解答速報

藤田医科大学（前期）　物理

2025年 2月 4日実施

第1問

問 1　$(M + m_1 \cos\theta_1 + m_2 \cos\theta_2)g$

問 2　$(m_2 \sin\theta_2 - m_1 \sin\theta_1)g$

問 3　$(m_1 H \sin\theta_1 + m_1 d \cos\theta_1)g$

問 4　$\dfrac{2m_1(H\sin\theta_1 + d\cos\theta_1) + Md}{2H\sin\theta_2}$

解説

問 1　求める垂直抗力の大きさを N とすると，直方体にはたらく力の鉛直方向のつり合いより，

$$N = m_1 g\cos\theta_1 + m_2 g\cos\theta_2 + Mg = \boldsymbol{(M + m_1\cos\theta_1 + m_2\cos\theta_2)g}$$

問 2　求める摩擦力の大きさを f とする．$m_2 > m_1$，$\theta_2 > \theta_1$ であることに注意して，直方体にはたらく力の水平方向のつり合いの式を立てると，

$$m_2 g\sin\theta_2 = m_1 g\sin\theta_1 + f \qquad \therefore\ f = \boldsymbol{(m_2\sin\theta_2 - m_1\sin\theta_1)g}$$

問 3　直方体がひも 1 から受ける力を水平方向と鉛直方向に分けてそれぞれの力のモーメントの和をとればよい．の水平方向成分の作用線に C から下ろした垂線の長さは H，鉛直方向成分の作用線に C から下ろした垂線の長さは d であるから，求める力のモーメントは，

$$H \times m_1 g\sin\theta_1 + d \times m_1 g\cos\theta_1 = \boldsymbol{(m_1 H\sin\theta_1 + m_1 d\cos\theta_1)g}$$

問 4　おもり 3 の質量が $m_{\rm th}$ のとき，点 C の周りの力のモーメントの和は 0 となる．したがって，

$$H \times m_2 g\sin\theta_2 = (m_1 H\sin\theta_1 + m_1 d\cos\theta_1)g + \frac{1}{2}d \times Mg \qquad \therefore\ m_{\rm th} = \boldsymbol{\frac{2m_1(H\sin\theta_1 + d\cos\theta_1) + Md}{2H\sin\theta_2}}$$

＜次頁につづく＞

第2問

問1　$\dfrac{x^2}{2R}$

問2　$\sqrt{\left(m-\dfrac{1}{2}\right)R\lambda}$

問3　暗い

問4　半径が $\dfrac{1}{\sqrt{n_1}}$ 倍になる

問5　$\dfrac{x^2}{2}\left(\dfrac{1}{R}-\dfrac{1}{R_0}\right)$

問6　$\dfrac{2L^2}{2L^2+3R_0\lambda}<\dfrac{R}{R_0}<\dfrac{2L^2}{2L^2+R_0\lambda}$

問7　3.0×10^{-4} m

解説

問1　問題文の近似式，もしくは公式より $d=\boldsymbol{\dfrac{x^2}{2R}}$

問2　反射による位相のずれにより干渉条件が変化することに注意して

$$2\cdot\frac{x^2}{2R}=\left(m-\frac{1}{2}\right)\lambda$$

より

$$x=\boldsymbol{\sqrt{\left(m-\frac{1}{2}\right)R\lambda}}$$

問3　経路差は 0 となるので **暗い**

問4　反射による位相のずれによる干渉条件の変化は前問までと同じである．問2の λ を $\dfrac{\lambda}{n_1}$ で置き換えると，**半径が** $\boldsymbol{\dfrac{1}{\sqrt{n_1}}}$ **倍になる**ことがわかる．

問5　問1の結果から，問1の結果の R を R_0 に置き換えたものを引けばよい．

問6　中心軸に最も近い明環，2番目に近い明環の半径をそれぞれ x_1，x_2 とする．

$$2\cdot\frac{{x_1}^2}{2}\left(\frac{1}{R}-\frac{1}{R_0}\right)=\frac{1}{2}\lambda,\qquad 2\cdot\frac{{x_2}^2}{2}\left(\frac{1}{R}-\frac{1}{R_0}\right)=\frac{3}{2}\lambda$$

より

$$x_1=\sqrt{\frac{RR_0}{2(R_0-R)}\lambda},\qquad x_2=\sqrt{\frac{RR_0}{2(R_0-R)}\cdot3\lambda}$$

となる．これと

$$x_1<L<x_2$$

より $\boldsymbol{\dfrac{2L^2}{2L^2+3R_0\lambda}<\dfrac{R}{R_0}<\dfrac{2L^2}{2L^2+R_0\lambda}}$

問7　$\varDelta R=R_0\left|1-\dfrac{R}{R_0}\right|$ なので，求める上限値は，前問の最左辺を代入して計算すればよい．前問の最左辺は $\left(1+3R_0\dfrac{\lambda}{2L^2}\right)^{-1}$ と表せるので，求める上限値は

$$R_0\left|1-\left(1+3R_0\frac{\lambda}{2L^2}\right)^{-1}\right|\fallingdotseq 3{R_0}^2\frac{\lambda}{2L^2}=\mathbf{3.0\times10^{-4}\ m}$$

ここで，$3R_0\lambda$ が $2L^2$ に比べてじゅうぶん小さいことを用いた．

＜次頁につづく＞

第3問

問1　$\sqrt{2meV}$

問2　$d\sqrt{\dfrac{2m}{eV}}$

問3　$\dfrac{2}{L}\sqrt{\dfrac{2mV}{e}}$　　z 軸の正の向き

問4　x 成分：$\dfrac{2eV}{L}$　　y 成分：$-\dfrac{2\sqrt{3}eV}{L}$

問5　$\dfrac{\pi L}{2}\sqrt{\dfrac{m}{2eV}}$

問6　$\dfrac{eV\Delta t}{d}$

問7　$\dfrac{2eVT\Delta t}{\pi Ld}$

解説

問1　求める運動量の大きさを p とすると，エネルギー保存則より，

$$\frac{p^2}{2m}=eV \qquad \therefore\ p=\boldsymbol{\sqrt{2meV}}$$

問2　求める時間を t_1 とすると，荷電粒子が電場から受ける力の大きさは $\dfrac{eV}{d}$ であるから，運動量と力積の関係より，

$$p=\frac{eV}{d}t_1 \qquad \therefore\ t_1=\frac{pd}{eV}=\frac{d\sqrt{2meV}}{eV}=\boldsymbol{d\sqrt{\frac{2m}{eV}}}$$

問3　磁場中の等速円運動の速さを v とすると，運動方程式より，

$$m\frac{v^2}{L/2}=evB_1 \qquad \therefore\ B_1=\frac{2mv}{eL}=\frac{2p}{eL}=\frac{2\sqrt{2meV}}{eL}=\boldsymbol{\frac{2}{L}\sqrt{\frac{2mV}{e}}}$$

磁場の向きは，フレミングの左手の法則より，**z 軸の正の向き**

問4　磁場中を円運動している際に荷電粒子が受けるローレンツ力の大きさは，

$$evB_1=e\frac{p}{m}B_1=e\times\frac{\sqrt{2meV}}{m}\times\frac{2}{L}\sqrt{\frac{2mV}{e}}=\frac{4eV}{L}$$

$x=0.25L$ のとき，円軌道を 60° 回った位置にいるので，受ける力の x 成分と y 成分は，

$$x\ \text{成分}：\frac{4eV}{L}\cos 60^\circ=\boldsymbol{\frac{2eV}{L}} \qquad y\ \text{成分}：-\frac{4eV}{L}\sin 60^\circ=\boldsymbol{-\frac{2\sqrt{3}eV}{L}}$$

問5　求める時間は，

$$\frac{\pi\frac{L}{2}}{v}=\frac{m\pi L}{2mv}=\frac{\pi mL}{2\sqrt{2meV}}=\boldsymbol{\frac{\pi L}{2}\sqrt{\frac{m}{2eV}}}$$

問6　求める運動量を p' とすると，運動量と力積の関係より，

$$p'=\left(e\frac{V}{d}\right)\times\Delta t=\boldsymbol{\frac{eV\Delta t}{d}}$$

問7　求める質量を M，磁場中の等速円運動の速さを v' とすると，

$$T=\frac{\pi\frac{L}{2}}{v'}=\frac{\pi ML}{2Mv'}=\frac{\pi ML}{2p'}=\frac{\pi ML}{2}\cdot\frac{d}{eV\Delta t} \qquad \therefore\ M=\boldsymbol{\frac{2eVT\Delta t}{\pi Ld}}$$

＜次頁につづく＞

第4問

問1　$\sqrt{\dfrac{2H}{g}}$

問2　$e\sqrt{2gH}$

問3　h

問4　$\dfrac{h}{(1+e)\sqrt{2gH}}$

問5　$\dfrac{e}{1+e}h-\dfrac{h^2}{4(1+e)^2H}$

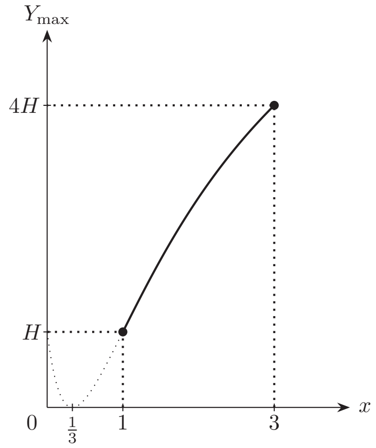
問6　$e>\dfrac{1}{2}\left(\sqrt{1+\dfrac{h}{H}}-1\right)$

問7　P：$\sqrt{2gH}\left(1+\dfrac{h}{2(1+e)H}\right)$,　　Q：$\sqrt{2gH}\left|e-\dfrac{h}{2(1+e)H}\right|$

問8　P：$\dfrac{|e(2+e)M-m|}{M+m}\sqrt{2gH}$,　　Q：$\dfrac{|eM-(e^2+e+1)m|}{M+m}\sqrt{2gH}$

問9　$\left\{\dfrac{e(2+e)M-m}{M+m}\right\}^2H$　（1回の衝突のみで最高点に到達する場合）

問10　右図（$0<x<1$ の範囲では P と Q の 1 回の衝突で最高点に到達しない．多数回の衝突による最高到達点の高さの導出は，出題者の意図にそぐわないと判断し $1\leqq x\leqq 3$ の範囲のみ $Y_{\max}$ とした.）



解説

問1　求める時間を t_1 とすると，

$$H=\frac{1}{2}g{t_1}^2\qquad\therefore t_1=\sqrt{\boldsymbol{\frac{2H}{g}}}$$

問2　小球 Q が床ではねかえる直前の速さは $gt_1=\sqrt{2gH}$ であり，小球 Q と床との反発係数が e であることから，$\boldsymbol{e\sqrt{2gH}}$

問3　小球 Q が床に衝突するまでの，小球 P と小球 Q の落下距離はどちらも H であるから，求める小球 P の高さは $\boldsymbol{h}$

問4　小球 Q が床に衝突する瞬間の小球 P の速さは $\sqrt{2gH}$ である．求める時間を t_2 とすると，小球 P と小球 Q が衝突するとき，2 物体の高さは等しいことから，

$$e\sqrt{2gH}\cdot t_2-\frac{1}{2}g{t_2}^2=h-\sqrt{2gH}\cdot t_2-\frac{1}{2}g{t_2}^2\qquad\therefore t_2=\boldsymbol{\frac{h}{(1+e)\sqrt{2gH}}}$$

問5　問 4 より，

$$e\sqrt{2gH}t_2-\frac{1}{2}g{t_2}^2=\boldsymbol{\frac{e}{1+e}h-\frac{h^2}{4(1+e)^2H}}$$

問6　問 5 の結果より，

$$\frac{e}{1+e}h-\frac{h^2}{4(1+e)^2H}>0$$

$$\therefore e^2+e-\frac{h}{4H}>0$$

$0<e\leqq 1$ に注意して 2 次不等式を解くと，$\boldsymbol{e>\dfrac{1}{2}\left(\sqrt{1+\dfrac{h}{H}}-1\right)}$

問7　衝突直前の P，Q の速度を，鉛直上向きを正としてそれぞれ v_{P}，v_{Q} とおくと，問 4 で求めた t_2 を用いて

$$v_{\mathrm{P}}=-\sqrt{2gH}-gt_2=-\sqrt{2gH}\left(1+\frac{h}{2(1+e)H}\right)\qquad\therefore |v_{\mathrm{P}}|=\boldsymbol{\sqrt{2gH}\left(1+\frac{h}{2(1+e)H}\right)}$$

$$v_{\mathrm{Q}}=e\sqrt{2gH}-gt_2=\sqrt{2gH}\left(e+\frac{h}{2(1+e)H}\right)\qquad\therefore |v_{\mathrm{Q}}|=\boldsymbol{\sqrt{2gH}\left|e-\frac{h}{2(1+e)H}\right|}$$

＜次頁につづく＞

問 8　問 7 の結果で $h \to 0$ とすると，衝突する直前の小球 P と小球 Q の速さはそれぞれ $\sqrt{2gH}$（鉛直下向き），$e\sqrt{2gH}$（鉛直上向き）となる．小球 P と小球 Q が衝突した直後の 2 物体の速度を，鉛直上向きを正としてそれぞれ v'_{P}，v'_{Q} とすると，運動量保存則より，

$$mv'_{\mathrm{P}} + Mv'_{\mathrm{Q}} = m(-\sqrt{2gH}) + M(e\sqrt{2gH})$$

反発係数の式より，

$$v'_{\mathrm{P}} - v'_{\mathrm{Q}} = -e(-\sqrt{2gH} - e\sqrt{2gH})$$

これらを解くと，

$$v'_{\mathrm{P}} = \frac{e(2+e)M - m}{M+m}\sqrt{2gH} \qquad \therefore |v'_{\mathrm{P}}| = \boldsymbol{\frac{|e(2+e)M - m|}{M+m}\sqrt{2gH}}$$

$$v'_{\mathrm{Q}} = \frac{eM - (e^2+e+1)m}{M+m}\sqrt{2gH} \qquad \therefore |v'_{\mathrm{Q}}| = \boldsymbol{\frac{|eM - (e^2+e+1)m|}{M+m}\sqrt{2gH}}$$

問 9　問題文の意図する最高点は，P と Q の 1 回のみの衝突により P が到達する点だと仮定する（※）．エネルギー保存則より，

$$\frac{1}{2}m{v'_{\mathrm{P}}}^2 = mgY_{\max} \qquad \therefore Y_{\max} = \boldsymbol{\left\{\frac{e(2+e)M - m}{M+m}\right\}^2 H}$$

解答者注：衝突後の P の速度が，衝突後 1 回床ではね返った Q の速度を下回ると Q に追いつかれてしまい，明らかに複数回の衝突の後最高点に到達する．つまり，$h \to 0$ のときには

$$-ev'_{\mathrm{Q}} > v'_{\mathrm{P}} \Leftrightarrow \frac{M}{m} < \frac{1}{2}\left(e + \frac{1}{e}\right)$$

の条件が成り立つと，Q が P に追いつく．

問 10　問 9 で，$x = \dfrac{M}{m}$，$e = 1$ とすると，

$$Y_{\max} = \left(\frac{3x-1}{x+1}\right)^2 H$$

問 9 の (※) の条件で $e = 1$ とすると，$x < 1$ のときは，必ず複数回衝突するので，$1 \leqq x \leqq 3$ のときのみ考えることにした．

＜次頁につづく＞

講評

第 1 問 ［力学：剛体のつりあい］（やや易）

剛体のつりあいの標準的な問題．設定は複雑だが，見かけによらず内容は易しい．完答したい．

第 2 問 ［波動：ニュートンリング］（やや易～標準）

問 4 まではニュートンリングの基本的な問題．問 5 は問 1 の結果を利用して比較的簡単に求まるが，問 6 以降の計算にはやや手間がかかる．

第 3 問 ［電磁気：質量分析器］（標準）

電磁場中の荷電粒子の運動に関する典型的な問題．[A] は標準的な内容であり，確実に得点したい．[B] 問 6 は見慣れない設定だが，運動量と力積の関係を用いることで素早く処理できる．

第 4 問 ［力学：2 つの小球の衝突］（やや易～やや難）

2 つの小球を同一鉛直線上で自由落下させ，衝突させる問題．立式は難しくないが，計算が煩雑であったり問いによっては絶対値記号が必要だったりと，受験生からすると少し嫌な問題だったかもしれない．

総評

2025 年度前期は昨年度よりもやや難しくなった．大問 1 は解きやすい．大問 2 は問 4 までは確実に取りたいが，問 5 以降で差がつく．大問 3 も問 4 までは確実に得点したい．大問 4 は問 6 あたりからの計算が煩雑になりやすく計算を慎重にすすめていく必要がある．全ての問題を解ききるのは時間的に厳しいだろう．目標得点率は 60 ％