解答速報 物理

医学部受験専門予備校 慧修会

2020 年度　東京医科大学

【 講 評 】

大問数は昨年度より 2 問増えて 9 題となった。そのかわり、問題の多くが典型的なものとなり、標準的な問題による演習を十分積んでいれば解法に迷うことはほぼなかっただろう。例年通りほとんどが数値で答える問題であるため、かなり計算力が必要とされる。時間との勝負。

【 解 答 ・ 解 説 】

第 1 問

解答

問 1　⑤　　問 2　④　　問 3　⑦

解説

問 1　半径 r の円板の重心は $x = r$ にある。ここから半径 a の円板をくりぬくことを、質量が負の円板を加えたと考えることにする。すると、円板の単位面積あたりの質量 ρ とすれば、求める重心の位置 R は、

$$R = \frac{\pi r^2\rho \cdot r - \pi a^2\rho \cdot l}{\pi r^2\rho - \pi a^2\rho} = \frac{1-(a/r)^2\cdot(l/r)}{1-(a/r)^2}r$$

と表される。これに $a = \frac{1}{4}r,\ r = \frac{1}{4}r$ を代入すれば、$R = \frac{21}{20}r$ となる。

問 2　問 1 の式にこれに $a = \frac{1}{4}r,\ l = \frac{1}{2}r$ を代入すれば、$R = \frac{31}{30}r$ となる。

問 3　問 1 の式にこれに $r = \frac{1}{4}r,\ R = \frac{5}{6}r$ を代入すれば、$l = \frac{29}{24}r$ となる。

第2問

解答

問1　④　　問2　⑤　　問3　②

解説

問1　動摩擦係数を μ'、質量を m とする。斜面に垂直な力の成分のつり合いを考えると、垂直抗力は $mg\cos 45^\circ$ となるから、動摩擦力は $\mu' mg\cos 45^\circ$ となる。

斜面下方向を正とし、その方向への加速度 a とすれば、重力と合わせて運動方程式は $ma = mg\sin 45^\circ - \mu' mg\cos 45^\circ$ となる。よって、

$$a = \frac{1}{\sqrt{2}}g(1-\mu') \fallingdotseq 4.5\,〔\mathrm{m/s^2}〕$$

が得られる。

問2　加速度 A_1 の台車と共に動く非慣性系から見ると、物体には左方向に mA_1 の慣性力が働く。また、静止摩擦係数を μ とすれば、台車から物体への垂直抗力は mg であるから、最大静止摩擦力は μmg である。

物体が台車に対して滑り始める直前、慣性力と最大摩擦力がつり合うので、$mA_1 = \mu mg$ となり、これより、$A_1 = \mu g \fallingdotseq 5.9\,〔\mathrm{m/s^2}〕$ となる。

問3　加速度 A_2 の台車と共に動く非慣性系から見ると、物体には左方向に mA_2 の慣性力が働く。これより、垂直抗力は $N = mg\cos 25^\circ - mA_2\sin 25^\circ$ となり、最大静止摩擦力は μN である。

物体が滑り始める直前、重力、最大摩擦力、慣性力の斜面方向成分がつり合うので、

$$mg\sin 25^\circ + mA_2\cos 25^\circ = \mu(mg\cos 25^\circ - mA_2\sin 25^\circ)$$

である。これを解くと、

$$A_2 = \frac{\mu - \tan 25^\circ}{1+\mu\tan 25^\circ} \fallingdotseq 1.0\,〔\mathrm{m/s^2}〕$$

となる。

第3問

解答

問1　②　　問2　⑨　　問3　⑧

解説

問1　浮きの断面積 S〔m^2〕とする。浮き全体の長さ l とすると、沈んでいる部分の長さは $l-h$〔m〕であるから、浮きに働く浮力は、水の密度 ρ_W〔$\mathrm{kg/m^3}$〕と重力加速度 g〔$\mathrm{m/s^2}$〕を用いて $(l-h)S\rho_W g$ となる。
対して、浮きに働く重力は、物体 A, B の部分の長さ l_A, l_B〔m〕および密度 ρ_A, ρ_B〔$\mathrm{kg/m^3}$〕を用いて $(\rho_A l_A S + \rho_B l_B S)g$ となる。
これらがつり合うことから、

$$(l-h)S\rho_W g = (\rho_A l_A S + \rho_B l_B S)g$$

となり、これを解くと $h \fallingdotseq 1.0 \times 10^{-1}$〔m〕となる。

問2　つり合いの状態から x〔m〕だけ浮きを沈めると、浮きに働く合力は上方向に $\rho_W Sg \cdot x$ となる。よって、周期 T は、質量が $\rho_A l_A S + \rho_B l_B S$ であることを用いて、

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\rho_A l_A S + \rho_B l_B S}{\rho_W S g}} \fallingdotseq 7.33 \times 10^{-1}〔\mathrm{s}〕$$

となる。

問3　今回入れた液体の密度を ρ' とすると、浮きに働く浮力は $(l-d)S\rho' g$ である。これと問1での浮力が一致するはずなので、

$$(l-d)S\rho' g = (l-h)S\rho_W g$$

となる。これを解いて、$\rho' \fallingdotseq 7.92 \times 10^2$〔$\mathrm{kg/m^3}$〕となる。

第4問

解答

問1　⑥　　問2　⑧　　問3　②

解説

問1　もとのコンデンサー (面積 S、極板間距離 d) に誘電体を挿入しないときの静電容量を C_0 とすると、$C_0 = \varepsilon_0 S/d$ である。(a) のコンデンサーは比誘電率が 4.0 の誘電体で満たされているので、静電容量は $4C_0$ である。よって、求める電荷は $Q = 4C_0 V \fallingdotseq 2.7 \times 10^{-8}$〔C〕である。

問2　誘電体の板を半分引き出したコンデンサーは、面積が半分になった2つのコンデンサー (誘電体が入っている方を A, 入っていない方を B とする) の並列と考えることができる。それぞれの静電容量は $C_A = 2C_0$、$C_B = C_0/2$ となるから、合計で静電容量は $\dfrac{5}{2}C_0$ である。よって、問題文の状況より、(a)〜(d) で Q は不変だから、$Q = \dfrac{5}{2}C_0 V$ に問1での Q を代入すれば、$V = 8.0$〔V〕を得る。

問3　問2での A のコンデンサーは、長さ d の誘電体で満たされたコンデンサーと長さ d の内部が真空のコンデンサーの直列と考えることができ、コンデンサーの直列の合成を考えると、$\dfrac{1}{C_A} = \dfrac{1}{2C_0} + \dfrac{1}{C_0/2}$ である。よって、$C_A = \dfrac{2}{5}C_0$ である。また、$C_B = \dfrac{1}{4}C_0$ である。
よって、$Q = \left(\dfrac{2}{5}C_0 + \dfrac{1}{4}C_0\right)V$ であり、これに問1の Q を代入すると、$V \fallingdotseq 31$〔V〕が得られる。

第５問

解答

問１　⑦　　問２　①　　問３　④

解説

問１　周波数を f〔Hz〕とする。コンデンサーのインピーダンスは $\dfrac{1}{2\pi fC}$ であるから、電流の実効値は $I_C = 2\pi fCV_e \fallingdotseq 1.6 \times 10^{-1}$〔A〕である。

問２　コイルのインピーダンスは $2\pi fL$ であるから、電流の実効値は $I_L = \dfrac{V_e}{2\pi fL} \fallingdotseq 8.0 \times 10^{-2}$〔A〕である。

問３　抵抗に流れる電流の実効値は $I_R = \dfrac{V_e}{R}$ である。位相差を φ とすると、$\tan\varphi = \dfrac{|I_C - I_L|}{I_R} \fallingdotseq 0.77$ である。これより、$\varphi \fallingdotseq 75^\circ$ である。

第６問

解答

問１　⑥　　問２　③　　問３　⑤

解説

問１　キャリアが磁場から受ける力はＱからＰへの方向である。よって、ホール効果による電場からキャリアが受ける力はＰからＱへの方向でなくてはならない。電場はＰからＱへの方向に生じているので、キャリアの電荷は正であり、ホールである。

問２　Ｑに対するＰの電位 V を用いて、ホール効果による電場 E は $E = V/b$ と表される。また、キャリアの速さ v、キャリア密度 n とすると、電流は $I = envab$ となる。キャリアに働く力がつり合うことから、$evB = eE$ である。よって、$n = \dfrac{IB}{eaV} \fallingdotseq 7.8 \times 10^{18}$〔個/$\mathrm{m}^3$〕である。

問３　前問の説明より、$v = \dfrac{I}{enab} \fallingdotseq 6.7 \times 10^{2}$〔m/s〕である。

第７問

解答

問１　⑦　　問２　②　　問３　⑨

解説

問１　PQ 間の距離 $2x$ とすると、x はスクリーン上の明点間隔である。格子定数 d、スクリーンと回折格子の距離 L、レーザー光の波長 λ とすれば、$\dfrac{dx}{L} = \lambda$ となり、$d = L\lambda/x \fallingdotseq 7.98 \times 10^{-6}$〔m〕となる。

問２　$d = 1.0 \times 10^{-5}$〔m〕となる。これと $\dfrac{dx}{L} = \lambda$ より、$2x = 2L\lambda/d \fallingdotseq 1.52 \times 10^{-1}$〔m〕である。

問３　$x = 9.00 \times 10^{-2}$〔m〕となるから、$L = dx/\lambda \fallingdotseq 1.42$〔m〕である。

第 8 問

解答

問 1　④　　　問 2　③　　　問 3　①

解説

問 1　状態 A から状態 B へ変化したときの温度の増加分を $\Delta T_{\mathrm{A}\to\mathrm{B}}$ のように表すことにする。

C から D は定積変化であり、D から A は定圧変化である。単原子分子理想気体ではモル定積比熱が $\dfrac{3}{2}R$ でモル定圧比熱が $\dfrac{5}{2}R$ であることを考えれば、放出熱量 Q_{out} は

$$Q_{out} = -\frac{3}{2}nR\Delta T_{\mathrm{C}\to\mathrm{D}} - \frac{5}{2}nR\Delta T_{\mathrm{D}\to\mathrm{A}} = \frac{3}{2}(p_B - p_A)V_C + \frac{5}{2}p_A(V_C - V_A) = 1.95\times10^5〔\mathrm{J}〕$$

である。ここで、状態方程式 $pV = nRT$ を用いた。

問 2　C から D の過程ではシリンダーは仕事をせず、D から A の過程では $W = p_A(V_C - V_A)$ の仕事を外からされる。熱力学第一法則より、内部エネルギーの変化量は $\Delta U = -Q_{out} + W = -1.65\times10^5$〔J〕だけ内部エネルギーが変化する。

問 3　シリンダーが吸収した熱量は、A → B → C の過程を考えて、

$$Q_{in} = \frac{3}{2}(p_B - p_A)V_A + \frac{5}{2}p_B(V_C - V_A) = 2.55\times10^5〔\mathrm{J}〕$$

である。よって、熱効率は $e = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \fallingdotseq 0.24$ である。

第 9 問

解答

問 1　③　　　問 2　⑥　　　問 3　①　　　問 4　⑧

解説

問 1　電気素量 e、加速電圧 V を用いて、電子が得るエネルギーは eV である。対して、波長 λ の X 線が持つエネルギーはプランク定数 h および光速 c を用いて $\dfrac{hc}{\lambda}$ である。最短波長は電子のエネルギーがすべて X 線に与えられたときに発生するから、$eV = \dfrac{hc}{\lambda}$ であり、$\lambda = \dfrac{hc}{eV} \fallingdotseq 3.1\times10^{-11}$〔m〕である。

問 2　電流 I は、一秒辺りに陽極に到達する電子の個数 n を用いて $I = en$ と表される。よって、$n = I/e \fallingdotseq 1.3\times10^{1}6$〔個/s〕である。

問 3　電力は電圧と電流の積で与えられるから、陽極で発生する熱は $0.95IV \fallingdotseq 80$〔J/s〕である。

問 4　X 線の強度が最大になる条件は、ブラッグの条件より、整数 m を用いて $2d\sin\theta = m\lambda$ である。よって、$m = 1$ のとき $\sin\theta \fallingdotseq 0.139$ となり、これより $\theta \fallingdotseq 8.0^\circ$ が得られる。