２０２５年度　私大医学部入試

２０２５年２月５日　実施

東京医科大学

医学科　一般　物 理

（制限時間　理科２科１２０分）

解答速報

医学部専門予備校 D組

解　答

第１問

1	⑦	2	⑦	3	①	4	⑦	5	⑧
6	⑨								

第２問

7	⑨	8	⑩	9	⑥	10	⑤	11	⑫
12	⑪								

第３問

13	⑤	14	⑩

第４問

15	⑤	16	②	17	⑩	18	④	19	⑤

第５問

20	⑦	21	⑩	22	⑭	23	②	24	⑥
25	⑨	26	⑫						

解　説

第１問

問１ はしごの長さをℓ，はしご上の人のいる高さをh，点A，Bではしごが受ける垂直抗力の大きさをN, Pとし, 点Aではしごが受ける静止摩擦力の大きさをRとすれば,

力のつり合い（水平）：$P = R$

力のつり合い（鉛直）：$N = Mg + 5Mg$

力のモーメントのつり合い（Aまわり）：$\dfrac{3}{10}\ell \cdot Mg + \dfrac{3}{4}h \cdot 5Mg = \dfrac{4}{5}\ell \cdot P$

以上より,

$$P = R = \left(\frac{3}{8} + \frac{75h}{16\ell}\right)Mg, \qquad N = 6Mg$$

静止摩擦係数をμとすれば,

$$R \leqq \mu N \qquad \Rightarrow \qquad \left(\frac{3}{8} + \frac{75h}{16\ell}\right)Mg \leqq \mu \cdot 6Mg \qquad \therefore \quad h \leqq \frac{16}{75}\left(6\mu - \frac{3}{8}\right)\ell$$

与えられた数値を代入して,

$$h \leqq \frac{16}{75}\left(6 \cdot 0.5 - \frac{3}{8}\right) \cdot 5\,\mathrm{m} = \underbrace{2.8}_{\boxed{1}:⑦}\ \mathrm{m}$$

問２ おもりの質量を$m = 0.510\,\mathrm{kg}$，体積を$v = 1.00 \times 10^{-4}\,\mathrm{m^3}$，はじめの容器内の空気の体積を$V_0 = 5.00 \times 10^{-4}\,\mathrm{m^3}$，大気圧を$p_0 = 1.01 \times 10^5\,\mathrm{Pa}$，海水の密度を$\rho = 1.02 \times 10^3\,\mathrm{kg/m^3}$，重力加速度の大きさを$g = 9.8\,\mathrm{m/s^2}$とする。また容器が浮き上がらなくなる深さ$H$での容器内の空気の圧力を$p$，体積を$V$とする。

ボイルの法則	：	$pV = p_0V_0$	①
深さHでの力のつり合い	：	$\rho(V + v)g = mg$	②
水圧の式	：	$p = p_0 + \rho gH$	③

①，②よりVを消去しpを求め，③に代入してHについて整理すると,

$$H = \frac{p_0}{\rho g}\left(\frac{\rho V_0}{m - \rho v} - 1\right) \fallingdotseq \underbrace{2.5}_{\boxed{2}:⑦}\ \mathrm{m}$$

問３ ダイオードを流れる電流をI，ダイオードの電圧をVとおくと，抵抗$\mathrm{R_2}$を流れる電流は$\dfrac{V}{2.0\,\Omega}$であるから，抵抗$\mathrm{R_1}$を流れる電流は$I + \dfrac{V}{2.0\,\Omega}$である。キルヒホッフの第二法則より,

$$4.0\,\Omega \cdot \left(I + \frac{V}{2.0\,\Omega}\right) + V = 1.8\,\mathrm{V} \qquad \therefore \quad 4.0\,\Omega \cdot I + 3V = 1.8\,\mathrm{V}$$

この方程式の表す直線を図５に重ねて引いて，ダイオードの特性曲線との交点を読め

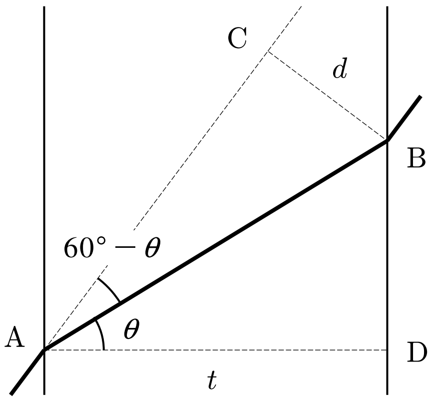
ば，$I = \underbrace{0.10}_{\boxed{3}:①}$ A となる。

問４ 第１屈折における屈折角をθとすればスネルの法則より，

$$n\sin\theta = \sin 60°$$

$$\therefore \quad \sin\theta = \frac{\sin 60°}{n} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

よって$\tan\theta = \dfrac{1}{\sqrt{2}}$である。



図の直角三角形ABCに注目すれば，

$$\overline{\mathrm{AB}} = \frac{d}{\sin(60° - \theta)}$$

直角三角形ABDに注目すれば，

$$t = \overline{\mathrm{AB}}\cos\theta = \frac{\cos\theta}{\sin(60° - \theta)}d$$

加法定理を用いて整理すれば，

$$t = \frac{\cos\theta}{\frac{\sqrt{3}}{2}\cos\theta - \frac{1}{2}\sin\theta}d = \frac{2}{\sqrt{3} - \tan\theta}d = \frac{2}{\sqrt{3} - \frac{1}{\sqrt{2}}}d = \underbrace{\frac{4\sqrt{3} + 2\sqrt{2}}{5}}_{\boxed{4}:⑦}d$$

問５ 明環半径をrとすると，経路差は，

$$2\left(R - \sqrt{R^2 - r^2}\right) = 2R\left\{1 - \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)^{\frac{1}{2}}\right\} \fallingdotseq 2R\left\{1 - \frac{1}{2}\left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)\right\} = \frac{r^2}{R}$$

と表せる。平面ガラスの上の表面での反射では位相がπずれるため，m次の明環であるための反射光の強め合いの条件は，

$$\frac{r^2}{R} = \left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda \qquad \therefore \quad r = \sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda R}$$

となる。屈折率nの液体で満たした場合のm次の明環の半径r'は，

$$r' = \sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{n}R}$$

であるから，

$$\frac{r'}{r} = \frac{1}{\sqrt{n}} \qquad \therefore \quad n = \left(\frac{r}{r'}\right)^2 = \left(\frac{1.30 \times 10^{-2}\ \mathrm{m}}{1.10 \times 10^{-2}\ \mathrm{m}}\right)^2 \fallingdotseq \underbrace{1.40}_{\boxed{5}:⑧}$$

問６ 放射能の強さとは単位時間あたりの崩壊回数である。時刻tにおける半減期Tの放射性同位体の数Nは時刻０での放射性同位体数をN_0として$N = N_0\left(\dfrac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$と表せるため，放射能の強さを$A$とすれば，

$$A=-\frac{\Delta N}{\Delta t}=-\frac{1}{\Delta t}\left\{N_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t+\Delta t}{T}}-N_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}\right\}=-\frac{1}{\Delta t}N_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}\left\{\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{\Delta t}{T}}-1\right\}$$

$$\fallingdotseq-\frac{1}{\Delta t}N\left\{\left(1-\frac{0.69}{T}\right)^{\Delta t}-1\right\}\fallingdotseq-\frac{1}{\Delta t}N\left\{\left(1-\Delta t\frac{0.69}{T}\right)-1\right\}=\frac{0.69}{T}N$$

したがって,

$$A=\frac{0.69}{4.0\times10^{16}\,\mathrm{s}}\cdot\left(\frac{150\,\mathrm{g}}{39\,\mathrm{g}}\cdot6.0\times10^{23}\,/\mathrm{mol}\cdot0.012\,\%\right)\fallingdotseq\underbrace{4.8}_{\boxed{9}:⑨}\times10^{3}\,\mathrm{Bq}$$

第２問

斜面に沿って上向きに X 軸, 斜面に対して垂直上向きに Y 軸をとって XY 座標系を設定する。また, 水平右向きに x 軸を設定する。

問１ Y 方向の運動を考えて, 速度の Y 成分が $v_0\sin\theta$ から $-v_0\sin\theta$ に変化するまでの時間が t であるから,

$$t=\underbrace{\frac{2v_0\sin\theta}{g\cos\alpha}}_{\boxed{7}:⑨}$$

問２ 小球は水平方向には等速度運動をしていることから, OP 間の水平距離 ℓ_x は, 初速度の x 成分 $v_0\cos(\theta+\alpha)$ で時間 t の間に進んだ距離として,

$$\ell_x=v_0\cos(\theta+\alpha)\cdot\frac{2v_0\sin\theta}{g\cos\alpha}=\frac{2{v_0}^2\sin\theta\cos(\theta+\alpha)}{g\cos\alpha}$$

と計算できる。斜面にそった距離 ℓ は,

$$\ell=\frac{\ell_x}{\cos\alpha}=\underbrace{\frac{2{v_0}^2\sin\theta\cos(\theta+\alpha)}{g\cos^2\alpha}}_{\boxed{8}:⑩}$$

問３, ４ 問２の結果より, $\sin\theta\cos(\theta+\alpha)$ が最大となるときに ℓ は最大となる。

$$\sin\theta\cos(\theta+\alpha)=\frac{1}{2}\{\sin(2\theta+\alpha)-\sin\alpha\}$$

であるから, $\sin\theta\cos(\theta+\alpha)$ は $\theta=\dfrac{\pi-2\alpha}{4}$ のときに最大値 $\dfrac{1}{2}(1-\sin\alpha)$ をとる。よって, ℓ は $\theta=\underbrace{\dfrac{\pi-2\alpha}{4}}_{\boxed{9}:⑥}$ のときに最大値をとり, その最大値 L は,

$$L=\frac{2{v_0}^2}{g\cos^2\alpha}\cdot\frac{1}{2}(1-\sin\alpha)=\frac{{v_0}^2(1-\sin\alpha)}{g(1-\sin^2\alpha)}=\underbrace{\frac{{v_0}^2}{g(1+\sin\alpha)}}_{\boxed{10}:⑤}$$

問５ 斜面に達する瞬間において速度の X 成分が０であればよい。すなわち,

$$v_0\cos\theta - g\sin\alpha\cdot t = 0 \qquad \therefore\quad v_0\cos\theta - g\sin\alpha\cdot\frac{2v_0\sin\theta}{g\cos\alpha} = 0$$

$$\therefore\quad \tan\theta = \underbrace{\frac{1}{2\tan\alpha}}_{\boxed{11}:⑫}$$

問６ 問５の条件が成立するとき,

$$\sin\theta = \tan\theta\cos\theta = \frac{\tan\theta}{\sqrt{1+\tan^2\theta}} = \frac{\frac{1}{2\tan\alpha}}{\sqrt{1+\frac{1}{4\tan^2\alpha}}} = \frac{1}{\sqrt{4\tan^2\alpha+1}}$$

であるから，問１の結果に代入して,

$$T = \frac{2v_0}{g\cos\alpha}\cdot\frac{1}{\sqrt{4\tan^2\alpha+1}} = \frac{2v_0}{g\sqrt{4\sin^2\alpha+\cos^2\alpha}} = \underbrace{\frac{2v_0}{g\sqrt{1+3\sin^2\alpha}}}_{\boxed{12}:⑪}$$

第３問

問 1 自動車A，Bがそれぞれ同じ向きに速さ v_A，v_B で走っているとき，自動車Bから発せられて自動車Aに乗った人が聞く音の振動数 f_1 は,

$$f_1 = \frac{v_0 - v_A}{v_0 - v_B}f = \frac{1-a}{1-b}f$$

である。自動車Bの速さを $2v_B$ にしたときに自動車Aに乗った人が聞く音の振動数を f_2 とすれば,

$$f_2 = \frac{v_0 - v_A}{v_0 - 2v_B}f = \frac{1-a}{1-2b}f$$

である。$\dfrac{f_2}{f_1} = \dfrac{40}{39}$ より,

$$\frac{1-b}{1-2b} = \frac{40}{39} \qquad \therefore\quad b = \underbrace{\frac{1}{41}}_{\boxed{13}:⑤}$$

問２ 自動車A，Bがそれぞれ同じ向きに速さ v_A，$2v_B$ で走っているとき，自動車Aから発せられて自動車Bに乗った人が聞く音の振動数 f_3 は,

$$f_3 = \frac{v_0 + 2v_B}{v_0 + v_A}f = \frac{1+2b}{1+a}f$$

である。自動車Aの速度を反転させたときにに自動車Bに乗った人が聞く音の振動数を f_4 とすれば,

$$f_4 = \frac{v_0 + 2v_B}{v_0 - v_A}f = \frac{1+2b}{1-a}f$$

である。$\dfrac{f_4}{f_3} = \dfrac{16}{15}$ より,

$$\frac{1+a}{1-a}=\frac{16}{15} \qquad \therefore \quad b=\underbrace{\frac{1}{31}}_{\boxed{14}:⑩}$$

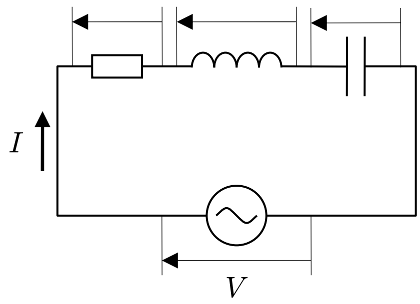
第４問

問１ 交流電圧の実効値は振幅の $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍と定義されているから,

$$V_e=\frac{169.7\,\mathrm{V}}{\sqrt{2}}=\frac{169.7}{1.41}\,\mathrm{V}\fallingdotseq \underbrace{120}_{\boxed{15}:⑤}\ \mathrm{V}$$

問2, 3 交流電源の各周波数を $\omega=2\pi f$ と表す。

交流電源および各素子の電圧を, 右図のように左側を基準とした右側の電位として表すことにする。電流 I の正の向きは図の矢印の向きとする。



問題の図 2 より，電源電圧 V は，その振幅を $V_0=169.7\,\mathrm{V}$ として

$$V=V_0\sin\omega t$$

と表され，電流 I は，その振幅を I_0 として

$$I=I_0\sin\left(\omega t+\frac{\pi}{4}\right)$$

と表される。このとき，キルヒホッフの第二法則より,

$$V_0\sin\omega t=RI_0\sin\left(\omega t+\frac{\pi}{4}\right)+\omega LI_0\cos\left(\omega t+\frac{\pi}{4}\right)-\frac{I_0}{\omega C}\cos\left(\omega t+\frac{\pi}{4}\right)$$

となる。右辺に三角関数の合成公式を用いると,

$$(\text{右辺})=\sqrt{R^2+\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)^2}\ I_0\sin\left(\omega t+\frac{\pi}{4}-\alpha\right)$$

$$\text{ただし，}\ \sin\alpha=\frac{-\omega L+\dfrac{1}{\omega C}}{\sqrt{R^2+\left(\omega L-\dfrac{1}{\omega C}\right)^2}},\quad \cos\alpha=\frac{R}{\sqrt{R^2+\left(\omega L-\dfrac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

となる。キルヒホッフの法則の式が恒等式であるべきことから,

$$V_0=\sqrt{R^2+\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)^2}\ I_0,\quad \alpha=\frac{\pi}{4}$$

を得る。

$\sin\alpha=\cos\alpha=\frac{1}{\sqrt{2}}$ より,

$$-\omega L + \frac{1}{\omega C} = R$$

である。このことから，

$$V_0 = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}\ I_0 = \sqrt{2}\,RI_0 \qquad \therefore \quad I_0 = \frac{V_0}{\sqrt{2}\,R}$$

を得る。実効値の定義より $I_\mathrm{e} = \dfrac{I_0}{\sqrt{2}}$ であるから，

$$I_\mathrm{e} = \frac{V_0}{2R} = \frac{169.7\,\mathrm{V}}{200\,\Omega} = 0.8485\,\mathrm{A} \fallingdotseq \underbrace{0.850}_{\boxed{16}:②}\ \mathrm{A}$$

となる。また，

$$L = \frac{1}{\omega^2 C} - \frac{R}{\omega} = \frac{1}{(2\pi f)^2 C} - \frac{R}{2\pi f}$$

$$= \frac{1}{(2\cdot 3.14\cdot 98.0\,\mathrm{Hz})^2\cdot 10.0\,\mu\mathrm{F}} - \frac{100\,\Omega}{2\cdot 3.14\cdot 98.0\,\mathrm{Hz}} \fallingdotseq 0.102\,\mathrm{H} \fallingdotseq \underbrace{100}_{\boxed{17}:⑩}\ \mathrm{mH}$$

と計算できる。

問４ 回路において電力をジュール熱として消費するのは抵抗のみであるから，その平均の消費電力 $\overline{P}$ は，

$$\overline{P} = RI_\mathrm{e}{}^2 = 100\,\Omega\cdot(0.849\,\mathrm{A})^2 = \underbrace{72}_{\boxed{18}:④}\ \mathrm{W}$$

問５ 電流の実効値が最大となるのはLC共振が起こるときであるから，その周波数 f' は，

$$f' = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\cdot 3.14\cdot\sqrt{100\,\mathrm{mH}\cdot 10.0\,\mu\mathrm{F}}} \fallingdotseq \underbrace{159}_{\boxed{19}:⑤}\ \mathrm{Hz}$$

第５問

問１ 1molの理想気体であるから，状態Aの状態方程式から，

$$p_0V_0 = RT_0$$

が成り立つ。定積過程A→Bでの気体の吸熱量 Q_AB は，内部エネルギー変化に等しく，

$$Q_\mathrm{AB} = \frac{3}{2}\left\{\left(1+\frac{x}{2}\right)p_0V_0 - p_0V_0\right\} = \frac{3x}{4}p_0V_0 = \underbrace{\frac{3x}{4}}_{\boxed{20}:⑦}RT_0$$

である。定圧過程B→Cで気体が外部にした仕事 W_BC，および吸熱量 Q_BC は，

$$W_\mathrm{BC} = \left(1+\frac{x}{2}\right)p_0\left\{\left(1+\frac{2}{x}\right)V_0 - V_0\right\} = \left(1+\frac{2}{x}\right)p_0V_0 = \underbrace{\left(1+\frac{2}{x}\right)}_{\boxed{21}:⑩}RT_0$$

$$Q_\mathrm{BC} = \frac{5}{2}W_\mathrm{BC} = \frac{5}{2}\left(1+\frac{2}{x}\right)RT_0 = \underbrace{\left(\frac{5}{2}+\frac{5}{x}\right)}_{\boxed{22}:⑭}RT_0$$

である。定圧過程D→Aで気体が外部にした仕事W_{DA}は，

$$W_{\mathrm{DA}}=p_0\left\{V_0-\left(1+\frac{2}{x}\right)V_0\right\}=-\frac{2}{x}p_0V_0=\underbrace{-\frac{2}{x}}_{\boxed{23}:②}RT_0$$

である。

問２ サイクルのうち気体が外部から吸熱する過程はA→B→Cであるから，吸熱量Q_{in}は，

$$Q_{\mathrm{in}}=Q_{\mathrm{AB}}+Q_{\mathrm{BC}}=\left(\frac{3x}{4}+\frac{5}{2}+\frac{5}{x}\right)RT_0$$

であり，このサイクルで気体が外部にする正味の仕事Wは，$p-V$図でサイクルが囲む面積として，

$$W=\frac{x}{2}p_0\cdot\frac{2}{x}V_0=p_0V_0=RT_0$$

と計算できる。したがって，熱効率eは，

$$e=\frac{W}{Q_{\mathrm{in}}}=\frac{RT_0}{\left(\frac{3x}{4}+\frac{5}{2}+\frac{5}{x}\right)RT_0}=\underbrace{\frac{4x}{3x^2+10x+20}}_{\boxed{24}:⑥}$$

となる。

問３，４ Wは正の定数であるから，Q_{in}が最小となるときにeは最大となる。

$$\frac{Q_{\mathrm{in}}}{RT_0}=\frac{3x}{4}+\frac{5}{x}+\frac{5}{2}$$

に相加相乗平均の関係より

$$\frac{3x}{4}+\frac{5}{x}\geqq 2\sqrt{\frac{3x}{4}\cdot\frac{5}{x}}=\sqrt{15}$$

（等号成立は$\frac{3x}{4}=\frac{5}{x}$，すなわち$x=2\sqrt{\frac{5}{3}}$のとき）

が成り立つことを用いると，$x=2\sqrt{\frac{5}{3}}$のときに$\frac{Q_{\mathrm{in}}}{RT_0}$は最小値$\frac{Q_{\mathrm{in}}}{RT_0}=\sqrt{15}+\frac{5}{2}$をとることがわかる。よって，$x=\underbrace{2\sqrt{\frac{5}{3}}}_{\boxed{25}:⑨}$のときに$e$は最大値

$$e_{\max}=\frac{RT_0}{\left(\sqrt{15}+\frac{5}{2}\right)RT_0}=\underbrace{\frac{4\sqrt{15}-10}{35}}_{\boxed{26}:⑫}$$

をとる。