

電磁場内の荷電粒子

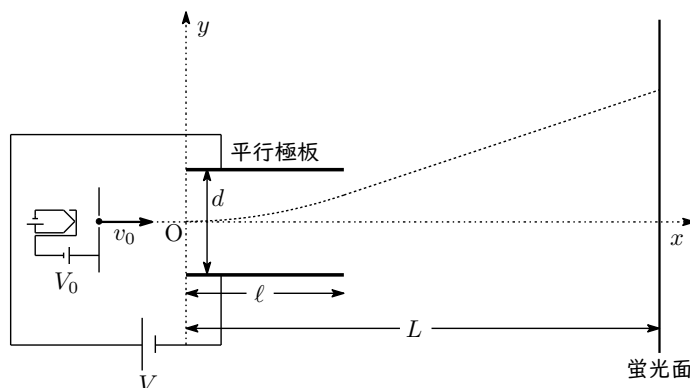
番 氏名

- 139 質量 m [kg]、電荷 $-e$ [C]、初速 0 の電子を電圧 V_0 [V] で加速し、間隔 d [m]、長さ l [m]、極板間電圧 V [V] の平行極板間を通過させる。

電子の入射方向に x 軸をとり、極板の左端を原点 O とする。

極板は x 軸に平行で、電子は極板間の様な電場（電界）から力を受け、蛍光面に到達する。 y 軸は極板に垂直であり、蛍光面は x 軸に垂直で $x = L$ [m] の位置にある。

- 平行極板間に入射するときの電子の速さ v_0 はいくらか。
- 極板間で電子が受ける力の大きさはいくらか。また、極板の右端 ($x = l$) における電子の y 座標 y_1 を求めよ。 v_0 を用いてよい（以下の問も同様）。
- 蛍光面上に到達したときの電子の y 座標 y_2 を求めよ。
- 平行極板間の領域に様な磁場（磁界）を加えることによって電子の軌道を x 軸からそれないようにしたい。磁束密度 B および磁場の向きをどのように選べばよいか。

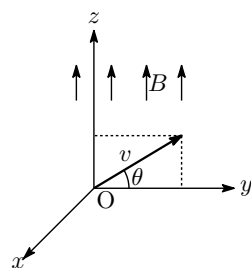


- 140 z 軸の正の方向に磁束密度 B の様な磁界がかかっている。質量が m で電荷が $q(>0)$ の荷電粒子を、原点 O から yz 面内で y 軸から角度 θ の方向に一定速度 v で打ち出した。重力の影響は無視する。

- y 軸の正の方向 ($\theta = 0$) に打ち出した場合、荷電粒子は等速円運動をする。この等速円運動の中心点の座標 (x_0, y_0, z_0) を求めよ。また、1 周するのに要する時間はいくらか。
- z 軸の正の方向 ($\theta = \frac{\pi}{2}$) に打ち出した場合、この荷電粒子はどのような運動をするか説明せよ。
- y 軸との角度 ($0 < \theta < \frac{\pi}{2}$) の方向に打ち出した場合について、

ア. 荷電粒子はどのような運動をするか、説明せよ。

イ. 原点 O から荷電粒子が打ち出されてから、次に初めて z 軸と交わるまでの時間を求めよ。また、この交点を P とするとき、 OP 間の距離はいくらか。

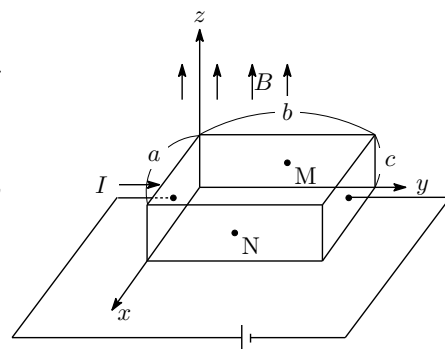


141 次の (1)～(5) には式を、(a)～(e) には適当な語句を入れよ。

直方体の n 型半導体があり、 x, y, z 方向の長さをそれぞれ a, b, c とする。また、半導体は単位体積あたり n 個の電子をもつ。図のように y 軸の正の向きに強さ I の一様な電流が流れている。電子の電荷の大きさを e 、平均の速さを v とすると、電流 I は (1) と表される。

いま、 z 軸の正の向きに磁束密度 B の一様な磁場を加えた。電子はやはり平均の速さ v で運動しているとする、大きさ (2) の力を x 軸の (a) の向きに受ける。この力は (b) とよばれる。その結果、電子が x 軸方向に移動するため、M に対して N の電位は (c) なり、MN 間には電場が発生する。やがて半導体内の電子に対して磁場による力と電場による力がつりあうことになる。この状態での電場の強さは (3) と表される。したがって、MN 間の電位差 V は (4) と表され、 I を用いると $V =$ (5) と表される。

次に、 n 型半導体の代わりに p 型半導体で同様な実験を行った。 p 型では (d) が電流の担い手となるので、M に対して N の電位は (e) なる。



142 () に語句または式を記し、問いに答えよ。

電気量には最小の単位があり、全ての電気量はその整数倍になっている。この最小単位を電気素量といい、これは (ア) のもっている電気量の大きさに等しい。ミリカンの実験は、図 1 のような装置に霧吹きから油滴を吹き込み、間隔 d [m] の平行な極板 A, B の間を上下する油滴を顕微鏡で観察し、電気素量 e [C] を測定した。密度 ρ [kg/m³]、半径 r [m] の球形の油滴の運動を考える。重力加速度を g [m/s²] とし、空気の影響は無視する。

油滴は極板間に電場がないときは、重力と空気の抵抗力を受けて、鉛直下向きに一定の速さ（終端速度） v_1 [m/s] で落下する。空気の抵抗力は r と v_1 の積に比例するので、比例定数を k とすると、この抵抗力と重力のつり合いの式は (イ) と書ける。

油滴は一般に帯電している。その電気量を q [C] とする。A に対する B の電位を V [V] ($V > 0$) とすると、油滴は図 2 に示すように、鉛直上向きに一定の速さ v_2 [m/s] で上昇した。このときのつり合いの式は (ウ) となる。

(イ) と (ウ) より q は v_1, v_2, d, r, k, V を用いて、 $q =$ (エ) と表される。

問 1 密度 855 kg/m³ のパラフィン油を用いて測定したところ、ある油滴の v_1 は

3.0×10^{-5} m/s であった。 k は 3.41×10^{-4} kg/(m·s) なので、(イ) より

$r = 5.4 \times 10^{-7}$ [m] であることがわかる。この油滴は極板 A, B の間隔 d が 5.0×10^{-3} m、電位 V が 320 V のとき、 8.0×10^{-5} m/s で上昇した。油滴の電気量を求めよ。

問 2 いろいろな油滴の電気量 q [C] を測定したところ、6.4, 4.8, 11.3, 8.1 (単位は $\times 10^{-19}$ C) を得た。問 1 の結果も合わせて電気素量の値を求めよ。

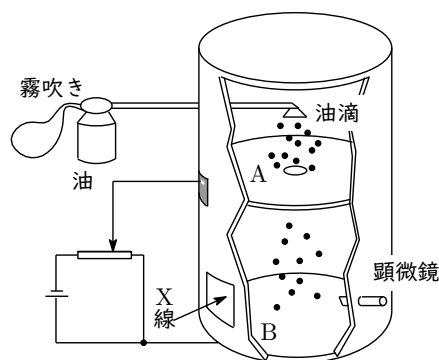


図 1

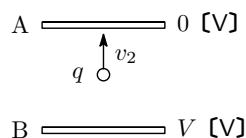


図 2

143 ナトリウム Na を陰極とする光電管を用いて図 1 の回路を作り、波長 $3.0 \times 10^{-7} \text{ m}$ の紫外線を当てて光電効果の実験を行った。光速 $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ 、電気素量 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 、プランク定数 $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ [J} \cdot \text{s]}$ とする。

- (1) AB 間に十分な電圧をかけたところ、回路に $1.6 \times 10^{-6} \text{ A}$ の電流が流れた。陰極 A から陽極 B に達する電子の数 N は毎秒何個か。
- (2) AB 間の電圧を変えながら光電流 I を測定すると、図 2 のようなグラフが得られた。陰極から飛び出す光電子の最大運動エネルギー $K \text{ [J]}$ はいくらか。
- (3) 光子のエネルギー [J] と Na の仕事関数 $W \text{ [J]}$ を求めよ。また、 W を [eV] で表せ。そして Na に対する限界振動数 $\nu_0 \text{ [Hz]}$ を求めよ。
- (4) 光の波長を変えずに光の明るさを半分にすると、図 2 の曲線はどう変わるか。図に概形を書き込め。
- (5) 当てる光の波長を変えながら (2) と同様の実験を行う。横軸を光の振動数 $\nu \text{ [Hz]}$ 、縦軸を $K \text{ [J]}$ とする時、得られるグラフを文字 ν_0 と W を用いて定性的に示せ。また、 h はグラフの何と対応しているか。

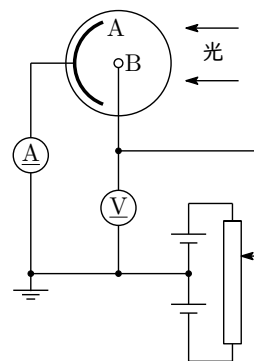


図 1

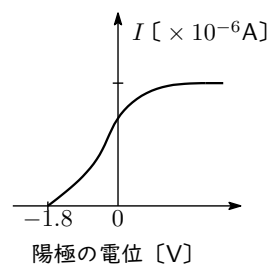


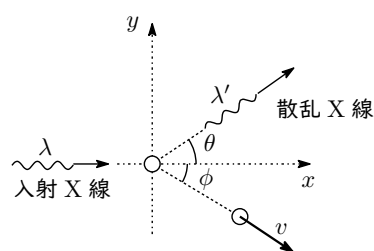
図 2

144 X 線の粒子性は、コンプトン効果の実験からわかる。静止している質量 m の電子に波長 λ の X 線光子をあて、電子を角度 ϕ の方向に速さ v ではね飛ばす。散乱 X 線は波長が λ' となり、角度 θ の方向に進む。光速を c 、プランク定数を h とする。

- (1) 衝突前後のエネルギー保存則を表す式を示せ。
- (2) 入射方向 (x 方向) およびそれと垂直な方向 (y 方向) の運動量保存則を表す式を示せ。
- (3) 以上の結果から次の関係式を導け。ただし、 $\lambda' \cong \lambda$ であり、 $\frac{\lambda'}{\lambda} + \frac{\lambda}{\lambda'} \cong 2$ と近似できる。

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos \theta)$$

- (4) $\theta = 90^\circ$ の場合の $\tan \phi$ を λ, λ' を用いて表せ。



- 145 結晶に入射した電子線（電子波）は、規則正しく並んだ原子によって散乱され、互いに (1) して特定の方向に強く反射することがある。結晶中の原子は格子面（原子面）上に並んでおり、入射した電子線は各格子面で鏡面のようには反射すると考えられる。格子面に対して角度 θ で電子線が入射するとき、隣り合う2つの電子線の道のりの差（経路差）は、格子面間隔 d と角度 θ で表すと (2) である。そして反射電子線が互いに強め合う条件は、電子線の波長を λ とし、自然数 n を用いると (3) と表される。電気素量 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 、電子の質量 $m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ 、プランク定数 $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ とする。静止している電子を $2.9 \times 10^2 \text{ V}$ の電圧で加速したとき、電子の速さ $v =$ (4) m/s となり、その波長は $\lambda =$ (5) m となる。この電子線を角度 $\theta = 50^\circ$ で入射させ、そのあと θ を増加させると、強い反射が起こる角度がいくつかある。その最初の角度を θ_1 とすると、 $\sin \theta_1 =$ (6) である。ただし、 $d = 3.5 \times 10^{-10} \text{ m}$ であり、 $\sin 50^\circ = 0.77$ とする。 θ を $50^\circ \leq \theta < 90^\circ$ の範囲で変化させると (7) 回強い反射が起こる。

