兵庫医科大学　物理

2025年 1月 29日実施

〔問 1〕

Ⅰ. (1) $h\tan\alpha$　(2) $\dfrac{mv^2\cos\alpha}{h\sin^2\alpha}$　(3) $mg-\dfrac{mv^2}{h\tan^2\alpha}$　(4) $\sqrt{gh}\cdot\tan\alpha$

Ⅱ. (5) $\dfrac{\sin(\alpha-\beta)}{\sin\alpha}mg-\dfrac{m{v_0}^2}{h\tan^2\alpha}$　(6) $v_0\leqq\sqrt{\dfrac{\sin(\alpha-\beta)\sin\alpha}{\cos^2\alpha}gh}$

(7) $\sqrt{{v_0}^2-4gh\tan\alpha\sin\beta}$　(8) $\dfrac{m{v_0}^2\cos\alpha}{h\sin^2\alpha}-\dfrac{5mg\sin\beta}{\sin\alpha}$

(9) $\dfrac{mg(\sin\alpha\cos\beta+5\cos\alpha\sin\beta)}{\sin\alpha}-\dfrac{m{v_0}^2}{h\tan^2\alpha}$　(10) $\sqrt{5gh\tan\alpha\sin\beta}\leqq v_0\leqq\sqrt{\dfrac{\sin(\alpha-\beta)\sin\alpha}{\cos^2\alpha}gh}$

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

解説

Ⅰ.

(1) 半径を r として，$r=\boldsymbol{\tan\alpha}$

(2) 張力を T とすると，小球 A からみた鉛直方向の力のつり合いより，

$$T\sin\alpha=\frac{mv^2}{h\tan\alpha}\qquad\therefore T=\boldsymbol{\frac{mv^2\cos\alpha}{h\sin^2\alpha}}$$

(3) 垂直抗力を N とおくと，小球 A からみた糸に垂直な方向の力のつり合いより，

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

(4) 小球 A は $N=0$ のとき平面板から離れるので，

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

Ⅱ.

(5) 垂直抗力を N_{P} とおくと，小球からみた糸に垂直な方向の力のつり合いより，

$$N_{\mathrm{P}}\sin\alpha+\frac{m{v_0}^2}{h\tan\alpha}\cos\alpha=mg\sin(\alpha-\beta)\qquad\therefore N_{\mathrm{P}}=\boldsymbol{\frac{\sin(\alpha-\beta)}{\sin\alpha}mg-\frac{m{v_0}^2}{h\tan^2\alpha}}$$

(6) $N_{\mathrm{P}}\geqq0$ であれば平面板から離れないので，

$$N_{\mathrm{P}}=\frac{\sin(\alpha-\beta)}{\sin\alpha}mg-\frac{m{v_0}^2}{h\tan^2\alpha}\geqq0\qquad\therefore\frac{{v_0}^2}{h\tan^2\alpha}\leqq\frac{\sin(\alpha-\beta)}{\sin\alpha}g\qquad\therefore \boldsymbol{v_0\leqq\sqrt{\frac{\sin(\alpha-\beta)\sin\alpha}{\cos^2\alpha}gh}}$$

(7) 点 Q における小球 A の速さを v_{Q} とおくと，力学的エネルギー保存則より，

$$\frac{1}{2}m{v_0}^2=mg\cdot2h\tan\alpha\sin\beta+\frac{1}{2}m{v_{\mathrm{Q}}}^2\qquad\therefore v_{\mathrm{Q}}=\boldsymbol{\sqrt{{v_0}^2-4gh\tan\alpha\sin\beta}}$$

(8) 最上点 Q を通過するときの糸の張力を T_{Q} とおくと，小球 A からみた斜面方向の力のつり合いより，

$$T_{\mathrm{Q}}\sin\alpha+mg\sin\beta=\frac{mv_{\mathrm{Q}}^2}{h\tan\alpha}\qquad\therefore T_{\mathrm{Q}}=\boldsymbol{\frac{m{v_0}^2\cos\alpha}{h\sin^2\alpha}-\frac{5mg\sin\beta}{\sin\alpha}}$$

(9)　最上点 Q を通過するときの垂直抗力を N_{Q} とおくと，小球 A からみた糸に垂直な方向の力のつり合いより，

$$N_{\mathrm{Q}}\sin\alpha+\frac{m{v_{\mathrm{Q}}}^2}{h\tan\alpha}\cos\alpha=mg\sin(\alpha+\beta)\qquad\therefore\ N_{\mathrm{Q}}=\boldsymbol{\frac{mg(\sin\alpha\cos\beta+5\cos\alpha\sin\beta)}{\sin\alpha}-\frac{m{v_0}^2}{h\tan^2\alpha}}$$

(10)　(6) の条件に加えて，さらに $T_{\mathrm{Q}}\geqq 0$ であればよい。

$$T_{\mathrm{Q}}=\frac{m{v_0}^2\cos\alpha}{h\sin^2\alpha}-\frac{5mg\sin\beta}{\sin\alpha}\geqq 0\qquad\therefore\ \frac{{v_0}^2\cos\alpha}{h\sin^2\alpha}\geqq\frac{5g\sin\beta}{\sin\alpha}\qquad\therefore\ v_0\geqq\sqrt{\frac{\sin(\alpha-\beta)\sin\alpha}{\cos^2\alpha}gh}$$

よって，(6) と合わせて，

$$\boldsymbol{\sqrt{5gh\tan\alpha\sin\beta}\leqq v_0\leqq\sqrt{\frac{\sin(\alpha-\beta)\sin\alpha}{\cos^2\alpha}gh}}$$

(11)　(10) を満たす v_0 が存在すればよいので，

$$\sqrt{5gh\tan\alpha\sin\beta}\leqq\sqrt{\frac{\sin(\alpha-\beta)\sin\alpha}{\cos^2\alpha}gh}$$

$$5\sin\alpha\cos\alpha\sin\beta\leqq\sin^2\alpha\cos\beta+\sin\alpha\cos\alpha\sin\beta$$

$$6\cos\alpha\sin\beta\leqq\sin\alpha\cos\beta\qquad\therefore\ \boldsymbol{\tan\beta\leqq\frac{1}{6}\tan\alpha}$$

＜次頁につづく＞

〔問 2〕

(1) ① $\dfrac{V}{l}$　② b　③ $e\dfrac{V}{l}$　④ a　⑤ b

⑥ $\dfrac{eV}{kl}$　⑦ $\dfrac{neSV}{kl}$　⑧ $\dfrac{ne^2SV}{kl}$　⑨ $\dfrac{kl}{ne^2S}$　⑩ l（長さ）

⑪ S（断面積）　⑫ $\dfrac{k}{ne^2}$　⑬ 抵抗率　⑭ $\Omega\cdot\mathrm{m}$

(2) ① ケイ素中を移動できる電子などのキャリアの数が増えるから.

② ホウ素（他にもアルミニウム，ガリウム，インジウムなどの 13 族元素）

③ リン（他にもヒ素，アンチモン，ビスマスなどの 15 族元素）

解説

(1) ① 一様な電場の場合，電圧と距離は比例する.

② 電場と逆向きに静電気力を受ける.

③ 電場の強さに比例した大きさの静電気力を受ける.

④ 進行方向と逆向きの抵抗力を受ける.

⑤ 抵抗力の大きさが運動を駆動する力（ここでは静電気力）の大きさを上回ることはないので，運動を駆動する力の向きに運動する.

⑥ 題意の速さを v とすると，$kv = \dfrac{eV}{l}$ となるので $v = \boldsymbol{\dfrac{eV}{kl}}$

⑦ $nvS = \boldsymbol{\dfrac{neSV}{kl}}$

⑧ 題意の電流の大きさを I とする.

$$I = nvSe = \boldsymbol{\frac{ne^2SV}{kl}}$$

⑨ 題意の電気抵抗を R とおく．オームの法則より $V = RI$ が成り立つので，$R = \boldsymbol{\dfrac{kl}{ne^2S}}$

⑫ $R = \rho\dfrac{l}{S}$ より $\rho = \boldsymbol{\dfrac{k}{ne^2}}$

⑭ $\rho = R\dfrac{S}{l}$ となることと S の単位が m^2，l の単位が m であることからわかる.

(2) ② p 型半導体は，価電子が 3 つの元素をケイ素などの半導体に添加して作られる.

③ n 型半導体は，価電子が 5 つの元素をケイ素などの半導体に添加して作られる.

大的中

〔問 2〕が大的中しました！　MeBio 兵庫医科大学模試 〔問 4〕（7 月 14 日実施）

〔問 4〕 金属内の自由電子の運動を考える。電気素量を e [C] として、次の各問いに答えよ。導出過程も簡潔にまとめて記し、解答は解答欄に記すこと。

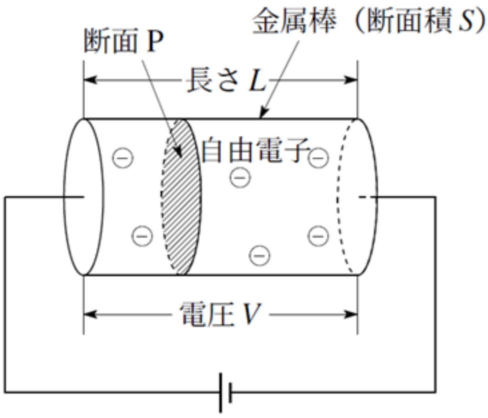


図 4

Ⅰ. 図 4 のような断面積 S [m^2]、長さ L [m] の金属棒の両端に電圧 V [V] を加えた。

(1) このとき、金属棒の内部には一様な電場が生じる。この電場により金属棒中の自由電子が受ける力の大きさを求めよ。

Ⅱ. 自由電子は金属内部の一様な電場により加速される。このとき自由電子は金属中で熱振動している金属イオンに衝突しながら運動する。このように自由電子は加速と減速を繰り返し、金属中の自由電子全体としては、電場と逆向きに一定の速さで移動している。このことは、自由電子が電場から受ける力につり合う一種の抵抗力を受けたためとみることができる。この抵抗力は自由電子の平均の速さに比例すると仮定し、その比例定数を k [N・s/m] とする。

後略

＜次頁につづく＞

〔問 3〕

(1) aT　(2) $\dfrac{a^\gamma}{b^{\gamma-1}}T$　(3) $\dfrac{T}{b^{\gamma-1}}$　(4) $C_P(a-1)T$

(5) $C_V\dfrac{a^\gamma-1}{b^{\gamma-1}}T$　(6) $1-\dfrac{a^\gamma-1}{\gamma(a-1)b^{\gamma-1}}$

解説

(1) シャルルの法則より $\dfrac{V_\mathrm{A}}{T}=\dfrac{V_\mathrm{B}}{T_\mathrm{B}}$ が成り立つので，$T_\mathrm{B}=\boldsymbol{aT}$

(2) ポアソンの公式より $T_\mathrm{B}{V_\mathrm{B}}^{\gamma-1}=T_\mathrm{C}{V_\mathrm{C}}^{\gamma-1}$ が成り立つので，$T_\mathrm{C}=\boldsymbol{\dfrac{a^\gamma}{b^{\gamma-1}}T}$

(3) D の体積は V_C と等しいので，ポアソンの公式より $T_\mathrm{D}{V_\mathrm{C}}^{\gamma-1}=T{V_\mathrm{A}}^{\gamma-1}$ が成り立つ．よって $T_\mathrm{D}=\boldsymbol{\dfrac{T}{b^{\gamma-1}}}$

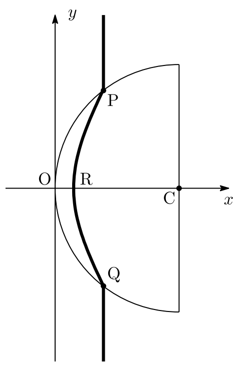
(4) $1\cdot C_P(aT-T)=\boldsymbol{C_P(a-1)T}$

(5) $1\cdot C_V\left(\dfrac{a^\gamma}{b^{\gamma-1}}-\dfrac{1}{b^{\gamma-1}}\right)T=\boldsymbol{C_V\dfrac{a^\gamma-1}{b^{\gamma-1}}T}$

(6) $1-\dfrac{(5)\text{ の熱量}}{(4)\text{ の熱量}}=1-\dfrac{C_V(a^\gamma-1)T}{C_P(a-1)b^{\gamma-1}T}=\boldsymbol{1-\dfrac{a^\gamma-1}{\gamma(a-1)b^{\gamma-1}}}$

＜次頁につづく＞

〔問 4〕



Ⅰ. (1)　右図　　(2)　$\sqrt{\left(2a-\dfrac{c}{n_0}\Delta t\right)\dfrac{c}{n_0}\Delta t}$　　(3)　$\dfrac{c}{n_1}\Delta t$

Ⅱ. (4)　$\dfrac{n_1}{n_1-n_0}a$　　(5)　$a+\dfrac{{n_0}^2}{n_1(n_1-n_0)}a$　　(6)　$\dfrac{1+\sqrt{5}}{2}$

解説

Ⅰ.

(1)　屈折率が n_0 の領域を進む波面は直線．一方，屈折率 n_1 の領域では，波の進む速さは遅くなるので点 R の x 座標は R よりも小さくなり，波面は解答図のような曲線になる．

(2)　点 P の x 座標 $x_{\mathrm{P}}=\dfrac{c}{n_0}\Delta t$ なので，三平方の定理より $y_{\mathrm{P}}=\sqrt{a^2-\left(a-\dfrac{c}{n_0}\Delta t\right)^2}=\boldsymbol{\sqrt{\left(2a-\dfrac{c}{n_0}\Delta t\right)\dfrac{c}{n_0}\Delta t}}$

(3)　屈折率 n_1 の物質中を進む光の速さは $\dfrac{c}{n_1}$ なので，$x_{\mathrm{R}}=\boldsymbol{\dfrac{c}{n_1}\Delta t}$

Ⅱ.

(4)　見かけの焦点 F の x 座標を f とする．

- $\angle\mathrm{OCP}=\theta$ とすると，点 P への光の入射角も θ.
- 点 P での屈折角を ϕ とすると，屈折の法則より $n_0\sin\theta=n_1\sin\phi$ が成り立つ．
- 点 P での屈折にともない光は角度 $\delta=\theta-\phi$ だけ向きを変えることになる．
- 問題の設定より $\delta=\theta-\phi\fallingdotseq\sin\theta-\sin\phi=\dfrac{n_1-n_0}{n_1}\sin\theta$ が成立する．
- 近似的に，$y_{\mathrm{P}}\fallingdotseq f\tan\delta\fallingdotseq f\delta$．また，$y_{\mathrm{P}}=a\sin\theta$ である．

以上の関係を用いると，

$$f=\frac{a\sin\theta}{\delta}=\boldsymbol{\frac{n_1}{n_1-n_0}a}$$

(5)　真上から水中を見たときの浮き上がり現象と同様に考えると，真の焦点 F_{t} について $\overline{\mathrm{CF_t}}=\dfrac{n_0}{n_1}\overline{\mathrm{CF}}$ が成り立つ．求める真の焦点の x 座標 f_{t} は，

$$f_{\mathrm{t}}=\overline{\mathrm{OC}}+\overline{\mathrm{CF_t}}=a+\frac{n_0}{n_1}(f-a)=\boldsymbol{a+\frac{{n_0}^2}{n_1(n_1-n_0)}a}$$

(6)　$f_{\mathrm{t}}=2a$ を $\dfrac{n_1}{n_0}$ についての 2 次方程式とみなして解くと，$\dfrac{n_1}{n_0}>0$ より，

$$\frac{n_1}{n_0}=\boldsymbol{\frac{1+\sqrt{5}}{2}}$$

＜次頁につづく＞

〔問 5〕

(1) $2m_{\mathrm{p}} - m_{\mathrm{e}} - \dfrac{Q_1}{c^2}$ [kg]　　(2) ${}^{3}_{2}\mathrm{He}$　　(3) $2Q_1 + 2Q_2 + Q_3$ [J]

(4) $\dfrac{Q_4}{4m_{\mathrm{p}}}$ [J]　　(5) $\dfrac{Q_0}{Q_4} \times 4m_{\mathrm{p}}$ [kg]　　(6) 1×10^{11} [年]

解説

(1) 反応熱 Q_1 相当の質量 $\Delta m_1 = \dfrac{Q_1}{c^2}$ 分, 反応後の質量和は減少しているので, 求める質量を m_{D} とすると, $2m_{\mathrm{p}} - \Delta m_1 = m_{\mathrm{D}} + m_{\mathrm{e}} + 0$ より，$\boldsymbol{m_{\mathrm{D}} = 2m_{\mathrm{p}} - m_{\mathrm{e}} - \dfrac{Q_1}{c^2}}$ **[kg]**

(2) 反応の前後で質量数の和，原子番号の和は変化しないので原子核 $\boxed{\text{a}}$ の質量数は 3，原子番号は 2 のヘリウム 3 であることがわかる．$\boxed{\text{a}} = \boldsymbol{{}^{3}_{2}\mathrm{He}}$

(3) 式①〜③をそれぞれ，$\mathrm{p} + \mathrm{p} \to {}^{2}_{1}\mathrm{H} + \mathrm{e}^{+} + \nu_{\mathrm{e}} + Q_1$ のように反応熱 Q_1〜Q_3 も含めた形式で表現した上で，① × 2 + ② × 2 + ③ とすると，式④ が,

$$4\mathrm{p} \to {}^{4}_{2}\mathrm{He} + 2\mathrm{e}^{+} + 2\gamma + 2\nu_{\mathrm{e}} + 2Q_1 + 2Q_2 + Q_3$$

と表される．$Q_4 = \boldsymbol{2Q_1 + 2Q_2 + Q_3}$ **[J]**

(4) 1kg 集まったときの水素原子核の個数は $\dfrac{1}{m_{\mathrm{p}}}$．4 個の水素原子核が最終的に 1 個の ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$ に変換するときに熱量 Q_4 が発生するので, 求める熱量は $\boldsymbol{\dfrac{Q_4}{4m_{\mathrm{p}}}}$ **[J]**

(5) 「太陽が 1 年間に失う水素原子核の数」は $\dfrac{Q_0}{Q_4} \times 4$ であるので,「太陽が 1 年間に失う水素原子核の質量」は $\boldsymbol{\dfrac{Q_0}{Q_4} \times 4m_{\mathrm{p}}}$ **[kg]**

(6) 太陽の質量 2×10^{30} [kg] を前問の答え $\dfrac{Q_0}{Q_4} \times 4m_{\mathrm{p}}$ で割ればよい.

$$\frac{2 \times 10^{30}}{\dfrac{Q_0}{Q_4} \times 4m_{\mathrm{p}}} = \frac{2 \times 10^{30} \times 3.9 \times 10^{-12}}{1.2 \times 10^{34} \times 4 \times 1.6 \times 10^{-27}} = 1.0 \cdots \times 10^{11} \fallingdotseq \boldsymbol{1 \times 10^{11}}\ \textbf{[年]}$$

＜次頁につづく＞

講評

〔問 1〕［**力学：斜面上の円錐振り子**］（標準～やや難）

Ⅰは，水平面上の円錐振り子の標準的な問題．完答したい．Ⅱは斜面上で斜面から離れずに円錐振り子が運動し続ける条件．式変形が複雑で計算ミスをしやすすので慎重に計算する必要があり時間がかかる．

〔問 2〕［**電磁気：導体の抵抗率，半導体**］（やや易～標準）

(1) は，導体の抵抗率を求める基本的な問題である．確実に得点したい．(2) は，半導体（ケイ素）についての知識を問う問題である．②③は易しいが，①は検定教科書に掲載されているとはいえ何と答えてよいか悩んだ受験者も多かったのではないか．

〔問 3〕［**熱：サイクル**］（標準）

サイクルについての標準的な問題である．特殊な状態変化などもなく，なるべく得点を稼ぎたい．ポアソンの公式は問題文中に与えられていないが，解答を得るためには使う必要がある．

〔問 4〕［**波動：屈折の法則，焦点距離の導出**］（標準～やや難）

Ⅰ は 光の速さと屈折率の関係，および，問題文から読み取る幾何学的な関係．描図問題では図が x 軸に対して対称であること，点 P，Q で折れ曲がっていることが必要．Ⅱ は光軸近くを通る光について，近似を用いた焦点距離の導出．誘導が少なくとまどった受験者もいたことと思われる．(5) では，真上から水中を見たときの浮き上がり現象に考えが至ると，手早く処理できる．

〔問 5〕［**原子：質量とエネルギーの等価性，核融合**］（標準）

(3) では，式 ① × 2 ＋ ② × 2 ＋ ③ が 式④と等しくなることに気づきたい．(5) で問われているのが，しばしば問われる「（核融合にともなって）失う質量」ではなく「失う水素原子核の質量」であるなど，全体的に問題文をよく読まないと，出題者の要求していない物理量を計算してしまうことになりかねないため，注意深さが要求されている．原子核反応の分野は 3 年連続出題された．

総評

2025 年度の難易度は昨年度と同程度．問題数は 2024 年度よりも 10 問多く 46 問．空所補充や知識を問う問題が複数あったため，問題の分量は昨年度と同程度だが，時間内にすべての問題を解き終えるのはかなり難しい．大問 2～5 の前半をできるだけ解き，それぞれの後半や大問 1 にどれだけ手をつけられるかが鍵となる．特に大問 3，4，5 の後半の出来で差がつくだろう．作業量の多さなどを加味すると目標点数は昨年度と同じく 60 ％