

物 理

第 1 問

I 図 1—1 のように、一様な磁束密度 B が鉛直方向（紙面上向き）に加えられ、 B と垂直に長さ $2L$ の細長い中空の円筒が置かれている。円筒は、中点 C のまわりに水平面内（紙面内）で自由に回転できるようになっており、その中に質量 m 、正電荷 q を持つ粒子が入っている。最初、円筒は静止しており、粒子は円筒の中点 C からある距離のところを静止しているとする。重力、粒子と円筒の摩擦、円筒の質量を無視するとして、次の問いに答えよ。

- (1) この円筒を水平面内で中点 C の回りに等角速度 ω で回転させた。このとき、粒子を円筒から逃がさないための回転方向と角速度 ω に対する条件を求めよ。
- (2) (1) の条件のもとでは、粒子は円筒に沿って単振動するか静止する。単振動するとき、その周期 T を求めよ。
- (3) 上と同じ方向の等角速度回転運動によって、粒子を円筒から逃がしたい。最初の静止状態から粒子を逃がすまでに円筒の回転に要する仕事は、最低限ある値 W より大きくなければならない。この仕事の大きさ W を求めよ。

II I と同様な円筒と磁場の配置で、静止した円筒に同じ粒子（質量 m 、正電荷 q ）を 2 個入れ、両端にフタをする。2 つの粒子は静電気力で反発し両端に達した（図 1—2 参照）。この円筒を、中点 C の回りに前問と同じ方向に回転させ、角速度をゼロから十分にゆっくりと上げていく。2 つの粒子相互の間には静電気力しか働かないとし、次の問いに答えよ。ただし、静電気力に関するクーロンの法則の比例定数を k とせよ。

- (1) はじめのうち、粒子はフタから離れなかった。角速度を ω として、この時フタが粒子に及ぼす円筒の軸方向の抗力 N を求めよ。
- (2) ある角速度 ω_1 に達したとき、粒子がフタから離れ中心に向かって動き始めた。このような ω_1 が存在するためには、どのような条件が満たされている必要があるか。

(3) (2)の条件のもとで、さらに、ゆっくりと角速度を上げていくと、粒子の位置が徐々に変化していった。その様子を記述しているものとして最も適当なものを以下から選べ。

- (a) 中点Cに限りなく近づいていく。
- (b) 中点Cとフタの間のある点に限りなく近づいていく。
- (c) 中点Cより手前のある点に達した後、フタに向かって戻り、フタに達した後は中心に向かうことはない。
- (d) 中点Cより手前のある点に達した後、フタに向かって戻り、フタに達した後再び中心に向かう。この運動を繰り返す。
- (e) 中点Cとフタの間にある決まった2点の間を往復運動する。
- (f) 中点Cとフタの間にある2点の間を往復運動するが、その2点が限りなく近づいていく。

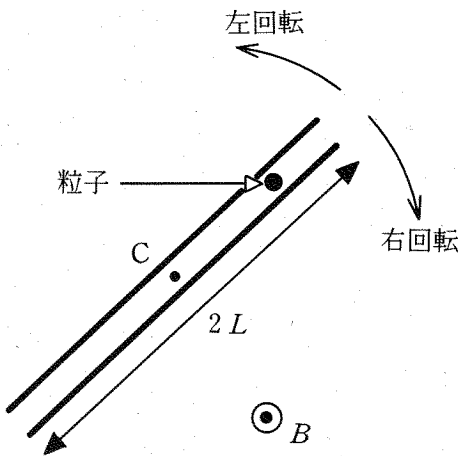


図1-1

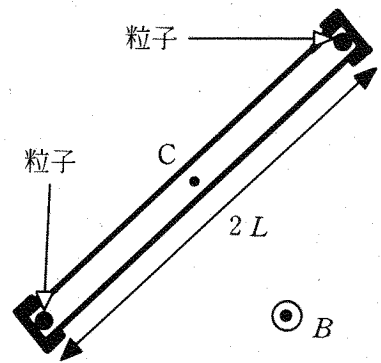


図1-2

第2問 図2のように、水平面上の、距離 a だけ離れて固定された平行な導体レールの上に、レールに垂直に、質量 m 、長さ a の導体棒がのせてある。レールは抵抗と電池の +, - 端子につないであり、導体棒には矢印の方向に電流 I が流れている。導体棒には、ばね定数 k の、絶縁体でできたばねが取り付けられ、ばねの他端は固定されている。導体棒は、導体レールに平行な方向に、レールの上を摩擦なしに運動することができる。また、 a よりも十分長い2本の平行導線 C が、レールと同じ水平面上に距離 $2a$ だけ離れて固定されている。ばねが自然長になったとき、導体棒は平行導線 C の真ん中にくるようになっている（平行導線 C はレールに垂直である）。スイッチによって、平行導線 C に電池と抵抗、またはコンデンサーを接続することができ、矢印の方向に電流が流れるようになっている。平行導線 C 以外の導線を流れる電流がつくる磁場の影響は無視できるものとして以下の設問に答えよ。地磁気の影響、導体棒とレールの太さおよび抵抗は無視できるものとする。真空の誘電率を ϵ_0 、真空の透磁率を μ_0 とする。

I

- (1) 最初、平行導線 C はスイッチによって電池と抵抗に接続されていて、導体棒と同じ大きさの電流 I が流れている。このとき、導体棒は図2の点線的位置から x だけずれて静止している。ばねは自然長から伸びているか縮んでいるかを答えよ。また、 I を与えられた量と x で表せ。 x は a に比べて無視できるほど小さいとしてよい。
- (2) スwitchを切って平行導線 C の電流を止めると、導体棒は振動を始めた。その周期 T を求めよ。

II 上記設問 I—(2)の導体棒を静止させた後、以下の実験を行った。

- (1) 図2のコンデンサーは、極板の面積 S 、極板間の距離 d の平行板で、電荷 Q が蓄えられている。 Q を一定にしたまま、極板に力 F を加えてゆっくりと微小距離 Δd だけ引き離すために仕事 $F\Delta d$ を必要とした。 Q を与えられた量と F で表せ。
- (2) スwitchをコンデンサー側に入れ、コンデンサーに蓄えられた Q を平行導線 C に流すと、微小時間 Δt ですべて放電した。導体棒が受け取った力積 Δp を求めよ。 I 、 Q をそのまま残す形で表せ。時間 Δt の間に流れる電流は、その間一定であるとして計算せよ。

(3) 電荷 Q の放電後、静止していた導体棒は振動を始めた。その振幅 A を Δp を用いて表せ。

III この装置を用いた実験で、電流や電荷などの電気的な量を直接測定せず、真空中の光速 c の値を決めることができる。設問 II—(3) で求めた A の中の Δp に含まれる I, Q を、それぞれ設問 I—(1), 設問 II—(1) の結果を用いて消去し、

$$c = \frac{f}{A}$$

の形に表したとき、係数 f は I, Q, ϵ_0, μ_0 を含まない。 f を力学的に測定した F, x を用いて表せ。ただし、 c は ϵ_0, μ_0 を用いて

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

と表せることが知られている。

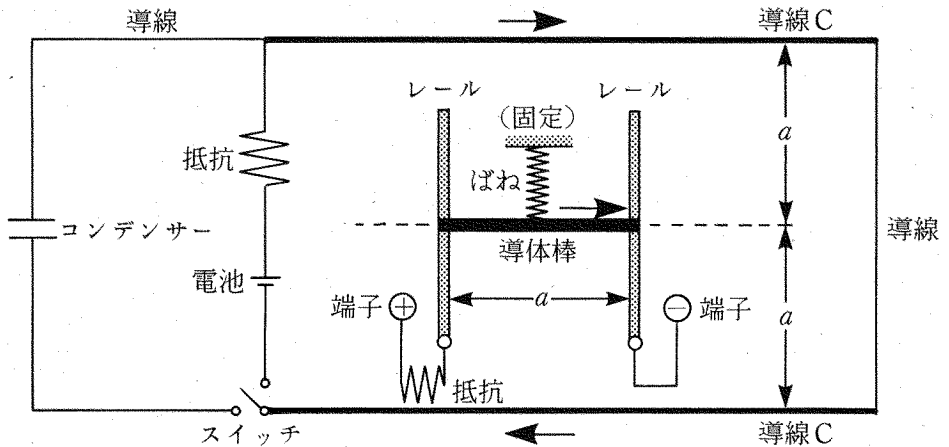


図 2

第3問 図3のように、断熱壁で囲まれた同一形状のシリンダーA、Bが、コックCのついた体積の無視できる細い管でつながれている。最初、コックCは閉じていて、シリンダーAには、圧力 P_0 、体積 V_0 、物質質量（モル数） n の単原子分子の理想気体が質量 m の断熱板で閉じ込められている。断熱板は滑りおちないように、下からストッパーで支えられており、天井から質量の無視できるばね定数 k のばねが取り付けられている。ばねの長さは自然長に等しい。また、シリンダーA内には、ヒーターがあり、スイッチをいれると、気体を加熱することができる。シリンダーBは真空になっていて、内部の容積が V_0 になるような高さに断熱板があり、留め具により固定されている。断熱板の断面積を S 、重力加速度を g 、気体定数を R として、以下の設問に答えよ。ただし、断熱板はシリンダー内を滑らかに動くものとする。シリンダー外部の圧力による影響は無視してよい。

I コックCをゆっくり開く。十分に時間が経過して、気体がシリンダーA、Bの内部に様に充満した時の気体の状態を Z_1 とし、その時の温度 T_1 と圧力 P_1 を求めよ。ただし、シリンダーA内の断熱板はストッパーから離れないものとする。

II 状態 Z_1 において、ヒーターのスイッチを入れて気体をゆっくり加熱すると、しばらくして、シリンダーAの断熱板が動き始めた。その瞬間に、ヒーターのスイッチを切った。スイッチを切った後の気体の状態を Z_2 とし、その時の気体の圧力 P_2 と温度 T_2 を求めよ。

III 状態 Z_2 において、ヒーターのスイッチを入れて気体を徐々に加熱すると、シリンダーAの断熱板がゆっくりと上方に動いた。気体の体積が ΔV だけ増えた時、ヒーターのスイッチを切った。スイッチを切った後の気体の状態を Z_3 とし、状態 Z_2 から状態 Z_3 への変化に関して、以下の設問に答えよ。

- (1) 気体の圧力増加 ΔP を ΔV によって表せ。
- (2) 気体がした仕事 W_g を P_2 、 ΔP 、 ΔV によって表せ。
- (3) ヒーターが気体に与えた熱 Q_h を P_2 、 V_0 、 ΔV 、 ΔP によって表せ。

IV 状態 Z_2 において、コック C を閉め、シリンダー B の断熱板の留め具をはずし、その断熱板を機械的に速く上下振動させた後に、元の位置に戻し、再び、留め具で固定した。この間に、気体がなされた仕事を $W_m (> 0)$ とする。その後、十分に時間が経過した時の状態を Z_4 とする。状態 Z_4 の温度 T_4 を T_2 , W_m によって表せ。

V 状態 Z_4 において、コック C をゆっくりと開くと、シリンダー A の断熱板がゆっくりと上方に動き、状態 Z_3 と同じ状態になった。この時、 W_m と Q_n の関係を記せ。また、その関係が成り立つ理由を簡潔に述べよ。

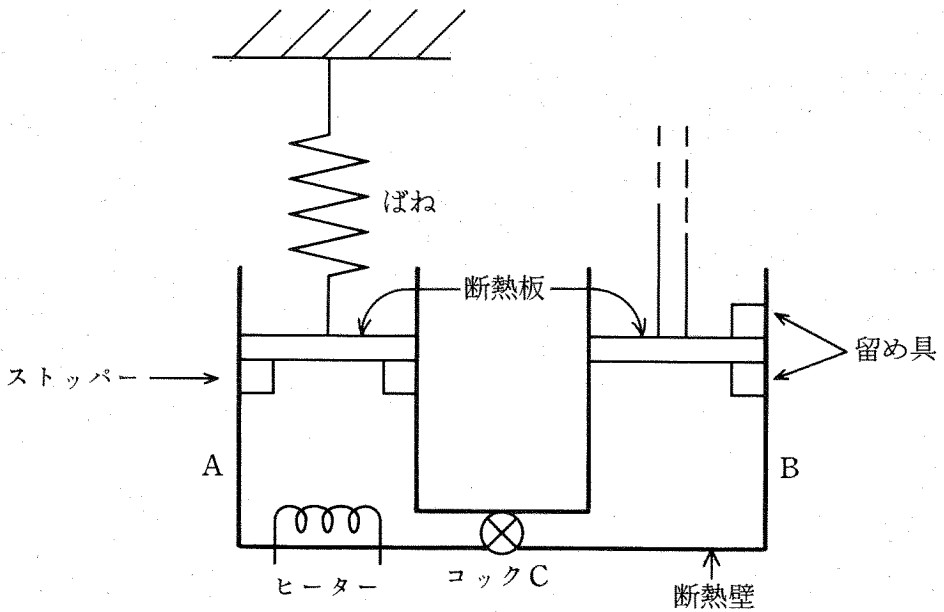


図 3