物　　　　理

I　図1のように，レールの上を水平に移動できる質量Mの台車に質量mの小球が長さLの軽い糸でつるされており，鉛直下向きに重力が働いている。重力加速度の大きさをgとする。糸は伸び縮みせず，また，台車とレールの摩擦は無視できるものとする。台車の重心は支点Sにあるものとする。はじめに，台車と小球は静止しており，糸は図1のように大きさの無視できる固定されたくぎによりレールを含む鉛直面内で曲げられている。このとき糸は台車の支点Sからくぎまでは鉛直で，くぎから小球までは鉛直に対して角度δとなっている。支点Sからくぎまでの距離を$\frac{1}{2}L$とする。

$\boxed{(1)}$ ～ $\boxed{(2)}$ はM，m，L，g，δの中から，$\boxed{(3)}$ ～ $\boxed{(7)}$ $\boxed{(10)}$ はM，m，L，g，vの中から，$\boxed{(8)}$ $\boxed{(9)}$ はM，m，L，g，v，θの中から必要なものを用いて解答せよ。ただし，vは $\boxed{(1)}$ で求めた小球の速さを表すものとする。

問 1．小球を静かに離すと，小球は右側に動き始め，小球が最下点に達したのち，台車も動き出した。小球が最下点に達した直後の小球の速さは $\boxed{(1)}$ ，糸の張力は $\boxed{(2)}$ である。

問 2．その後，図2のように小球は最下点からさらに右側に振れ，鉛直からの振れ角θが最大となった。このときの台車の速さは $\boxed{(3)}$ ，振れ角の余弦$\cos\theta$は $\boxed{(4)}$ である。

問 3．その後，小球の振れ角は減少し，再び小球が最下点に達した。このときの台車の速さは $\boxed{(5)}$ ，小球の速さは $\boxed{(6)}$ である。

問 4．その後，糸は再びくぎに触れることなく，台車と小球は運動をつづけた。このときの台車と小球からなる物体系の重心の水平方向の速さは $\boxed{(7)}$ で一定となる。

問 5. その後の運動は，小球の鉛直からの振れ角 θ が十分小さいとき，台車と小球からなる物体系の重心からみると，台車と小球が単振動するとみなせる。台車の質量と小球の質量が等しい場合，重心からみた支点Sの水平方向の位置は $\boxed{\quad (8) \quad}$ ，重心からみた小球の水平方向の位置は $\boxed{\quad (9) \quad}$ である。ただし，それぞれの水平方向の位置は右向きを正とする。また，θ は反時計回りを正とし，$\sin\theta \fallingdotseq \theta$ と近似できるものとする。この振動の周期は $\boxed{\quad (10) \quad}$ と表される。

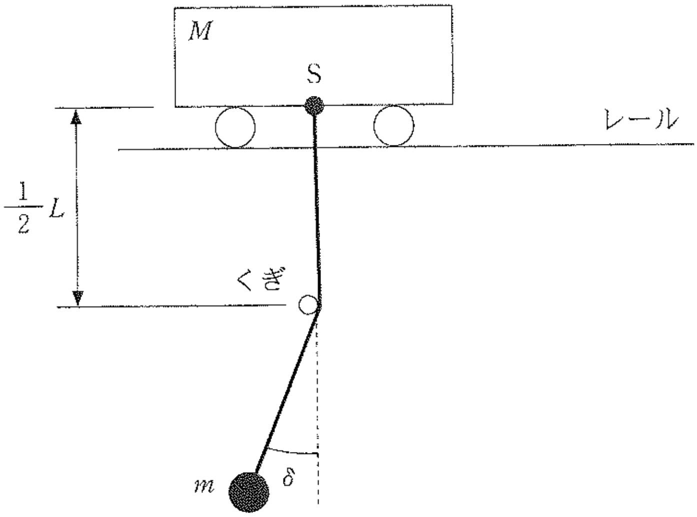


図 1

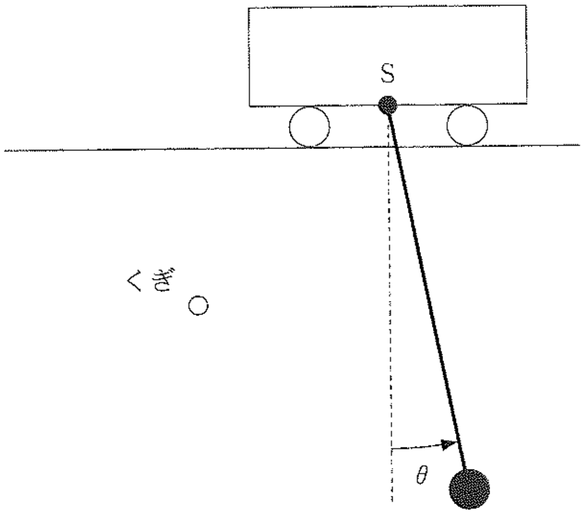


図 2

Ⅱ　深さが一定の十分に広い水槽の水面上の点Aで棒を繰り返し上下に運動させて，水面を同心円状に伝わる振幅の小さい波を起こした。この波による水面の高さの変位hは，点Aから離れた水面上の点において，

$$h = h_0\sqrt{\frac{\lambda}{r}}\sin\left[2\pi\left(\frac{r}{\lambda}-\frac{t}{\tau}\right)\right]$$

と表すことができるものとする。ただし，rは点Aからの距離，tは時刻であり，h_0，λ，τは正の一定の値をもつ物理量である。以下の(1)～(3)について答えよ。

(1)　λは，どのように呼ばれる物理量か。

(2)　$\frac{1}{\tau}$は，どのように呼ばれる物理量か。

(3)　この波の速さを示せ。

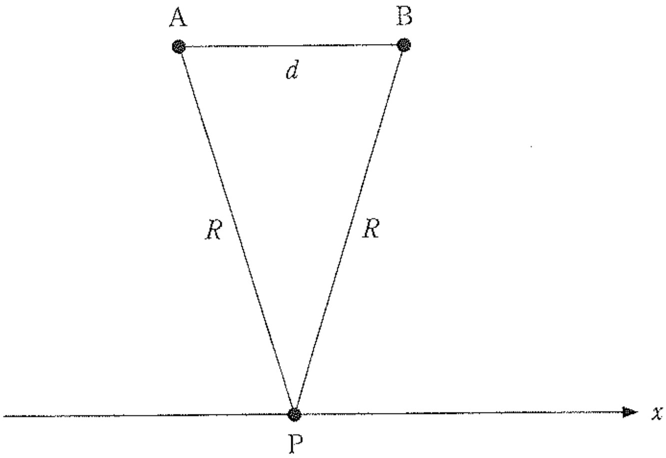
次に，図のように，点Aだけでなく，点Aから距離dだけ離れた水面上の点Bでも棒を上下に運動させて，水面を同心円状に伝わる振幅の小さい波を起こした。ただし，点Bの棒の上下の動きは，点Aの棒の上下の動きに比べて$\frac{\tau}{4}$だけ遅れていて，他の動きはすべて同じであるものとする。また，点Aと点Bと等距離Rにあり，点Aおよび点Bから離れた点を点Pとする。以下の(4)～(7)について答えよ。

(4)　点Pでの水面の高さの変位を表す式を示せ。

(5)　点Pで観測できる水面の高さの振幅を示せ。

(6)　点Aと点Bを結んだ線分に平行に点Pを通る直線に沿った座標をxとする。ただし，点Pをこの座標の原点とし，点Aから点Bに向かう方向を正の方向とする。点Aと点Bを波源とする二つの波が強めあう座標xを示せ。ここで，$\frac{|x|}{R} \ll 1$および$\frac{d}{R} \ll 1$であり，任意のδが$|\delta| \ll 1$の場合に成り立つ近似式$\sqrt{1+\delta} \fallingdotseq 1+\frac{\delta}{2}$を用いて，この近似が使える範囲で答えよ。

(7)　Rを10.4 m，dを3.2 mとして，実験を行った。このとき，点Aと点Bの波源からの二つの波が強めあうx座標上の隣り合う二つの点の距離が，91 cmであった。(6)で求めた式を使って，λを求めよ。



図

Ⅲ　図1のように，液体が入っているシリンダーAとシリンダーBがあり，水平管で連結されている。これらのシリンダーには，それぞれ断面積S〔m^2〕のピストンAと断面積$2S$〔m^2〕のピストンBが取り付けられている。これらのピストンの厚みと質量は無視でき，シリンダー内を滑らかに上下運動できるものとする。ピストンAの上部の空間にn〔mol〕の単原子分子理想気体が閉じ込められている。理想気体は図1のように加熱・冷却器による加熱と冷却が可能であり，それ以外の熱の出入りはないものとする。一方，ピストンBの上部は圧力P〔Pa〕の大気圧である。ここで，気体定数をR〔J/(mol·K)〕，理想気体の比熱比をγ，液体の密度をρ〔kg/m^3〕，重力加速度の大きさをg〔m/s^2〕とする。理想気体の温度と圧力はピストンAの上部の空間の内部で均一とし，液体の密度は常に一定とする。また，加熱・冷却器の体積と熱容量は無視できるものとする。以下の問いに答えよ。なお，解答は問題文で示されている記号のみを用いて行うこと。

問 1．図1のように，加熱・冷却器による加熱を行う前の初期状態では，ピストンAとピストンBの高さは等しく，ピストンAの上部の空間の高さはL〔m〕であった。

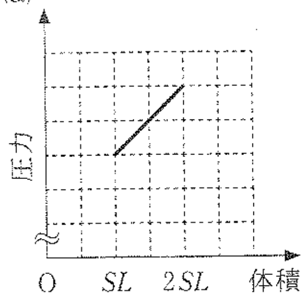
(1)　このときの理想気体の温度を求めよ。

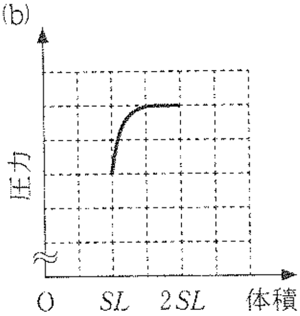
問 2. 理想気体を加熱・冷却器でゆっくりと加熱したところ，ピストンAが徐々に下方に移動し，加熱を終えたとき，図2のようにピストンAの上部の空間の高さは $2L$〔m〕になった。

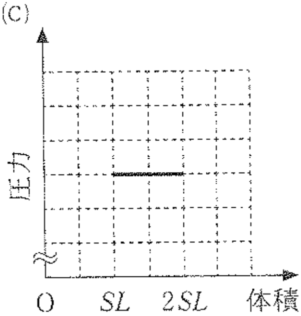
(2) このときのピストンAとピストンBの高さの差を求めよ。

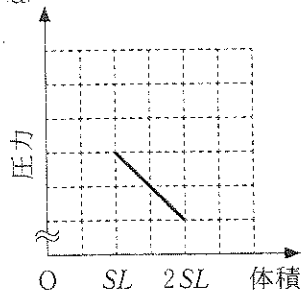
(3) このときの理想気体の圧力を求めよ。

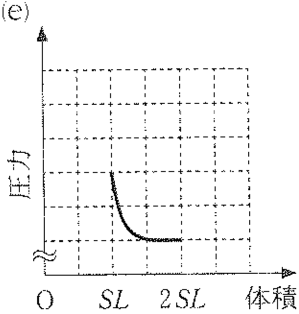
(4) ピストンAの上部の空間の高さが L〔m〕から $2L$〔m〕に変化するまでの圧力と体積の変化について，縦軸に圧力，横軸に体積をとったグラフとして適切なものを(a)〜(e)から一つ選べ。

(a)


(b)


(c)


(d)


(e)


(5) この変化の間に、理想気体が液体に行った仕事を求めよ。

(6) この変化における理想気体の内部エネルギーの増加量を求めよ。

(7) この変化において加熱・冷却器が理想気体に加えた熱量を求めよ。

問 3. 次に，図3のように，ピストンBに力を加えて押し下げ，ピストンAとピストンBの高さを等しくした。

(8) このときの理想気体の圧力を求めよ。

(9) このときの理想気体の温度を求めよ。

問 4. 最後に，図3の状態でピストンAを固定し，加熱・冷却器を動作させて理想気体を冷却し，(1)で求めた初期状態の温度に戻した。

(10) このときの理想気体から取り除いた熱量を求めよ。

(11) この取り除いた熱量の大きさと，(7)で求めた初期状態から加えた熱量の大きさの大小関係は次のいずれか。(ア)～(ウ)から一つ選べ。

(ア) 取り除いた熱量の大きさは初期状態から加えた熱量の大きさより大きい

(イ) 取り除いた熱量の大きさは初期状態から加えた熱量の大きさと等しい

(ウ) 取り除いた熱量の大きさは初期状態から加えた熱量の大きさより小さい

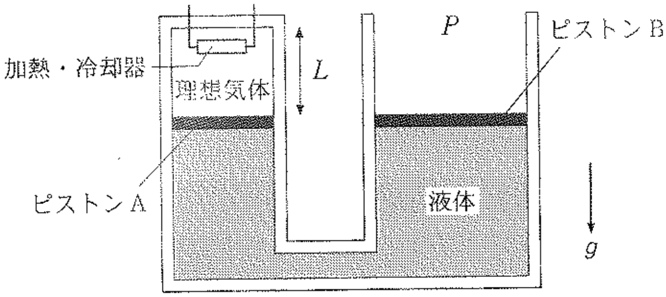


図1

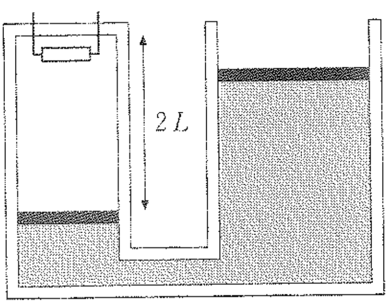


図2

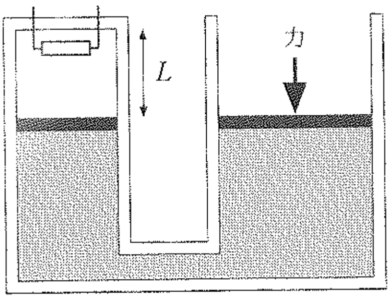


図3