\sqrt{\dfrac{L^2+{x_3}^2}{L^2+{x_1}^2}}$	07 $\dfrac{x_3}{x_1}\sqrt{\dfrac{L^2+{x_1}^2}{L^2+{x_3}^2}}$	08 $\dfrac{x_2}{x_3}\sqrt{\dfrac{L^2+{x_2}^2}{L^2+{x_3}^2}}$
09 $\dfrac{x_2}{x_3}\sqrt{\dfrac{L^2+{x_3}^2}{L^2+{x_2}^2}}$	10 $\dfrac{x_3}{x_2}\sqrt{\dfrac{L^2+{x_3}^2}{L^2+{x_2}^2}}$	11 $\dfrac{x_3}{x_2}\sqrt{\dfrac{L^2+{x_2}^2}{L^2+{x_3}^2}}$

(カ)の解答群

0 1　　　1 2　　　2 3　　　3 4

(3) 次に**図 3** のように，この回折格子に白色光を角 α〔rad〕$(\frac{\pi}{2} > \alpha > 0)$ で入射させ，角 β〔rad〕$(\alpha > \beta > 0)$ の方向に回折される波長の光を検出した。**図 4** のように隣りあう面に入射する光線Ⅰと光線Ⅱが，光源から回折格子に到達するまでの光路差は $\boxed{\text{(キ)}}$ であり，隣り合う面で回折した光線Ⅰと光線Ⅱが，検出器に到達するまでの光路差は $\boxed{\text{(ク)}}$ となる。よって，検出される光の波長を $\lambda_{\alpha\beta}$〔m〕とすると，$k\lambda_{\alpha\beta} = \boxed{\text{(ケ)}}$ となる。ここで $k = 1, 2, 3, \cdots$ である。

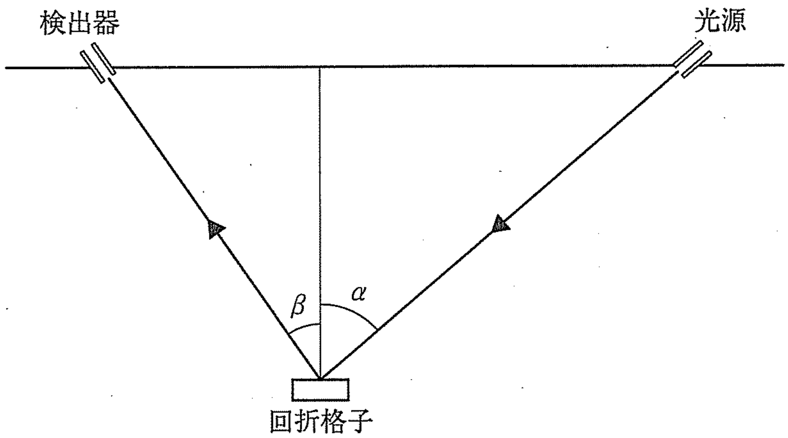


図 3

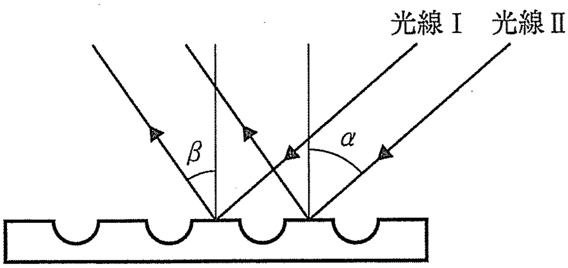


図 4

(キ), (ク), (ケ)の解答群

00 $d\sin\alpha$	01 $d\cos\alpha$	02 $d\tan\alpha$
03 $d\sin\beta$	04 $d\cos\beta$	05 $d\tan\beta$
06 $d(\sin\alpha + \sin\beta)$	07 $d(\sin\alpha - \sin\beta)$	08 $d(\cos\alpha + \cos\beta)$
09 $d(\cos\alpha - \cos\beta)$	10 $d(\sin\alpha + \cos\beta)$	11 $d(\sin\alpha - \cos\beta)$
12 $d(\cos\alpha - \sin\beta)$	13 $d(\tan\alpha + \tan\beta)$	14 $d(\tan\alpha - \tan\beta)$

(4)　次に図5のように，光源の向きおよび検出器の位置を変えずに，この回折格子を微小角 δ〔rad〕($\beta > \delta > 0$)だけ回転させた。このとき，検出される光の波長を $\lambda_{\alpha\beta}'$〔m〕とすると，$k\lambda_{\alpha\beta}' =$ $\boxed{\quad (コ) \quad}$ となる。ここで $k = 1, 2, 3, \cdots$ である。

(3)と(4)で検出された光の波長は $k = 1$ に対応していたとする。このとき $\lambda_{\alpha\beta}'$ は $\lambda_{\alpha\beta}$ より $\boxed{\quad (サ) \quad}$ 。

必要なら加法定理

$$\sin(A + B) = \sin A \cos B + \cos A \sin B$$

$$\cos(A + B) = \cos A \cos B - \sin A \sin B$$

$$\tan(A + B) = \frac{\tan A + \tan B}{1 - \tan A \tan B}$$

を使いなさい。また δ がじゅうぶんに小さいときは，

$$\sin\delta \fallingdotseq \delta,\ \cos\delta \fallingdotseq 1,\ \tan\delta \fallingdotseq \delta$$

と近似することができる。

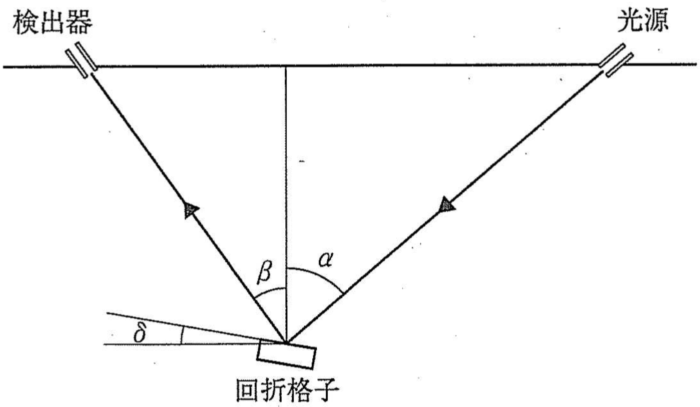


図5

(コ)の解答群

00 $d\{\sin(\alpha+\delta)+\sin(\beta-\delta)\}$ 01 $d\{\sin(\alpha-\delta)+\sin(\beta+\delta)\}$

02 $d\{\sin(\alpha+\delta)-\sin(\beta-\delta)\}$ 03 $d\{\sin(\alpha-\delta)-\sin(\beta+\delta)\}$

04 $d\{\cos(\alpha+\delta)+\cos(\beta-\delta)\}$ 05 $d\{\cos(\alpha-\delta)+\cos(\beta+\delta)\}$

06 $d\{\cos(\alpha+\delta)-\cos(\beta-\delta)\}$ 07 $d\{\cos(\alpha-\delta)-\cos(\beta+\delta)\}$

08 $d\{\sin(\alpha+\delta)+\cos(\beta-\delta)\}$ 09 $d\{\sin(\alpha-\delta)+\cos(\beta+\delta)\}$

10 $d\{\sin(\alpha+\delta)-\cos(\beta-\delta)\}$ 11 $d\{\sin(\alpha-\delta)-\cos(\beta+\delta)\}$

12 $d\{\cos(\alpha+\delta)-\sin(\beta-\delta)\}$ 13 $d\{\cos(\alpha-\delta)-\sin(\beta+\delta)\}$

14 $d\{\tan(\alpha+\delta)+\tan(\beta-\delta)\}$ 15 $d\{\tan(\alpha-\delta)+\tan(\beta+\delta)\}$

16 $d\{\tan(\alpha+\delta)-\tan(\beta-\delta)\}$ 17 $d\{\tan(\alpha-\delta)-\tan(\beta+\delta)\}$

(サ)の解答群

0 長くなる　1 短くなる　2 変わらない