

物理量はSI国際単位系で表現してある。解答欄に[]がある所はその単位をSI国際単位系による簡潔な形で記入せよ。

1 図1のように、大小のなめらかな半円形のレールが、水平でなめらかな床と点Oで接して鉛直に立てられている。この半円形のレールの内側に沿って、質量 m の2つの小球を運動させる。どちらのレールに沿って小球を運動させるかは選ぶことができ、瞬時に切り替えられるようになっている。点Oを原点として、水平方向に x 軸を、鉛直方向に y 軸を取る。すべての運動は、この $x-y$ 平面内に限られるとする。大きい半円形のレールの直径は h_1 であり、小さい半円形のレールの直径は h_2 である。大きい半円の最高点を点 P_1 、小さい半円の最高点を点 P_2 とする。小球は、 x 軸の正の方向から運動してきて、点Oを速さ v_0 で通過し、レールから離れることなく点 P_1 あるいは点 P_2 に到達して、そこから落下をする。床は取り外すことができ、球は、床には衝突しないものとする。空気の抵抗は無視できるとする。

一つ目の小球Aが時刻 t_1 に点 P_1 を通過し、二つ目の小球Bが時刻 t_2 に点 P_2 を通過した。重力加速度の大きさを g として以下の問いに答えよ。

- (1) 点 P_1 を小球Aが通過するときの速さはいくらか。
- (2) 時刻 $t (t > t_1)$ における小球Aの y 座標はいくらか。
- (3) 時刻 $t (t > t_2)$ における小球Bの x 座標はいくらか。
- (4) 落下した小球Aと小球Bが x 軸上で衝突した場合、初期の速さ v_0 はいくらか。時刻 t, t_1, t_2 を含まない形で答えよ。

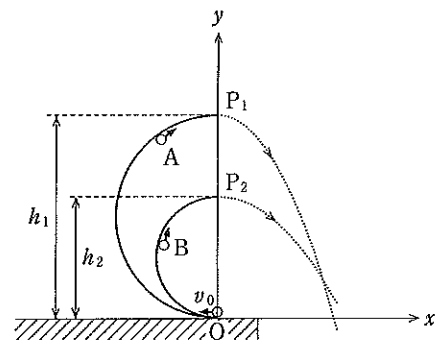


図1

2 縦波音波の屈折を考える。図2-1、図2-2は、水中に置かれた、氷でできた平凸レンズ、平凹レンズの断面を示している。凸、凹面は、大きい球面の一部で、その半径は r である。この球面の中心を点Oとする。音波はレンズの軸に平行に進み、レンズの平らな面上の点Aを通り、面に垂直に水中へ入射する。その後、レンズ球面上の点Bで屈折し、水中へ進む。

氷、水の境界面は、点Bで球面に接する平面(その断面を直線D、Eで示す)で表現できる。入射角 θ_i 、屈折角 θ_t は、この平面の法線(点Bと点Oを通る)と音波の進む向きとのなす角である。図において、音波の進む方向は模式的に示してある。点Bからのレンズの軸への垂線とレンズの軸との交点をCとし、BC間の距離を h とする。ここに $h = r \sin \theta_i$ (…①)の関係がある。水中、氷中での縦波音波の速さをそれぞれ V_w, V_i とする。以下の問いに答えよ。

- (1) 入射角 θ_i と屈折角 θ_t の関係(…②)を V_w, V_i を用いて表せ。
- (2) それぞれのレンズについて、音波が図中レンズの右側でレンズの軸と交点Fを持つ条件を、入射角、屈折角の大小関係で表せ。音波の速さが、 $V_w = 1500 \text{ m/s}, V_i = 3200 \text{ m/s}$ であるとき、この条件にあうレンズは平凸レンズと平凹レンズのどちらか。また条件にあうレンズについて、CF間の距離(…③)は、 θ_i, θ_t, h を用いてどのように表されるか。
- (3) 入射する音波がレンズの軸近くを通り、屈折した音波がレンズの軸と交点Fを持ち、入射角、屈折角が十分小さく、 $V_i > V_w$ であるとき、距離CFは、音速の比 n と曲面の半径 r とを用いてどのように表されるか。ここで、 $n = V_i/V_w$ である。式①、②、③と、 $\theta < 1$ のとき、 $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$ 等と近似できることを用いよ。

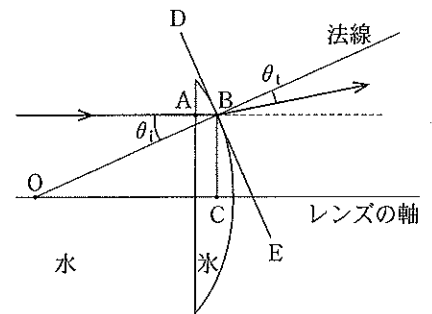


図2-1

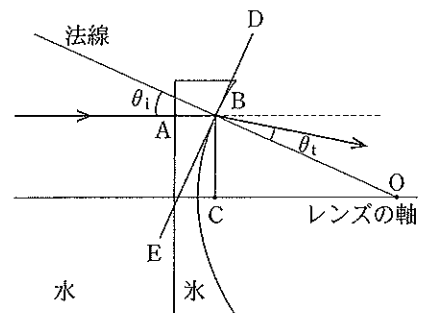


図2-2

3 2枚の広い正方形の極板 A, B を平行に向い合せて電池をつなぎ、この極板の間で、質量 m と電荷 $q (q > 0)$ を持つ粒子の運動を観測する。極板の1辺の長さは $2L$ で極板間の間隔 d よりも十分に長く、極板間の電場は均一とみなせる。極板間の中心点を座標の原点 O とし、極板に平行に x 軸を、垂直に y 軸をとる。空気抵抗や重力の効果は無視できるとして、以下の問いに答えよ。

I) 電圧 V の電池を極板に接続する。

- (1) 図3-1のように、原点 O に粒子を初速度0で置いた。極板間の電場の強さと粒子に作用する力の大きさを求めよ。また、粒子が原点 O から y 軸正方向に距離 $0.5d$ だけ移動するのにかかる時間を求めよ。
- (2) 図3-2のように、粒子を x 軸正方向に速さ v_0 で原点 O を通過させたところ、粒子は極板に衝突することなく運動した。粒子の x 座標が L となる点の y 座標はいくらか。また、その点での粒子の y 軸方向の速さはいくらか。粒子が原点 O から x 座標 L まで運動した時に、電場がした仕事はいくらか。
- (3) 図3-2のように、粒子が x 軸正方向に速さ v_0 で原点 O を通過するとき、極板 A, B 間に電場と同時に磁場を加える。粒子の運動が、 x 軸上正方向の速さ v_0 の等速直線運動となるとき、磁束密度の大きさはいくらか。また、磁場はどのような向きに加えればよいか。

II) 図3-3のように、スイッチ S と電圧 V_0 の電池を極板に接続し、時刻 $t = 0$ に原点 O に粒子を初速度0で置いた。スイッチを切り替えることによって、極板 B に対する極板 A の電位は瞬時に変えられる。図3-4は、極板 B の電位を基準0としたときの極板 A の電位の時間変化を示す。粒子は極板 A, B に衝突することなく運動した。

- (4) 時間 $t = 0$ から $t = 6t_0$ までの、粒子の y 軸方向の速度と時間の関係を図示せよ。その際に、縦軸の主要な目盛も記入すること。また、粒子が極板に衝突しない t_0 の条件は、どのように表されるか。

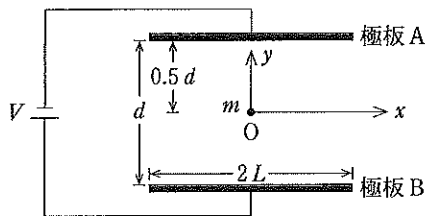


図3-1

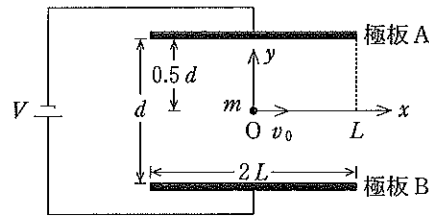


図3-2

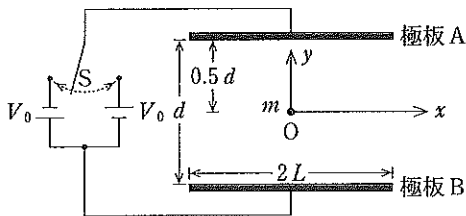


図3-3

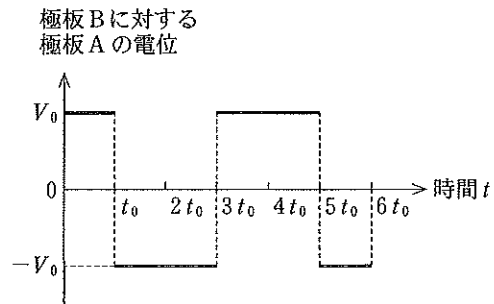


図3-4