平成 26 年度　〔試験時間　80 分〕

Ｋ３ 物 理　　Ｋ４ 化 学

この冊子は，物理と化学の問題を１冊にまとめてあります。

情報科学科と土木工学科は，物理または化学のどちらかを選択

工業化学科は化学指定

機械工学科は物理指定

物理の問題は，１ページより 23 ページまであります。
化学の問題は，24 ページより 36 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，さらに受験番号と志望学科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上部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。

◇M31(630—500)

物　　理

1　次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき最も適当なものをそれぞれの**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。(同じ番号を何回用いてもよい。)　(20 点)

図 1-1 のように，2 本のじゅうぶんに長いレールを平行に並べて水平に固定し，それに台車を取り付ける。レールの一方の端からこの台車を運動させることを考える。レールと台車の間の摩擦は無視できる。台車には，鉛直に立てた表面の滑らかな板でできた標的が取り付けられている。標的はレールに対して角度 θ [rad] だけ傾けられている。台車と標的を合わせた質量は M [kg] である。質量 m [kg] の小球を速度 $\vec{V}$ (速さ V [m/s]) でレールに垂直に標的に撃ち込み，その反動で台車を動かす。小球が標的に衝突する際，小球には標的の面に垂直な方向の力積のみが働くものとする。標的と小球の間のはねかえり係数を e $(0 < e < 1)$ とする。

(1) レールの一端で静止している台車に小球を撃ち込んだところ，台車は一定の速度 $\vec{v'}$ (速さ v' [m/s]) で，レールに沿って**図 1-2** の左向きに動き出した。地面に固定された座標原点 O から，標的の面に平行な向きに X 軸，それに垂直な方向に Y 軸をとった O$-XY$ 座標系を定義する (**図 1-2**)。衝突後の小球の速度の Y 軸方向の成分は，$\vec{v'}$ の Y 軸方向の成分 $v' \sin\theta$，$\vec{V}$ の Y 軸方向の成分 V_Y [m/s]，はねかえり係数 e などを用いて，$\boxed{(ア)}$ [m/s] と書ける。これより，衝突の前後での小球の Y 軸方向の運動量の変化は $\boxed{(イ)}$ [kg・m/s] となる。これより v' は，$v' = \boxed{(ウ)} \times V$ と求められる。

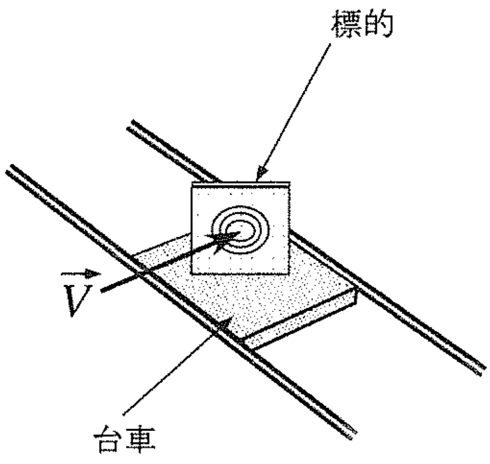


図 1-1

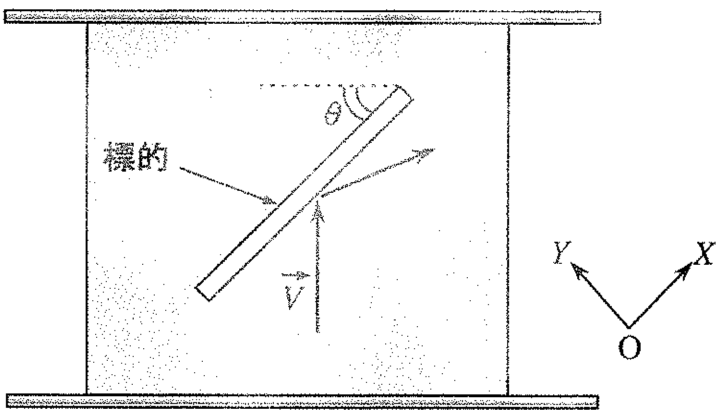


図 1-2　台車を上方から眺めた図

（ア） の解答群

0 $eV_Y + v' \sin\theta$　　1 $eV_Y - v' \sin\theta$

2 $-eV_Y + v' \sin\theta$　　3 $-eV_Y - v' \sin\theta$

（イ） の解答群

0 $m(1+e)V_Y + mv' \sin\theta$　　1 $m(1+e)V_Y + mv' \cos\theta$

2 $m(1+e)V_Y - mv' \sin\theta$　　3 $-m(1+e)V_Y + mv' \sin\theta$

4 $-me(1+e)V_Y - mv' \sin\theta$　　5 $-m(1+e)V_Y + mv' \cos\theta$

（ウ） の解答群

0 $\dfrac{me\sin\theta}{M + m\sin^2\theta}$　　1 $\dfrac{m(1+e)\sin\theta}{M - m\sin^2\theta}$　　2 $\dfrac{m(1-e)\sin\theta}{M + m\sin^2\theta}$

3 $\dfrac{m(1+e)\cos\theta}{M + m\sin^2\theta}$　　4 $\dfrac{m(1-e)\cos\theta}{M - m\sin^2\theta}$　　5 $\dfrac{m(1+e)\sin\theta\cos\theta}{M + m\sin^2\theta}$

6 $\dfrac{m(1+e)\sin\theta\cos\theta}{M - m\sin^2\theta}$　　7 $\dfrac{m(1+e)\cos^2\theta}{M + m\sin^2\theta}$　　8 $\dfrac{m(1-e)\cos^2\theta}{M - m\sin^2\theta}$

右のページは白紙です。

(2)　以下の設問では，$\theta = \dfrac{\pi}{4}$ の場合について考察することにする。速さ $v' = \boxed{\text{(ウ)}} \times V$ で左向きに運動する標的に小球を速度 $\vec{V}$ で再度撃ち込む。これを台車から見ると，小球は速度 $\vec{V}'$（速さ V' [m/s]）で撃ち込まれるように見える（図 1-3）。$\vec{V}$ と $\vec{V}'$ のなす角度を α [rad] とすると，$\tan\alpha = \boxed{\text{(エ)}}$ である。また，$V' = \boxed{\text{(オ)}} \times V$ と求められる。小球が標的にぶつかる直前の台車の速度と等しい速度 $\vec{v}'$（速さ v' [m/s]）で動く座標原点 O′ から，標的の面に平行な向きに X' 軸，それに垂直な方向に Y' 軸をとった $\mathrm{O}' - X'Y'$ 座標系を定義する。$\vec{V}'$ の Y' 成分 $V'_{Y'}$ [m/s] は，$V'_{Y'} = \boxed{\text{(カ)}} \times V'$ である。レールから見た衝突後の台車の速さを v'' [m/s] とすると，$\mathrm{O}' - X'Y'$ 系から見た小球の衝突後の速度の Y' 成分は $\boxed{\text{(キ)}}$ [m/s] となり，$\mathrm{O}' - X'Y'$ 系から見た小球の運動量の Y' 成分の変化は $\boxed{\text{(ク)}}$ [kg・m/s] となる。これより v'' は，$v'' = v' + \boxed{\text{(ケ)}} \times V'$ と求められる。

この手順を繰り返していくと，台車の速さは徐々に増加していくが，台車から見た小球の速度が $\vec{V}$ となす角度が $\alpha_{\max}$ [rad] を超えると速さはこれ以上増加しなくなる。$\boxed{\text{(ケ)}}$ の結果から，$\alpha_{\max} = \boxed{\text{(コ)}}$ であることがわかる。

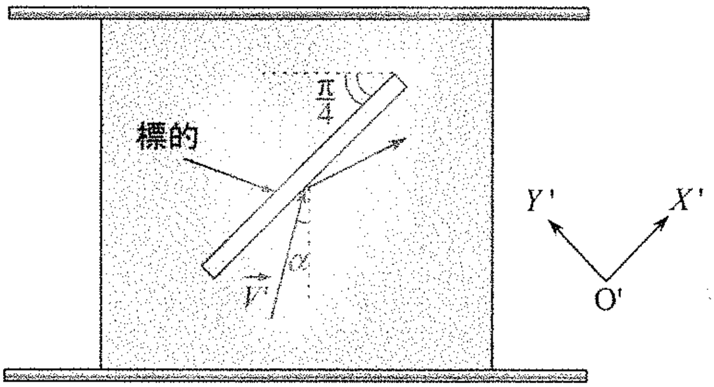


図 1-3　台車の上に乗った人が上方から台車を眺めた図

（エ）　の解答群

0　$\dfrac{me}{2M+m}$	1　$\dfrac{3m(1+e)}{2M+m}$	2　$\dfrac{\sqrt{3}m(1+e)}{2M+m}$
3　$\dfrac{\sqrt{3}m(1-e)}{2M+m}$	4　$\dfrac{2m(1+e)}{2\sqrt{2}M+m}$	5　$\dfrac{2m(1-e)}{2\sqrt{2}M+m}$
6　$\dfrac{m(1+e)}{2M+m}$	7　$\dfrac{m(1-e)}{2M+m}$	8　1

（オ）　の解答群

0　$\dfrac{1}{\sin\alpha}$	1　$\dfrac{1}{\cos\alpha}$	2　$\dfrac{1}{\sqrt{1+2\sin^2\alpha}}$
3　$\dfrac{1}{\sqrt{1+2\cos^2\alpha}}$	4　$\sin\alpha$	5　$\cos\alpha$
6　$\dfrac{1}{\sin^2\alpha}$	7　$\dfrac{1}{\cos^2\alpha}$	8　$\sin^2\alpha$
9　$\cos^2\alpha$		

（カ）　の解答群

0　$\sin\alpha$	1　$\cos\alpha$	2　$\sin\left(\dfrac{\pi}{3}-\alpha\right)$
3　$\cos\left(\dfrac{\pi}{3}-\alpha\right)$	4　$\sin\left(\dfrac{\pi}{4}+\alpha\right)$	5　$\cos\left(\dfrac{\pi}{4}+\alpha\right)$
6　$\sin\left(\dfrac{\pi}{3}-2\alpha\right)$	7　$\cos\left(\dfrac{\pi}{4}+2\alpha\right)$	8　$\cos\left(\dfrac{\pi}{4}-2\alpha\right)$

（キ）　の解答群

0　$V'_{Y'}$	1　$eV'_{Y'}+\dfrac{1}{\sqrt{2}}(v''-v')$
2　$eV'_{Y'}-\dfrac{1}{\sqrt{2}}(v''-v')$	3　$eV'_{Y'}-\dfrac{1}{\sqrt{2}}v''$
4　$-V'_{Y'}$	5　$-eV'_{Y'}-\dfrac{1}{\sqrt{2}}(v''-v')$
6　$-eV'_{Y'}+\dfrac{1}{\sqrt{2}}(v''-v')$	7　$-eV'_{Y'}+\dfrac{1}{\sqrt{2}}v''$

（ク） の解答群

0 $mV'_{Y'}$

1 $-m(1+e)V'_{Y'}+\frac{1}{\sqrt{2}}m(v''-v')$

2 $m(1+e)V'_{Y'}-\frac{1}{\sqrt{2}}m(v''-v')$

3 $m(1+e)V'_{Y'}-\frac{1}{\sqrt{2}}mv''$

4 $-mV'_{Y'}$

5 $-m(1+e)V'_{Y'}-\frac{1}{\sqrt{2}}m(v''-v')$

6 $m(1+e)V'_{Y'}+\frac{1}{\sqrt{2}}m(v''-v')$

7 $-m(1+e)V'_{Y'}+\frac{1}{\sqrt{2}}mv''$

（ケ） の解答群

0 $\frac{m(1-e)}{M+m}\sin\alpha$

1 $\frac{m(1+e)}{M+m}\sin\alpha$

2 $\frac{m(1-e)}{M+m}\cos\alpha$

3 $\frac{m(1+e)}{M+m}\cos\alpha$

4 $\frac{m(1-e)}{M+m}(\cos\alpha-\sin\alpha)$

5 $\frac{m(1-e)}{M+m}(\cos\alpha+\sin\alpha)$

6 $\frac{m(1+e)}{2M+m}(\cos\alpha+\sin\alpha)$

7 $\frac{m(1-e)}{2M+m}(\cos\alpha-\sin\alpha)$

8 $\frac{m(1+e)}{2M+m}(\cos\alpha-\sin\alpha)$

（コ） の解答群

0 0　　1 $\frac{\pi}{9}$　　2 $\frac{\pi}{8}$　　3 $\frac{\pi}{6}$　　4 $\frac{\pi}{4}$

右のページは白紙です。

2 次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき最も適当なものをそれぞれの**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。(同じ番号を何回用いてもよい。)　(30 点)

白熱電球は，そのフィラメントに電流を流して，温度を上昇させることによって発光する。室温状態のフィラメントに電流を流すと，フィラメントの温度が上昇し，やがて温度が一定の定常状態となる。**図 2-1** に示されているのは，電球 L の定常状態における電圧電流特性（電球の電圧 V [V] と電流 I [A] の関係）である。

(1) まず，**図 2-2** のような回路について考える。回路は，電球 L，スイッチ，抵抗（抵抗の大きさは R_0 [Ω]），電池（起電力は V_0 [V]）を含み，電球 L の電圧と電流を測定するために，電圧計と電流計が接続されている。この回路中の電圧計や電流計は，それらを回路に接続する前後で，電球 L に流れる電流が変化しないのが理想的である。そのような理想的な場合に，電圧計の内部抵抗は $\boxed{(ア)}$。また，電流計の内部抵抗は $\boxed{(イ)}$。なお，以下で**図 2-2** の電圧計および電流計はこのように理想的なものであるものとする。

室温で **図 2-2** の回路のスイッチを閉じると，回路に電流が流れてフィラメントの温度が上昇する。それにともなってフィラメントの抵抗が上昇し，やがて温度が一定の定常状態となる。この定常状態においては，スイッチを閉じた直後と比べて，電圧計の表示電圧は $\boxed{(ウ)}$。また，電流計の表示電流は $\boxed{(エ)}$。一方，抵抗の大きさが R_0 [Ω] の抵抗における消費電力は $\boxed{(オ)}$。そして，回路全体の消費電力は $\boxed{(カ)}$。回路中の電球 L を，L と同じ電圧電流特性を持つ電球 2 個と置き換えた場合について考える。これら 2 個の電球が直列につながれている場合の電圧計の表示電圧 V [V] と電流計の表示電流 I [A] の関係を表すグラフは $\boxed{(キ)}$ であり，並列につながれている場合のグラフは $\boxed{(ク)}$ である。

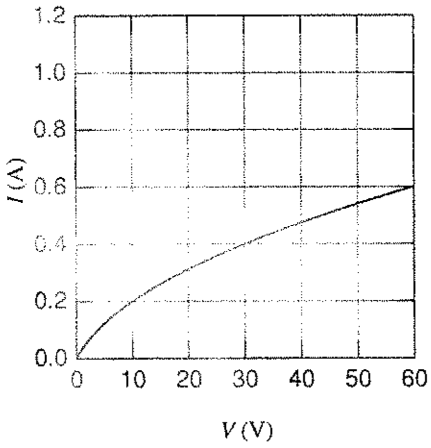


図 2-1

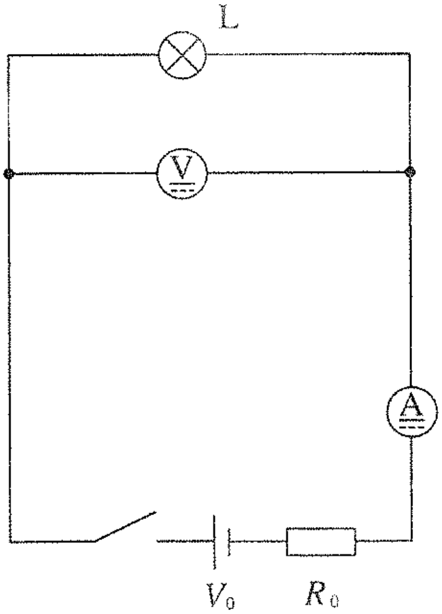


図 2-2

（ア），（イ） の解答群

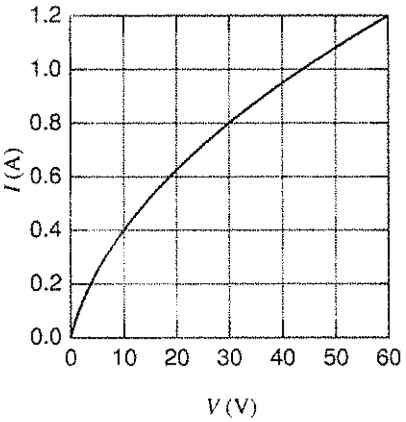
0 ゼロである　　1 R_0 [Ω] と等しい　　2 無限大である

（ウ），（エ），（オ），（カ） の解答群

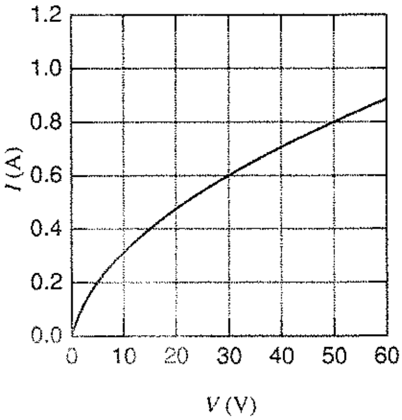
0 増加する　　1 変わらない　　2 減少する

(キ)，(ク) の解答群

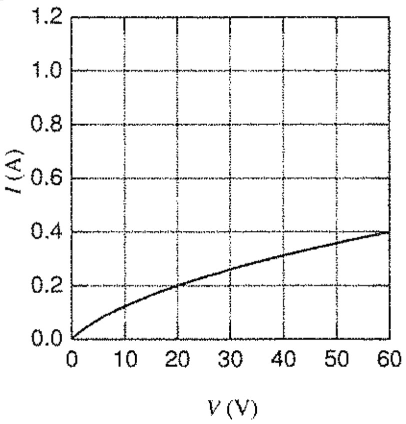
0



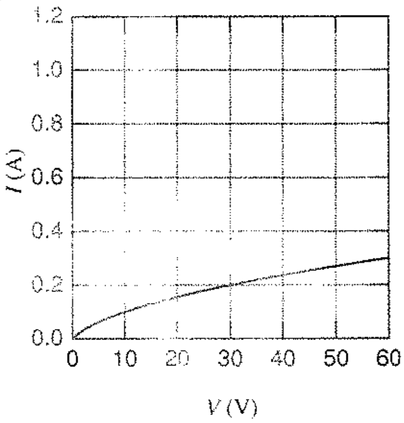
1



2



3



左のページは白紙です。

(2)　**図 2-2**（再掲）の回路において，スイッチを閉じて定常状態になったときの電球 L の抵抗を R_{L} [Ω]，電球 L にかかる電圧を V [V]，電球 L に流れる電流を I [A] とする。（ただし，V, I の向きは，$V > 0$, $I > 0$ となるように定義するものとする。）このとき，電圧に関するキルヒホッフの関係から，$R_{\mathrm{L}}I =$ $\boxed{\text{(ケ)}}$ [V] が得られる。ただし，R_{L} は，電球を流れる電流によって変化するので，**図 2-1** の V と I の関係を表すグラフと $V =$ $\boxed{\text{(ケ)}}$ [V] の交点を求めることにより，電球 L の電圧 V と電流 I が求められる。いま，$V_0 = 20$ V，$R_0 = 50$ Ω であるとすると，定常状態において，電球 L の電圧と電流は，それぞれ，$\boxed{\text{(コ)}}$ V，$\boxed{\text{(サ)}}$ A である。また，このときの回路全体の消費電力は $\boxed{\text{(シ)}}$ W である。

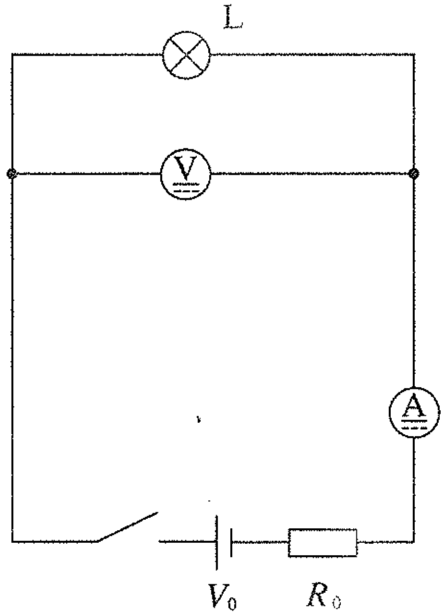


図 2-2（再掲）

（ケ） の解答群

0 $V_0 + R_0 I$	1 $V_0 - R_0 I$	2 $-V_0 + R_0 I$
3 V_0	4 $V + R_0 I$	5 $V - R_0 I$
6 $-V + R_0 I$		

（コ） の解答群

0 0	1 5	2 10	3 15	4 20
5 25	6 40	7 50	8 75	9 100

（サ） の解答群

0 0.1	1 0.2	2 0.3	3 0.4	4 0.5
5 0.6	6 0.7	7 0.8	8 0.9	9 1

（シ） の解答群

0 1	1 2	2 3	3 4	4 5
5 6	6 7	7 8	8 9	9 10

(3) **図 2-3** のように，**図 2-2** の回路において，L の代わりに L と同じ電圧電流特性を持つ 2 つの電球 $\mathrm{L_1}$, $\mathrm{L_2}$ を並列につないだ場合を考える。

$V_0 = 20\,\mathrm{V}$ のままで，$R_0 =$ **(ス)** Ω に変更したところ，定常状態において，電球 $\mathrm{L_1}$, $\mathrm{L_2}$ の明るさが，前問 (2) の電球 L の明るさと変わらなかった。この場合，**図 2-3** の回路において，電圧計の表示電圧は **(セ)** V，電流計の表示電流は **(ソ)** A であり，回路全体の消費電力は **(タ)** W である。

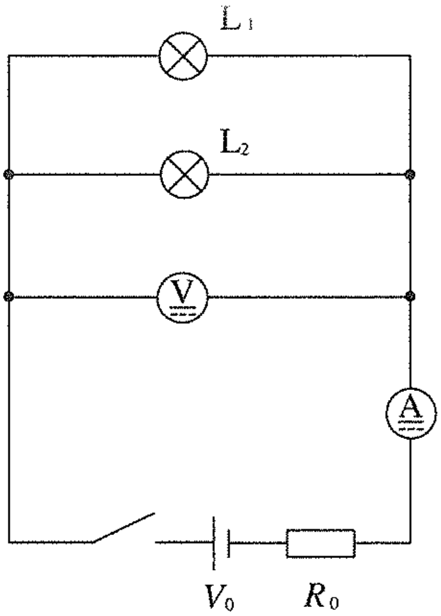


図 2-3

（ス），（セ） の解答群

0 0	1 5	2 10	3 15	4 20
5 25	6 40	7 50	8 75	9 100

（ソ） の解答群

0 0.1	1 0.2	2 0.3	3 0.4	4 0.5
5 0.6	6 0.7	7 0.8	8 0.9	9 1

（タ） の解答群

0 1	1 2	2 3	3 4	4 5
5 6	6 7	7 8	8 9	9 10

3 次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき最も適当なものをそれぞれの**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。(同じ番号を何回用いてもよい。) (30点)

図3のような，水平方向に置かれた断面積 $S\,[\mathrm{m}^2]$ のシリンダーがあり，その内部は，水平方向にのみ滑らかに動くことのできるピストンでA，Bの2室に仕切られている。A室の両端は，体積の無視できるバネでつながれており，バネの長さとA室の水平方向の長さは等しい。また，A室には理想気体が入っており，その気体に熱を与えたり奪ったりすることができるように，体積の無視できる熱交換器が取り付けられている。B室には圧力調整弁がついており，気体の出し入れによってB室の圧力の調整ができる。なお，シリンダー，ピストンは断熱のよい材質でできている。

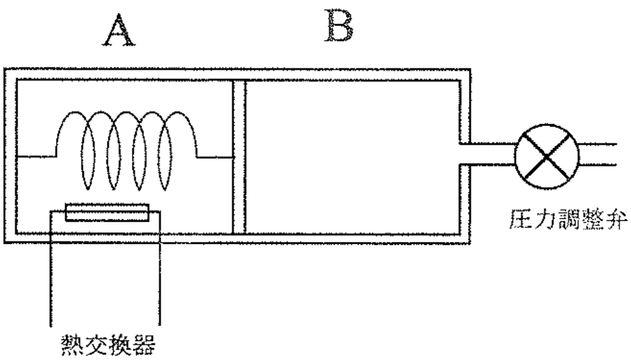


図3

最初の状態において，A 室の理想気体の圧力が P [Pa]，絶対温度が T [K] であり，バネの長さが L [m] であるとき，B 室の圧力は $\frac{3P}{4}$ [Pa] であった。この状態に対して，順に以下の操作 1 ～ 3 を行う。気体定数は R [J/(mol·K)] とする。

【操作 1】　A 室の圧力を変化させないように B 室の圧力を調節しながら，A 室をゆっくりと加熱したところ，バネの長さは $\frac{3L}{2}$ [m] となり，B 室の圧力は $\frac{P}{4}$ [Pa] となった。このときの理想気体の温度は $\boxed{\text{(ア)}}$ [K] である。また，理想気体の物質量は $\boxed{\text{(イ)}}$ [mol]，バネの自然長は $\boxed{\text{(ウ)}}$ [m]，バネ定数は $\boxed{\text{(エ)}}$ [N/m] である。この過程において，A 室の理想気体がピストンにした仕事は $\boxed{\text{(オ)}}$ [J] であり，バネの位置エネルギーの増加は $\boxed{\text{(カ)}}$ [J] である。A 室の理想気体に与えた熱量を Q_1 [J] とすると，定圧モル比熱は $\boxed{\text{(キ)}}$ [J/(mol·K)] と表される。

【操作 2】　操作 1 が完了した後に，A 室の理想気体の温度を変化させないようにしながら，バネの長さが L [m] になるまで，ゆっくりピストンを押したところ，A 室の圧力は $\boxed{\text{(ク)}}$ [Pa] となった。操作 2 の過程において，内部エネルギーの増加量は $\boxed{\text{(ケ)}}$ [J] であり，A 室の理想気体に与えた熱量 Q_2 [J] について $\boxed{\text{(コ)}}$ が成り立つ。

【操作 3】　操作 2 が完了した後に，バネの長さを変化させないようにしながら，A 室の圧力を P [Pa] にゆっくり戻したところ，温度は T [K] となり，操作 1 を行う直前の状態に戻った。操作 3 の過程で，A 室の理想気体に与えた熱量を Q_3 [J] とすると，定積モル比熱は $\boxed{\text{(サ)}}$ [J/(mol·K)] と表される。

上記のような操作 1 ～ 3 を順に行う過程は，ひとつのサイクルと考えることができる。このサイクルで，理想気体がピストンにした仕事の合計 $W = \boxed{\text{(シ)}}$ [J] であり，$\boxed{\text{(ス)}}$ が成り立つことから，このサイクルを逆向きに運転して、正の仕事を取り出す熱機関として考えたときの熱効率は，Q_1, Q_2, Q_3 を用いると $\boxed{\text{(セ)}}$ と表される。また，操作 1 の過程と操作 3 の過程を比べると，それぞれの過程での温度変化の大きさは同じであるので，$Q_1 + Q_3 = \boxed{\text{(ソ)}}$ [J] が成り立つ。したがって，$\left|\frac{Q_1}{Q_3}\right| = \frac{5}{3}$ の関係がある場合には，$Q_1 = \boxed{\text{(タ)}}$ [J] であり，定圧モル比熱は $\boxed{\text{(チ)}}$ [J/(mol·K)] であることがわかる。

（ア） の解答群

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

（イ） の解答群

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

（ウ） の解答群

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

（エ） の解答群

0 $\frac{PS}{3L}$　　1 $\frac{PS}{2L}$　　2 $\frac{2PS}{3L}$　　3 $\frac{PS}{L}$　　4 $\frac{3PS}{2L}$　　5 $\frac{2PS}{L}$

（オ），（カ） の解答群

0 0　　1 $\frac{PSL}{8}$　　2 $\frac{PSL}{4}$　　3 $\frac{3PSL}{8}$　　4 $\frac{PSL}{2}$

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

（キ） の解答群

0 $\frac{RQ_1}{2PSL}$　　1 $\frac{RQ_1}{PSL}$　　2 $\frac{3RQ_1}{2PSL}$　　3 $\frac{2RQ_1}{PSL}$　　4 $\frac{5RQ_1}{2PSL}$

5 $-\frac{RQ_1}{2PSL}$　　6 $-\frac{RQ_1}{PSL}$　　7 $-\frac{3RQ_1}{2PSL}$　　8 $-\frac{2RQ_1}{PSL}$　　9 $-\frac{5RQ_1}{2PSL}$

（ク） の解答群

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

（ケ） の解答群

0 0　　1 $\frac{PSL}{8}$　　2 $\frac{PSL}{4}$　　3 $\frac{3PSL}{8}$　　4 $\frac{PSL}{2}$

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

（コ） の解答群

0 $Q_2 > 0$　　1 $Q_2 = 0$　　2 $Q_2 < 0$

（サ） の解答群

0 $\dfrac{RQ_3}{2PSL}$　　1 $\dfrac{RQ_3}{PSL}$　　2 $\dfrac{3RQ_3}{2PSL}$　　3 $\dfrac{2RQ_3}{PSL}$　　4 $\dfrac{5RQ_3}{2PSL}$

5 $-\dfrac{RQ_3}{2PSL}$　　6 $-\dfrac{RQ_3}{PSL}$　　7 $-\dfrac{3RQ_3}{2PSL}$　　8 $-\dfrac{2RQ_3}{PSL}$　　9 $-\dfrac{5RQ_3}{2PSL}$

（シ） の解答群

0 $Q_1 + Q_2 + Q_3$　　1 $Q_1 + Q_2 - Q_3$　　2 $Q_1 - Q_2 + Q_3$

3 $Q_1 - Q_2 - Q_3$　　4 $-Q_1 + Q_2 + Q_3$　　5 $-Q_1 + Q_2 - Q_3$

6 $-Q_1 - Q_2 + Q_3$　　7 $-Q_1 - Q_2 - Q_3$

（ス） の解答群

0 $W > 0$　　1 $W = 0$　　2 $W < 0$

（セ） の解答群

0 $\dfrac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{Q_1}$　　1 $-\dfrac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{Q_1}$

2 $\dfrac{Q_2}{Q_1}$　　3 $-\dfrac{Q_2}{Q_1}$

4 $\dfrac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{Q_2 + Q_3}$　　5 $-\dfrac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{Q_2 + Q_3}$

6 $\dfrac{Q_2}{Q_2 + Q_3}$　　7 $-\dfrac{Q_2}{Q_2 + Q_3}$

（ソ），（タ） の解答群

0 0　　1 $\dfrac{PSL}{8}$　　2 $\dfrac{PSL}{4}$　　3 $\dfrac{3PSL}{8}$　　4 $\dfrac{PSL}{2}$

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

（チ） の解答群

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

4　次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき最も適当なものをそれぞれの**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。(同じ番号を何回用いてもよい。答えが数値となる場合は最も近い数値を選ぶこと。)　(20 点)

図 4-1 のように線密度 σ [kg/m] の弦の一端をコマ O で固定し，弦を床と平行に保ち他端を張力 T [N] で引っぱる。O の位置を原点とする x 軸を設定する。コマ S を動かすことによって弦の長さを自由に調節することができる。弦を伝わる横波の速さ v [m/s] は線密度と張力とによって $v = \sqrt{\dfrac{T}{\sigma}}$ と与えられる。

(1) 線密度 $\sigma_0 = 4.00 \times 10^{-3}$ kg/m の弦を張る。コマ S の位置を $x = 0.300$ m と設定したときに，OS 間のどこかを指で弾いて周波数 $f_C = 262$ Hz (C の音) の基本振動を得るためには，張力 T [N] を $T_0 =$ $\boxed{\text{(ア)}}$ N にする。1 オクターブ上の音はちょうど 2 倍の周波数に対応する。f_C の 1 オクターブ上の C$'$ の音を得るためにはいくつか方法があるが，張力を T_0 に固定して，張られている弦の線密度を $\boxed{\text{(イ)}}$ $\times \sigma_0$ にする，あるいは，T_0, σ_0 を変えずにコマ S の位置を $x =$ $\boxed{\text{(ウ)}}$ m にすることで得ることができる。

ある音と，周波数比が簡単な分数になる音を同時に鳴らすと心地よく響く（協和する）ことが知られている。例えば，F, G という音は C のそれぞれ $\dfrac{4}{3}$, $\dfrac{3}{2}$ 倍の周波数を持っており，これらは C と良く響きあう。線密度 σ_0 の弦を張力 T_0 で張る場合を考えると，f_C の $\dfrac{4}{3}$, $\dfrac{3}{2}$ 倍の周波数を持つ F, G の基本振動を得るためには，コマ S の位置をそれぞれ $x =$ $\boxed{\text{(エ)}}$ m, $\boxed{\text{(オ)}}$ m とすればよい。もし弦の長さを $x = 0.300$ m に固定する場合は，張力をそれぞれ $\boxed{\text{(カ)}}$ $\times T_0$, $\boxed{\text{(キ)}}$ $\times T_0$ にすることによってこれらの F, G の音を得ることができる。

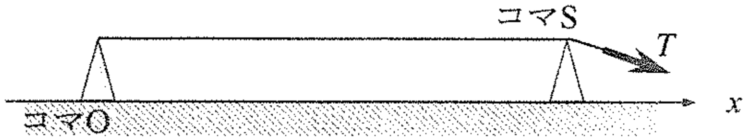


図 4-1

(ア) の解答群

0 0.157	1 0.314	2 0.629	3 1.26
4 24.7	5 49.4	6 98.8	7 197.6

(イ), (カ), (キ) の解答群

0 $\frac{1}{4}$	1 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{3}{4}$	3 1
4 $\frac{4}{3}$	5 $\frac{3}{2}$	6 $\frac{16}{9}$	7 2
8 $\frac{9}{4}$			

(ウ), (エ), (オ) の解答群

0 0.150	1 0.200	2 0.225	3 0.250
4 0.275	5 0.300	6 0.325	7 0.400
8 0.450			

(2) 次に，音階がどのように作られるか考えてみよう。コマSを適当に動かして振動する弦の長さを短くすることによって，順に高音を出していく。Cから1オクターブ上のC′の間には，C, C$^\sharp$, D, D$^\sharp$, E, F, F$^\sharp$, G, G$^\sharp$, A, A$^\sharp$, Bの12の音程があり(**図4-2**にピアノの鍵盤を用いてこれらの音程を示した)，平均律と呼ばれる音階の場合，ある音と隣り合う音の周波数比が常に等しく，かつC′はCの2倍の周波数となるように音階が構成されている。つまり，平均律の各音の周波数は，隣り合う音の周波数比が $\boxed{\text{(ク)}}$ である等比数列をなす。

ところで，$\boxed{\text{(ク)}} \fallingdotseq 1.05946$ が $\dfrac{18}{17} \fallingdotseq 1.05882$ にきわめて近いことを用いて，コマSの位置を幾何学的に求めることができることが知られている。弦の密度を σ_0，張力を T_0 のとき f_C の振動数を得るコマSの位置を P_0 とする。まず，均等に18コの目盛りがふられた定規を用意し，一端をOの位置にあてがう(**図4-3**)。1番目の目盛から P_0 に直線を引き，これに平行になるように2番目の目盛りから弦に直線を引き，弦との交点を P_1 とする。線分 P_0P_1 の長さ $\overline{P_0P_1}$ は線分 P_0O の長さ $\overline{P_0O}$ を $\boxed{\text{(ケ)}}$ 等分したものであることがわかるので，P_1 がC$^\sharp$の周波数を得るためのコマSの位置になる。C$^\sharp$の隣のDの周波数を得るためのコマSの位置は，今度は線分 P_1O の長さ $\overline{P_1O}$ を $\boxed{\text{(ケ)}}$ 等分することによって得られる。そのためには次のようにする。弦と垂直に P_0 から線を引き，$\overline{P_0P_1}$ と等しい長さの点を R_0 とする。同様に，弦と垂直に P_1 から線を引き，直線 OR_0 と交わる点を R_1 とすると，$\triangle P_1OR_1$ と $\triangle P_0OR_0$ は相似であるため，線分 P_1R_1 の長さを $\overline{P_1R_1}$，線分 P_0R_0 の長さを $\overline{P_0R_0}$ として，$\overline{P_1R_1} = \boxed{\text{(コ)}} \times \overline{P_0R_0} = \boxed{\text{(サ)}} \times \overline{P_1O}$ などとなることがわかる。そこで，弦の上に $\overline{P_1P_2} = \overline{P_1R_1}$ となるようにコマSの位置 P_2 を定めると，それがDの周波数を得るためのコマSの位置に等しい。このようにして，順々にコマSの位置を決定していくことができる。一つ高い音程を出すためにコマSを動かす距離は，音程が上がると $\boxed{\text{(シ)}}$ なることがわかる。このようなやり方で音程を求めたときに，Cを1とした場合のC, F, Gの周波数の比率は $f_C : f_F : f_G = 1 : \boxed{\text{(ス)}} \fallingdotseq 1 : \dfrac{4}{3} : \dfrac{3}{2}$ となることがわかる。

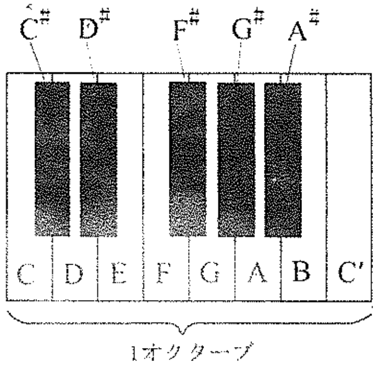


図 4-2

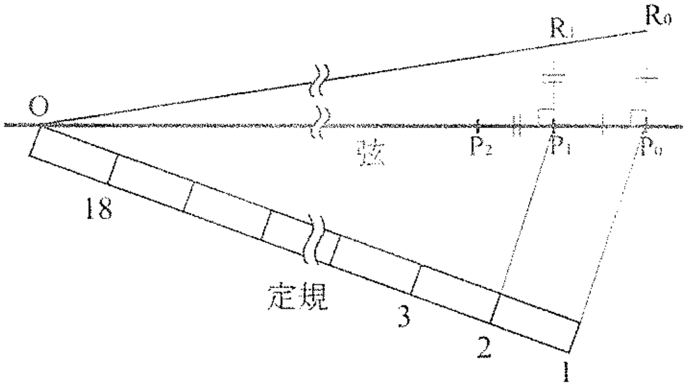


図 4-3

(ク) の解答群

0 $\sqrt[4]{2}$ 1 $\sqrt[6]{2}$ 2 $\sqrt[8]{2}$ 3 $\sqrt[11]{2}$ 4 $\sqrt[12]{2}$

(ケ) の解答群

0 2 1 3 2 4 3 6

4 12 5 14 6 16 7 18

(コ), (サ) の解答群

0 $\frac{1}{17}$ 1 $\frac{11}{17}$ 2 $\frac{13}{17}$ 3 $\frac{18}{17}$

4 $\frac{1}{18}$ 5 $\frac{11}{18}$ 6 $\frac{13}{18}$ 7 $\frac{17}{18}$

(シ) の解答群

0 大きく 1 一定に 2 小さく

(ス) の解答群

0 $\left(\frac{17}{18}\right)^4 : \left(\frac{17}{18}\right)^5$ 1 $\left(\frac{17}{18}\right)^5 : \left(\frac{17}{18}\right)^7$ 2 $\left(\frac{18}{17}\right)^4 : \left(\frac{18}{17}\right)^5$

3 $\left(\frac{18}{17}\right)^5 : \left(\frac{18}{17}\right)^7$