

## 物 理

I 滑らかな水平な床の上に、図のような壁に針金が固定された台が静止している。針金と壁を含んだ台の質量を  $M$  とする。針金は、図のように床に水平な部分と垂直な部分とからなり、その間を滑らかな曲線で接続されていて、その形状は固定されている。孔の開いた質量  $m$  の球を針金に通して、針金の水平部分からの高さ  $h_1$  の A 点から静かに落下させる。落下した球はこの曲線の部分を通り過ぎて水平方向左向きに運動し、同時に台は右向きに運動を始めた。その後、球は台の左端の壁に衝突してはねかえり、針金を通ってある高さまで上昇した。台の底面は十分大きいので球の運動によって台や針金が倒れることはないとする。重力加速度を  $g$ 、壁の反発係数を  $e$  とする。球の大きさ、球と針金の間および台と床の間の摩擦、空気の抵抗は無視できるとする。以下の問に答えよ。解答は全て解答用紙の所定の欄に記入せよ。また、考え方や計算の要点も記入せよ。

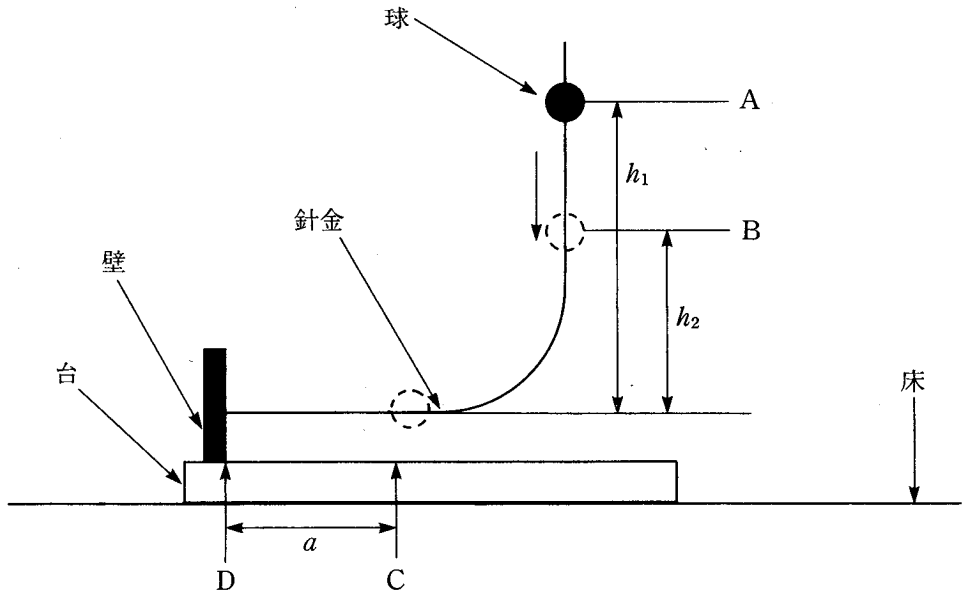
問 1 球が針金の水平部分から高さ  $h_2$  の B 点を通り過ぎる時の、球の速さ ( $v_B$ ) を求めよ。

問 2 球が左向きに水平運動をしているときの、球の速さ ( $v$ ) と台の速さ ( $V$ ) をそれぞれ求めよ。

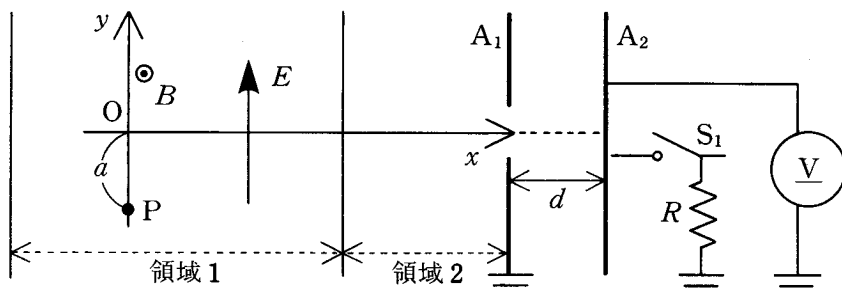
問 3 壁 D 点から距離  $a$  の点を C 点とする。球が CD 間を左向きに通過するのにかかる時間 ( $t$ ) を求めよ。

問 4 台に固定された壁に衝突した直後の、球の速さ ( $v'$ ) と台の速さ ( $V'$ ) をそれぞれ求めよ。

問 5 球が壁に衝突した後に針金を通って上に向かって運動した。球が到達する最大の高さ ( $h_3$ ) を求めよ。



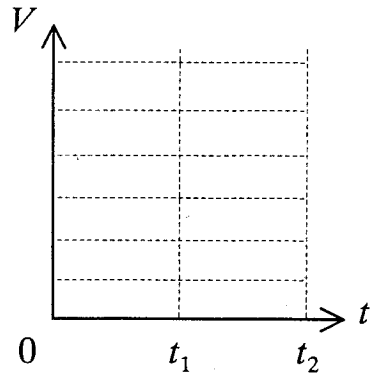
Ⅱ 正電荷  $q$  [C] を持つ粒子 (荷電粒子) の質量  $m$  [kg] と速さ  $v$  [m/s] を、磁界と電界を利用した分析器で決め、さらに荷電粒子のつくる電流  $I$  [A] を測定する実験を行った。下図に示されている様に、荷電粒子は領域 1 内の  $x, y$  座標の原点  $O$  より  $x$  軸に沿って打ち出される。領域 1 では、紙面に垂直に手前向きに磁束密度  $B$  [Wb/m<sup>2</sup>] の一様な磁界をかけることができ、また  $y$  軸に平行に一様な電界  $E$  [V/m] も加えることができる。領域 2 では磁界も電界も無く、 $x$  軸に沿って進んだ荷電粒子は、 $x$  軸と金属板  $A_1$  との交点に開けた小さな<sup>あな</sup>孔を、 $A_1$  に触れないで通過し捕集電極  $A_2$  に到達する。 $A_2$  は  $A_1$  より距離  $d$  [m] の位置に置かれ、 $A_1 A_2$  は面積  $S$  [m<sup>2</sup>] の平行板コンデンサーと見なせる。 $A_2$  には電圧計が付けられ、またスイッチ  $S_1$  と電気抵抗  $R$  [Ω] を通して接地されている。領域 1, 2 の  $x$  軸上の電位は接地された  $A_1$  と同電位とし、電圧計の影響は無視でき、荷電粒子は重力の影響を受けないとして、以下の問に答えよ。



- 問 1 領域 1 に磁束密度  $B_1$  の一様な磁界のみをかけ電界が無いとき、速さ  $v$  で原点  $O$  より  $x$  軸の正の向きに打ち出された質量  $m$  の荷電粒子が、原点  $O$  から距離  $a$  [m] 離れた  $y$  軸上の点  $P$  を通過した。 $m$  を  $a, v, B_1, q$  で表せ。
- 問 2 前問と同じ磁束密度  $B_1$  で、電界を徐々に加えて行くと、電界が  $E_1$  のときに荷電粒子は  $A_1$  に触れることなく孔を通過し、 $A_2$  に到達した。この時の荷電粒子の速さ  $v_1$  を求め、 $m$  を  $a, E_1, B_1, q$  で表せ。
- 問 3 スイッチ  $S_1$  を閉じ荷電粒子が  $A_2$  に一定の割合で流れ込んでいるとき、電圧計は  $V_1$  [V] を示した。流れ込んでいる電流  $I_1$  [A] を求めよ。また、荷電粒子は領域 1, 2 で孔より小さな断面 (断面積  $b$  [m<sup>2</sup>]) を一様に流れるとして、荷電粒子の密度  $n$  [1/m<sup>3</sup>] を  $I_1, q, v_1, b$  で表せ。

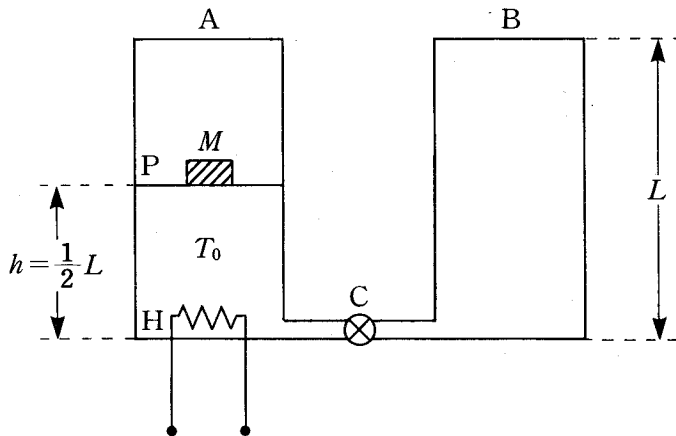
問 4  $A_1A_2$  間の静電容量  $C$  (F) を求めよ。但し、 $A_1A_2$  間は真空中で誘電率を  $\epsilon_0$  (F/m) とし、端の影響は無いとする。

問 5  $S_1$  を閉じ荷電粒子が一定の割合で流れ込んでいるとき(電流  $I_1$  [A])、時刻  $t_1$  で  $S_1$  を開いた。 $A_2$  の電気量が増え始め、時間  $\Delta t$  [s] 経過した後の時刻  $t_2$  で荷電粒子の流れを停止した。時刻  $t_2$  での  $A_2$  の電圧  $V_2$  [V] を



求めよ。また、横軸を時刻  $t$ 、縦軸を  $A_2$  の電圧  $V$  にとった右図に、電圧の時間変化の概略を画け。但し、荷電粒子は常に  $A_2$  に到達できるとする。

Ⅲ 図に示すように、共に高さ  $L$  で同じ底面積の密閉された円筒形容器 A, B があり、それらはコック C のついた容積の無視できる細い管でつながれている。はじめコックは閉じている。容器 A の内部は、質量  $M$  のおもりをのせたピストン P で仕切られている。ピストンの上部は真空であるのに対して、下部には単原子分子理想気体が入っており、またヒーター H が取り付けられている。容器 B は真空に保たれている。容器 A の底からピストンまでの高さ  $h$  が  $\frac{1}{2}L$  のとき、気体の温度は  $T_0$  であった。



ピストン下部の気体をヒーターで加熱し、ピストンの位置が上昇し  $h = \frac{3}{4}L$  になったところでヒーターを切った。容器 A とピストンの間に摩擦はなく、気体以外の熱容量は無視できるとし、重力加速度を  $g$  として、以下の問に答えよ。

- 問 1 このときの気体の温度  $T_1$  を、 $T_0$  を用いて表せ。  
 問 2 気体がピストンにした仕事  $W$  を求めよ。  
 問 3 気体の内部エネルギーの増加量  $\Delta U$  を求めよ。  
 問 4 ヒーターが気体に与えた熱量  $Q$  を求めよ。

次にコックを静かに開いたところ、ピストンの位置が低下し  $h = L_2$  の高さで止まった。

問 5 このときの容器 A, B 内でのエネルギーの増減を 100 字以内で説明せよ。

問 6 ピストンの高さ  $L_2$  を,  $L$  を用いて表せ。さらに, 気体の温度  $T_2$  を,  $T_0$  または  $T_1$  を用いて表せ。