物　理（その1）

1　水平で摩擦のない一直線上で起こる二つの粒子の衝突を考える。すなわち図に示すような粒子1（質量が m_1，速度が v_1）と粒子2（質量が m_2，速度が v_2）が衝突し，その後それぞれの速度が v_1'，v_2' となった。このとき以下の問いに答えなさい。粒子1と2の反発係数（はねかえり係数）を e とする。なお粒子1と2全体を以下では物体系と呼ぶ。「計算」欄に計算も記しなさい。

(1)　物体系が運動している直線上右向きに x 軸を設定する。粒子1，2の位置をそれぞれ x_1，x_2 としたとき，物体系の重心の座標を $X = \dfrac{m_1x_1 + m_2x_2}{m_1 + m_2}$ と定義する。衝突前の重心速度を式で示しなさい。

(2)　v_1，v_2，v_1'，v_2' と e の間の関係を一つの式で表しなさい。

衝突前と衝突後の，重心から見た2粒子の速度をそれぞれ a_1，a_2 および a_1'，a_2' と置くとそれぞれ次のように表すことが出来る。ただし V は物体系の重心速度である。

$$a_1 = v_1 - V,\ a_2 = v_2 - V$$
$$a_1' = v_1' - V,\ a_2' = v_2' - V$$

(3)　このとき $m_1a_1 + m_2a_2$ の値を求めなさい。

(4)　a_1'，a_2' を a_1，a_2 および e を使って表しなさい。

(5)　物体系が衝突前に持っていた運動エネルギー K は次のように表すことが出来る。

$\boxed{A}$ に入る式を求めなさい。

$$K = \frac{m_1 + m_2}{2}V^2 + \boxed{A}$$

(6)　この衝突によって失われた運動エネルギーの大きさ $|\Delta K|$ は以下の式のように表すことが出来る。$\boxed{B}$ と $\boxed{C}$ に入る文字あるいは式を求めなさい。

$$|\Delta K| = \boxed{B} \times \frac{(v_1 - v_2)^2}{2}(1 - \boxed{C})$$

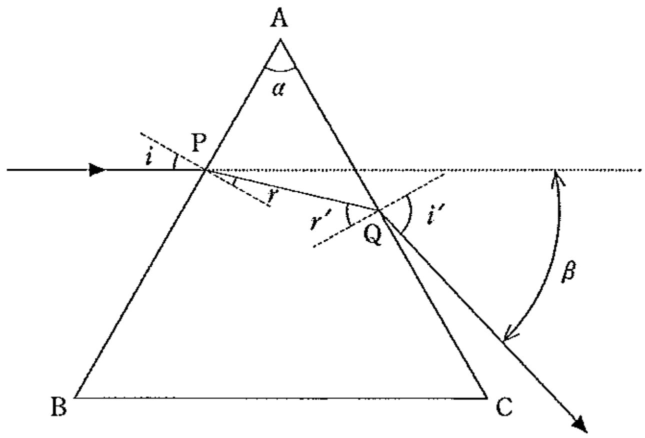
次に質量 m の人が質量 M のボートに乗っている状況を考えよう。ボートは最初静止していた。またボートは摩擦無しに水面を動けるものとする。このとき

(7)　人がボートの前方にボート内で距離 s だけ移動したら，ボートは最初の位置からどれだけ移動するか。ボートと人は同一直線上で運動するものと考えなさい。

◇M2(051—23)

2 図は空気中に水平に置かれた正三角形の断面を持つプリズムABCを真上から見たものである（$\alpha = \angle BAC = 60°$）。このプリズムにAB面から入射した光が屈折してAC面に入り，さらに屈折して空中に出ていく場合のみ以下では考える。

このプリズムにAB面上の点Pから入射角 $i = 30°$ で単色光線を入射させたところ，屈折角 i' でプリズムAC面上の点Qから屈折光線が出てきた。この光線の，AB面における屈折角を r，AC面への入射角を r' と置く。なおプリズムの空気に対する相対屈折率は $\frac{3}{2}$ である。また図中の2本の破線はプリズムの点Pと点Qに立てた垂線をそれぞれ表す。なお根号は開かなくて良い。「計算」欄に計算も記しなさい。



(1) $\sin r$ はいくらか。

(2) $r + r'$ はいくらか。

(3) $\sin i'$ はいくらか。

(4) ここで光がプリズムに入射する方向と，プリズムから出ていく方向のなす角をふれの角と呼び文字 β で表すことにしよう。β を i，i'，α を使って表しなさい。

次に点Pへの入射光線はそのままにして，プリズムを入射点Pを中心にして水平面内で回転させた。ただし入射角 i の大きさに関しては最初の条件を満たすものだけを考える。

(5) 点Pの周りにプリズムを回転させて i を徐々に変えたところ i' も変化した。ふれの角 β が最小となるのはどのような場合か。またこのとき r の値はいくらとなるか。

◇M2(051—24)

物　理（その２）

3　以下の問いに答えなさい。「計算」欄に計算も記しなさい。

A　内部抵抗 r_a の電流計と内部抵抗 r_b の電圧計を抵抗に接続し，その抵抗値 R を測定するために図１と図２に示す回路を作製した。

(1)　図１の回路で電圧計の測定値を電流計の測定値で割った値を R，r_a，r_b などを使って表しなさい。

(2)　図１の回路で抵抗の値 R を推測するために r_a，r_b の大きさに求められることは何か。

(3)　図２の回路で電圧計の測定値を電流計の測定値で割った値を R，r_a，r_b などを使って表しなさい。

(4)　図２の回路で抵抗の値 R を推測するために r_a，r_b の大きさに求められることは何か。

B　内部抵抗が 100 Ω，最大目盛り 1.00 mA の検流計 G がある。

(1)　この検流計 G を最大 100 mA まで計測できる電流計にするには何 Ω の抵抗をどのように G に接続したらよいか。

(2)　検流計 G を最大 10.0 V まで計測できる電圧計にするには何 Ω の抵抗をどのように G に接続したらよいか。

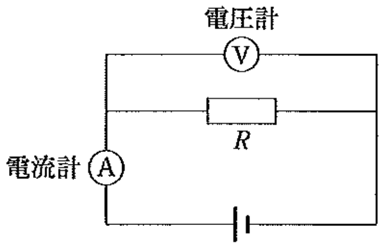


図１

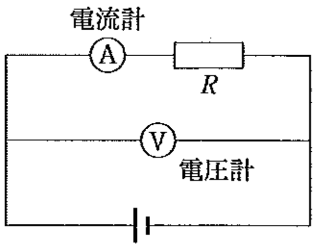


図２

◇M2(051—25)

4 荷電粒子の加速器の一つにサイクロトロンがある。上からみた原理図を図1に示し，その中心部の拡大図を図2に示す。

図1に示すように真空中に2つの中空の半月型電極 D_1，D_2 が向かい合っていて，電極間には幅 $2d$ のギャップ(間隙)がある。電極には磁束密度の大きさが B の一様な磁界がかけてある。ただしギャップには磁界はない。

図2に示すようにギャップの中央にイオン源を置き，質量 m，電荷 $q(>0)$ の荷電粒子を放出させる。

図のように x，y 座標を決める。電極 D_1，D_2 の間に交流電圧を加え，ギャップ間に生じた x 軸に平行な大きさ E の電界によってギャップ間に出てきた荷電粒子を常に加速するようになっている。

すなわち図2に示すように，最初イオン源から出た荷電粒子は電場によって $+x$ 方向に加速され，A から D_1 に入り半円軌道を描いた後Bからギャップに出る。ここで今度は $-x$ 方向に加速されて D_2 に入り半円軌道を描いた後，ギャップで $+x$ 方向に加速されて再び D_1 に入る。このギャップ内における直線加速運動と，電極内における半円運動の繰り返しによって荷電粒子は速くなり，最終的に高速度になった粒子を外に取り出すことができる。重力の効果が無視できるとしたとき，以下の問いに答えなさい。「計算」欄に計算も記しなさい。

(1) サイクロトロン以外の粒子加速装置を一つ挙げよ。

(2) イオン源での荷電粒子の初速度を0と近似できるとしたら，荷電粒子がギャップで加速され D_1 に到達したときの速度はいくらとなるか。

(3) 図の様に荷電粒子を電極内で円運動させるためには D_1，D_2 において磁場はどちらの方向にかければよいか。次から選び記号で答えなさい。

a 紙面の表から裏，　b 紙面の裏から表，　c 紙面の左から右，　d 紙面の右から左

(4) A から B で行う円運動の半径を求めなさい。

(5) A から B に達するまでの時間はいくらか。

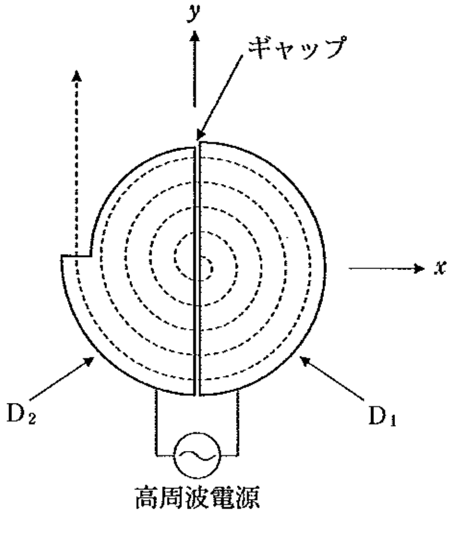


図1

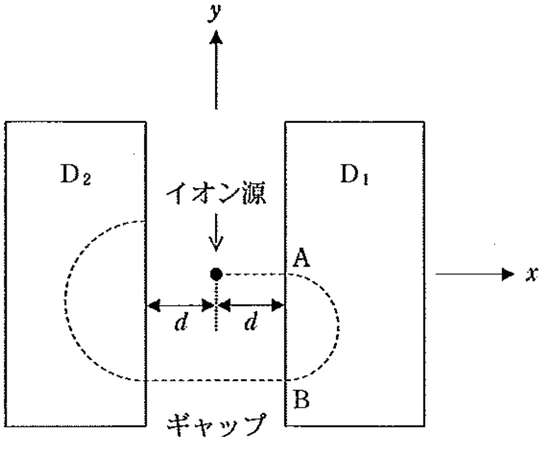


図2

◇M2(051—26)