

2016 年度大学入試センター試験 解説 〈物理〉

第 1 問 小問集合

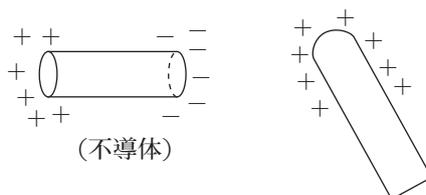
問 1 小球 1 と小球 2 の初速度の鉛直成分を、それぞれ  $v_1$ ,  $v_2$  とする。ともに落下までの時間の半分で最高点に達し、このとき速度の鉛直成分がゼロとなるから、重力加速度の大きさを  $g$  として、

$$\begin{cases} 0 = v_1 - g \frac{T_1}{2} \\ 0 = v_2 - g \frac{T_2}{2} \end{cases} \quad \text{より} \quad T_1 = \frac{2v_1}{g}, \quad T_2 = \frac{2v_2}{g}$$

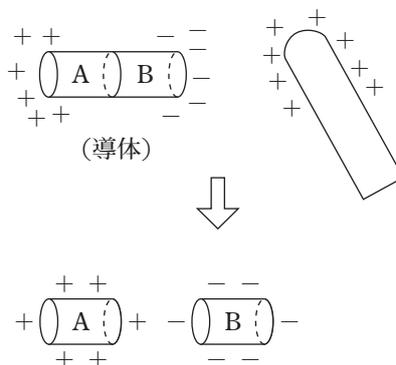
初速度の大きさが等しければ、鉛直成分については  $v_1 > v_2$  なので、 $T_1 > T_2$  である。

(答)  ...①

問 2 不導体では、正に帯電した棒に近い側に負の、棒から遠い側に正の分極電荷が誘起される。このため、不導体と棒の間には、引力がはたらく。



導体では静電誘導のため、まず正に帯電した棒に近い導体 B に負電荷が、棒から遠い導体 A に正電荷が誘起される。このため、導体 B と棒の間には、引力がはたらく。次いで、棒を近づけたまま A と B を離すと、A に正電荷、B に負電荷が残り、さらに棒を遠ざけて A と B も十分に遠ざけると、A は正に帯電している。



ア: 引力, イ: 引力, ウ: 正に帯電している

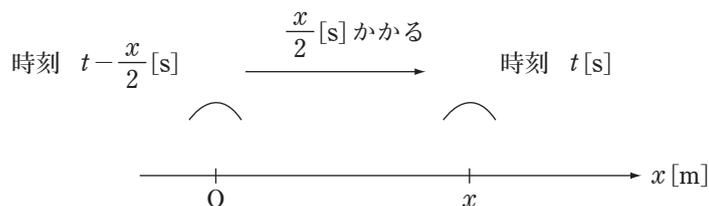
(答)  ...①

問3 原点  $x = 0$  での変位  $y$  [m] と時刻  $t$  [s] の関係  $y(0, t)$  は、与えられたグラフから周期  $T = 2\text{s}$ 、振幅  $A = 0.2\text{ m}$  の単振動で、

$$y(0, t) = 0.2 \sin\left(2\pi \frac{t}{2}\right) = 0.2 \sin(\pi t)$$

とできる。速さが  $V = 2\text{m/s}$  なので、位置  $x$  [m] にはこの単振動が時間  $\frac{x}{2}$  [s] だけ遅れて伝わるから、位置  $x$  [m] における時刻  $t$  [s] での変位  $y(x, t)$  は、

$$y(x, t) = y\left(0, t - \frac{x}{2}\right) = 0.2 \sin\left\{\pi\left(t - \frac{x}{2}\right)\right\}$$



(答)  …④

問4 打ち出し直後の床に対する速度を、水平右向きを正として、物体 A で  $V$ 、物体 B で  $v$  とおく。水平方向には外力が無いので運動量保存則が成立し、はじめ全体が静止していたことより、

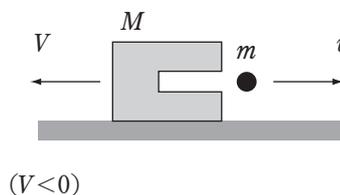
$$mv + MV = 0$$

とできる。物体 A に対する物体 B の相対速度  $v_{AB}$  は、

$$v_{AB} = v - V$$

であり、これを  $V$  を用いずに  $v$  で表すと、

$$v_{AB} = v - \left(-\frac{m}{M}v\right) = \frac{M+m}{M}v$$



( $V < 0$ )

(答)  …④

問5 求める温度を  $T$  ( $T_1 < T < T_2$ ) とする。水が得た熱量  $C_1(T - T_1)$  は、金属球が失った熱量  $C_2(T_2 - T)$  に等しいので、

$$C_1(T - T_1) = C_2(T_2 - T) \quad \text{より、} \quad T = \frac{C_1T_1 + C_2T_2}{C_1 + C_2}$$

また、この変化は不可逆変化である。

$$\text{工: } \frac{C_1T_1 + C_2T_2}{C_1 + C_2}, \quad \text{オ: 不可逆変化}$$

(答)  …⑤

## 第2問 電磁気

A

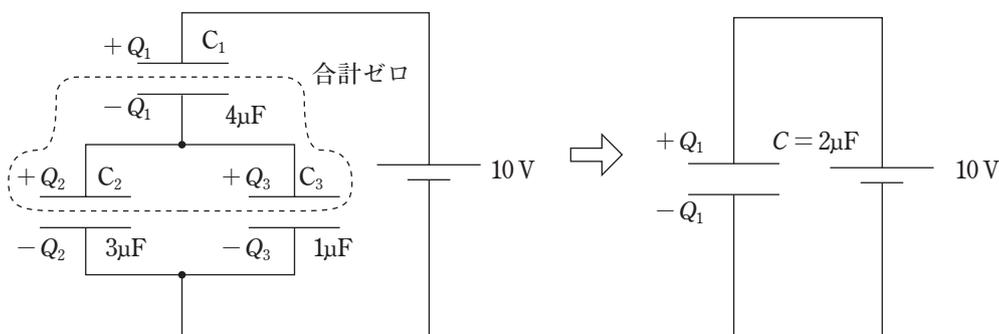
問1  $C_1$  の下側極板,  $C_2$  の上側極板,  $C_3$  の上側極板からなる孤立導体部分の電気量の和は, 電源接続前と変わらずゼロであるから, 電気量保存

$$-Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0 \quad \therefore \underline{Q_1 = Q_2 + Q_3}$$

が成り立つ。 $C_2$  と  $C_3$  が並列に接続され, さらにここに  $C_1$  が直列に接続されていることから, 3つのコンデンサーの合成容量  $C$  は

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{4\mu\text{F}} + \frac{1}{3\mu\text{F} + 1\mu\text{F}} = \frac{2}{4\mu\text{F}} \quad \text{より} \quad C = 2\mu\text{F}$$

である。これより  $Q_1$  は,  $Q_1 = (2\mu\text{F}) \times (10\text{V}) = \underline{2 \times 10^{-5} \text{C}}$



(答)  ...①

問2 極板間の電場の大きさ  $E$  は,  $E = \frac{V_0}{d}$  である。

また, (a) のコンデンサーの電気容量を  $C$  とすると, (b) のコンデンサーの電気容量は  $\epsilon_r C$  となり, 静電エネルギーについて,

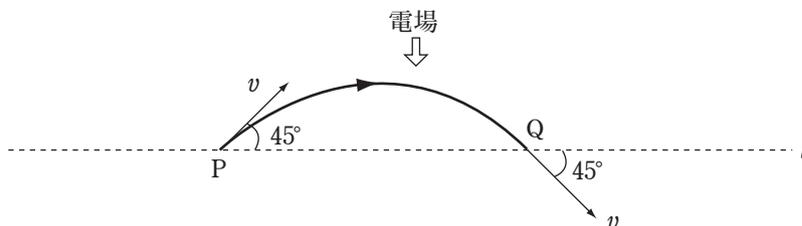
$$\begin{cases} U_0 = \frac{1}{2} C V_0^2 \\ U = \frac{1}{2} \epsilon_r C V_0^2 \end{cases} \quad \therefore U = \epsilon_r U_0$$

が成り立つ。

(答)  ...②

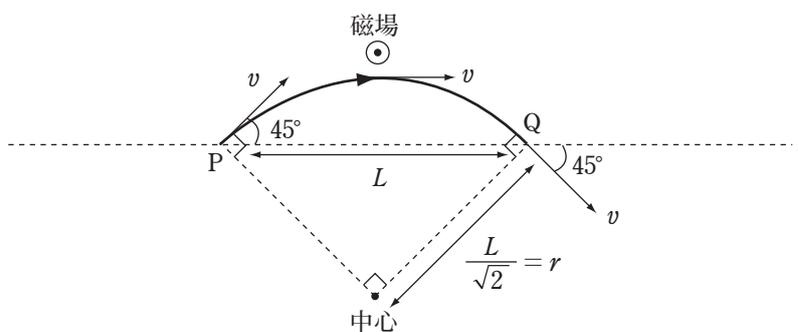
B

問3 電場の場合、図の下向きに力を受けて軌道が変わるようにすればよい。このために必要な電場の向きは、図の下向き。



(答)  …③

磁場の場合、時計回りの円運動をするように力がはたらけばよい。このために必要な磁場の向きは、紙面に垂直で裏から表の向き。



(答)  …④

問4 磁場の場合、点Pから点Qまでの粒子の軌跡は、半径が  $r = \frac{L}{\sqrt{2}}$  の円軌道の4分の1になる。

速さ  $v$  で、円弧の長さ  $\frac{1}{4} \times 2\pi r = \frac{\sqrt{2}\pi L}{4}$  を運動するのに要する時間  $t$  は、

$$t = \frac{\sqrt{2}\pi L}{4v}$$

(答)  …④

## 第3問 波動

A

問1 スピーカー A と B の間には、定常波が生じる。波長は  $\frac{V}{f_0}$  であり、音が最も強めあう点の間隔  $L$  は、

$$L = \frac{1}{2} \lambda = \frac{V}{2f_0}$$

(答)  …②

問2 観測者はスピーカー A に向かって速さ  $v$  で近づくから、このとき A から受けた音の振動数  $f_A$  は、

$$f_A = \frac{V+v}{V} f_0$$

また、スピーカー B から速さ  $v$  で遠ざかるので、このとき B から受けた音の振動数  $f_B$  は、

$$f_B = \frac{V-v}{V} f_0$$

とできる。これら 2 つの音波による単位時間あたりのうなり回数  $\Delta f$  は、

$$\Delta f = f_A - f_B = \frac{(V+v) - (V-v)}{V} f_0 = \frac{2v}{V} f_0$$

(別解) 定常波が強め合う場所を通過するごとに、観測者が聞く音が大きくなり、うなりが聞こえる。この時間間隔  $\Delta T$  は、

$$\Delta T = \frac{L}{v} = \frac{V}{2f_0 v}$$

だから、単位時間あたりのうなり回数  $\Delta f$  は、

$$\Delta f = \frac{1}{\Delta T} = \frac{2v}{V} f_0$$

ア:  $\frac{V+v}{V} f_0$ ,    イ:  $\frac{2v}{V} f_0$

(答)  …①

B

問3 薄膜中の光の速さは  $\frac{c}{n}$  なので、光が薄膜を往復するのに要する時間  $t$  は、

$$t = \frac{2d}{c/n} = \frac{2nd}{c}$$

境界面 A と B の反射のうち、A の反射で位相が  $\pi$  変化することに注意すると、二つの光が強めあう条件は、真空中波長  $\lambda = \frac{c}{f}$ ，正の整数  $m$  を用いて、

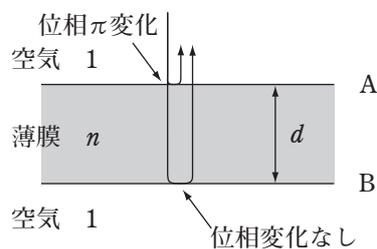
$$2nd = \left(m - \frac{1}{2}\right) \frac{c}{f} \quad (\text{光路差 } 2nd \text{ が真空中波長 } \lambda \text{ の半整数倍})$$

これを往復時間  $t$  の条件に直すと、

$$t = \frac{2nd}{c} = \left(m - \frac{1}{2}\right) \frac{1}{f}$$

となる。

$$\text{ウ} : \frac{2nd}{c}, \text{エ} : \left(m - \frac{1}{2}\right) \frac{1}{f}$$



(答)  ...⑥

問4 厚さが波長に比べて十分に小さいとき、経路差は無視できるが一方の境界の反射で位相の  $\pi$  変化があるので、二つの反射光は弱めあう。その後、薄膜を厚くしていき、一度強めあった後で厚さ  $d_1$  のとき再び弱めあったとすると、

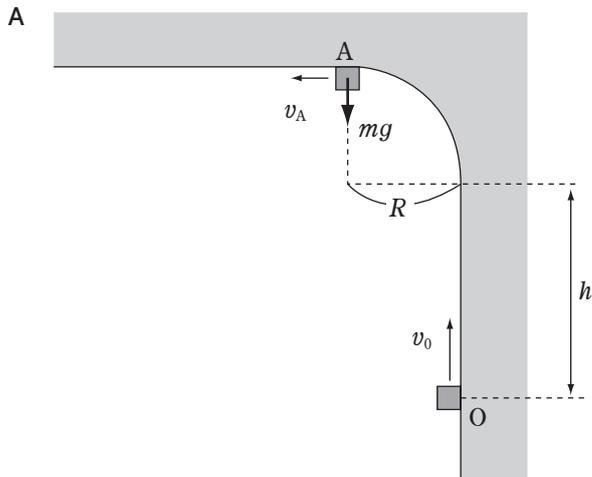
$$2nd_1 = \lambda \quad \text{より, } d_1 = \frac{\lambda}{2n}$$

となり、これは波長  $\lambda$  に依存する。単色光が赤色、緑色、青色の場合で比較すると、 $d_1$  が最も小さいのは波長が最も短い青色の場合である。

オ：弱め、カ：強め、キ：青色

(答)  ...③

第4問 力学



問1 点Oを高さの基準として、力学的エネルギー保存則は、

$$\frac{1}{2}mv_A^2 + mg(R+h) = \frac{1}{2}mv_0^2$$

これより  $v_A$  は、

$$v_A = \sqrt{v_0^2 - 2g(R+h)}$$

(答)  …①

問2 最小の速さで面から離れずに点Aを通過する場合、小物体が点Aで面から受ける垂直抗力の大きさはゼロであり、この場合の点A通過直前における小物体の運動方程式(中心方向成分)は、

$$m \frac{v_A^2}{R} = mg \quad \therefore v_A = \sqrt{gR}$$

(答)  …②

B

問3 台と小物体とが滑ることなく運動すれば、両者を一体とみなした上で、力学的エネルギー保存則

$$\frac{1}{2}kd_1^2 = \frac{1}{2}(M+m)v^2$$

が成り立つ。これより、

$$d_1 = \sqrt{\frac{M+m}{k}}v$$

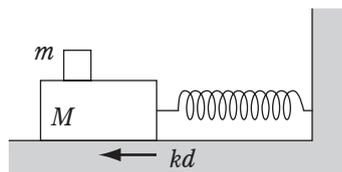
(答)  …⑤

問4 水平右向きを正とする。ばねの縮みが  $d$  で小物体と台との間が滑り出していないとき、台の加速度を  $a$  とすると運動方程式

$$(M+m)a = -kd \quad \text{より,} \quad a = -\frac{kd}{M+m}$$

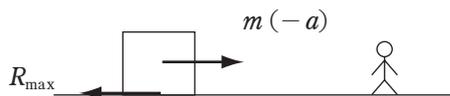
( $a < 0$  は、加速度が左向きであることを示す)

$$\text{したがって、加速度の大きさは } |a| = \frac{kd}{M+m}$$



台上で小物体を見ると、水平方向には左向きの静止摩擦力  $R$  と右向きの慣性力  $m(-a)$  がはたらく。 $d = d_2$  のとき、摩擦力は最大摩擦力  $R_{\max} = \mu mg$  となり、慣性力とつり合うから、

$$m \frac{kd_2}{M+m} = \mu mg \quad \therefore d_2 = \frac{M+m}{k} \mu g$$



$$\mathcal{A} : \frac{kd}{M+m}, \quad \mathcal{I} : \frac{M+m}{k} \mu g$$

(答)  …⑥

## 第 5 問 熱力学

問 1 大気と容器内気体の温度は等しく、これを  $T$  とする。気体定数を  $R$  とおいて、状態方程式は、

$$\begin{cases} \text{容器 A : } p_A V_A = n_A R T \\ \text{容器 B : } p_B V_B = n_B R T \end{cases} \quad \text{これより} \quad \frac{p_A}{p_B} = \frac{n_A V_B}{n_B V_A}$$

( 答 )  …③

問 2 コックを開けて十分に時間がたったとき、容器 A と B を合わせた全体の状態方程式は、物質の和が変わらないので、

$$p(V_A + V_B) = (n_A + n_B) R T$$

とできる。問 1 の状態方程式を利用して、

$$p(V_A + V_B) = p_A V_A + p_B V_B \quad \therefore p = \frac{p_A V_A + p_B V_B}{V_A + V_B}$$

( 答 )  …③

問 3 理想気体の内部エネルギーは、物質質量と温度で決まる。

( 単原子分子理想気体であれば、物質質量  $n$ 、絶対温度  $T$  を用いて  $\frac{3}{2} n R T$  )

本問ではコックを開ける前後で気体の温度は変化しておらず、物質質量の合計も変わらないので、内部エネルギーも変化しない。

$$U_0 - U_1 = 0$$

( 答 )  …③

## 第 6 問 原子

問 1 光電効果は、金属中の自由電子が光子を吸収してエネルギーを得て飛び出す現象であり、光の粒子性によって説明される。光子を吸収する際に電子が得るエネルギーは、 $E = h\nu$  であり、金属の仕事関数を  $W$  とすると、飛び出した電子（光電子）の最大運動エネルギー  $K_{\max}$  は、

$$K_{\max} = E - W$$

である。

$$\underline{\text{ア}} : \text{粒子性}, \quad \underline{\text{イ}} : h\nu, \quad \underline{\text{ウ}} : E - W$$

(答)  …⑥

問 2 金属を出たときに運動エネルギーが最大の光電子が、電極 b から a まで達せず引き返すときの電位が  $V = -V_0$  であり、この光電子が電極間でなされた仕事  $-eV_0$  と光電子の運動エネルギーの関係を考えればよい。求める速さを  $v_0$  とすると、

$$\frac{1}{2}mv_0^2 - eV_0 = 0 \quad \text{なので,} \quad v_0 = \sqrt{\frac{2eV_0}{m}}$$

(答)  …⑧

問 3 光電流  $I$  がゼロとなる電位  $-V_0$  は光電子の最大運動エネルギー  $K_{\max}$  で決まり、さらにこれは入射する光子のエネルギー  $E = h\nu$  で決まる。交換後も  $V_0$  (阻止電圧と呼ばれる) が変わらないことから、光の振動数  $\nu$  は交換前と等しい。

光電流  $I$  の飽和値  $I_0$  は単位時間あたりに電極 b から a に達する光電子の数に比例し、さらにこれは単位時間あたり入射する光子の数で決まる。 $I_0$  が減少したことから、単位時間あたりに電極 b に入射する光子の数は、交換前より少ないとわかる。

$$\underline{\text{エ}} : \text{交換前と等しい}, \quad \underline{\text{オ}} : \text{交換前より少ない}$$

(答)  …④