



2024 年度 杏林大学

【 講 評 】

大問構成は去年と同じであった。典型問題を優先的に解いて6割以上は得点したい。

I IIは小問集合であり典型問題が多かった。数値計算の計算ミスによる失点に注意して確実に得点したい。

IIIは衝突の問題だが、衝突後の速度ベクトルのなす角が弾性衝突の場合は直角となることを知っているかどうかで後半の出来が左右されたであろう。運動量保存則とエネルギー保存則でも導くことができるが、ベクトル図で手早く処理したい。

IVは電磁気学の問題。問題文の誘導にしたがって確実に得点したい。

【 解 答 】

I

(1) (a) アイ 20 (b) ウエ 49 オカ 28 キ ③ クケ 57

(2) コサ 73 シス 4.7

II

(1) アイ 36 ウエ 5.0 オ ② カキ 64 クケ 6.7 コ ④

(2) サ ④ シ ⑤

(3) スセ 6.6 ソ 7 タ 2

III

(a) ア ③ イ ④ ウ ⑦ エ ③ オ ⑥ カ ④

(b) キ ③ ク ③ ケ ① コ ④ サ ①

IV

(a) ア ⑧ イ ⑥ ウ ⑦ エ ⑥ オ ④ カ ③ キ ③ ク ⑦

(b) ケ ③ コ ③ サ ③ シ ② ス ① セ ②

(c) ソ ① タ ⑧ チ ② ツ ① テ ② ト ⑥

【 解 説 】

I

(1)

(a) 抗力の作用点と点 O からの距離を x [m] とすると、抗力の作用点のまわりのモーメントのつり合いより

$$14 \times 0.70 = 50 \times 9.8 \times (0.40 - x)$$

が成り立つ。したがって、 $x = 0.20$ m である。

(b) 鉛直方向の力のつり合いより、抗力の大きさは $5.0 \times 9.8 = 49$ N である。

水平方向の力のつり合いより摩擦力の大きさは F であるから、物体が滑り出す条件は

$$F > 49 \times \mu_0$$

である。また、物体が傾くのは、点 O のまわりの力のモーメントを考えて

$$F \times 0.70 > 49 \times 0.40$$

より F が **28 N** を超えるときである。

以上より、物体が傾くよりも先に滑り出す条件は

$$49 \times \mu_0 < F < 28$$

であり、

$$\mu_0 < \textcircled{3} \frac{28}{49} = \frac{4}{7} \approx 0.57$$

である。

(2) 壁 R が観測する音の振動数 f' は

$$f' = \frac{340 + 10}{340} \times 440$$

である。したがって、反射された音の波長は

$$\lambda' = \frac{340 - 10}{f'} = \frac{330}{\frac{350}{340} \times 440} \approx 0.73 \text{ m}$$

である。また、静止している観測者が聞く反射音の振動数は

$$f' = \frac{340}{340 - 10} f' = \frac{340}{330} \times \frac{350}{340} \times 440 \approx 4.7 \times 10^2 \text{ Hz}$$

である。

II

(1) レンズの公式より

$$\frac{1}{18} + \frac{1}{x_a} = \frac{1}{12}$$

であるから、 $x_a = 36 \text{ cm}$ である。このとき、倍率は $\left| \frac{36}{18} \right| = 2.0$ 倍であるから、大きさ $2.5 \times 2.0 = 5.0 \text{ cm}$ の倒立実像 (2) ができる。

$x = \frac{4}{3}x_a = 48 \text{ cm}$ の位置に凹面鏡を置く。凹面鏡による像の位置を $x_b [\text{cm}]$ とするとレンズの公式より

$$\frac{1}{x - x_a} + \frac{1}{x - x_b} = \frac{1}{48}$$

が成り立つ。したがって、 $x - x_b = -16$ であるから $x_b = 64 \text{ cm}$ である。このときの倍率は $\left| \frac{16}{12} \right| = \frac{4}{3}$ 倍であるから、像の大きさは $5.0 \times \frac{4}{3} \doteq 6.7 \text{ cm}$ である。

凸レンズの像は倒立実像であり、これの凹面鏡による像は正立虚像であるため、元の物体の倒立虚像 (4) となる。

(2) 円筒内部の電荷量は $\lambda L [\text{C}]$ である。したがって、円筒側面を貫く電気力線の本数は

$$N = 4\pi k_0 \lambda L = 4L\lambda \times \pi k_0 \text{ (4)}$$

である。側面上での電場の強さは単位面積あたりの電気力線の本数と等しいため

$$E = \frac{N}{2\pi r L} = \frac{2\lambda}{r} \times k_0 \text{ (5)}$$

である。

(3) 量子数 n のエネルギー準位 E_n は基底状態のエネルギー準位 E_1 を用いて $E_n = \frac{E_1}{n^2}$ とかける。

したがって、 $n = 3$ の定常状態から $n = 2$ の定常状態に電子が移るときに放射される光の波長 λ は

$$\lambda = \frac{hc}{E_3 - E_2} = \frac{hc}{\left(\frac{1}{9} - \frac{1}{4}\right) \times E_1} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^8}{\frac{5}{36} \times 13.6 \times 1.60 \times 10^{-19}} \doteq 6.6 \times 10^{-7} \text{ m}$$

である。また、 10.2 eV の光を当てたとき、

$$E_n = E_1 + 10.2 = -3.4 = \frac{1}{4} \times E_1$$

より励起状態の量子数は $n = 2$ である。

III

(a) 点 C の座標は (a, b) であるから

$$\tan \phi = \frac{a}{b} \quad (3)$$

となる。運動量保存則より、

$$x \text{ 軸方向} : mv_A \times \sin \theta \quad (4) = mv_B \times \sin \phi \quad (7)$$

$$y \text{ 軸方向} : mv_0 = mv_A \times \cos \theta \quad (3) + mv_B \times \cos \phi \quad (6)$$

が成り立つ。

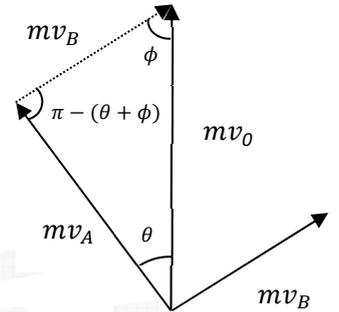
この運動量保存側をベクトル図で表すと右図になる。

また、この衝突は弾性衝突であるから、運動エネルギーの和は変化しないので

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_A^2 + \frac{1}{2}mv_B^2$$

すなわち、 $(v_0)^2 = (v_A)^2 + (v_B)^2$ が成り立つ。

ゆえに右図の $\pi - (\theta + \phi) = \frac{\pi}{2}$ であるから、 $\theta + \phi = \frac{\pi}{2}$ (4) となる。



(b) $\theta = \frac{\pi}{2} - \phi$ より $\cos \theta = \sin \phi$ (3) であり、 $v_A = v_0 \times \cos \theta = v_0 \times \sin \phi$ (3) である。

また、物体 B と物体 C の衝突では速度交換が起こるため

$$v_C = v_B = v_0 \times \cos \phi \quad (1)$$

となる。

物体 A と物体 B の衝突における衝突面は物体 B の進行方向と垂直であるため下の図のようになる。

したがって、衝突前の物体 A の中心の x 座標は

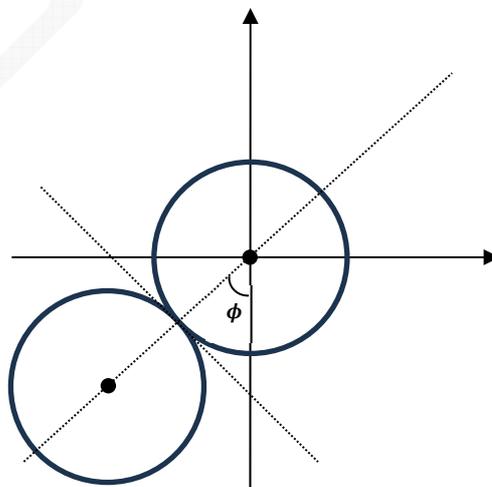
$$-R \times 2 \sin \phi \quad (4)$$

である。

また、物体 B が受けた力積の大きさが $mv_B = mv_0 \times \cos \phi$ であるから、物体 A が受けた力積の大きさも

$$mv_0 \times \cos \phi \quad (1)$$

である。



IV

(a) 時刻 t における辺 PQ, RS の x 座標はそれぞれ $D-L$, $D+L$ である。したがって、

$$H_1 = \frac{I}{2\pi(D-L)} \text{ (⑧)}, H_2 = \frac{I}{2\pi(D+L)} \text{ (⑦)}$$

であり、右ねじの法則より H_1, H_2 の向きは紙面に垂直で紙面表から裏へ向かう向き (⑥) である。辺 PQ および辺 RS 上の帯電粉 1 個が受けるローレンツ力の大きさはそれぞれ

$$f_1 = qvB = q\mu v \times H_1, f_2 = q\mu v \times H_2 \text{ (④)}$$

である。ローレンツ力の向きは右ねじの法則から y 軸正の方向 (③) である。

重心のまわりのモーメントは

$$M = nf_2L - nf_1L = n \times (-f_1 + f_2)L \text{ (⑦)}$$

である。

(b) 辺 PQ 上の帯電粉 1 個が受ける力の大きさを考えて

$$f_1 = q\mu v H_1 = qE_1$$

したがって、 $E_1 = \mu v \times H_1$ (③) である。同様に $E_2 = \mu v \times H_2$ が得られる。

ローレンツ力の向きは y 軸正の方向であるから、電場の向きはどちらも y 軸正の方向 (③) である。

辺 PQ の重心まわりの力のモーメントは $M_1 = nqE_1 \times L$ (②) で、正方形を xy 平面内で時計回り (①) に回転させようとする。

同様に、辺 RS の重心まわりの力のモーメントは $M_2 = nqE_2 \times L$ であり、正方形を xy 平面内で反時計回り (②) に回転させようとする。

(c) x 軸正の方向に動いているため、 Δt の間に x 座標は $v\Delta t$ だけ増加 (①) する。

長方形 PQQ'P' を貫く磁束は $\Phi_1 = 2\mu Lv\Delta t \times H_1$ (⑧) の分だけ減少 (②) する。

長方形 RSS'R' を貫く磁束は $\Phi_2 = 2\mu Lv\Delta t \times H_2$ の分だけ増加 (①) する。

したがって、正方形内部の磁束変化は

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 \text{ (②)}$$

である。重心のまわりのモーメントは

$$M = M_2 - M_1 = nq\mu v(H_2 - H_1)L = nq \times \mu Lv(H_2 - H_1)$$

であるから、 $H_2 < H_1$ であることに注意すると、

$$\left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right| = |2\mu Lv(H_2 - H_1)| = 2\mu Lv(H_1 - H_2) = \frac{2(M_1 - M_2)}{nq} \text{ (⑥)}$$

という関係が成り立つ。

お問い合わせは ☎0120-302-872

<https://keishu-kai.com/>