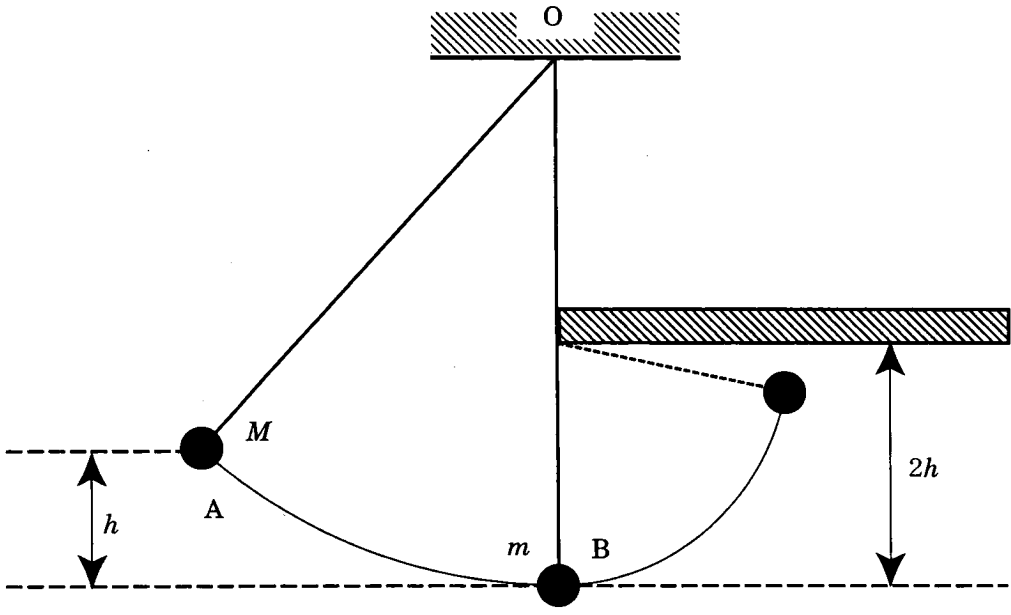


物 理

I 図のように、2本の同じ長さの糸にそれぞれ質量 M の質点 A と質量 m の質点 B が支点 O からつるされており、質点 A は糸のたるみがないように最下点から高さ h のところまで持ち上げられ、質点 B は O を通る鉛直線上に静止している。また、高さ $2h$ のところに板が水平に設置され、その左端は O を通る鉛直線上にある。質点 A を静かに放すと、質点 B に正面衝突した後、質点 B は水平方向右向きに運動をはじめ、質点 B をつるした糸が板の左端で折れ曲がった後、板に衝突した。以下の問い(問1～5)に答えよ。ただし、A と B の衝突におけるはねかえり係数を e 、重力加速度を g とし、 m は M よりも小さいものとする。また、糸の質量と伸縮、空気抵抗は無視できるものとする。解答は全て解答用紙の所定の欄に記入し、考え方や計算の要点も記入せよ。

- 問 1 質点 A が質点 B に衝突する直前の質点 A の速さ v_0 および運動エネルギー T を M 、 g 、 h を用いて表せ。
- 問 2 衝突直後の質点 A の速さを v_1 、質点 B の速さを v_2 とするとき、 v_1 、 v_2 の満たす式を v_0 、 M 、 m 、 e を用いて二つ書け。
- 問 3 問 1、問 2 の結果を用いて衝突直後の質点 B の速さ v_2 を求めよ。結果は M 、 m 、 e 、 g 、 h を用いて表せ。
- 問 4 質点 B が板に衝突するときの速さ v_3 を M 、 m 、 e 、 g 、 h を用いて表せ。
- 問 5 m が M に比べて十分小さいとき、質点 B が板に衝突するためにはねかえり係数 e が満たすべき条件を求めよ。



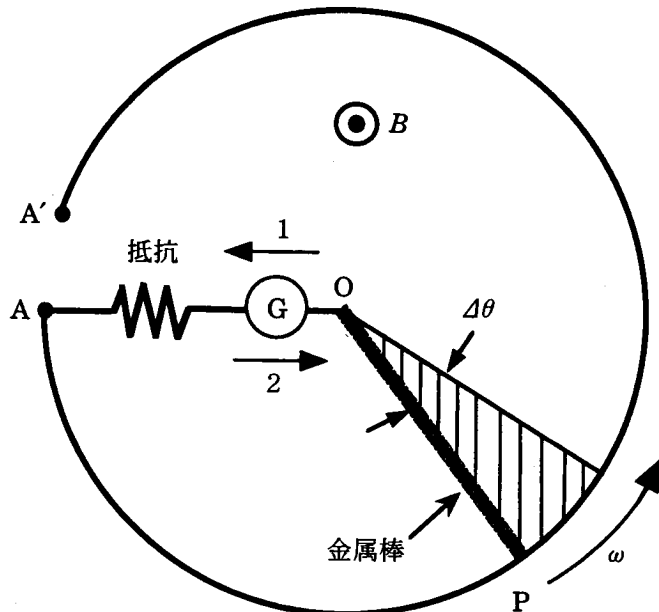
II 図のように、磁束密度 B の一様な鉛直上向き(紙面の裏から表向き)の磁界中に、長さ l の細い金属棒 OP と半径 l の円形導線が水平面内におかれている。金属棒は点 P で円形導線に抵抗ゼロで接し、円形導線の中心 O を支点として、図中の矢印の向きに一定の角速度 ω で点 A から点 A' まで回転する。点 A と点 O の間には、静止した導線を介して検流計 G および抵抗がつながれており、閉回路 OAP O ができている。円形導線の一部 $A'A$ 間は切れている。金属棒および導線の抵抗、検流計の内部抵抗は無視できる。また、金属棒中の電子にはたらく遠心力、回路に流れる電流の作る磁界の影響は無視できるものとする。以下の問いに答えよ。解答は全て解答用紙の所定の欄に記入し、考え方や計算の要点も記入せよ。

金属棒が微小な時間 Δt のあいだに、図に示すように、微小な角度 $\Delta\theta (= \omega \Delta t)$ だけ回転したとする。閉回路 OAP O を貫く磁束の時間変化を考えよう。

問 1 このとき閉回路 OAP O の囲む面積の変化分 ΔS と、閉回路 OAP O を貫く磁束の変化分 $\Delta\Phi$ を求めよ。

問 2 閉回路 OAP O に生じる起電力の大きさ V を ω 、 B 、 l を用いて表せ。

問 3 検流計に流れる電流の向きは、図中の矢印 1 または 2 のいずれか。その番号を解答欄に記入し、理由を 50 字以内で述べよ。



閉回路 OAPO の起電力は、磁界中を運動する金属棒に生じている。このことを以下の考察から確かめてみよう。

問 4 点 O から距離 r の位置にある金属棒中の自由電子(電荷 $-e$)を考える。この電子は金属棒とともに回転するので、電子にはローレンツ力が働く。ローレンツ力の大きさ F と向きを求めよ。向きは解答用紙の所定の欄に矢印で示せ。

問 5 問 4 で求めたように、磁界中を運動する金属棒中の自由電子には、金属棒の一方の端から他方の端に移動させるような力がはたらく。自由電子がこの力を受けるのは、磁界中を運動する金属棒の中に電界が生じているためであると考えることができる。点 O から距離 r の位置における電界の大きさを $E(r)$ とし、 $0 \leq r \leq l$ の範囲で $E(r)$ のグラフをかけ。

問 6 金属棒を微小な部分に分けて考えると、 $r = r_1$ から $r = r_1 + \Delta r$ の微小な長さ Δr には、起電力 $\Delta V = E(r_1)\Delta r$ が生じている。このことから、OP 間の起電力 V_{OP} を求めよ。

Ⅲ 図のように、大気圧 P_0 の大気中にある液体の入った容器の中に、断面積 S のシリンダーが口を下に向けて鉛直に立ててある。シリンダーは動かないように固定されており、その中には質量の無視できる断熱材でできたピストンにより、 1 mol の単原子分子理想気体が閉じ込められている。シリンダー内はピストンのすぐ下まで液体で満たされており、液体はシリンダーの口から自由に出入りできる。容器の液面から測ったシリンダーの底の高さを h とし、同じく容器の液面から測ったピストンの高さを x で表す。容器の底面積が大きいので、ピストンの高さが変わっても、容器内の液面の高さは一定として良い。シリンダー内の上部には、気体を熱するために体積の無視できるヒーターが取り付けられている。

はじめピストンの高さは $x = \frac{h}{4}$ であり、気体の圧力 P は $\frac{P_0}{2}$ であった。このときの気体の状態を状態Ⅰと呼ぶ。次にヒーターで気体を熱したところ、ピストンがゆっくりと下がり、シリンダーの外の液面と同じ高さになった ($x = 0$)。このときの気体の状態を状態Ⅱと呼ぶ。

気体とシリンダーや液体との熱の交換、ピストンとシリンダーの厚さ、ピストンとシリンダーの間に働く摩擦は無視できるものとする。気体定数を R 、重力加速度の大きさを g として、以下の問いに答えよ。解答は全て解答用紙の所定の欄に記入し、考え方や計算の要点も記入せよ。

問 1 状態Ⅰでの気体の絶対温度 T_1 を P_0 , S , h , R を用いて表せ。

問 2 状態Ⅱでの気体の絶対温度を T_2 とするとき、 T_2 と T_1 の比を求めよ。その結果を用いて、状態Ⅰから状態Ⅱへ変化する際の気体の内部エネルギーの変化 ΔU を求め、 P_0 , S , h を用いて表せ。

問 3 液体の密度を ρ とするとき、ピストンの高さが x のときの気体の圧力 P を、 P_0 , ρ , x , g を用いて表せ。また、状態Ⅰでの気体の圧力とピストンの高さの関係から、 ρ を P_0 , h , g を用いて表せ。

問 4 状態Ⅰから状態Ⅱへ変化する間の気体の圧力 P を、横軸に x をとりグラフに描け。このグラフから、状態Ⅰから状態Ⅱへ変化する間に気体がする仕事 W を求め、 P_0 , S , h を用いて表せ。

問 5 問 2 と問 4 の結果を用いて、ヒーターが気体に供給した熱量 Q を求め、 P_0 , S , h を用いて表せ。

