物　　理

I　自然の長さがL，ばね定数がkの2個のばねS_1，S_2と，質量がmの2個のおもりA，Bがある。いま，これらを図のように連結し，ばねS_1の上端を天井に固定し，静かにつり下げた。2つのばねは伸び，ばねの伸びの和はLよりも大きくなった。また，おもりBと水平台の間には空間ができた。ばねの質量およびおもりの大きさは無視できるものとする。重力加速度の大きさをgとして，以下の問いに答えよ。

(1)　ばねS_1，S_2の長さをそれぞれ求めよ。

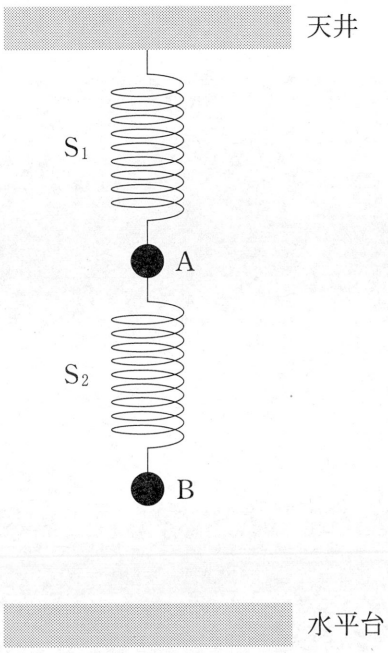
(2)　ばねS_1，S_2に蓄えられる弾性力による位置エネルギーの和を求めよ。

(3)　天井の高さを基準としたとき，おもりA，Bの重力による位置エネルギーの和を求めよ。

次に，水平台を静かに鉛直上方に上げて，おもりBを静かに押し上げてゆく。天井と水平台の間の距離が$3L$となったところで，押し上げることをやめる。このとき，それぞれのばねは自然の長さよりも長かった。以下の問いに答えよ。

(4)　ばねS_1，S_2の長さをそれぞれ求めよ。

(5)　水平台がおもりBに及ぼす垂直抗力を求めよ。



II 図1のように，面積 S，極板間距離 d の平行板コンデンサーがある。それぞれの極板に $+Q$ と $-Q$ の電荷を与えた。真空の誘電率を ε_0 とし，以下の問に答えよ。2枚の極板は真空中に置かれており，極板の端の影響は無視できるとする。

(1) 平行板コンデンサーの電気容量 C_0，極板間の電位差 V および電場の強さ E を求めよ。

(2) 極板の間隔を d から $2d$ になるまで静かに広げた。平行板コンデンサーにたくわえられている静電エネルギー U の変化量 ΔU を求めよ。

(3) 正負に帯電した極板には互いに引き合う力が働いている。この引力に逆らって極板を静かに引き離したために，U が変化したと考えられる。外力のした仕事が ΔU に等しいとして，極板に働く引力の大きさ F を求めよ。

(4) 次に，図2のように厚さ d の誘電体を挿入した。この誘電体の比誘電率を ε_r として，誘電体を挿入した後の平行板コンデンサーの電気容量 C を求めよ。

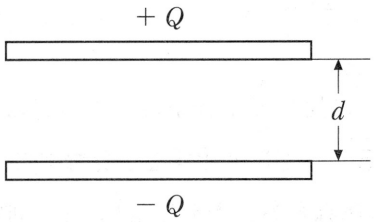


図1

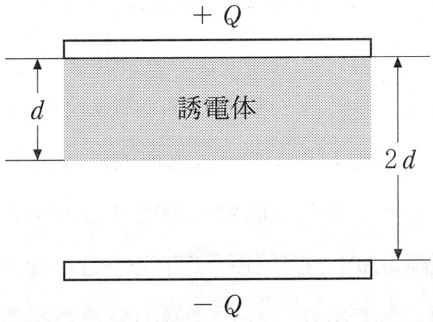
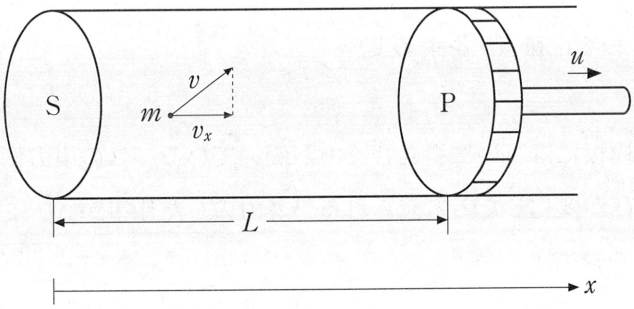


図2

III 気体の断熱膨張を，気体分子の運動をもとにして考察した。 $\boxed{}$ に適当な数式や数字を入れて，以下の文章を完成せよ。

図のように，x 方向に動くピストンを備えた円筒形の断熱容器があり，その中に質量 m の単原子分子からなる気体が入っている。ただし，気体分子どうしの衝突は無視できるとする。

ピストン壁Pと固定円形壁Sとの間の距離が L のとき，気体の温度は T であった。ピストンを一定のゆっくりした速さ u で動かすとき，気体分子の運動エネルギーの変化を調べる。



個々の気体分子はピストン壁Pと弾性衝突すると考えることができるので，反発係数(はねかえり係数)$e=1$ である。分子の x 方向の速度を，衝突前は v_x，衝突後は $v_x{}'$ とすると，Pから見た分子の相対速度は，衝突前 $\boxed{(1)}$ ，衝突後 $\boxed{(2)}$ であるから

$$-\frac{\boxed{(2)}}{\boxed{(1)}}=1 \text{ より } \quad v_x{}'=\boxed{(3)}$$

という関係が成り立つ。ピストン壁Pとの衝突では，x 軸に垂直な方向の速度成分 v_y，v_z は変化しないから，1回の衝突による運動エネルギーの変化 ΔK は

$$\Delta K=\frac{1}{2}mv_x{}'^2-\frac{1}{2}mv_x{}^2=\boxed{(4)}$$

で与えられる。したがって，ピストンの速さ u が v_x に比べて十分小さい場合には，u の2乗の項を無視して，運動エネルギーは近似的に $\Delta K=\boxed{(5)}$ だけ変化すると見なすことができる。

分子はピストン壁Pと固定円形壁Sとの間を往復運動すると考えてよい。微小時間 Δt にピストンが動く距離 $u\Delta t$ は L に比べて十分小さいから，この時間に分子がピストン壁と衝突する平均回数は $\boxed{(6)}$ であり，Δt に1個の分子の運動エネルギーは $\boxed{(7)}$ だけ変化する。

容器内の分子の数 N はきわめて大きく，すべての分子は特定の方向にかたよることなく不規則に運動している。分子の速さ v の2乗の平均を $\overline{v^2}$ とおくと，N 個の分子の運動エネルギーの総和は $E=\boxed{(8)}$ である。N 個の分子に対する $v_x{}^2$ の平均値 $\overline{v_x{}^2}$ と $\overline{v^2}$ の間には，

$\overline{v_x{}^2}=\boxed{(9)}\times\overline{v^2}$ の関係がある。したがって，Δt における運動エネルギーの総和の変化 ΔE と E の比は $\dfrac{\Delta E}{E}=\boxed{(10)}$ で与えられる。

一方，Δt における容器の体積増加量 ΔV と，もとの体積 V との比は $\dfrac{\Delta V}{V}=\boxed{(11)}$ となるので，$\dfrac{\Delta E}{E}=\boxed{(12)}\times\dfrac{\Delta V}{V}$ という関係が得られる。とくに理想気体の場合，内部エネルギーは分子の運動エネルギーだけである。内部エネルギーは気体の温度 T に比例しているので，断熱膨張による温度変化 ΔT は T，V，ΔV を用いて $\Delta T=\boxed{(13)}$ と表される。