２０２５年度　私大医学部入試

２０２５年１月２９日　実施

兵庫医科大学

医学部 一般Ａ　**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

Ⅰ (1) (導出過程) 円運動の半径はOA であるから，

（答） $h\tan\alpha$

(2) (導出過程) 糸の張力の大きさを T として，円運動の方程式より，

$$m\frac{v^2}{h\tan\alpha} = T\sin\alpha \qquad \therefore \quad T = \frac{mv^2}{h\sin\alpha\tan\alpha}$$

（答） $\dfrac{mv^2}{h\sin\alpha\tan\alpha}$

(3) (導出過程) 垂直抗力の大きさを N として，鉛直方向の力のつり合いより，

$$N + T\cos\alpha = mg \qquad \therefore \quad N = mg - \frac{mv^2}{h\tan^2\alpha}$$

（答） $mg - \dfrac{mv^2}{h\tan^2\alpha}$

(4) (導出過程) 離れる瞬間は $N = 0$ であるから，

$$mg - \frac{mv^2}{h\tan^2\alpha} = 0 \qquad \therefore \quad v = \sqrt{gh}\,\tan\alpha$$

（答） $\sqrt{gh}\,\tan\alpha$

Ⅱ (5) (導出過程) 糸の張力の大きさを T_P，垂直抗力の大きさを N_P として，

円運動の方程式：$m\dfrac{{v_0}^2}{h\tan\alpha} = T_P\sin\alpha - mg\sin\beta$

斜面に垂直な方向の力のつり合い：$N_P + T_P\cos\alpha = mg\cos\beta$

T_P を消去して，

$$N_P = mg\cos\beta\left(1 - \frac{\tan\beta}{\tan\alpha}\right) - \frac{m{v_0}^2}{h\tan^2\alpha}$$

（答） $mg\cos\beta\left(1 - \dfrac{\tan\beta}{\tan\alpha}\right) - \dfrac{m{v_0}^2}{h\tan^2\alpha}$

(6) (導出過程) $N_P \geqq 0$ より，

（答） $v_0 \leqq \sqrt{gh\tan\alpha\cos\beta(\tan\alpha - \tan\beta)}$

(7) (導出過程) 点Qでの小球の速さをv_Qとして力学的エネルギー保存の法則より，

$$\frac{1}{2}m{v_Q}^2+mg\cdot 2h\tan\alpha\sin\beta=\frac{1}{2}m{v_0}^2 \qquad \therefore \quad v_Q=\sqrt{{v_0}^2-4gh\tan\alpha\sin\beta}$$

(答) $\sqrt{{v_0}^2-4gh\tan\alpha\sin\beta}$

(8) (導出過程) 糸の張力の大きさをT_Qとして，

円運動の方程式：$m\dfrac{{v_Q}^2}{h\tan\alpha}=T_Q\sin\alpha+mg\sin\beta$

$$\therefore \quad T_Q=m\frac{{v_0}^2-4gh\tan\alpha\sin\beta}{h\tan\alpha\sin\alpha}-mg\frac{\sin\beta}{\sin\alpha}=\frac{m{v_0}^2}{h\tan\alpha\sin\alpha}-5mg\frac{\sin\beta}{\sin\alpha}$$

(答) $\dfrac{m{v_0}^2}{h\tan\alpha\sin\alpha}-5mg\dfrac{\sin\beta}{\sin\alpha}$

(9) (導出過程) 垂直抗力の大きさをN_Qとして，

斜面に垂直な方向の力のつり合い：$N_Q+T_Q\cos\alpha=mg\cos\beta$

$$\therefore \quad N_Q=mg\cos\beta\left(1+\frac{5\tan\beta}{\tan\alpha}\right)-\frac{m{v_0}^2}{h\tan^2\alpha}$$

(答) $mg\cos\beta\left(1+\dfrac{5\tan\beta}{\tan\alpha}\right)-\dfrac{m{v_0}^2}{h\tan^2\alpha}$

(10) (導出過程) 点Qで糸がゆるまないための条件は$T_Q\geqq 0$であり，

$$\frac{m{v_0}^2}{h\tan\alpha\sin\alpha}-5mg\frac{\sin\beta}{\sin\alpha}\geqq 0 \qquad \therefore \quad v_0\geqq\sqrt{5gh\tan\alpha\sin\beta}$$

設問Ⅱ(6)と合わせて，

(答) $\sqrt{5gh\tan\alpha\sin\beta}\leqq v_0\leqq\sqrt{gh\tan\alpha\cos\beta(\tan\alpha-\tan\beta)}$

(11) (導出過程) 設問Ⅱ(10)で得た不等式を満たすv_0が存在すればよいので，

$$\sqrt{5gh\tan\alpha\sin\beta}\leqq\sqrt{gh\tan\alpha\cos\beta(\tan\alpha-\tan\beta)} \qquad \therefore \quad \tan\beta\leqq\frac{1}{6}\tan\alpha$$

(答) $\tan\beta\leqq\dfrac{1}{6}\tan\alpha$

第２問

(1)

① $\dfrac{V}{l}$	② b	③ $\dfrac{eV}{l}$
④ a	⑤ b	⑥ $\dfrac{eV}{kl}$
⑦ $\dfrac{enSV}{kl}$	⑧ $\dfrac{e^2nSV}{kl}$	⑨ $\dfrac{kl}{e^2nS}$
⑩ l (長さ)	⑪ S (断面積)	⑫ $\rho=\dfrac{k}{ne^2}$
⑬ 電気抵抗率	⑭ Ω・m	

(2) ① 真性半導体では，温度が上昇すると価電子帯の電子が伝導帯へ移動しやすくなり，電気伝導に寄与する電子が増加するため。

② （例）アルミニウム　③ （例）リン

第３問

状態B，C，Dの温度をそれぞれT_B，T_C，T_Dとする。

(1) (導出過程) 状態A，Bにシャルルの法則を適用すると，

$$\frac{V_B}{T_B}=\frac{V_A}{T} \qquad \therefore \quad T_B=\frac{V_B}{V_A}T=aT$$

（答） aT

(2) （導出過程）過程B→Cは断熱変化であるから，温度Tと体積Vの間に$TV^{\gamma-1}=$一定の関係が成り立つ。よって，

$$T_B V_B{}^{\gamma-1}=T_C V_C{}^{\gamma-1} \qquad \therefore \quad T_C=\left(\frac{V_B}{V_C}\right)^{\gamma-1}T_B=\left(\frac{a}{b}\right)^{\gamma-1}aT=\frac{a^\gamma}{b^{\gamma-1}}T$$

（答） $\dfrac{a^\gamma}{b^{\gamma-1}}T$

(3) (導出過程) 断熱過程D→Aに対しても同様に，

$$T_D V_C{}^{\gamma-1}=T V_A{}^{\gamma-1} \qquad \therefore \quad T_D=\left(\frac{V_A}{V_C}\right)^{\gamma-1}T=\frac{T}{b^{\gamma-1}}T$$

（答） $\dfrac{T}{b^{\gamma-1}}$

(4)（導出過程）過程A→Bは定圧変化であるから，この過程で気体が吸収した熱量Q_{in}は，

$$Q_{in}=C_P(T_B-T)=(a-1)C_PT$$

（答）$(a-1)C_PT$

(5)（導出過程）過程B→Cは定積変化であるから，この過程で気体が放出した熱量Q_{out}は，

$$Q_{out}=-C_V(T_D-T_C)=-C_V\left(\frac{T}{b^{\gamma-1}}-\frac{a^\gamma}{b^{\gamma-1}}T\right)=\frac{a^\gamma-1}{b^{\gamma-1}}C_VT$$

（答） $\dfrac{a^\gamma-1}{b^{\gamma-1}}C_VT$

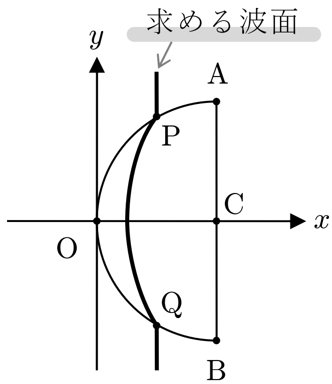
(6) (導出過程) 熱効率は$1-\dfrac{Q_{out}}{Q_{in}}$で計算できる。$\gamma=\dfrac{C_P}{C_V}$に注意して，

$$1-\frac{Q_{out}}{Q_{in}}=1-\frac{\dfrac{a^\gamma-1}{b^{\gamma-1}}C_VT}{(a-1)C_PT}=1-\frac{a^\gamma-1}{\gamma(a-1)b^{\gamma-1}}$$

（答）$1-\dfrac{a^{\gamma}-1}{\gamma(a-1)b^{\gamma-1}}$

第４問

Ⅰ(1)（導出過程）点P，Qのx座標は$\dfrac{c}{n_0}\Delta t$である。原点Oからx軸上を直進する光を考えると，この光はΔtの間に$\dfrac{c}{n_1}\Delta t$だけ進むが，$\dfrac{c}{n_1}\Delta t<\dfrac{c}{n_0}\Delta t$であるため，波面は左側に凹む。

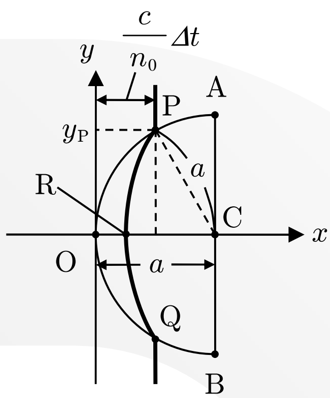


（答）

(2)（導出過程）点Pのy座標をy_{P}とすると，右図より，

$$\left(a-\frac{c}{n_0}\Delta t\right)^2+{y_{\mathrm{P}}}^2=a^2$$

$$\therefore\quad y_{\mathrm{P}}=\sqrt{\frac{c}{n_0}\left(2a-\frac{c}{n_0}\Delta t\right)\Delta t}$$



（答）$\sqrt{\dfrac{c}{n_0}\left(2a-\dfrac{c}{n_0}\Delta t\right)\Delta t}$

(3)（導出過程）(1)の考察より，

$$\overline{\mathrm{OR}}=\frac{c}{n_1}\Delta t$$

（答）$\dfrac{c}{n_1}\Delta t$

Ⅱ(4)（導出過程）$y=h$の点Sで球面に入射した光線を考え，$\angle\mathrm{OCS}=\alpha$とする。平面で屈折しないと仮定したときの見かけの焦点を$\mathrm{F_1}$とし，屈折光線がx軸となす角をβ，すなわち，$\angle\mathrm{OF_1S}=\beta$とする。$\overline{\mathrm{OF_1}}=f_1$とおくと，幾何条件より，

$$h=a\sin\alpha=f_1\tan\beta\qquad\therefore\quad h\fallingdotseq a\alpha\fallingdotseq f_1\beta$$

が成り立つ。また，屈折の法則より，

$$n_0 \sin\alpha = n_1 \sin(\alpha - \beta) \qquad \therefore \quad n_0\alpha \fallingdotseq n_1(\alpha - \beta)$$

これらより，α，β を消去すれば，

$$f_1 = \frac{n_1}{n_1 - n_0}a$$

（答）$\dfrac{n_1}{n_1 - n_0}a$

(5)（導出過程）点Sで屈折したあと，平面AB上の $y = h'$ であるような点Tで屈折し，真の焦点Fを通る光線を考え，屈折光線が x 軸となす角を γ，すなわち，$\angle\mathrm{TFC} = \gamma$ とする。$\overline{\mathrm{CF}} = f$ とおくと，幾何条件より，

$$h' = h - a\sin\beta = f\tan\gamma \qquad \therefore \quad f_1\beta - a\beta \fallingdotseq f\gamma$$

が成り立つ。また，屈折の法則より，

$$n_1 \sin\beta = n_0 \sin\gamma \qquad \therefore \quad n_1\beta \fallingdotseq n_0\gamma$$

これらより，β，γ を消去すれば，

$$f = \frac{n_0}{n_1}(f_1 - a) = \frac{n_0}{n_1}\left(\frac{n_1}{n_1 - n_0}a - a\right) = \frac{{n_0}^2}{n_1(n_1 - n_0)}a$$

を得る。よって，

$$\overline{\mathrm{OF}} = a + f = \frac{{n_1}^2 - n_0 n_1 + {n_0}^2}{n_1(n_1 - n_0)}a$$

（答）$\dfrac{{n_1}^2 - n_0 n_1 + {n_0}^2}{n_1(n_1 - n_0)}a$

(6)（導出過程）$r = \dfrac{n_1}{n_0}$ とおくと，

$$\overline{\mathrm{OF}} = \frac{r^2 - r + 1}{r(r-1)}a$$

であるから，$\overline{\mathrm{OF}} = 2a$ となるとき，

$$\frac{r^2 - r + 1}{r(r-1)}a = 2a \qquad \therefore \quad r^2 - r - 1 = 0$$

$r > 1$ より，

$$r = \frac{1 + \sqrt{5}}{2}$$

（答）$\dfrac{n_1}{n_0} = \dfrac{1 + \sqrt{5}}{2}$

第５問

(1)（導出過程）求める $^2_1\mathrm{H}$ の原子核の質量を M とすれば，反応①におけるエネルギー収支より，

$$Q_1 = \{2m_p - (M + m_e)\}c^2 \qquad \therefore \quad M = 2m_p - m_e - \frac{Q_1}{c^2}$$

（答）$2m_p - m_e - \dfrac{Q_1}{c^2}$

(2)（導出過程）反応②より，合成される原子核の質量数は3，原子番号は2とわかるため，

（答）$^{3}_{2}\mathrm{He}$

(3)（導出過程）反応④は，反応①，②，③をそれぞれ2回，2回，1回組み合わせた反応であるから，

（答）$2Q_1 + 2Q_2 + Q_3$

(4)（導出過程）単位質量の水素原子核をすべて$^{4}_{2}\mathrm{He}$に変換するあたり，反応④を$\dfrac{1}{4m_p}$回起こす必要があるため，

（答）$\dfrac{Q_4}{4m_p}$

(5)（導出過程）太陽が毎年放出する熱量Q_0を前問の解答で割ればよいから，

（答）$\dfrac{4m_pQ_0}{Q_4}$

(6)（導出過程）太陽質量を$M_\odot$とすると，求める時間は

$$\frac{M_\odot}{\dfrac{4m_pQ_0}{Q_4}} = \frac{M_\odot Q_4}{4m_pQ_0} = \frac{2\times10^{30}\ \mathrm{kg}\cdot3.954\times10^{-12}\ \mathrm{J}}{4\cdot1.6726\times10^{-27}\ \mathrm{kg}\cdot1.2\times10^{34}\ \mathrm{J}}\text{年} \fallingdotseq 1\times10^{11}\text{年}$$

（答）1×10^{11}年

解　説

※　第１問，第３問，第４問，第５問は解答の通り。

第２問

(1) 導体には，右向きに大きさ $\underbrace{\dfrac{V}{l}}_{①}$ の一様な電場が生じる。負の電気量を持つ電子は，この電場から左向き（図の $\underbrace{\mathrm{b}}_{②}$ の向き）に大きさ $\underbrace{\dfrac{eV}{l}}_{③}$ の力を受けて加速される。陽イオンとの衝突による抵抗力は，平均的には電場による電子の加速とは逆の右向き（図の $\underbrace{\mathrm{a}}_{④}$ の向き）に発生する。電場からの力と衝突による抵抗力が拮抗した結果，電子は平均すると一定の速さで左向き（図の $\underbrace{\mathrm{b}}_{⑤}$ の向き）に移動する。陽イオンとの衝突による抵抗力が電子の速さに比例すると仮定したとき，電子の平均の速さを $\bar{v}$ とすると，力のつり合いより，

$$k\bar{v} = \frac{eV}{l} \qquad \therefore \quad \bar{v} = \underbrace{\frac{eV}{kl}}_{⑥}$$

を得る。導体の断面を単位時間あたりに通過する電子数は $nS\bar{v} = \underbrace{\dfrac{enSV}{kl}}_{⑦}$ 個である。

導体を流れる電流の大きさ I は，$I = enS\bar{v} = \underbrace{\dfrac{e^2nSV}{kl}}_{⑧}$ で与えられる。この導体の抵抗値を R としたとき，オームの法則 $V = RI$ と比較すれば，$R = \underbrace{\dfrac{kl}{e^2nS}}_{⑨}$ であることがわかる。電気素量 e は物理定数であり，k，n は導体材料と温度が決まれば一定と見なせるため，抵抗値 R は，$\underbrace{l}_{⑩}$（導体の長さ）に比例し，$\underbrace{S}_{⑪}$（導体の断面積）に反比例する。比例定数を ρ として

$$R = \rho\frac{l}{S}$$

と表したときの ρ を $\underbrace{\text{電気抵抗率}}_{⑬}$ といい，⑨の式と比較すれば，$\underbrace{\rho = \dfrac{k}{e^2n}}_{⑫}$ と書ける。

$\rho = R\dfrac{S}{l}$ であり，国際単位系において，R の単位は Ω，S の単位は m^2，l の単位は m であることから，ρ の単位は $\Omega\cdot\dfrac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{m}} = \underbrace{\Omega\cdot\mathrm{m}}_{⑭}$ である。

(2) 通常の導体では，電気抵抗率の表式 $\rho=\dfrac{k}{e^2n}$ において自由電子の個数密度 n は温度によってほとんど変わらないが，陽イオンの熱振動が激しくなることによって電子にはたらく抵抗力の係数 k が大きくなるため，概ね温度上昇によって電気抵抗率は大きくなる。

一方，ケイ素のような真性半導体では，温度上昇によって価電子帯の電子が容易に伝導帯へ移動するため，電気抵抗率の表式における n が大きく増加する。真性半導体でも k は大きくなるが，n の増加の寄与のほうが大きいため，ρ は小さくなる。

ケイ素のような価電子を4つ持つ14族元素の真性半導体の結晶に，価電子の1個少ない $\underbrace{\text{ホウ素やアルミニウム}}_{②}$ といった13族元素をドープすると，価電子の欠けた部分が正孔として振る舞うp型半導体となる。一方，価電子の1個多い $\underbrace{\text{リンやヒ素}}_{③}$ といった15族元素をドープすると，過剰な電子が自由電子として振る舞うn型半導体となる。