物　　理

Ⅰ．水平でまっすぐなレール上に固定した台車の天井から糸でおもりを吊り下げた。この振り子のおもりをレール方向にわずかに傾けておいてから放したところ、角振動数Ωで単振動した。次に、おもりを同様にわずかに傾けておいて、静止している台車が自由に動けるようにした後おもりを放した。台車とレールの間の摩擦、台車やおもりに働く空気抵抗、おもりの大きさや糸の質量は無視できるとして、その後のおもりの運動を考えよう。糸の長さをL、おもりと台車の質量をそれぞれm、Mで表し、両者の比を$\beta\,(=m/M)$で、重力加速度をgで表す。

文中の空欄に適切な語句または文字式を記せ。

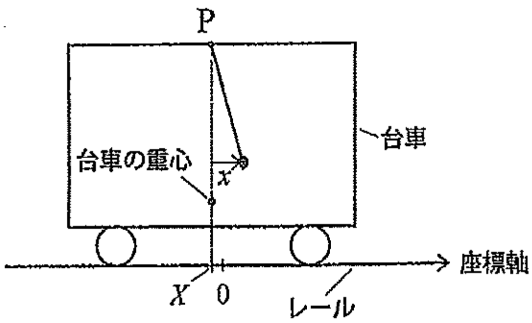


図1

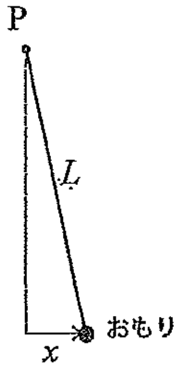


図2

図1に見るように、レールに沿った座標を用いる。振り子の支点は台車の重心の真上の点Pにあり、その位置を座標Xで表す。Xを基準としたレール方向のおもりの相対位置をxで表す（いずれも右向きをプラスにとる）。台車はレール上を座標軸に沿って動けるので、xだけでなくXも時間tと共に変動しうる。

xとXに対応する速度をvとVで、加速度をaとAでそれぞれ表すと、おもりの位置は［①（文字式）］、速度は［②（文字式）］、加速度は［③（文字式）］である。おもりと台車を合わせた全体に外からかかる力は、重力およびレールからの垂直抗力だけで水平成分は常にゼロであるので、m、M、a、およびAの間には、

［④（文字式）］ $= 0$ ・・・(1)

の関係が成り立ち、おもりと台車を合わせた全質量の重心の水平位置は、振り子の運動中も初めの位置から動かないはずである。したがって、この重心の水平位置に座標の原点をとることができる。このことを式で表すと、

［⑤（文字式）］ $\div\ (M+m) = 0$ ・・・(2)

である。

まず、台車の上で見るおもりの運動を考えよう。図2に見るように、振り子の振幅がLに比べて十分小さいとき、レール方向に働く振り子の復元力は、xとLを用いて近似的に $-mg$［⑥（文字式）］で与えられる。

台車が加速度 A で運動しているとすると、台車の上ではおもりに $\boxed{⑦（文字式）}$ で表される $\boxed{⑧（語句）}$ 力がはたらいているように見える。したがって、台車上でのおもりの運動方程式は、この力を加えて

$$m\,a \;=\; \boxed{⑨\ （文字式）} \quad \cdots(3)$$

で表される。

(1)、(3)の関係から A を消去すれば、

$$a \;=\; \boxed{⑩\ （文字式）}$$

が得られる。したがって、t = 0 でおもりを放した瞬間に $x = x_0$ であったとすると、台車の上で見るおもりは、$x = x_0 \cos\omega t$ で表される単振動をするであろう。ただし、$\omega = \boxed{⑪（文字式）}\,\Omega$ である。

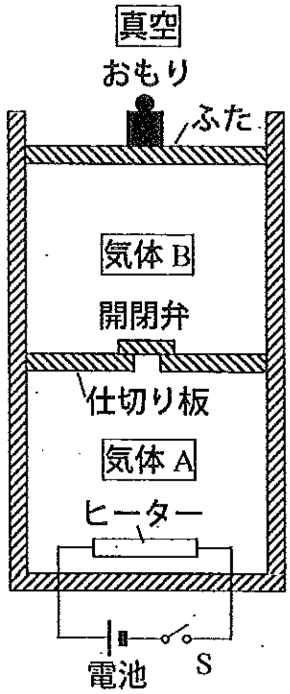
次に台車の外から見たおもりの運動を考えよう。台車の運動は、上の結果と(2)の関係から、

$$X = \boxed{⑫（文字式）}\; x_0 \cos\omega t$$

と表せるので、台車の外から見たおもりの運動は $X + x = \boxed{⑬（文字式）}\; x_0 \cos\omega t$ で表される。したがって、β が 1 に比べて十分に小さい場合には、$\boxed{⑭（語句）}$ は動かずに $\boxed{⑮（語句）}$ だけが振動して見える。また、β が 1 に比べて十分に大きい場合には、$\boxed{⑯（語句）}$ は止まって $\boxed{⑰（語句）}$ の方が振動しているように見えるであろう。

Ⅱ．気体A、Bが各1モル入っている断熱円筒容器が真空中に垂直に置かれている。図に見るように、気体A，Bは開閉弁がついた仕切り板で隔てられているが、ともに最初の温度は T_0 である。熱を通さない仕切り板と容器のふたは、気密を保ったままスムーズに上下でき、それらの質量は無視できる。ふたの上には質量 10kg のおもりが載っている。気体Aは、電池につながれた電気ヒーターで直接加熱することができる。

気体定数を R で表したとき、単原子分子理想気体の定圧モル比熱は $2.5R$ である。容器中の気体質量はおもりの質量に比べて無視できると考えて、以下の問に答えよ。ただし、重力加速度を $9.8\ \mathrm{m/s^2}$ とする。文中にない必要な物理量は、必ず定義してから用いること。



気体Aは単原子分子理想気体である。仕切り板の開閉弁が閉じたままの状態でスイッチSを一定時間つないだところ、おもりが上昇した。電池の電圧は1V、ヒーターの電気抵抗値は 50Ω で、スイッチSを閉じた時間は4分5秒間であった。

（1）ヒーターが放出した熱量 ΔQ は何ジュールか。

（2）おもりは何 cm 上昇したか。

続いて、開閉弁を開けてしばらく放置した。

（3）気体Bも気体Aと同様に単原子分子理想気体であるとする。気体A、Bを合わせた体積が開閉弁を開ける前後でどれだけ変化するかを計算することにより、おもりの位置が変わらないことを示せ。ただし、計算には、開閉弁を開ける前の気体A、Bの温度 T_A、T_B、開けた後の気体温度 T、および気体A、Bを合わせた体積の開ける前と後の大きさ V_0、V などを物理量として用いよ。

（4）気体Bが二原子分子理想気体である場合、開閉弁を開けた後のおもりの位置変化は上昇、下降のいずれであるか、理由と共に述べよ。

Ⅲ．図１と図２において、４つの電気抵抗Ａ、Ｂ、Ｃ、Ｄの抵抗値はそれぞれ a、b、c、d である。起電力 E の電池の内部抵抗は無視できるものとして以下の問に答えよ。

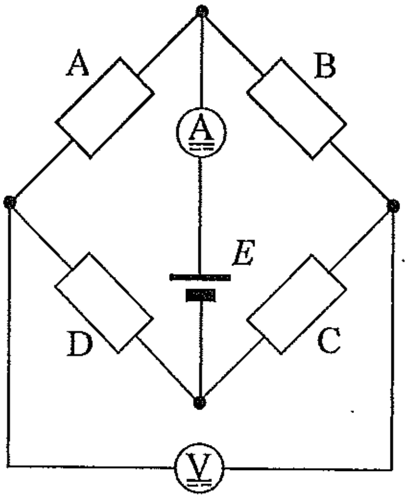


図１

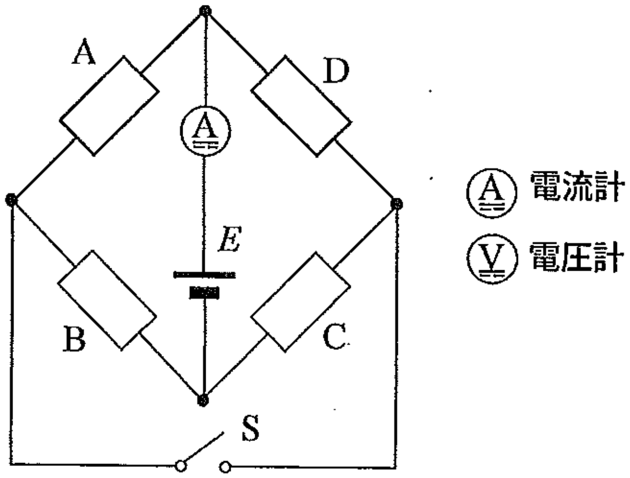


図２

最初、図２のスイッチＳは開いており、図１と図２の電流計の値は同じであった。

（１）抵抗値 a～d の間にはどのような関係があるか。

さらに、図１の電圧計の値はゼロであった。

（２）スイッチＳを閉じても図２の電流計の値は変わらないことを示せ。

$b = 2\Omega$、$d = 8\Omega$、$E = 8\text{V}$ である。

（３）図１の４つの抵抗が消費する電力の合計 P を計算せよ。