2020年度　　　　　　　　　　　　　　　　〔試験時間　80分〕

A 3　　物　理

この冊子は，物理の問題で1ページより29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**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，質量 M〔kg〕の台Aが，水平で滑らかな机の上に置かれており静止している。台Aの上面は，P点からQ点までは水平で，Q点からは半径 r〔m〕の円弧状の形をしている。P点からQ点の方向に，大きさの無視できる質量 m〔kg〕の小球Bを速さ v_0〔m/s〕の初速で右向きに運動させたところ，以下の問い(1)–(3)の全ての条件下で，小球BはQ点を通過した後，台Aから飛び出すことなく台に沿ってある高さに到達し，その後運動の向きを変え再びQ点に戻ってきた。以上の運動は同一平面内で行われているとする。以下の全ての問いにおいて，机と台Aの間の摩擦は無視できるものとし，重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕とする。また，小球の高さはPQ面から測るものとして以下の問いに答えなさい。

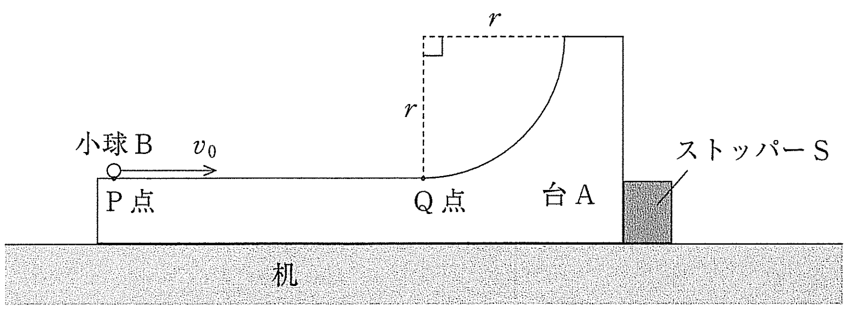


図1

(1) まず，台Aはストッパー S により固定されており，また，小球Bと台Aの間の摩擦は無視できるとする。小球Bの最大到達点の高さは $\boxed{\text{(ア)}}$ 〔m〕である。また，最大到達点に到達するまでの運動において，小球Bの高さが h〔m〕のとき，小球Bの向心加速度の大きさは $\boxed{\text{(イ)}}$ 〔m/s^2〕であり，小球Bが台Aから受ける垂直抗力の大きさは $\boxed{\text{(ウ)}}$ 〔N〕である。また，小球BがQ点を通過してから再びQ点に戻ってくる間の運動において，台Aが机から受ける垂直抗力の大きさの最大値は $\boxed{\text{(エ)}}$ 〔N〕である。なお，ストッパーSは台Aに対し水平方向の力のみを及ぼすものとする。

(2) 次に，ストッパーSを取り去り，台Aは力を受けると机の上を水平方向に摩擦なく自由に運動できるようにした。(1)と同様，小球Bと台Aの間の摩擦は無視できるとする。小球BがQ点を通過してから再びQ点に戻ってくる間の運動において，台Aと小球Bの合計の運動量と力学的エネルギーについて，$\boxed{\text{(オ)}}$ 。また，小球Bの最大到達点の高さは $\boxed{\text{(カ)}}$ 〔m〕である。小球BがQ点に再び戻ってきたときの，机から見た小球Bの速度は，右向きを正として $\boxed{\text{(キ)}}$ 〔m/s〕である。

(3) 次に，**図2**のように，台AのQ点から先の円弧状の上面にやすりをかけざらざらにした。小球Bがこの円弧上を運動する際は(1)，(2)と異なり，小球Bと台Aの間には場所に依存しない動摩擦係数μ($\mu > 0$)で表される動摩擦力が働くようになった。(2)と同様にストッパーSはなく，台Aは力を受けると机の上を水平方向に机との摩擦はなく自由に運動できる。(1)，(2)と同様に，P点からQ点の方向に小球Bを速さv_0〔m/s〕の初速で運動させたところ，小球BはQ点を通過した後，やはりその後運動の向きを変え再びQ点に戻ってきた。小球BがQ点を通過してから再びQ点に戻ってくる間の運動において，台Aと小球Bの合計の運動量と力学的エネルギーについて $\boxed{\text{(ク)}}$ 。また，小球BがQ点に再び戻ってきたときの，台Aに対する小球Bの相対速度の大きさをv_1〔m/s〕とすると$\dfrac{v_1}{v_0}$は $\boxed{\text{(ケ)}}$ 。

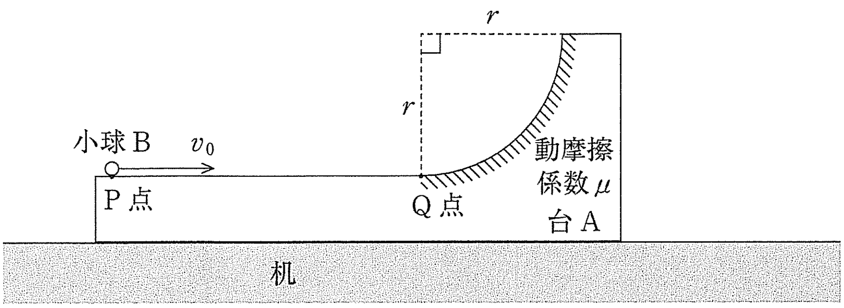


図2

(ア)の解答群

0 $\dfrac{2v_0^{\,2}}{g}$　　1 $\dfrac{v_0^{\,2}}{g}$　　2 $\dfrac{v_0^{\,2}}{2g}$

3 $\dfrac{2mv_0^{\,2}}{g}$　　4 $\dfrac{mv_0^{\,2}}{g}$　　5 $\dfrac{mv_0^{\,2}}{2g}$

6 $\dfrac{2v_0^{\,2}}{mg}$　　7 $\dfrac{v_0^{\,2}}{mg}$　　8 $\dfrac{v_0^{\,2}}{2mg}$

(イ)の解答群

0 $v_0^{\,2}-2gh$　　1 $v_0^{\,2}-gh$　　2 $2v_0^{\,2}-gh$

3 $\dfrac{v_0^{\,2}-2gh}{r}$　　4 $\dfrac{v_0^{\,2}-gh}{r}$　　5 $\dfrac{2v_0^{\,2}-gh}{r}$

6 $\dfrac{m(v_0^{\,2}-2gh)}{r}$　　7 $\dfrac{m(v_0^{\,2}-gh)}{r}$　　8 $\dfrac{m(2v_0^{\,2}-gh)}{r}$

(ウ)の解答群

0 $\dfrac{m(v_0^{\,2}-gh)}{r}$　　1 $\dfrac{m(v_0^{\,2}-2gh)}{r}$

2 $\dfrac{m(v_0^{\,2}-3gh)}{r}$　　3 $\dfrac{m(v_0^{\,2}+gr-gh)}{r}$

4 $\dfrac{m(v_0^{\,2}+gr-2gh)}{r}$　　5 $\dfrac{m(v_0^{\,2}+gr-3gh)}{r}$

6 $\dfrac{m(v_0^{\,2}-gr-gh)}{r}$　　7 $\dfrac{m(v_0^{\,2}-gr-2gh)}{r}$

8 $\dfrac{m(v_0^{\,2}-gr-3gh)}{r}$

(エ)の解答群

0 $Mg + mg$

1 $Mg + mg + \dfrac{mv_0^{\ 2}}{2r}$

2 $Mg + mg + \dfrac{mv_0^{\ 2}}{\sqrt{2}\,r}$

3 $Mg + mg + \dfrac{mv_0^{\ 2}}{r}$

4 $Mg + mg + \dfrac{2mv_0^{\ 2}}{r}$

5 $Mg + mg\left(1 - \dfrac{v_0^{\ 2}}{2gr}\right)$

6 $Mg + mg\left(1 - \dfrac{v_0^{\ 2}}{2gr}\right)^2$

7 $Mg + \sqrt{2}\,mg\left(1 - \dfrac{v_0^{\ 2}}{2gr}\right)$

8 $Mg + \sqrt{2}\,mg\left(1 - \dfrac{v_0^{\ 2}}{2gr}\right)^2$

(オ)，(ク)の解答群

0 運動量の水平成分，運動量の垂直成分，力学的エネルギー，の全てが保存する

1 運動量の水平成分と運動量の垂直成分が保存し，力学的エネルギーは保存しない

2 運動量の水平成分と力学的エネルギーが保存し，運動量の垂直成分は保存しない

3 運動量の垂直成分と力学的エネルギーが保存し，運動量の水平成分は保存しない

4 力学的エネルギーが保存し，運動量の水平成分と運動量の垂直成分は保存しない

5 運動量の垂直成分が保存し，運動量の水平成分と力学的エネルギーは保存しない

6 運動量の水平成分が保存し，運動量の垂直成分と力学的エネルギーは保存しない

7 運動量の水平成分，運動量の垂直成分，力学的エネルギー，の全ては保存しない

(カ)の解答群

0　$\dfrac{2{v_0}^2}{g}$	1　$\dfrac{{v_0}^2}{g}$	2　$\dfrac{{v_0}^2}{2g}$
3　$\dfrac{m}{M+m}\dfrac{2{v_0}^2}{g}$	4　$\dfrac{m}{M+m}\dfrac{{v_0}^2}{g}$	5　$\dfrac{m}{M+m}\dfrac{{v_0}^2}{2g}$
6　$\dfrac{M}{M+m}\dfrac{2{v_0}^2}{g}$	7　$\dfrac{M}{M+m}\dfrac{{v_0}^2}{g}$	8　$\dfrac{M}{M+m}\dfrac{{v_0}^2}{2g}$

(キ)の解答群

0　v_0	1　$\dfrac{m}{M+m}v_0$	2　$\dfrac{M}{M+m}v_0$
3　$\dfrac{m-M}{M+m}v_0$	4　$\dfrac{M-m}{M+m}v_0$	5　$\dfrac{M^2}{M^2+m^2}v_0$
6　$\dfrac{m^2}{M^2+m^2}v_0$	7　$\dfrac{m^2-M^2}{M^2+m^2}v_0$	8　$\dfrac{M^2-m^2}{M^2+m^2}v_0$

(ケ)の解答群

0　μ が大きくなると単調に減少し，$\dfrac{m}{M}$ の値に関わらず常に 1 より小さく，$\mu \to 0$ の極限で 1 に漸近する

1　μ が大きくなると単調に減少し，$\dfrac{m}{M}$ の値に関わらず常に 1 より大きく，$\mu \to \infty$ の極限で 1 に漸近する

2　μ が大きくなると単調に減少し，$\dfrac{m}{M} > 1$ なら $\mu \to 0$ の極限で 1 より大きな数に漸近し，$\dfrac{m}{M} < 1$ なら $\mu \to 0$ の極限で 1 より小さな数に漸近する

3　μ が大きくなると単調に減少し，$\dfrac{m}{M} > 1$ なら $\mu \to 0$ の極限で 1 より小さな数に漸近し，$\dfrac{m}{M} < 1$ なら $\mu \to 0$ の極限で 1 より大きな数に漸近する

4　μ が大きくなると単調に増大し，$\dfrac{m}{M}$ の値に関わらず常に 1 より大きく，$\mu \to 0$ の極限で 1 に漸近する

5　μ が大きくなると単調に増大し，$\dfrac{m}{M}$ の値に関わらず常に 1 より小さく，$\mu \to \infty$ の極限で 1 に漸近する

6　μ が大きくなると単調に増大し，$\dfrac{m}{M} > 1$ なら $\mu \to 0$ の極限で 1 より大きな数に漸近し，$\dfrac{m}{M} < 1$ なら $\mu \to 0$ の極限で 1 より小さな数に漸近する

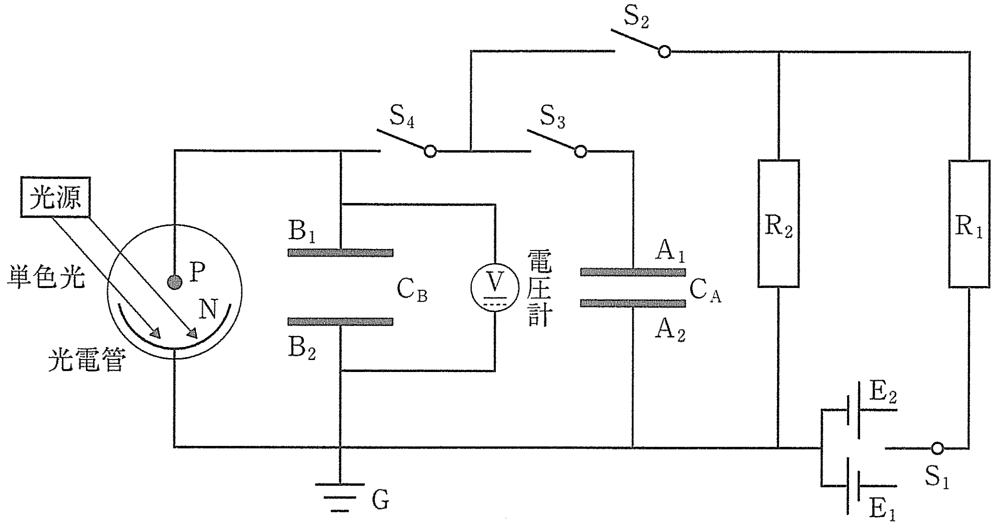
7　μ が大きくなると単調に増大し，$\dfrac{m}{M} > 1$ なら $\mu \to 0$ の極限で 1 より小さな数に漸近し，$\dfrac{m}{M} < 1$ なら $\mu \to 0$ の極限で 1 より大きな数に漸近する

（下書き用紙）

2 次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき正しい答を**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）

抵抗 R_1，R_2，平行板コンデンサー C_A，C_B，内部抵抗を無視できる電池 E_1，E_2，真空のガラス容器内に封入された陽極 P と陰極 N からなる光電管，およびスイッチ S_1，S_2，S_3，S_4 が**図**のように接続されている。電池 E_1 の正極側，電池 E_2 の負極側，抵抗 R_2，平行板コンデンサー C_A，C_B および光電管の一端は接地されており，接地点 G の電位は 0〔V〕であるとする。C_A は面積が同じ 2 枚の金属板 A_1，A_2 で作られている。C_B も A_1，A_2 と面積が同じ 2 枚の金属板 B_1，B_2 で作られているが，C_A とは金属板の間隔が異なる。C_B の電位差は電圧計で測定できる。光電管の陽極 P と陰極 N は同じ金属でできている。また，光電管には振動数を変えられる光源から陰極 N に単色光を照射できる。

抵抗 R_1 の抵抗値を R〔Ω〕，R_2 の抵抗値を $2R$〔Ω〕，平行板コンデンサー C_A の電気容量を $3C$〔F〕，C_B の電気容量を C〔F〕，電池 E_1，E_2 の起電力はどちらも V〔V〕，電子の電荷を $-e$〔C〕とする。スイッチが全て開いている初期状態では C_A，C_B のどちらにも電荷はない。電圧計の内部抵抗はじゅうぶん大きく，電圧計に流れる電流は無視できる。さらに，光電管の電気容量は無視できるとして以下の問いに答えなさい。



図

(1)　スイッチが全て開かれている初期状態から，S_1 を電池 E_1 側に接続した。その後，S_2，S_3 を閉じた。その直後に抵抗 R_1 に流れる電流の大きさは $\boxed{(ア)}$ 〔A〕であった。じゅうぶんに長い時間が経過した後，金属板 A_1 に蓄えられている電気量は $\boxed{(イ)}$ $\times CV$〔C〕であった。

(2)　その後スイッチ S_2 を開いたあとに S_4 を閉じた。じゅうぶんに長い時間が経過した後，金属板 B_2 に蓄えられている電気量は $\boxed{(ウ)}$ $\times CV$〔C〕であった。なお，この間光電管には単色光は照射されていない。

(3)　金属表面に光を照射すると光のエネルギーによって電子が飛び出す現象を $\boxed{(エ)}$ という。飛び出す電子を光電子と呼ぶが，光の振動数がある値 ν_0〔Hz〕よりも小さいと光電子は飛び出さない。単位時間当たりに飛び出す光電子の数は光の $\boxed{(オ)}$ に比例する。また，光電子の運動エネルギーの最大値は光の $\boxed{(カ)}$ で決まる。

(4) (2)の状態から，スイッチ S_4 を開く。その後，光源から振動数 ν〔Hz〕の単色光を光電管の陰極 N に照射したところ，照射前後で平行板コンデンサー C_B の電圧計の値には変化がなかった。そこで，単色光の強さを増やして照射したところ電圧計の値は $\boxed{\text{(キ)}}$ 。したがって，(2)で実現した平行板コンデンサー C_B の電位差を変化させるためには単色光の $\boxed{\text{(ク)}}$ 必要がある。

(5) 単色光の照射をやめるとともに，全てのスイッチを開いた元の初期状態に戻した。その後，今度は S_1 を電池 E_2 側に接続してから S_2，S_3 を閉じた。C_A を充電した後，S_2 を開いた。そして S_4 を閉じてじゅうぶんに長い時間が経過した後，光源から振動数 ν'〔Hz〕の単色光を光電管の陰極 N に照射したところ，電圧計の値が変化し始めてついには C_B の電位差がゼロとなった。単色光を照射してから C_B の電位差がゼロとなるまでの間，光電子が毎秒 n 個飛び出したとすると，単色光を照射し始めてから $\boxed{\text{(ケ)}}$ 〔s〕後に C_B に蓄えられた電荷は全てなくなることになる。

(6) 再び元の初期状態に戻した後，S_1 を電池 E_2 側に接続してから S_2，S_3，S_4 を閉じるとともに単色光を光電管の陰極 N に照射し続けた。じゅうぶんな時間が経過した後では，光電子が毎秒 ℓ 個飛び出しているとすると，抵抗 R_1 に流れる電流の大きさは $\boxed{\text{(コ)}} \times \dfrac{V}{R} + \boxed{\text{(サ)}} \times \ell e$〔A〕，$R_2$ に流れる電流の大きさは $\boxed{\text{(シ)}} \times \dfrac{V}{R} + \boxed{\text{(ス)}} \times \ell e$〔A〕である。なお，光電子による光電流の大きさが R_2 に流れる電流の大きさを超えることはないものとする。

（下書き用紙）

(ア)の解答群

0 $\frac{V}{4R}$	1 $\frac{V}{3R}$	2 $\frac{V}{2R}$	3 $\frac{2V}{3R}$
4 $\frac{V}{R}$	5 $\frac{3V}{2R}$	6 $\frac{2V}{R}$	7 $\frac{3V}{R}$

(イ)の解答群

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

(ウ)の解答群

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

(エ)の解答群

0 気体放電	1 真空放電	2 ミリカンの実験
3 光の粒子性	4 光量子仮説	5 光電効果
6 コンプトン効果	7 電子線回折	8 核分裂

(オ), (カ)の解答群

0 振動数	1 位　相	2 強　さ

(キ)の解答群

0　減少した　　　1　変化しなかった　　　2　増加した

(ク)の解答群

0　振動数を減らす　　　1　振動数を増やす

2　強さを減らす　　　3　強さを増やす

(ケ)の解答群

0　$\dfrac{ne}{6CV}$　　1　$\dfrac{CV}{6ne}$　　2　$\dfrac{ne}{2CV}$　　3　$\dfrac{CV}{2ne}$　　4　$\dfrac{4ne}{3CV}$

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

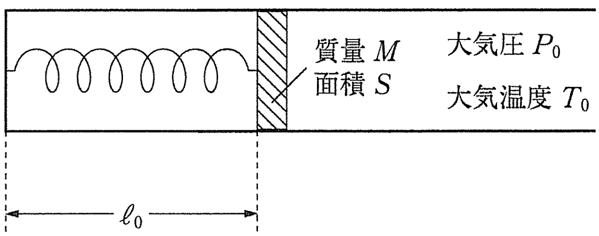
(コ), (サ), (シ), (ス)の解答群

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

5　$-\dfrac{1}{3}$　　6　$-\dfrac{1}{2}$　　7　$-\dfrac{2}{3}$　　8　-1

3 次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき正しい答を**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。　(25 点)

図のように，水平に固定された断面積 S〔m^2〕の円筒形シリンダーがある。その内部には，滑らかに摩擦なく動く質量 M〔kg〕(面積 S〔m^2〕)の気密な仕切り板があり，ばね定数 k〔N/m〕の体積，質量の無視できるばねの一端がこの仕切り板に，他端はシリンダーの底部に固定されている。シリンダー内部の仕切り板の左側の空間には，定積モル比熱 C_v〔J/(mol・K)〕の理想気体が入っている。はじめ，ばねの長さは自然長であり，封入された理想気体の圧力と温度は，それぞれ，大気圧と同じ P_0〔$\mathrm{N/m^2}$〕，大気温度と同じ T_0〔K〕であった。このときのシリンダーの底部から仕切り板までの距離を ℓ_0〔m〕とする。なお，気体定数を R〔J/(mol・K)〕とし，ばね定数は圧力や温度により変化しないとして以下の問いに答えなさい。また必要ならば，微小量 δ ($|\delta|$ は 1 に比べてじゅうぶん小さい)に対して成り立つ近似式 $(1+\delta)^n \fallingdotseq 1 + n\delta$ を用いてよい。



図

(1) シリンダーや仕切り板は熱をよく通す材質で作られ，シリンダー内に封入された理想気体の温度は常に T_0〔K〕で保たれるとする。この理想気体の物質量は $\boxed{\text{(ア)}}$〔mol〕である。外から仕切り板に力を加え，静かに Δx〔m〕内部に押し込み，シリンダーの底部から仕切り板までの距離を $\ell_0 - \Delta x$〔m〕とし，仕切り板を静止させた。このとき，封入された理想気体の圧力は $\boxed{\text{(イ)}}$〔$\mathrm{N/m^2}$〕であり，仕切り板を静止させているときの外から仕切り板に加えた力の大きさは $\boxed{\text{(ウ)}}$〔N〕である。Δx が ℓ_0 に比べじゅうぶん小さく，この力の大きさが Δx に比例する項までで近似できる(すなわち，$(\Delta x/\ell_0)^2$ などの項が無視できる)とすると，この力の大きさは $\boxed{\text{(エ)}}$ $\times \Delta x$〔N〕と近似できる。ここで外から加えた力を外すと，仕切り板はゆっくり単振動を行った。この単振動の周期は $\boxed{\text{(オ)}}$〔s〕となる。なお，振動はじゅうぶんゆっくりであり，シリンダー内の圧力分布や温度分布は生じないものとする。

(2) 次に，図の状態のもとで，シリンダーや仕切り板の材質だけを断熱材に取り替えた。このとき(1)とは異なり，シリンダー内に封入された理想気体は外部との熱のやりとりを行わないとする。この状況で，(1)と同じく外から仕切り板に力を加え，静かに Δx〔m〕だけ内部に押し込み，シリンダーの底部から仕切り板までの距離を $\ell_0 - \Delta x$〔m〕とし，仕切り板を静止させた。Δx が ℓ_0 に比べじゅうぶん小さく，封入された理想気体の内部エネルギーの増加量 ΔU〔J〕が Δx に比例する項までで近似できるとすると，$\Delta U = \boxed{\text{(カ)}} \times \Delta x$ であり，その理想気体の温度上昇 ΔT〔K〕は $\Delta T = \boxed{\text{(キ)}} \times \Delta x$ となる。したがって，このときの外から仕切り板に加えた力の大きさは，Δx に比例する項までで近似できるとすると，$\boxed{\text{(ク)}} \times \Delta x$〔N〕である。ここで外から加えた力を外すと，仕切り板はゆっくり単振動を行った。この単振動の周期は $\boxed{\text{(ケ)}}$〔s〕となる。なお，振動はじゅうぶんゆっくりであり，シリンダー内の圧力分布や温度分布は生じないものとする。

(ア)の解答群

0 $\dfrac{P_0\ell_0}{RT_0}$　　1 $\dfrac{P_0S\ell_0}{RT_0}$　　2 $\dfrac{C_vP_0\ell_0}{RT_0}$

3 $\dfrac{C_vP_0S\ell_0}{RT_0}$　　4 $\dfrac{RT_0}{P_0\ell_0}$　　5 $\dfrac{RT_0}{P_0S\ell_0}$

6 $\dfrac{RT_0}{C_vP_0\ell_0}$　　7 $\dfrac{RT_0}{C_vP_0S\ell_0}$

(イ)の解答群

0 P_0　　1 $\dfrac{\Delta x}{\ell_0}P_0$　　2 $\dfrac{\ell_0}{\ell_0-\Delta x}P_0$

3 $\dfrac{\ell_0}{\ell_0+\Delta x}P_0$　　4 $\dfrac{\ell_0-\Delta x}{\ell_0}P_0$　　5 $\dfrac{\ell_0+\Delta x}{\ell_0}P_0$

(ウ)の解答群

0 $k\Delta x-\dfrac{\ell_0}{\ell_0-\Delta x}P_0S$　　1 $k\Delta x+\dfrac{\ell_0}{\ell_0-\Delta x}P_0S$

2 $k\Delta x-\dfrac{\ell_0}{\ell_0+\Delta x}P_0S$　　3 $k\Delta x+\dfrac{\ell_0}{\ell_0+\Delta x}P_0S$

4 $k\Delta x-\dfrac{\Delta x}{\ell_0-\Delta x}P_0S$　　5 $k\Delta x+\dfrac{\Delta x}{\ell_0-\Delta x}P_0S$

6 $k\Delta x-\dfrac{\Delta x}{\ell_0+\Delta x}P_0S$　　7 $k\Delta x+\dfrac{\Delta x}{\ell_0+\Delta x}P_0S$

（下書き用紙）

(エ)の解答群

0 $\dfrac{\ell_0}{k\ell_0 - P_0S}$　　1 $\dfrac{\ell_0}{k\ell_0 + P_0S}$

2 $\dfrac{\ell_0 M}{k\ell_0 - P_0S}$　　3 $\dfrac{\ell_0 M}{k\ell_0 + P_0S}$

4 $\dfrac{k\ell_0 - P_0S}{\ell_0}$　　5 $\dfrac{k\ell_0 + P_0S}{\ell_0}$

6 $\dfrac{k\ell_0 - P_0S}{\ell_0 M}$　　7 $\dfrac{k\ell_0 + P_0S}{\ell_0 M}$

8 k　　9 $\dfrac{k}{M}$

(オ)の解答群

0 $2\pi\sqrt{\dfrac{\ell_0}{k\ell_0 - P_0S}}$　　1 $2\pi\sqrt{\dfrac{\ell_0}{k\ell_0 + P_0S}}$

2 $2\pi\sqrt{\dfrac{\ell_0 M}{k\ell_0 - P_0S}}$　　3 $2\pi\sqrt{\dfrac{\ell_0 M}{k\ell_0 + P_0S}}$

4 $2\pi\sqrt{\dfrac{k\ell_0 - P_0S}{\ell_0}}$　　5 $2\pi\sqrt{\dfrac{k\ell_0 + P_0S}{\ell_0}}$

6 $2\pi\sqrt{\dfrac{k\ell_0 - P_0S}{\ell_0 M}}$　　7 $2\pi\sqrt{\dfrac{k\ell_0 + P_0S}{\ell_0 M}}$

(カ)の解答群

0 P_0S　　1 $-P_0S$　　2 $\dfrac{C_v}{R}P_0S$

3 $-\dfrac{C_v}{R}P_0S$　　4 $\dfrac{R}{C_v}P_0S$　　5 $-\dfrac{R}{C_v}P_0S$

(キ)の解答群

0 $\dfrac{T_0}{\ell_0}$　　1 $-\dfrac{T_0}{\ell_0}$　　2 $\dfrac{C_v T_0}{R\ell_0}$

3 $-\dfrac{C_v T_0}{R\ell_0}$　　4 $\dfrac{RT_0}{C_v\ell_0}$　　5 $-\dfrac{RT_0}{C_v\ell_0}$

6 $\dfrac{(C_v+R)\,T_0}{C_v\ell_0}$　　7 $-\dfrac{(C_v+R)\,T_0}{C_v\ell_0}$

(ク)の解答群

0 $\left(k-\dfrac{(C_v-R)P_0S}{C_v\ell_0}\right)$　　1 $\left(k+\dfrac{(C_v-R)P_0S}{C_v\ell_0}\right)$

2 $\left(k-\dfrac{(C_v+R)P_0S}{C_v\ell_0}\right)$　　3 $\left(k+\dfrac{(C_v+R)P_0S}{C_v\ell_0}\right)$

4 $\left(k-\dfrac{C_vP_0S}{(C_v-R)\ell_0}\right)$　　5 $\left(k+\dfrac{C_vP_0S}{(C_v-R)\ell_0}\right)$

6 $\left(k-\dfrac{C_vP_0S}{(C_v+R)\ell_0}\right)$　　7 $\left(k+\dfrac{C_vP_0S}{(C_v+R)\ell_0}\right)$

(ケ)の解答群

0 $2\pi\sqrt{\dfrac{\ell_0M}{k\ell_0-\dfrac{C_v-R}{C_v}P_0S}}$　　1 $2\pi\sqrt{\dfrac{\ell_0M}{k\ell_0+\dfrac{C_v-R}{C_v}P_0S}}$

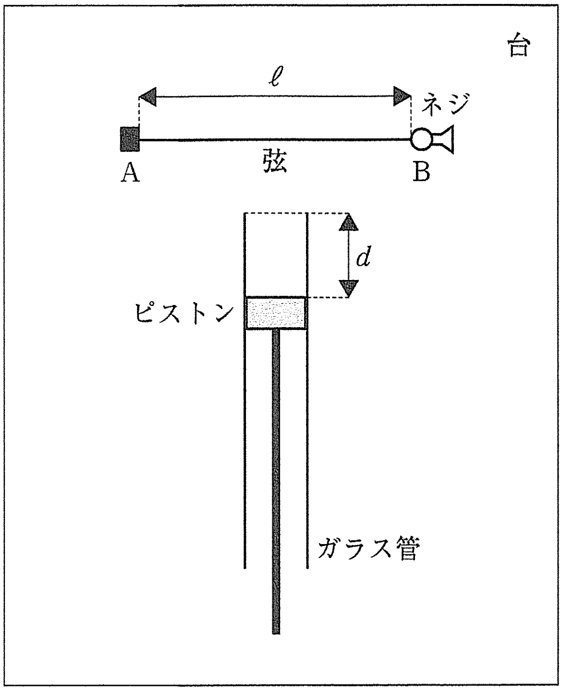
2 $2\pi\sqrt{\dfrac{\ell_0M}{k\ell_0-\dfrac{C_v+R}{C_v}P_0S}}$　　3 $2\pi\sqrt{\dfrac{\ell_0M}{k\ell_0+\dfrac{C_v+R}{C_v}P_0S}}$

4 $2\pi\sqrt{\dfrac{k\ell_0-\dfrac{C_v-R}{C_v}P_0S}{\ell_0M}}$　　5 $2\pi\sqrt{\dfrac{k\ell_0+\dfrac{C_v-R}{C_v}P_0S}{\ell_0M}}$

6 $2\pi\sqrt{\dfrac{k\ell_0-\dfrac{C_v+R}{C_v}P_0S}{\ell_0M}}$　　7 $2\pi\sqrt{\dfrac{k\ell_0+\dfrac{C_v+R}{C_v}P_0S}{\ell_0M}}$

4 次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき正しい答を**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)

一方の端 A を固定し，もう一方の端 B ではネジによって張力を調整できるようにした長さ ℓ〔m〕，線密度 ρ〔kg/m〕の弦が**図**のように台の上に張られている。弦の中央をはじき，弦に基本振動を発生させる。弦の近くにはガラス管が置かれている。ガラス管の端(管口)からピストンまでの距離 d〔m〕を調整することで，弦の基本振動で生じた音波による定常波をガラス管内に作ることができる。その定常波の管口付近の腹は管口の外側にあるものとする。空気中の音速を V〔m/s〕として以下の問いに答えなさい。



図

(1) 弦を伝わる波の速さ v〔m/s〕は，線密度 ρ〔kg/m〕と張力 S〔N〕を用いて $v = \rho^a S^b$ と与えられる。ここで，a，b は定数である。右辺が速さの単位〔m/s〕となるように a，b を決めると，$a =$ $\boxed{\text{(ア)}}$，$b =$ $\boxed{\text{(イ)}}$ となる。

(2) 弦の張力が S_0〔N〕のときの弦を伝わる波の速さを v_0〔m/s〕とする。この張力のとき，弦に生じる基本振動の振動数 f は $f =$ $\boxed{\text{(ウ)}}$〔Hz〕，波長は $\boxed{\text{(エ)}}$ $\times \ell$〔m〕である。

(3) 弦の張力が S_0〔N〕のとき，弦の基本振動で生じた音波のため，ピストンを管口から移動したとき $d = d_1$〔m〕ではじめて共鳴が起こった。ピストンをさらに管口から遠ざかるように移動したところ，$d = d_2 = d_1 +$ $\boxed{\text{(オ)}}$〔m〕のとき再び共鳴が起こった。このとき，定常波の腹の場所を管口から測ると，その距離は $\boxed{\text{(カ)}}$ である。また，管口の外側にできる腹までの管口からの距離(開口端補正)は $\boxed{\text{(キ)}}$ $- d_1$〔m〕となる。

(4) ピストンの位置を $d = d_2$ としたまま，弦の端Bのネジによって張力を S_0〔N〕から徐々に増加させながら弦の基本振動を変化させていったところ，張力 $S = S_1$〔N〕のときガラス管で共鳴が生じた。このとき，ガラス管にできた定常波の波長を λ_1 とする。圧力の変化が最大となるガラス管内の管口に最も近い場所は，管口からの距離が $d_2 -$ $\boxed{\text{(ク)}}$ $\times \lambda_1$〔m〕のところである。

(5) ヘリウムと酸素を混合させた気体で充満した部屋の中に台全体を入れた。この混合気体中の音速は $\dfrac{5}{2}V$〔m/s〕とする。弦の張力が(3)と同じ S_0〔N〕のとき，ピストンを管口から移動して最初に共鳴が起こる距離 d は d_1〔m〕と比べて $\boxed{\text{(ケ)}}$。その理由は，音波の $\boxed{\text{(コ)}}$ からである。

(6) 混合気体の部屋の中で弦の張力を S_0〔N〕からある値に変化させたとき，(3)と同じ距離 d_1〔m〕と d_2〔m〕で共鳴が起きた。このときの弦の張力は S_0〔N〕の $\boxed{\quad(サ)\quad}$ 倍である。

（下書き用紙）

(ア), (イ), (エ)の解答群

0 2　　1 1　　2 $\frac{1}{2}$　　3 $\frac{1}{3}$　　4 0

5 $-\frac{1}{3}$　　6 $-\frac{1}{2}$　　7 -1　　8 -2

(ウ)の解答群

0 $\frac{3v_0}{\ell}$　　1 $\frac{3\ell}{v_0}$　　2 $\frac{2v_0}{\ell}$　　3 $\frac{2\ell}{v_0}$　　4 $\frac{v_0}{\ell}$

5 $\frac{\ell}{v_0}$　　6 $\frac{v_0}{2\ell}$　　7 $\frac{\ell}{2v_0}$　　8 $\frac{v_0}{3\ell}$　　9 $\frac{\ell}{3v_0}$

(オ), (キ)の解答群

0 $\frac{2f}{V}$　　1 $\frac{2V}{f}$　　2 $\frac{f}{V}$　　3 $\frac{V}{f}$　　4 $\frac{f}{2V}$

5 $\frac{V}{2f}$　　6 $\frac{f}{3V}$　　7 $\frac{V}{3f}$　　8 $\frac{f}{4V}$　　9 $\frac{V}{4f}$

(カ)の解答群

0 d_1　　1 d_2　　2 $\frac{d_1 + d_2}{2}$

3 $d_2 - d_1$　　4 $\frac{d_2 - d_1}{2}$　　5 0

(ク)の解答群

0 0　　1 $\frac{1}{4}$　　2 $\frac{1}{2}$　　3 $\frac{3}{4}$　　4 1

5 $\frac{5}{4}$　　6 $\frac{3}{2}$　　7 $\frac{7}{4}$　　8 2

(ケ)の解答群

0　長くなる　　1　短くなる　　2　変化しない

(コ)の解答群

0　振動数が変化しないため，波長が同じである

1　振動数が変化しないため，波長が短くなる

2　振動数が変化しないため，波長が長くなる

3　振動数が $\frac{5}{2}$ 倍となるため，波長が同じである

4　振動数が $\frac{5}{2}$ 倍となるため，波長が短くなる

5　振動数が $\frac{5}{2}$ 倍となるため，波長が長くなる

6　振動数が $\frac{2}{5}$ 倍となるため，波長が同じである

7　振動数が $\frac{2}{5}$ 倍となるため，波長が短くなる

8　振動数が $\frac{2}{5}$ 倍となるため，波長が長くなる

(サ)の解答群

0　$\frac{4}{25}$　　1　$\frac{1}{5}$　　2　$\frac{2}{5}$　　3　$\frac{1}{2}$　　4　1

5　2　　6　$\frac{5}{2}$　　7　5　　8　$\frac{25}{4}$