

1 水平面上で、質量 m 、速度 v の車が壁に正面衝突して止まった (図1)。壁は堅く丈夫で変形などないとする。



図1

A まず車の前にはばねはなく、この車が壁と接触して、前からつぶれてゆき車が静止したとする。

- (1) 衝突前の車の運動量と運動エネルギーを求めよ。
- (2) 車の前面が壁と接触してから静止するままでにかかった時間を t_A とする。つぶれてゆく過程で車に働く力は一定と仮定して、その力 F_A を求めよ。
- (3) 車の前面が壁と接触してから静止するままでにつぶれた部分の長さを d とする。衝突前の車の運動エネルギーを力 F_A と長さ d を用いて表せ。

(4) 物体を地表からの高さ h から自由落下させると地表で上記の速度 v を持つとする。但し重力の加速度は g とする。高さ h と長さ d を用いて力 F_A を表せ。

B 次に車の前にはばねを取り付け、衝撃をばねに吸収させよ。ばね定数を k とし、ばねは十分に長く、車がつぶれることはないとする。またばねの質量は無視できるとする。この衝突では車が減速してその速度が0となった後も運動が鈍くと考えられるが、以下では、ばねが壁と接触し車が減速し始めてからその速度が最初に0となるまでの過程を考える。

- (5) この過程ではばねの縮む長さ x_b を求めよ。
- (6) この過程で車に働く最大の力 F_b を求めよ。
- (7) 車が減速し始めてからその速度が最初に0となるまでの時間 t_b を求めよ。
- (8) 求めた t_b が(2)における t_A と等しいと仮定して F_A を求め、(6)で求めた F_b と比較せよ。

2

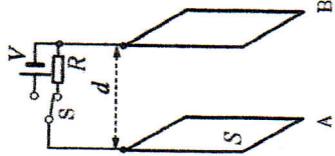


図2

面積 S [m²] で厚みの無視できる金属板 A と B を距離 d [m] だけ離して平行に設置してコンデンサーとする。このコンデンサーに、両金属板間に電圧 V [V] を供給する電池 (内部抵抗は無視できるとする)、電気抵抗 (抵抗値 R [Ω]) と切り替えスイッチ S を図2のように接続した。最初、金属板 A, B には電荷を与えていなかったとする。ここでは、金属板の面積は大きく、金属板の端の部分の影響は無視できるとする。空間は空気で満たされており、その誘電率は真空と同じ ϵ_0 [F/m] としてよいとすると (なお $[F/m]$ は $[C^2/N \cdot m^2]$ と同じ)。

- (1) このコンデンサーの電気容量 C [F] を求めよ。
- (2) 切り替えスイッチ S を電池側につないでから十分時間がたつたとき、金属板 A 上の電気量を Q_0 [C] として、 Q_0 と V の関係を求めよ。

ここで、切り替えスイッチ S を電気抵抗側に切り替えた。切り替えた瞬間からコンデンサーは放電を始める。このときの金属板上の電気量の変化を近似的に考える。ここで、抵抗値が大きく、電気量の変化はゆっくりしたものであるとする。金属板 A から出ていく電気量がこのとき電気抵抗を流れる電流となるので、電流の変化もゆっくりしたものであるとする。切り替えスイッチ S を電気抵抗側に切り替えてからの時間を t [s] とする。

- (3) $t=0$ [s] から $t=4t$ [s] までの微小時間内では、金属板 AB 間の電圧は $t=0$ での値で一定であり、電流も $t=0$ での値で一定だったとすると、電気抵抗に流れる電流は Q_0 を用いてどのように書けるか。
- (4) (3) で求めた電流より、 $t=0$ から $t=4t$ までに金属板 A から出ていく電気量を求めよ。
- (5) $t=4t$ で金属板 A 上の電気量 Q_1 [C] はいくらになったか。
- (6) 次に $t=4t$ から $t=24t$ までを考える。この間、金属板 AB 間の電圧は $t=4t$ での値で一定であり、電気抵抗を流れる電流も $t=4t$ での値で一定であったとすると、電気抵抗に流れる電流は Q_1 を用いてどのように書けるか。
- (7) $t=24t$ で金属板 A 上の電気量はいくらになったか。 Q_0 を用いて表せ。

- (8) 同様に電流の変化を考えて、 $t=n4t$ [s] (n : 正の整数) での金属板 A 上の電気量を Q_n を用いて表すとどのように書けるか。

次に、金属板 A, B を電荷を与えていない状態に戻した。切り替えスイッチ S を電気抵抗側につないだ状態で、側面の形が金属板 A, B と同じで厚さが $\frac{d}{2}$ [m] であり電荷を与えていない金属板 C を、図3のように金属板 A, B の中間の位置に金属板 A, B と平行に挿入し、さらにこの金属板 C と金属板 B の間に側面の形が金属板 A, B と同じで厚さが $\frac{d}{4}$ [m] の誘電体 (比誘電率 $\epsilon_r > 1$) を挿入した。

- (9) 切り替えスイッチ S を電池側につないでから十分時間がたつたとき、金属板 A 上の電気量を求めよ。
- (10) 金属板 AC 間の電場 (電界) の強さ E [V/m] を求めよ。

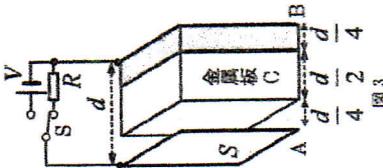


図3

- (11) 金属板 B の電位を 0 [V] とするとき、金属板 C の電位はいくらか。
- (12) 金属板 B の電位を 0 [V] とし、 $\epsilon_r=2$ の場合で、横軸を金属板 A からの距離、縦軸を電位とするグラフを解答欄に描け。グラフ上には、金属板 A からの距離が 0 [m], $\frac{d}{4}$ [m], $\frac{3d}{4}$ [m], d [m] での電位を記すこと。

3

回折格子はスリットが等間隔に多数並んでいると見なせる。ここでは、3つのせまいスリット S_1, S_2, S_3 を通過して回折した光による干渉を考える。スリット板 (S_1, S_2, S_3) とスクリーンを距離 ℓ だけ離して平行に設置し、このスリット板 (S_1, S_2, S_3) の左側の少しはなれた位置に波長 λ の単色光源とせまいスリット S_0 を設置した (図4)。光源からの光は水平に出ているとする。各スリット (すき間) は鉛直方向になっている。スリット S_0 からスクリーンへ垂線を引き、垂線とスクリーンの交点を O とする。スクリーン上に点 O を通って水平に x 軸をとり、スリット S_1, S_2, S_3 を通過した光が x 軸上の点 P へ向かう場合を考える。スリット板 (S_1, S_2, S_3) のとなり合うスリットとスリットの間隔を d とする。間隔 d は小さいので、スリット S_0 を通った光は、スリット S_1, S_2, S_3 の位置でスリット板に垂直で平行な光と見なしてよく、それらの位相と強度は同じとしてよい。また、3つのスリットを通過して点 P へ向かう光は、 ℓ に比べて d が十分小さいので平行な光とみなしてよく、それらの光のスリット板に垂直な向きからの角度を θ とする (図5)。

(1) まず、スリット S_3 を閉じてスリット S_1 と S_2 を通過する光の干渉を考える。スリット S_1 から点 P までとスリット S_2 から点 P までの道のりの差を求めよ。

(2) 整数 n として、スリット S_1 と S_2 を通過した光が強め合う条件を満たす $\sin \theta$ を求めよ。

次に、スリット S_3 を開き、 S_2 を閉じた場合を考える。

(3) スリット S_1 から点 P までと S_3 から点 P までの道のりの差を求めよ。

(4) 整数 m として、スリット S_1 と S_3 を通過した光が強め合う条件を満たす $\sin \theta$ を求めよ。

光の干渉をスクリーン上の明暗のしま模様で観察する (図4)。以下の(5), (6), (7)について、横軸を x 軸、たて軸を明るさとしたグラフに描け。

ここで、 θ は十分小さく、 $\sin \theta \approx \tan \theta$ としてよいとする。各グラフとも、明線の位置の x 座標をグラフ中に記入すること。

(5) S_3 を閉じた場合のスクリーン上のしま模様について、 $x \geq 0$ の範囲で明線3本分の明暗がわかるグラフに描け。

(6) S_3 を開いて S_2 を閉じた場合のスクリーン上のしま模様について、 $x \geq 0$ の範囲で明線3本分の明暗がわかるグラフに描け。

(7) 3つのスリットすべてを開いた場合のスクリーン上のしま模様について、 $x \geq 0$ の範囲で明線3本分の明暗の特徴がわかるグラフに描け。



図4

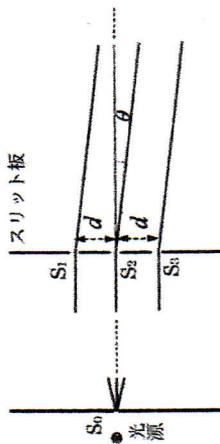


図5