解答速報

藤田医科大学（後期）　物理

2023年3月2日実施

第1問

問1　$\dfrac{m_A - m_C}{m_A + m_B + m_C}g$

問2　$T_{AB} = \dfrac{m_A(m_B + 2m_C)g}{m_A + m_B + m_C}$，$T_{BC} = \dfrac{m_C(2m_A + m_B)g}{m_A + m_B + m_C}$

問3　$\dfrac{\mu' m_B + m_C}{m_B + m_C}g$

問4　$\left\{1 + \dfrac{(m_A - m_C)(m_B + m_C)}{(m_A + m_B + m_C)(\mu' m_B + m_C)}\right\}H$

問5　静止摩擦係数の大きさは $\dfrac{m_C}{m_B}$ 以上である．

解説

問1　求める加速度の大きさを α とすると，運動方程式より，

$$\text{A}: m_A\alpha = m_A g - T_{AB} \quad \cdots①$$

$$\text{B}: m_B\alpha = T_{AB} - T_{BC} \quad \cdots②$$

$$\text{C}: m_C\alpha = T_{BC} - m_C g \quad \cdots③$$

①＋②＋③ より，

$$(m_A + m_B + m_C)\alpha = (m_A - m_C)g \qquad \therefore\ \alpha = \boldsymbol{\frac{m_A - m_C}{m_A + m_B + m_C}g}$$

問2　問1の結果を①，③に代入して，

$$T_{AB} = m_A(g - \alpha) = \boldsymbol{\frac{m_A(m_B + 2m_C)g}{m_A + m_B + m_C}}$$

$$T_{BC} = m_C(g + \alpha) = \boldsymbol{\frac{m_C(2m_A + m_B)g}{m_A + m_B + m_C}}$$

問3　求める加速度の大きさを β，物体BとCをつなぐひもの張力を S とすると，運動方程式より，

$$\text{B}: m_B\beta = S + \mu' m_B g \quad \cdots④$$

$$\text{C}: m_C\beta = m_C g - S \quad \cdots⑤$$

④＋⑤ より，

$$(m_B + m_C)\beta = (\mu' m_B + m_C)g \qquad \therefore\ \beta = \boldsymbol{\frac{\mu' m_B + m_C}{m_B + m_C}g}$$

＜次頁につづく＞

問 4　物体 A が床と衝突する直前の物体 A，B，C の速さを v，A が床と衝突してから物体 B，C が動く距離を h とすると，等加速度運動の式より，

$$v^2 - 0^2 = 2\alpha H$$

$$0^2 - v^2 = 2\beta(-h)$$

辺々加えると，

$$0 = 2\alpha H - 2\beta h \qquad \therefore h = \frac{\alpha}{\beta}H$$

よって，物体 C が達する最高点の床からの高さは，

$$H + h = \left(1 + \frac{\alpha}{\beta}\right)H = \boldsymbol{\left\{1 + \frac{(m_{\mathrm{A}} - m_{\mathrm{C}})(m_{\mathrm{B}} + m_{\mathrm{C}})}{(m_{\mathrm{A}} + m_{\mathrm{B}} + m_{\mathrm{C}})(\mu' m_{\mathrm{B}} + m_{\mathrm{C}})}\right\}H}$$

問 5　物体 B にはたらく静止摩擦力の大きさを f，物体 B と台の上面の間の静止摩擦係数を μ とすると，物体 B，C についての力のつり合いより，$f = m_{\mathrm{C}}g$ となる．これが物体 B と台の上面の間の最大摩擦力 $\mu m_{\mathrm{B}}g$ 以下であれば物体 B，C は静止するので，

$$\mu m_{\mathrm{B}}g \geqq m_{\mathrm{C}}g \qquad \therefore \mu \geqq \frac{m_{\mathrm{C}}}{m_{\mathrm{B}}}$$

<次頁につづく>

第2問

問1 $\dfrac{E}{R_2}$　問2 C_2E　問3 0　問4 $\dfrac{E}{L}$

問5 $\dfrac{1}{2}L\left(\dfrac{E}{R_1+R_2}\right)^2$　問6 $-\dfrac{C_1C_2R_2}{(C_1+C_2)(R_1+R_2)}E$　問7 $-\dfrac{C_1C_2}{C_1+C_2}E$

解説

問1　コンデンサー1，2の電圧が0だから，$E-R_2I=0 \therefore I=\dfrac{E}{R_2}$.

問2　十分に時間が経過した後，抵抗1，2の電流は0．よってコンデンサー2の両端の電圧が E となるので $\boldsymbol{C_2E}$

問3　電池の両端の電圧とコンデンサー2の両端の電圧がともに E のため，電荷の移動は起こらない．コンデンサー1に蓄えられた電荷は **0** のままである.

問4　コイルの両端の電圧が E となり，これがコイルの自己誘導起電力の大きさと等しくなる．よって $E=L\left|\dfrac{\Delta I}{\Delta t}\right|$ より $\left|\dfrac{\Delta I}{\Delta t}\right|=\boldsymbol{\dfrac{E}{L}}$

問5　コイルに流れる電流が $\dfrac{E}{R_1+R_2}$ なので，$\boldsymbol{\dfrac{1}{2}L\left(\dfrac{E}{R_1+R_2}\right)^2}$

問6　コンデンサー1，2の上側の極板に蓄えられる電気量をそれぞれ Q_1，Q_2 とおくと

$$\frac{Q_1}{C_1}+\frac{Q_2}{C_2}=\frac{R_1E}{R_1+R_2},\ -Q_1+Q_2=C_2E$$

が成り立つ．これを解くと $Q_1=\boldsymbol{-\dfrac{C_1C_2R_2}{(C_1+C_2)(R_1+R_2)}E}$

問7　コンデンサー1，2の上側の極板に蓄えられる電気量をそれぞれ $Q_1{}'$，$Q_2{}'$ とおくと

$$\frac{Q_1{}'}{C_1}+\frac{Q_2{}'}{C_2}=0,\ -Q_1{}'+Q_2{}'=C_2E$$

が成り立つ．これを解くと $Q_1{}'=\boldsymbol{-\dfrac{C_1C_2}{C_1+C_2}E}$

＜次頁につづく＞

第3問

問1　$2d\sin\theta = n\lambda$

問2　与えられた条件が満たされるとき，$d = \dfrac{\lambda}{\sqrt{2}-1} \fallingdotseq 4.66\times10^{-10}$ m となるが，このとき $2d\sin 30^\circ = n\lambda$ より，$n = \sqrt{2}+1$ となる．

よって与えられた条件を満たす間隔 d は存在しない．

問3　$\boxed{（ア）}$ $\sqrt{2meV}$　$\boxed{（イ）}$ $\dfrac{h}{\sqrt{2meV}}$　$\boxed{（ウ）}$ $\dfrac{\cos\theta}{\cos\theta'}$　$\boxed{（エ）}$ $\dfrac{\lambda}{\lambda'}$　$\boxed{（オ）}$ $2d\sin\theta'$

$\boxed{（カ）}$ $2d\sqrt{\mu^2-\cos^2\theta}$　$\boxed{（キ）}$ $\sqrt{2me(V+V_0)}$　$\boxed{（ク）}$ $\sqrt{1+\dfrac{V_0}{V}}$　$\boxed{（ケ）}$ $\dfrac{n^2h^2}{8d^2me}-V\sin^2\theta$

解説

問2　$n\lambda = 2d\sin 30^\circ$，$(n+1)\lambda = 2d\sin 45^\circ$ から n を消去すると $d = \dfrac{\lambda}{\sqrt{2}-1}$ となる．

問3

（ア）　$\dfrac{1}{2}mv^2 = eV$，$p = mv$ より $p = \boldsymbol{\sqrt{2meV}}$

（ウ）　屈折の法則より，$1\cdot\sin\left(\dfrac{\pi}{2}-\theta\right) = \mu\sin\left(\dfrac{\pi}{2}-\theta'\right)$．したがって，$\mu = \boldsymbol{\dfrac{\cos\theta}{\cos\theta'}}$

（カ）　$\lambda' = \dfrac{\lambda}{\mu}$，$\sin\theta' = \sqrt{1-\cos^2\theta'} = \sqrt{1-\dfrac{1}{\mu^2}\cos^2\theta}$ を $n\lambda' = 2d\sin\theta'$ に代入し，両辺に μ をかけると，

$$n\lambda = \boldsymbol{2d\sqrt{\mu^2-\cos^2\theta}}$$

（キ）　$\dfrac{1}{2}mv'^2 = e(V+V_0)$，$p' = mv'$ より $p' = \boldsymbol{\sqrt{2me(V+V_0)}}$

（ク）　$\mu = \dfrac{\lambda}{\lambda'} = \dfrac{h}{\sqrt{2meV}}\cdot\dfrac{\sqrt{2me(V+V_0)}}{h} = \boldsymbol{\sqrt{1+\dfrac{V_0}{V}}}$

（ケ）　（ク）より，$V_0 = (\mu^2-1)V$．

また $\lambda = \dfrac{h}{\sqrt{2meV}}$，$n\lambda = 2d\sqrt{\mu^2-\cos^2\theta}$ より

$$\mu^2 = \cos^2\theta + \frac{n^2h^2}{8d^2meV} \qquad \therefore V_0 = \boldsymbol{\frac{n^2h^2}{8d^2me} - V\sin^2\theta}$$

＜次頁につづく＞

第4問

問1　$\dfrac{Mg}{2}$

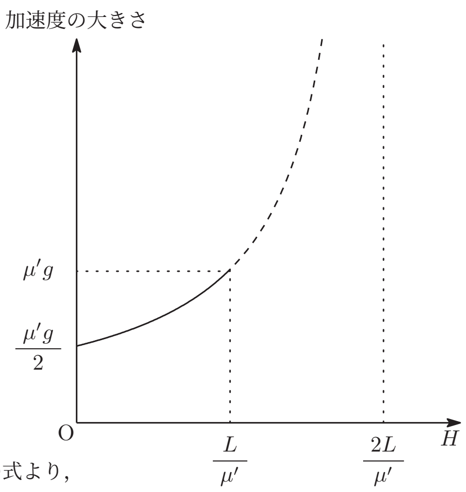
問2　$\dfrac{\mu' N_\mathrm{A}}{M}$

問3　$L\times Mg = 2L\times N_\mathrm{B} + H\times \mu' N_\mathrm{A}$

問4　$N_\mathrm{B} = \dfrac{L-\mu' H}{2L-\mu' H}Mg$

問5　$H \leqq \dfrac{L}{\mu'}$

問6　$\dfrac{\mu' L}{2L-\mu' H}g$，グラフは右図



解説

問1　求める垂直抗力の大きさを R とおく．点Bのまわりの力のモーメントのつり合いの式より，

$$L\times Mg = 2L\times R \qquad \therefore\ R = \boldsymbol{\frac{Mg}{2}}$$

問2　図の右向きを正，物体の加速度を α とすると，$N_\mathrm{A}>0$ なので，水平成分についての運動方程式は，

$$M\alpha = -\mu' N_\mathrm{A} \qquad \therefore\ |\alpha| = \boldsymbol{\frac{\mu' N_\mathrm{A}}{M}}$$

問3　物体と共に運動する観測者からみたときの慣性力が図の右向き，大きさが $\mu' N_\mathrm{A}$ であることに注意して，

$$\boldsymbol{L\times Mg = 2L\times N_\mathrm{B} + H\times \mu' N_\mathrm{A}}$$

問4　鉛直成分の力のつり合い $N_\mathrm{A}+N_\mathrm{B}=Mg$ と，問3の式を N_A，N_B について解くと，

$$N_\mathrm{A} = \frac{L}{2L-\mu' H}Mg,\quad N_\mathrm{B} = \boldsymbol{\frac{L-\mu' H}{2L-\mu' H}Mg}$$

問5　点Bが床から浮かない条件より，$N_\mathrm{B} = \dfrac{L-\mu' H}{2L-\mu' H}Mg \geqq 0$．したがって，

$$(L-\mu' H)(2L-\mu' H) \geqq 0 \qquad \therefore\ H \leqq \frac{L}{\mu'}\ \text{または}\ \frac{2L}{\mu'} \leqq H$$

ここで，$N_\mathrm{A}>0$ より，$H < \dfrac{2L}{\mu'}$ だから，$\boldsymbol{H \leqq \dfrac{L}{\mu'}}$

問6　図の右向きを正，物体の加速度を β とすると，水平成分についての運動方程式は，

$$M\beta = -\mu' N_\mathrm{A} \qquad \therefore\ |\beta| = \boldsymbol{\frac{\mu' L}{2L-\mu' H}g}$$

講評

第 1 問 ［力学：定滑車を介して結ばれた 3 物体の運動］（標準）定滑車を介して結ばれた 3 物体の運動を扱う問題．文字が多いのでミスしないように計算を進める必要があるが，運動方程式および，等加速度運動の知識があれば完答できる．

第 2 問 ［電磁気：コンデンサーとコイルを含む直流回路］（標準）コンデンサーとコイルを含む直流回路において過渡現象を扱う問題．スイッチを切り替えた直後と十分に時間が経過したときにコンデンサーやコイルの電流や電圧に関する条件を丁寧に適用していけばよい．できれば完答したい．

第 3 問 ［原子：ブラッグの条件・電子線回折］（やや難）前半は X 線回折の問題，後半は電子線の屈折を扱う問題で，類題を解いたことがなければ完答するのは難しいだろう．

第 4 問 ［力学：剛体のつりあい］（標準）慣性力を用いた剛体のつりあいの問題．難易度の高い題材だが，誘導が丁寧で分かり易い．問 5 の H の範囲を求める際に加速度が左向きであること（あるいは $N_A \geqq 0$）を用いる必要がありやや難しい．

総じて昨年度後期と難易度は変わらない．2023 年度前期よりも易しい．時間も前期ほどきつくはないが，全ての問題を解き切るにはかなり実力がいるだろう．全体での目標は，60%