

# 物 理 $\frac{1}{6}$

I 以下の問いに答えよ。答えの導出過程も記述せよ。

水平で摩擦の無視できる床面上に、質量がそれぞれ  $m$ ,  $2m$ ,  $m$  の物体 A, B, C がある。物体 A と物体 C には、それぞれ質量が無視できるバネ D, E が水平に固定されている。物体 A に固定されているバネ D の一端は壁に固定されている。物体 A, B, C とバネ D, E は、壁に垂直な面内で水平方向にのみ運動できる。最初、図 1 のように物体 A が物体 B と接しており、バネ D が自然の長さであった。また、物体 B は、物体 A には固定されておらず、バネ E に接していない。この状態から物体 B に大きさ  $F$  の力を加えたところ、図 2 のようにバネの長さが自然の長さから  $d$  だけ短くなって物体 A と B は静止した。この状態から加えていた力を取り去ったところ、物体 A と B は接したまま運動をはじめた。バネ D が自然の長さになったところ、物体 A と B は固定されていないため、それまで接していた物体 A と B は離れて別々に運動をした。

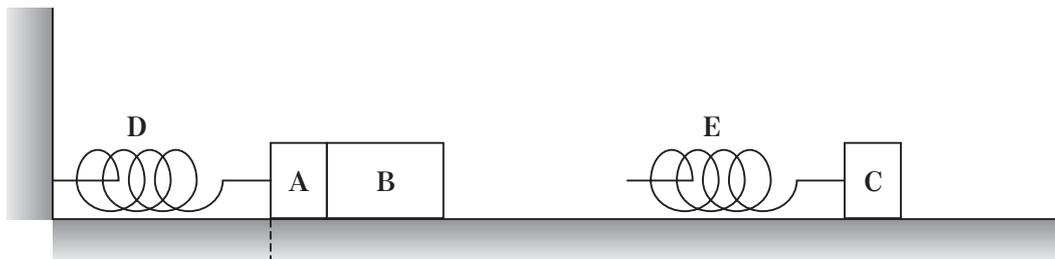


図 1

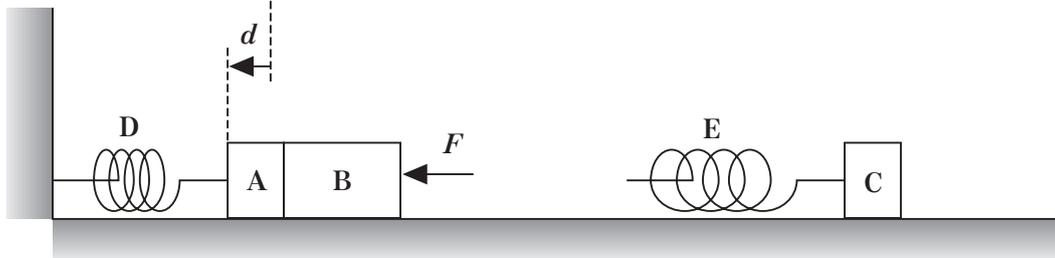


図 2

- 問 1 図 2 のように、大きさ  $F$  の力で物体 B を押しているときにバネ D に蓄えられる弾性エネルギーを求めよ。
- 問 2 大きさ  $F$  の力を取り去ってからバネ D の長さが自然の長さに戻るまでの時間を求めよ。また、バネ D の長さが自然の長さになったときの物体 A の速さを求めよ。
- 問 3 物体 A と B が離れた後、物体 A は単振動をした。この単振動の振幅を求めよ。

## 物 理 $\frac{2}{6}$

図3のように、物体Aと離れた後の物体Bは、バネEと接するまで速さ $v$ で等速度運動をした。物体Bは、バネEと接した後、バネEに固定され、その後、物体Cも運動をはじめた。ただし、バネEの自然の長さを $L$ 、バネ定数を $k$ とする。

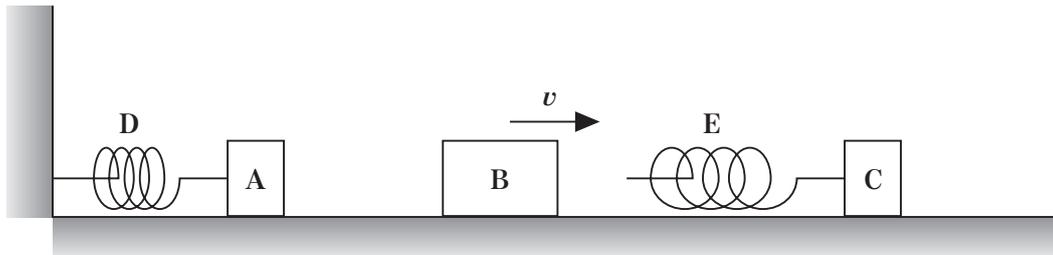


図3

問4 物体BがバネEと接した後、バネEの長さが最小になったときの物体Cの速さを求めよ。  
また、このときのバネEの自然の長さからの縮みを求めよ。

問5 物体BがバネEに接した後、物体Cの速さが最大となるときのバネEの長さを求めよ。

II 図4に示すように、鉛直下向きで磁束密度の大きさ  $B$  の一様な磁界（磁場）中に、十分に長い平行な二本の直線導体のレールが間隔  $d$  で水平面に置かれており、この上に質量  $M$  の金属棒が二本のレールと垂直に静止した状態で置かれている。金属棒を流れる電流に対する抵抗値は  $R$  であり、金属棒は二本のレールと垂直を保ちながらレール上を左右に滑らかに動くものとする。レールにはスイッチ  $S$ 、起電力  $E$  の電池、電気容量  $C$  のコンデンサーが導線でつながれている。電気回路のスイッチ  $S$  は最初どこにも接続されておらず、コンデンサーには電荷は蓄えられていないものとする。また、金属棒に作用する空気抵抗と摩擦、金属棒以外の電気抵抗、電流がつくる磁界はすべて無視できるものとする。

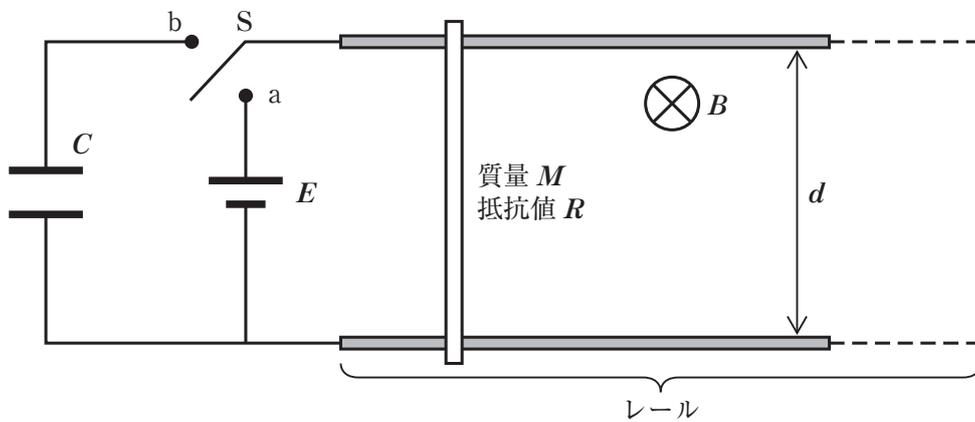


図4

まず、スイッチ  $S$  を  $a$  に接続すると金属棒が動き出した。

問1 スイッチ  $S$  を  $a$  に接続した直後において、磁界から金属棒にはたらく力の向きと大きさを求めよ。

問2 時間の経過とともに金属棒の速さはある一定値  $v_0$  に近づいていく。一定値  $v_0$  に近づく理由を説明して、 $v_0$  の値を求めよ。

## 物 理 $\frac{4}{6}$

次に、金属棒の速さが  $v_0$  よりも小さなある速さ  $v_1$  となった瞬間に、スイッチ S を a から b に切り替えた。その後、十分に時間が経過すると金属棒の速さは  $v_2$  となった。

問 3 スイッチを切り替えた直後において、磁界から金属棒にはたらく力の向きと大きさを求めよ。導出過程も記述せよ。

問 4 十分に時間が経過したときに金属棒の速さが一定値  $v_2$  となる理由を説明せよ。また  $v_1$  と  $v_2$  の大小関係について理由とともに説明せよ。

問 5 十分に時間が経過したときにコンデンサーに蓄えられる電気量を求めよ。

問 6 金属棒の速さが  $v_1$  から  $v_2$  となるまでに金属棒の抵抗により発生した熱量を求めよ。導出過程も記述せよ。

Ⅲ 以下の問いに答えよ。答えの導出過程も記述せよ。

滑らかに動くピストンをつけたシリンダーの中に、 $n$ モルの単原子分子理想気体が入っている。シリンダーは水平な床に固定されており、ピストン、シリンダーともに断熱材でできている。さらに、この中には、図5に示すように質量  $m$  の物体 A からなる長さ  $L$  の単振り子があり、鉛直平面内での運動が可能である。この単振り子が運動する際には周りの気体分子との衝突により抵抗が生じ、気体の温度が変化した。ただし、この抵抗は非常に小さく、運動している各時刻において、系の熱平衡が成り立っているものと見なすことにする。また、単振り子とピストンおよびシリンダーはぶつかることはない。振り子が鉛直下向きとなす角度を  $\theta$ 、気体定数を  $R$ 、重力加速度の大きさを  $g$  とし、気体の温度は絶対温度で表すものとする。

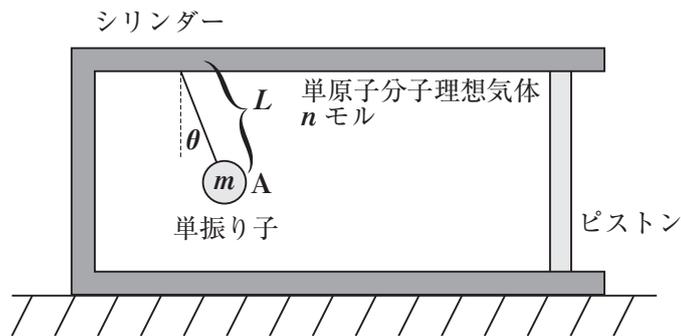


図5

ピストンを固定し、気体の体積を  $V_1$  にした。

問1 気体の温度は  $T_1$  であった。このときの気体の圧力を求めよ。

問2 単振り子の熱容量は無視できるほど小さいとする。物体 A を鉛直下向きから角度  $\theta_0$  傾け静かにはなしたところ、単振り子は振動を続け、図6に示すように、時間とともにその振動の振幅は減衰していった。そして時間の経過とともに、気体の温度は  $T_1 + \Delta T_2$  に近づいていった。  $\Delta T_2$  を求めよ。

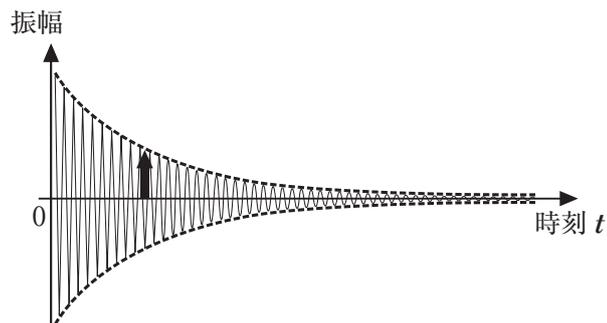


図6

## 物 理 $\frac{6}{6}$

問3 次に単振り子が熱容量  $C$  をもつ場合を考える。最初、気体の温度は  $T_1$  であったが、物体  $A$  を鉛直下向きから角度  $\theta_0$  傾け静かにはなしたところ、気体の温度は  $T_1 + \Delta T_3$  に近づいていった。 $\Delta T_3$  を求めよ。

問4 問3と同じ条件で、単振り子を運動させたとき、振動の減衰がゆっくりであるため、ある時刻の近傍では振動の振幅を図6の矢印で示すように定義する。この時刻の付近での  $\theta$  の最大値が  $\theta_1$  であるときの気体の温度を  $T_1 + \Delta T_4$  とするとき、 $\Delta T_4$  を求めよ。

次にピストンの固定を外し、滑らかに動かせる場合を考える。

問5 最初、気体の温度は  $T_1$ 、体積は  $V_1$  であり、ピストンは大気圧とつり合って静止していた。熱容量  $C$  をもつ単振り子の物体  $A$  を、鉛直下向きから角度  $\theta_0$  傾け静かにはなしたところ、ピストンはゆっくりと動き、気体の温度は  $T_1 + \Delta T_5$  に近づいていった。 $\Delta T_5$  を求めよ。