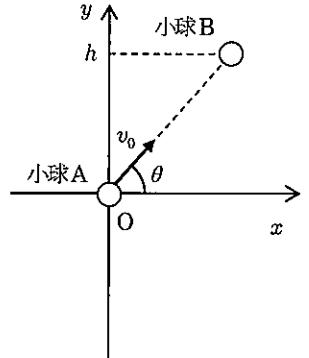


物 理

物理 問題 I

図のように、水平方向右向きを正として x 軸を、鉛直上向きを正として y 軸をとり、 xy 平面内を運動する小球 A, B について考える。時刻 $t = 0$ sにおいて原点 O から小球 A を、高さ h の位置に静止した小球 B に向けて、 x 軸の正の方向からの角度 θ ($0 < \theta < \frac{\pi}{2}$)で打ち出した。小球 A を打ち出すと同時に小球 B が自由落下を始めると、小球 A, B は時刻 t_c において高さ h_c (> 0) で衝突し、その後 $y < 0$ の領域へと落下していった。

小球 A の初速を v_0 、小球 A, B の質量をそれぞれ m_A , m_B とし、重力加速度の大きさを g とする。衝突は十分短い時間で起こるものとし、空気の影響は無視して、次の問い合わせよ。



問1. 小球 A, B が衝突した高さ h_c を、 h , θ , g , t_c の中から必要なものを用いて表せ。

問2. 小球 A, B が衝突した時刻 t_c を、 h , θ , v_0 を用いて表せ。

問3. $t = 0$ sにおける、小球 A, B の重心の y 座標を、 h , m_A , m_B を用いて表せ。

問4. $t = 0$ sにおける、小球 A, B の重心の速度の大きさを、 v_0 , m_A , m_B を用いて表せ。ただし、小球 A, B の重心の速度は小球 A, B の運動量の和を質量の和で割ったものである。

小球 A, B の衝突直前の速度をそれぞれ \vec{v}_A , \vec{v}_B 、衝突直後の速度をそれぞれ \vec{v}'_A , \vec{v}'_B とする。

問5. 衝突直後的小球 B の速度 \vec{v}'_B を、 m_A , m_B , \vec{v}_A , \vec{v}_B , \vec{v}'_A を用いて表せ。

以下では、 $m_A = m_B = m$ であり、衝突直後的小球 A の速度が $\vec{v}'_A = (0, v_0 \sin \theta - gt_c)$ となった場合について考える。

問6. 衝突直後的小球 B の速度 \vec{v}'_B の x 成分と y 成分を、 θ , v_0 , g , t_c , m の中から必要なものを用いてそれぞれ表せ。

問7. 次の文中の空欄 ア, イ にあてはまる語句として最も適切なものを、次の選択肢 (a) ~ (i) の中から 1 つずつ選び、それぞれ記号で答えよ。

「衝突直後的小球 A, B の力学的エネルギーの和は、衝突直前と比べて ア。したがって、この衝突は イ。」

選択肢 (a) 増加する (b) 変化しない (c) 減少する (d) 増加するときも変化しないときもある

(e) 増加するときも減少するときもある (f) 減少するときも変化しないときもある

(g) 弹性衝突である (h) 非弾性衝突である (i) 弹性衝突のときも非弾性衝突のときもある

問8. 小球 A, B の重心の y 座標が $-h$ になった瞬間の重心の速度の大きさを、 h , θ , v_0 , g , m の中から必要なものを用いて表せ。ただし、重心の運動は重力加速度の大きさ g の放物運動と等しい。

物 理

物理 問題 II

図のように、スリット S_0 と複スリット S_1, S_2 および波を観測する測定器からなる装置に、スリット S_0 の左側から波長 λ の波を入射し、測定器の位置での波を観測した。装置の中でも波長は λ のままで、波の速さは一定であった。

それぞれのスリットの幅は十分に狭く、2つのスリット S_1, S_2 の間の距離は d であり、スリット S_0 から2つのスリット S_1, S_2 までの距離は等しい。複スリットと測定器の間の距離は R であり、スリット S_1, S_2 の中点とスリット S_0 を結ぶ直線は測定器と原点 O において直交する。測定器上に図の上向きに x 軸をとる。

測定器上の点 P における波について考える。スリット S_0 を通った波はスリット S_1 を通る経路、 S_2 を通る経路の2通りの経路で点 P に到達する。スリット S_0 では、時刻 t における波の変位 $y_0(t)$ が振幅 A_0 、角振動数 ω 、初期位相 θ_0 を用いて

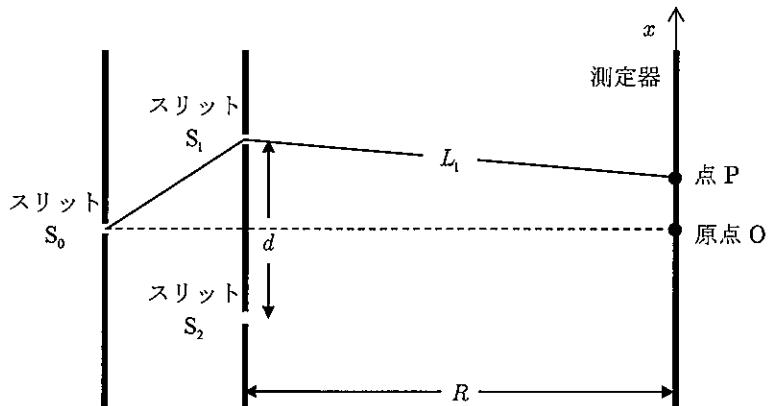
$$y_0(t) = A_0 \sin(\omega t + \theta_0)$$

と表された。スリット S_0 からスリット S_i ($i=1, 2$) を通り点 P に到達する波の経路の長さを L_i 、点 P における振幅を A_i 、点 P における変位を $y_i(t)$ として、次の問いに答えよ。

必要があれば三角関数の合成公式

$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$$

を用いてよい。



問1. この波の伝わる速さを求めよ。

問2. スリット S_0 からスリット S_1 を通り点 P に到達する波は、長さ L_1 の距離をある時間をかけて進む。このようにして到達した波の変位 $y_1(t)$ は、ある時刻 t_1 におけるスリット S_0 での変位 $y_0(t_1)$ を用いて、 $y_1(t) = \frac{A_1}{A_0} y_0(t_1) = A_1 \sin(\omega t_1 + \theta_0)$ と表される。この t_1 を、 λ, t, ω, L_1 を用いて表せ。ただし、スリットを通過するときに位相の変化はないものとする。

問3. 前問の変位 $y_1(t)$ を、 $\lambda, t, \omega, \theta_0, L_1, A_1$ を用いて表せ。

$A_1 = A_2 = A$ と近似できる場合、点 P における合成波の変位は、 L_1, L_2 の時刻 t に依らない関数 A_p を用いて

$$y_p(t) = y_1(t) + y_2(t) = A_p \sin \left\{ \omega t - \frac{\pi(L_1 + L_2)}{\lambda} + \theta_0 \right\}$$

のように書ける。ここで、 A_p の絶対値は点 P における合成波の振幅を表す。以下では、この近似が成り立つ場合について考える。

問4. 関数 A_p を、 λ, L_1, L_2, A を用いて表せ。

点 P の位置を x とする。

$|x|$ と d が R に比べて十分小さい場合、 $L_2 - L_1 = \frac{xd}{R}$ と近似できる。以下では、この近似が成り立つ場合について考える。

問5. $A_p = A$ となる点 P の位置 $x (> 0)$ のうち、最小のものを、 λ, d, R を用いて表せ。

真空中で、電圧 V で加速して大きさ p の運動量を与えた電子を同様の装置に入射させると、測定器において明暗の干渉縞が観測された。これは、電子も波動としての性質を持つことを示す。プランク定数を h とする。

問6. この電子のド・ブロイ波長を、 p, h を用いて表せ。

問7. 加速電圧を4倍にすると、暗線の間隔は元の何倍になるか。

物 理

物理 問題 III

図 1 のように、断面積 S の円形の導体極板 A, B を使ったシリンダーとピストンがあり、極板 A, B はコンデンサーとみなすことができる。シリンダーの側面は不導体（絶縁体）であり、極板 A は固定されていて、極板 B は極板 A と平行を保ったままなめらかに動くことができる。

この極板間に理想気体を封入し、極板 B の右側の空間を真空にして、極板 A に正電荷、極板 B に負電荷と同じ大きさで帯電させた。このとき、封入した理想気体の圧力は P_0 になり、極板間の距離は d 、電位差は V になった。理想気体の誘電率を真空と同じ ϵ_0 とし、極板の直径は極板間の距離に比べて十分大きいものとして、次の問い合わせに答えよ。

問 1. コンデンサーの静電容量を、 S, d, V, ϵ_0 の中から必要なものを用いて表せ。

問 2. 極板間に生じている電場（電界）の強さを、 S, d, V, ϵ_0 の中から必要なものを用いて表せ。

問 3. 問 2 で求めた電場の強さを E とする。コンデンサーに蓄えられた電荷を、 S, d, ϵ_0, E の中から必要なものを用いて表せ。

問 4. コンデンサーに蓄えられた静電エネルギーを、 S, d, ϵ_0, E の中から必要なものを用いて表せ。

問 5. 極板 B が極板 A から受ける静電気力は、（極板 B の電気量）×（極板 A 上にある電荷が極板 B の位置につくる電場）で表される。このことを使って、 P_0 を、 S, d, ϵ_0, E の中から必要なものを用いて表せ。

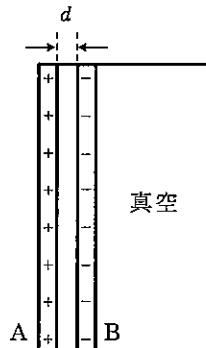


図 1

図 1 の状態から、封入した理想気体の温度を一定に保ちながら極板 B の右側の空間の圧力を徐々に増加させた。極板 B の右側の空間の圧力が P_1 になったとき、図 2 のように、極板 B は Δd だけ左に移動し、封入した理想気体の圧力は $P_0 + P_1$ になった。この間の静電気力の大きさは一定であった。

問 6. P_1 を、 $S, d, \Delta d, P_0$ の中から必要なものを用いて表せ。

問 7. この間に静電気力がした仕事を、 $S, d, \Delta d, P_0$ の中から必要なものを用いて表せ。

この間に、封入した理想気体に加えられた熱量を Q 、理想気体が外部からされた仕事を W_1 とし、この間の理想気体の内部エネルギーの変化を ΔU とする。

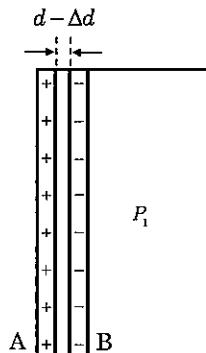


図 2

問 8. $Q, W_1, \Delta U$ のそれぞれの符号はどうなるか。最も適切なものを、次の選択肢①～④の中から 1 つずつ選び、番号で答えよ。

問 8 の選択肢 ①正 ②負 ③なし（大きさ 0） ④符号は定まらない

問 9. 問 7 で求めた仕事を W_2 とする。 Q, W_1, W_2 のそれぞれの大きさについて、正しい関係を次の選択肢 (ア) ~ (ケ) の中から 1 つ選び、記号で答えよ。

問 9 の選択肢	(ア) $ Q = W_1 = W_2 $	(イ) $ Q > W_1 = W_2 $	(ウ) $ Q < W_1 = W_2 $	(エ) $ Q = W_1 < W_2 $
	(オ) $ Q = W_1 > W_2 $	(カ) $ Q = W_2 < W_1 $	(キ) $ Q = W_2 > W_1 $	(ク) $ Q < W_1 < W_2 $
	(ケ) $ Q < W_2 < W_1 $			