平成23年度　〔試験時間　80分〕

Ｊ３ 物理　Ｊ４ 化学　Ｊ５ 生物

この冊子は，物理，化学 および 生物 の問題を１冊にまとめてあります。

物理学科は物理指定

応用生物科学科と経営工学科は，物理・化学・生物のいずれかを選択

物理の問題は，１ページより20ページまであります。
化学の問題は，21ページより32ページまであります。
生物の問題は，33ページより53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及び氏名を記入し，さらに受験番号・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) 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。

物　　　理

1 次の問題の $\boxed{}$ の中にい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。)　　(25 点)

図1のような山上にある湧き水を利用したケーブルカー(水力ケーブルカー)の運動について考えてみよう。このケーブルカーの2台の車両は同じ質量 M〔kg〕を持ち，質量 m〔kg〕の水を入れることのできるタンクを備えている。2台の車両は山上駅にあるなめらかに回転する滑車を介して伸び縮みしないケーブルでつながれ，車両にはブレーキが付いている。ブレーキをかけない場合でもケーブルカーはレールに対して一定の動摩擦係数 μ_0 を持つような動きをし，ブレーキのかけ方に応じてこの動摩擦係数が増加する。山上駅とふもとの駅の距離は L〔m〕，水平面からのレールの傾斜角は一定で θ〔rad〕である。ケーブルと滑車および乗客と運転手の質量は無視する。重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕として以下の設問に答えなさい。

山上駅に停車している車両(1号車)のタンクに水を一杯入れる。ふもとの駅にある車両(2号車)の水を捨てて両車両のブレーキを解除すると車両は等加速度で動き出した。この時の加速度の大きさは $\boxed{(ア)}$〔m/s^2〕である。以下ではこの加速度の大きさを a〔m/s^2〕とする。

ケーブルカーが ℓ〔m〕($\ell < \frac{L}{2}$)進んだところで両車両のレールに対する動摩擦係数を μ_0 から μ に変化させると，ケーブルカーは一定の速さで進むようになった。このときの速さは $\boxed{(イ)}$〔m/s〕であり，$\mu = \boxed{(ウ)}$ である。

その後，1号車がふもとの駅の手前 ℓ〔m〕の地点に達したとき両車両のブレーキを調節して両車両のレールに対する動摩擦係数が $\boxed{(エ)}$ となるようにしたところ，両車両は各駅でちょうど停止した。1号車が山上駅を出てから ℓ〔m〕進むまでの時間は $\boxed{(オ)}$〔s〕であり，その後一定の速さで進行した時間は

$\boxed{\text{(カ)}}$ 〔s〕, 最後の ℓ〔m〕進むのに要した時間は $\boxed{\text{(キ)}}$ 〔s〕であった。

1号車が山上駅を出てふもとの駅に到着するまでに水も含めた2台のケーブルカーの位置エネルギーの総和は $\boxed{\text{(ク)}}$ 〔J〕だけ減少した。このエネルギーがすべて摩擦熱として失なわれたとすると1号車での発熱量は $\boxed{\text{(ケ)}}$ 〔J〕である。

1号車の水を捨てて，2号車のタンクに水を入れるとケーブルカーは同様の運転をすることができる。

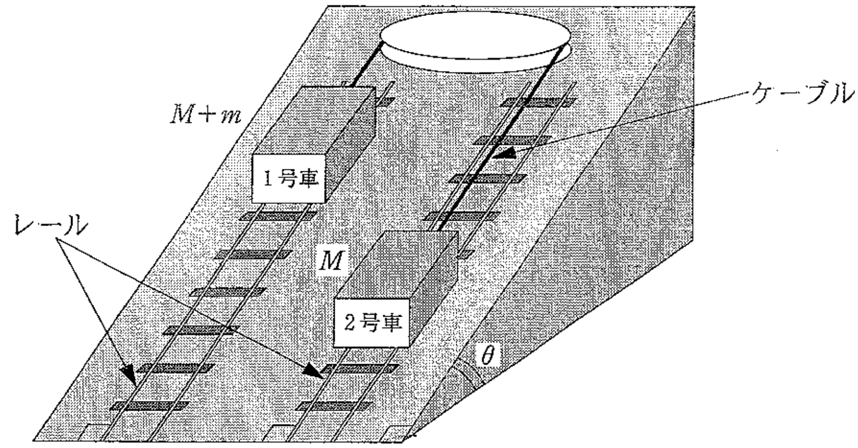


図1

(ア)の解答群

0 $g\left(\dfrac{m}{M+m}\sin\theta-\mu_0\cos\theta\right)$　　1 $g\left(\dfrac{m}{M-m}\sin\theta-\mu_0\cos\theta\right)$

2 $g\left(\dfrac{m}{2M+m}\sin\theta-\mu_0\cos\theta\right)$　　3 $g\left(\dfrac{m}{2M-m}\sin\theta-\mu_0\cos\theta\right)$

4 $2g\left(\dfrac{m}{M+m}\sin\theta-\mu_0\cos\theta\right)$　　5 $2g\left(\dfrac{m}{M-m}\sin\theta-\mu_0\cos\theta\right)$

6 $2g\left(\dfrac{m}{2M+m}\sin\theta-\mu_0\cos\theta\right)$　　7 $2g\left(\dfrac{m}{2M-m}\sin\theta-\mu_0\cos\theta\right)$

(イ)の解答群

0 $\dfrac{a\ell}{2}$　　1 $a\ell$　　2 $2a\ell$

3 $4a\ell$　　4 $\sqrt{\dfrac{a\ell}{2}}$　　5 $\sqrt{a\ell}$

6 $\sqrt{2a\ell}$　　7 $2\sqrt{a\ell}$　　8 $4\sqrt{a\ell}$

(ウ), (エ)の解答群

0 $\dfrac{m}{M+m}\tan\theta$　　1 $\dfrac{m}{M-m}\tan\theta$

2 $\dfrac{m}{2M+m}\tan\theta$　　3 $\dfrac{m}{2M-m}\tan\theta$

4 $\dfrac{2m}{M+m}\tan\theta-\mu_0$　　5 $\dfrac{2m}{M-m}\tan\theta-\mu_0$

6 $\dfrac{2m}{2M+m}\tan\theta-\mu_0$　　7 $\dfrac{2m}{2M-m}\tan\theta-\mu_0$

右のページは白紙です。

(オ), (カ), (キ)の解答群

0 $\sqrt{\dfrac{\ell}{2a}}$　　1 $\sqrt{\dfrac{\ell}{a}}$　　2 $\sqrt{\dfrac{2\ell}{a}}$　　3 $2\sqrt{\dfrac{\ell}{a}}$

4 $\dfrac{L-\ell}{\sqrt{a\ell}}$　　5 $\dfrac{L-\ell}{\sqrt{2a\ell}}$　　6 $\dfrac{L-\ell}{2\sqrt{a\ell}}$　　7 $\dfrac{L-2\ell}{\sqrt{a\ell}}$

8 $\dfrac{L-2\ell}{\sqrt{2a\ell}}$　　9 $\dfrac{L-2\ell}{2\sqrt{a\ell}}$

(ク), (ケ)の解答群

0 $mgL\sin\theta$　　1 $(M+m)gL\sin\theta$

2 $(2M+m)gL\sin\theta$　　3 $(2M-m)gL\sin\theta$

4 $\dfrac{m(2M+m)}{M+m}gL\sin\theta$　　5 $\dfrac{m(2M-m)}{M+m}gL\sin\theta$

6 $\dfrac{m(M-m)}{M+m}gL\sin\theta$　　7 $\dfrac{2m(M+m)}{M+m}gL\sin\theta$

8 $\dfrac{m(M-m)}{2M+m}gL\sin\theta$　　9 $\dfrac{m(M+m)}{2M+m}gL\sin\theta$

右のページは白紙です。

2 次の問題の $\boxed{}$ の中にい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)

抵抗値 r〔Ω〕を持つ正方形のループ金属線(一辺の長さ a〔m〕)を，半径 ℓ〔m〕の帯状の絶縁物の表面に等間隔に埋め込んだ円形はしご状の物体を作る($a \ll \ell$ である)。これを，水平面上に固定された同じく半径 ℓ の円形のレールの上に置く(図2a)。ループ同士の間隔は無視できるほど小さいとする。一辺 a の正方形の断面をもつ棒磁石をはしごの内部に図のように置く。棒磁石の中央とレールの中心Oは一致しており，棒磁石はOを中心として水平面上を角速度 ω〔rad/s〕で回転している。磁極面(棒磁石の両端面)とはしごは非常に近接しており，その間隔は無視できるほど小さい。磁極面とループの面は平行である。磁石の生み出す磁場は磁極面のすぐ外側では近似的に面に垂直で　その磁束密度の大きさは B〔T〕である(図2b)。磁極面とループはある時刻に完全に重なるように調整されている。本問では，磁極近傍のループに対して垂直に貫く磁力線の効果のみを考え，周辺に漏れ出す磁束はすべて無視するものとする。棒磁石とはしごの回転の向きは図の上方より見て反時計まわりを正とし，ループ内の電流の向きは中心Oから見て時計まわりを正とする。

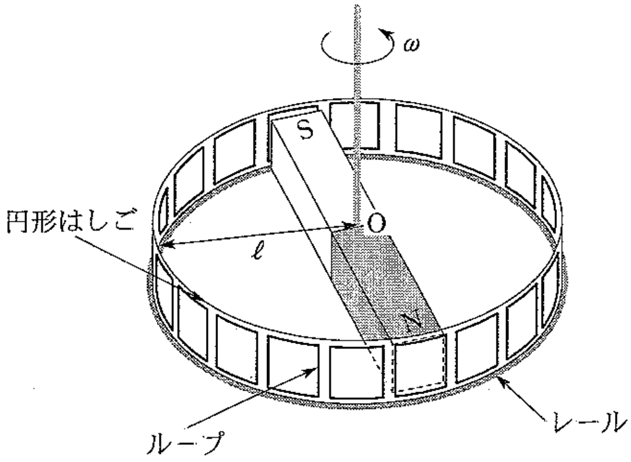


図2a

(1) はしごがレールに固定されていて動かない場合について考えよう。図２ｂは，ある瞬間にＮ極から出た磁力線が近傍の２個の正方形のループL_1，L_2を貫く様子を図示したものである。磁極面のループに対する速さは$v=$ $\boxed{(ア)}$ 〔m/s〕である。磁極面がループL_1と完全に重なった時刻t〔s〕を$t=0$とする。時刻t〔s〕のときループL_1，L_2を横切る磁束Φ_1　Φ_2〔Wb〕は，$0\leqq t\leqq$ $\boxed{(イ)}$ においてはそれぞれ一定の割合で変化し，$\Phi_1=$ $\boxed{(ウ)}$ ，$\Phi_2=$ $\boxed{(エ)}$ と表される。$\boxed{(イ)}$ $\leqq t\leqq\dfrac{2a}{\ell\omega}$においては，$\Phi_1=$ $\boxed{(オ)}$ ，$\Phi_2=$ $\boxed{(カ)}$ である。これらをtの関数として表すと $\boxed{(キ)}$ のようなグラフになる。ループL_1，L_2に発生する電流をI_1，I_2〔A〕とすると，$0\leqq t\leqq$ $\boxed{(イ)}$ において$I_1=$ $\boxed{(ク)}$ ，$I_2=$ $\boxed{(ケ)}$ であり，$\boxed{(イ)}$ $\leqq t\leqq\dfrac{2a}{\ell\omega}$において$I_1=$ $\boxed{(コ)}$ ，$I_2=$ $\boxed{(サ)}$ となる。

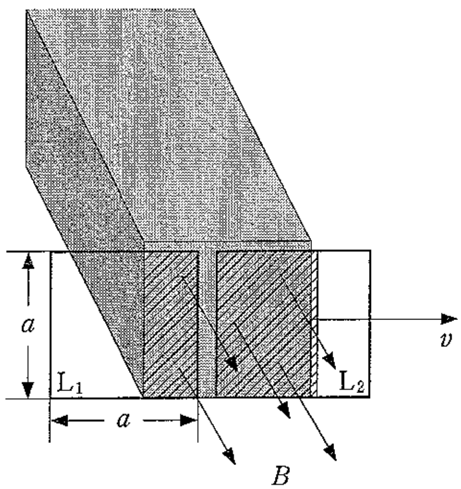


図２ｂ

(ア)の解答群

0 $\frac{1}{2}\omega$　　1 ω　　2 2ω

3 $\frac{1}{2}\ell\omega$　　4 $\ell\omega$　　5 $2\ell\omega$

6 $\frac{\ell}{2\omega}$　　7 $\frac{\ell}{\omega}$　　8 $\frac{2\ell}{\omega}$

(イ)の解答群

0 $\frac{a}{2\ell\omega}$　　1 $\frac{a}{\ell\omega}$　　2 $\frac{3a}{2\ell\omega}$　　3 $\frac{2a}{\ell\omega}$

(ウ), (エ), (オ), (カ)の解答群

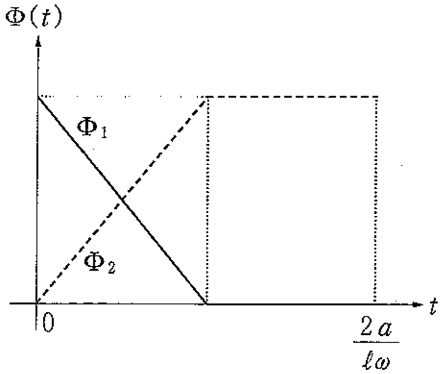
0 $Ba(a-\omega t)$　　1 $Ba(a+\ell\omega t)$　　2 $Ba(a-\frac{\ell t}{\omega})$

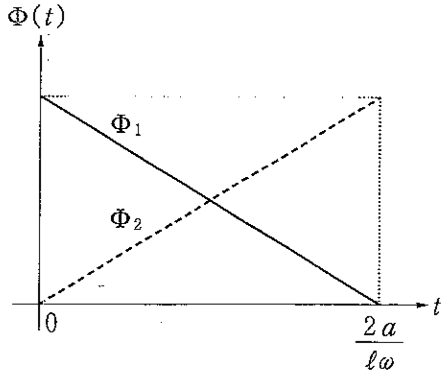
3 $Ba\ell\omega t$　　4 0　　5 $Ba\frac{\ell t}{\omega}$

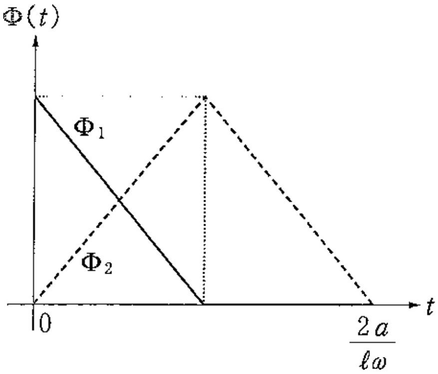
6 $Ba(2a-\ell\omega t)$　　7 $Ba(a-\ell\omega t)$　　8 $Ba(2a-\omega t)$

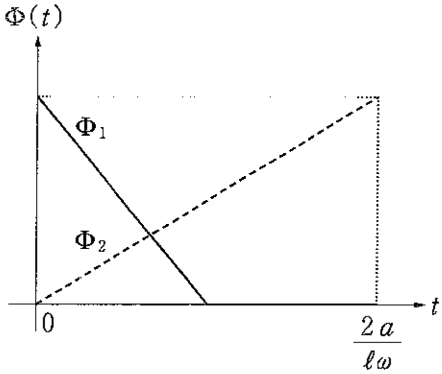
9 $Ba\omega t$

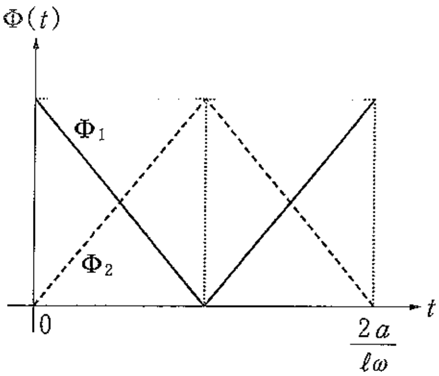
(キ)の解答群

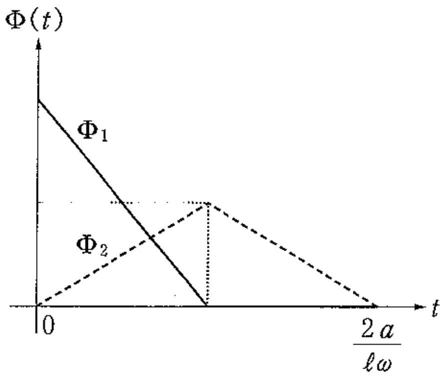
0


1


2


3


4


5


(ク), (ケ), (コ), (サ)の解答群

0 $\dfrac{Ba\ell}{r\omega}$　1 $\dfrac{Ba\ell\omega}{r}$　2 $-\dfrac{Ba\ell\omega}{r}$　3 0　4 $\dfrac{Ba\omega}{r}$

5 $-\dfrac{Ba\omega}{r}$　6 $-\dfrac{Ba\ell}{r\omega}$　7 $Ba\ell r\omega$　8 $-Ba\ell r\omega$

(2)　棒磁石が回転すると，N極から出た磁力線はその近傍のループを次々と貫いていき，それらのループには小問(1)で考察した電流が流れる。N極近傍の2個のループに発生するローレンツ力を求めてみると，その合力の大きさは $\boxed{\text{(シ)}}$ 〔N〕となる。同様の考察をS極近傍の2個のループについて行うと，この2個のループに発生するローレンツ力の合力の大きさは $\boxed{\text{(ス)}}$ 〔N〕となることが分かる。今，はしごは，これらの偶力のモーメント $\boxed{\text{(セ)}}$ 〔N・m〕に逆らって固定されていることになる。

(シ)，(ス)の解答群

0　$\dfrac{2B^2a^2\omega}{r}$　　1　$\dfrac{B^2a^2\omega}{r}$　　2　$\dfrac{2B^2\ell a^2\omega}{r}$

3　$\dfrac{B^2\ell a^2\omega}{r}$　　4　$\dfrac{2B^2\ell a^2}{r\omega}$　　5　$\dfrac{B^2\ell a^2}{r\omega}$

6　$\dfrac{2B\ell a^2\omega}{r}$　　7　$\dfrac{B\ell a^2\omega}{r}$　　8　0

(セ)の解答群

0　$\dfrac{4B^2\ell a^2\omega}{r}$　　1　$\dfrac{2B^2\ell a^2\omega}{r}$　　2　$\dfrac{4B^2\ell^2a^2}{r\omega}$

3　$\dfrac{2B^2\ell^2a^2\omega}{r}$　　4　0　　5　$\dfrac{2B^2\ell^2a^2}{r\omega}$

6　$\dfrac{4B\ell^2a^2\omega}{r}$　　7　$\dfrac{2B\ell^2a^2\omega}{r}$　　8　$\dfrac{4B^2\ell^2a^2\omega}{r}$

(3) 次に，はしごの固定を外した場合について考える。ローレンツ力によってはしごは $\boxed{\quad (ソ) \quad}$ に回転を始める。ここでは，はしごとレールの間の摩擦に起因する力のモーメントとローレンツ力のモーメントがちょうどつりあって，一定の角速度 ω' で回転する。この摩擦による偶力のモーメントの大きさは $S \cdot 2\ell$ のように表せる。そこで，角速度 ω' は S をもちいて $\omega' = (\omega -$ $\boxed{\quad (タ) \quad}$ $)$ [rad/s] と求まる。

(ソ)の解答群

0 正の向き(反時計回り)　　1 負の向き(時計回り)

(タ)の解答群

0 $\dfrac{rS}{B\ell a^2}$　　1 $\dfrac{rS}{B^2\ell a^2}$　　2 $\dfrac{2rS}{B^2\ell a^2}$

3 $\dfrac{rS}{2B\ell a^2}$　　4 $\dfrac{rS}{2B^2\ell a^2}$　　5 $\dfrac{2rS}{B\ell a^2}$

6 $\dfrac{rS}{2B^2\ell^2 a}$　　7 $\dfrac{rS}{B^2\ell^2 a}$　　8 $\dfrac{2rS}{B^2\ell^2 a}$

$\boxed{3}$ 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。) (25 点)

気体の圧力をミクロな立場から考えてみよう。

(1) 一辺の長さが L〔m〕の立方体の容器に1個の質量が m〔kg〕の単原子分子が N 個入っている(図3)。個々の分子は乱雑な運動をしているが分子どうしの衝突はないものとする。速さ v〔m/s〕で運動している1個の分子について考える。この分子の速度ベクトルの成分を $(v_x,\ v_y,\ v_z)$ とする(ただし $v_x > 0$ で，速度の単位は〔m/s〕とする)。分子と容器の壁との衝突は弾性衝突であり，分子が x 軸に垂直な静止した壁 A ($x = L$ の面) と衝突すると分子の速度の x 成分のみが v_x から $-v_x$ に変化する。この衝突により壁 A は $\boxed{(ア)}$〔kg・m/s〕の力積を受ける。この分子と壁 A との衝突は繰り返し起こるので壁 A が t〔s〕の間にこの分子から受ける力積の総和は $\boxed{(イ)}$〔kg・m/s〕となる。

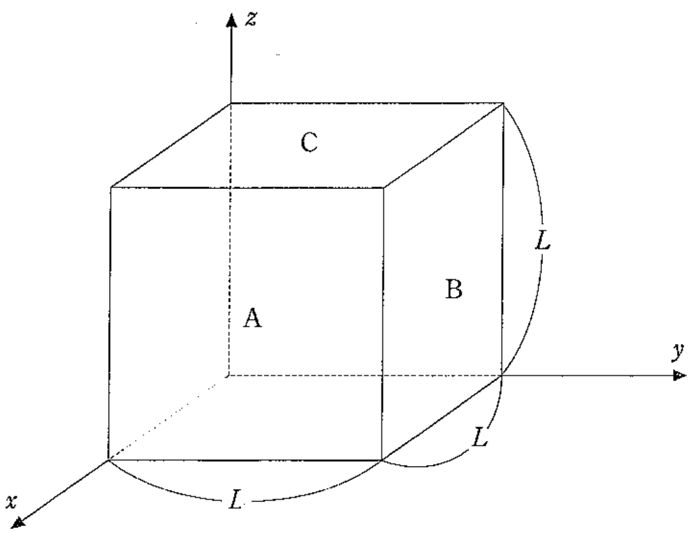


図 3

(ア)の解答群

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

(イ)の解答群

0　$\dfrac{mv_xt}{2L}$	1　$\dfrac{mv_xt}{L}$	2　$\dfrac{2mv_xt}{L}$
3　$\dfrac{mv_x^2t}{2L}$	4　$\dfrac{mv_x^2t}{L}$	5　$\dfrac{2mv_x^2t}{L}$
6　$\dfrac{mv_x^2t}{2}$	7　mv_x^2t	8　$2mv_x^2t$

(2) 容器内のすべての分子についてのv^2, v_x^2, v_y^2, v_z^2の平均値をそれぞれ$\langle v^2\rangle$, $\langle v_x^2\rangle$, $\langle v_y^2\rangle$, $\langle v_z^2\rangle$とする。またx, y, z方向は等価であるので$\langle v_x^2\rangle = \langle v_y^2\rangle = \langle v_z^2\rangle =$ $\boxed{(ウ)}$ $\times\langle v^2\rangle$がなりたつ。分子の個数Nは極めて大きいので壁Aが容器内の分子から受ける力は時間的に一定であると考えることができ，その値は $\boxed{(エ)}$ $\times\langle v_x^2\rangle$〔N〕である。従って，容器の壁が気体から受ける圧力は $\boxed{(オ)}$ $\times\langle v^2\rangle$〔Pa〕である。この結果と理想気体の状態方程式から$\langle v^2\rangle$と気体の温度T〔K〕の関係は$\langle v^2\rangle =$ $\boxed{(カ)}$ と表わすことができる。ただし，アボガドロ定数をN_A〔1/mol〕，気体定数をR〔J/(mol・K)〕とする。

(ウ)の解答群

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

(エ)の解答群

0 $\frac{mN}{2L^2}$	1 $\frac{mN}{L^2}$	2 $\frac{2mN}{L^2}$	3 $\frac{mN}{2L}$	4 $\frac{mN}{L}$
5 $\frac{2mN}{L}$	6 $\frac{mNL}{2}$	7 mNL	8 $2mNL$	

(オ)の解答群

0 $\frac{mN}{3L^3}$	1 $\frac{mN}{2L^3}$	2 $\frac{mN}{L^3}$	3 $\frac{mN}{3L^2}$	4 $\frac{mN}{2L^2}$
5 $\frac{mN}{L^2}$	6 $\frac{mN}{3L}$	7 $\frac{mN}{2L}$	8 $\frac{mN}{L}$	

(カ)の解答群

0 $\dfrac{RT}{3\,mN_A}$　　1 $\dfrac{RT}{2\,mN_A}$　　2 $\dfrac{RT}{mN_A}$

3 $\dfrac{2\,RT}{mN_A}$　　4 $\dfrac{3\,RT}{mN_A}$　　5 $\dfrac{mRT}{3\,N_A}$

6 $\dfrac{mRT}{N_A}$　　7 $\dfrac{2\,mRT}{N_A}$　　8 $\dfrac{3\,mRT}{N_A}$

(3) 次に，容器の体積が変化する場合について考える。x，y，z 軸に垂直な3つの壁A，B，Cをそれぞれ一定の速さ u〔m/s〕($u>0$)で微小距離 ΔL〔m〕だけ容器の内側に移動する($\Delta L>0$)。まず小問(1)と同様に $\vec{v}=(v_x,\ v_y,\ v_z)$ の速度成分を持っている1個の分子について考える($v_x>0$)。$|v_x|$，$|v_y|$，$|v_z|$ は u に比べてはるかに大きく，かつ L は ΔL よりはるかに大きいとする。この分子が動いている壁Aに衝突すると分子の速度の x 成分の絶対値は $\boxed{\text{(キ)}}$〔m/s〕増加する。ΔL が小さいので壁が動いている間も時間あたりの衝突回数は小問(1)の場合と変わらないとする。壁が ΔL〔m〕だけ動く間にこの分子は壁Aに $\boxed{\text{(ク)}}$ 回衝突し，その結果速度の x 成分の絶対値は壁の移動前の値の $\boxed{\text{(ケ)}}$ 倍となる。容器内の他の分子についても同様の変化が起こったと考えられるので $\langle v_x^2\rangle$ は壁の移動前の値の $\boxed{\text{(コ)}}$ 倍となった。ここで $\langle v_x^2\rangle \fallingdotseq \langle|v_x|\rangle^2$ とみなすことができる。ただし，$\langle|v_x|\rangle^2$ は $|v_x|$ の平均値の2乗を表す。また，$|a|$ が1にくらべて十分小さいとき $(1+a)^n \fallingdotseq 1+na$ と近似できる。v_y，v_z についても同様の変化が起こったはずであるので，小問(2)の(カ)の関係を用いて気体の温度変化 ΔT〔K〕は $\Delta T=\boxed{\text{(サ)}}\times\dfrac{\Delta L}{L}T$ となる。

(キ)の解答群

0 $u+v_x$	1 $2u+v_x$	2 v_x-u
3 v_x-2u	4 u	5 $2u$
6 $\dfrac{u^2}{2v_x}$	7 $\dfrac{u^2}{v_x}$	8 $\dfrac{2u^2}{v_x}$

(ク)の解答群

0 $\dfrac{\Delta Lv_x}{3Lu}$	1 $\dfrac{\Delta Lv_x}{2Lu}$	2 $\dfrac{\Delta Lv_x}{Lu}$
3 $\dfrac{2\Delta Lv_x}{Lu}$	4 $\dfrac{3\Delta Lv_x}{Lu}$	5 $\dfrac{\Delta Lu}{3Lv_x}$
6 $\dfrac{\Delta Lu}{2Lv_x}$	7 $\dfrac{\Delta Lu}{Lv_x}$	8 $\dfrac{2\Delta Lu}{Lv_x}$

(ケ), (コ)の解答群

0 1

1 $\left(1+\dfrac{\Delta L}{2L}\right)$

2 $\left(1+\dfrac{\Delta L}{L}\right)$

3 $\left(1+\dfrac{2\Delta L}{L}\right)$

4 $\left(1-\dfrac{\Delta L}{3L}\right)$

5 $\left(1-\dfrac{\Delta L}{2L}\right)$

6 $\left(1-\dfrac{\Delta L}{L}\right)$

7 $\left(1-\dfrac{2\Delta L}{L}\right)$

8 $\left(1-\dfrac{3\Delta L}{L}\right)$

(サ)の解答群

0 $\dfrac{1}{6}$

1 $\dfrac{1}{4}$

2 $\dfrac{1}{3}$

3 $\dfrac{1}{2}$

4 $\dfrac{2}{3}$

5 $\dfrac{3}{4}$

6 1

7 $\dfrac{3}{2}$

8 2

9 3

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。

(20点)

水平面上に設置された容器の中に液体を入れ，その中に熱をよく通す断面積 S[m^2]，質量 M[kg]のシリンダーが図4 aのように底面を上面にして浮いている。シリンダーには，気密性を保ちながらなめらかに動き，質量の無視できるピストンがついており，質量の無視できる単原子分子の気体がこのピストンでシリンダー内に封入されている。液体の密度は ρ[kg/m^3]，外気圧は P_0[Pa]，重力加速度は図の下向きで，その大きさは g[m/s^2]とする。液体と気体の温度は T[K]に保たれている。シリンダーは傾くことはなく，ピストンの面は水平面と平行である。また，シリンダーの壁の厚さおよびピストンの厚さは無視できるほど薄いとする。

(1) シリンダーは液面から d_1[m]の深さに静止しており，シリンダーの上面からピストンまでは x_1[m]であった(図4 a)。シリンダーの上面，およびピストンに働いている力のつり合いの関係から，シリンダー内の気体の圧力 P_1 は P_0, ρ, g, d_1, M, S などによって $P_1 =$ $\boxed{\text{(ア)}}$ [Pa]と表され，x_1 は M, ρ, S をもちいて $\boxed{\text{(イ)}}$ [m]となることが分かる。

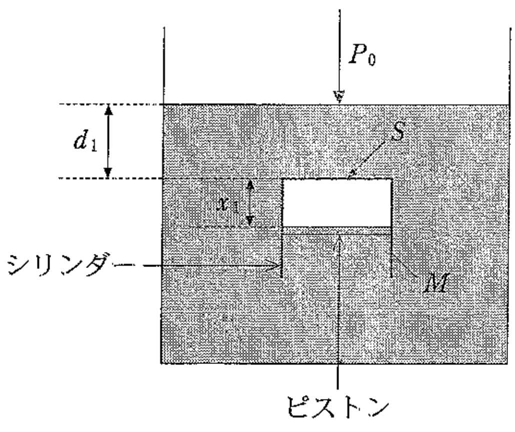


図4 a

(ア)の解答群

0 $P_0 - d_1 g - \frac{Mg}{S}$

1 $-P_0 + \rho d_1 g + \frac{Mg}{S}$

2 $P_0 + d_1 g - \frac{Mg}{S}$

3 $P_0 + \rho d_1 g + \frac{Mg}{S}$

4 $P_0 - \rho d_1 g - \frac{Mg}{S}$

5 $-P_0 + d_1 g + \frac{Mg}{S}$

6 $P_0 + \rho d_1 g - \frac{Mg}{S}$

7 $P_0 + d_1 g + \frac{Mg}{S}$

(イ)の解答群

0 $\frac{M}{2\rho S}$

1 $\frac{M}{\rho S}$

2 $\frac{2M}{\rho S}$

3 $\frac{3M}{2\rho S}$

(2) 体積の無視できる質量 m〔kg〕のおもりを質量の無視できるひもでピストンから吊るし，つり合う場所を探したところ，シリンダーが液面から d_2〔m〕，ピストンがシリンダーの上面から x_2〔m〕の位置にあるときにつり合った（図4 b）。シリンダーの上面，およびピストンに働いている力のつり合いの関係から，x_2 は M，m，ρ，S をもちいて $\boxed{\text{(ウ)}}$ 〔m〕となり，シリンダー内の気体の圧力は P_0，ρ，g，d_2，M，S などによって $\boxed{\text{(エ)}}$ 〔Pa〕と表されることが分かる。また，シリンダー内の気体の圧力は，ボイルの法則から P_1，M，m をもちいて $\boxed{\text{(オ)}}$ 〔Pa〕と求めることができる。これらの結果から，$d_2 - d_1$ を P_1，ρ，g，M，m をもちいて表してみると，$d_2 - d_1 =$ $\boxed{\text{(カ)}}$ 〔m〕となり，シリンダーの位置は，おもりを吊るす前と比較して $\boxed{\text{(キ)}}$ ことが分かる。

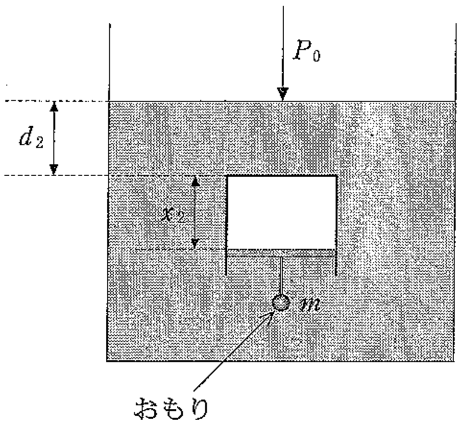


図4 b

(ウ)の解答群

0 $\dfrac{M+m}{2\rho S}$　　1 $\dfrac{M+m}{\rho S}$

2 $\dfrac{2(M+m)}{\rho S}$　　3 $\dfrac{3(M+m)}{2\rho S}$

(エ)の解答群

0 $P_0 - d_2 g - \dfrac{Mg}{S}$　　1 $-P_0 + \rho d_2 g + \dfrac{Mg}{S}$

2 $P_0 + d_2 g - \dfrac{Mg}{S}$　　3 $P_0 + \rho d_2 g + \dfrac{Mg}{S}$

4 $P_0 - \rho d_2 g - \dfrac{Mg}{S}$　　5 $-P_0 + d_2 g + \dfrac{Mg}{S}$

6 $P_0 + \rho d_2 g - \dfrac{Mg}{S}$　　7 $P_0 + d_2 g + \dfrac{Mg}{S}$

(オ)の解答群

0 $\dfrac{P_1 M}{M+m}$　　1 $\dfrac{P_1(M+m)}{M}$

2 $\dfrac{P_1 m}{M+m}$　　3 $\dfrac{P_1(M+m)}{m}$

(カ)の解答群

0 $-\dfrac{P_1 M}{\rho g(M+m)}$　　1 $-\dfrac{P_1 m}{\rho g(M+m)}$

2 $\dfrac{P_1 m}{\rho g M}$　　3 $\dfrac{P_1 M}{\rho g m}$

(キ)の解答群

0 液面に近づく　　1 変化しない　　2 液面から遠ざかる