解答速報

藤田医科大学（前期）　物理

2024年2月4日実施

第1問

問 1　$\dfrac{R}{\tan\theta}$

問 2　$L\cos\theta \times Mg = \dfrac{R}{\tan\theta} \times N_{\mathrm{P}}$

問 3　水平成分：$f_{\mathrm{P}}\cos\theta + f_{\mathrm{A}} = N_{\mathrm{P}}\sin\theta$,　　鉛直成分：$N_{\mathrm{P}}\cos\theta + N_{\mathrm{A}} + f_{\mathrm{P}}\sin\theta = Mg$

問 4　$\sqrt{\dfrac{\mu R}{(\mu^2+1)L}}$

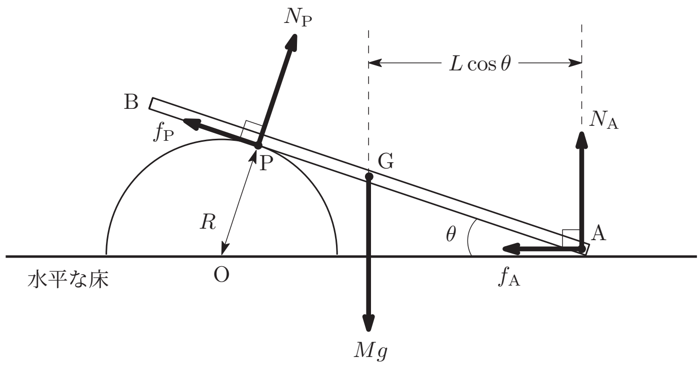
問 5　$\dfrac{2}{5}$

※ 問 3 では，f_{A} の向きを A → O の向き，f_{P} の向きを A → P の向きとした．

解説

問 1　直角三角形 OAP に注目して，AP $= \boldsymbol{\dfrac{R}{\tan\theta}}$

問 2　点 A，点 P で摩擦力が作用する向きの組み合わせは，棒の置き方などの条件で 3 種類あり得るが，ここでは，問 4 以降を参考に f_{A} の向きを A → O の向き，f_{P} の向きを A → P の向きとした．



図のように棒に作用する重力の作用線と点 A の距離は $L\cos\theta$ である．点 A のまわりの力のモーメントのつりあいの式は，

$$\boldsymbol{L\cos\theta \times Mg = \frac{R}{\tan\theta} \times N_{\mathrm{P}}}$$

問 3　棒に作用する力は，上図のようであるので，各成分について棒にはたらく力のつりあいの式は，

水平成分：$\boldsymbol{f_{\mathrm{P}}\cos\theta + f_{\mathrm{A}} = N_{\mathrm{P}}\sin\theta}$

鉛直成分：$\boldsymbol{N_{\mathrm{P}}\cos\theta + N_{\mathrm{A}} + f_{\mathrm{P}}\sin\theta = Mg}$

問 4　問 2 の式より，$N_{\mathrm{P}} = \dfrac{MgL\sin\theta}{R}$．問題文より $\theta = \theta_0$ のとき，$f_{\mathrm{A}} = \mu N_{\mathrm{A}}$，かつ $f_{\mathrm{P}} = \mu N_{\mathrm{P}}$．これらを問 3 の式に適用して，$\sin\theta_0$ について整理すると，$\sin\theta_0 = \boldsymbol{\sqrt{\dfrac{\mu R}{(\mu^2+1)L}}}$

問 5　与えられた数値を問 4 の結果に代入して $\sin\theta_0 = \sqrt{\dfrac{\frac{3}{4}R}{\left(\frac{9}{16}+1\right)3R}} = \boldsymbol{\dfrac{2}{5}}$

＜次頁につづく＞

第2問

問1　張力：mg，垂直抗力：$(M-m)g$　　問2　$2m \leqq M$　　問3　$\dfrac{13}{5}H$

問4　$\dfrac{12}{13}mg$　　問5　$\left(M-\dfrac{5}{13}m\right)g$　　問6　$\dfrac{13M-10m}{26M-10m}L$　　問7　$-\dfrac{8}{25}MgH$

問8　0　　問9　$\dfrac{4}{5}\sqrt{gH}$　　問10　0

問11　小球は，A の位置が $x=\pm\dfrac{12}{5}H$ のとき元の位置（最高点），$x=0$ のとき元の位置から $\dfrac{8}{5}H$ だけ下がった位置（最下点）となる往復運動を 2 回行う．

解説

問1　小球についての力のつりあいより $\boldsymbol{mg}$．また，求める垂直抗力の大きさを N とすると，棒についての力のつりあいより $Mg=mg+N$ となるので $N=\boldsymbol{(M-m)g}$

問2　B まわりの力のモーメントを考えて，棒にはたらく重力による力のモーメントの大きさが，A にはたらく張力による力のモーメントの大きさより小さくなければよいことより，$\boldsymbol{2m \leqq M}$（このとき，N は正となるので適する．）

問3　三平方の定理より $\boldsymbol{\dfrac{13}{5}H}$

問4　水平方向の力のつりあいより $\boldsymbol{\dfrac{12}{13}mg}$

問5　鉛直方向の力のつりあいより $\boldsymbol{\left(M-\dfrac{5}{13}m\right)g}$

問6　求める距離を ℓ とおく．B まわりの力のモーメントのつりあいより

$$\left(M-\frac{5}{13}m\right)g\ell+\frac{5}{13}mgL=\frac{1}{2}MgL$$

となるので，$\ell=\boldsymbol{\dfrac{13M-10m}{26M-10m}L}$

問7　小球は $\dfrac{13}{5}H-H=\dfrac{8}{5}H$ だけ下がるので，$\boldsymbol{-\dfrac{8}{25}MgH}$

問8　A が $x=0$ を通過する瞬間はひもは長さ方向には動かないので，**0**

問9　求める速さを V とおく．力学的エネルギー保存則より

$$0=\frac{1}{2}\cdot 5mV^2-\frac{8}{5}mgH$$

となるので，$V=\boldsymbol{\dfrac{4}{5}\sqrt{gH}}$

問10　A が $x=0$ のとき，棒にはたらく張力は鉛直方向の力となり，水平成分を持たない．よって **0**

問11　A の位置が $x=\dfrac{12}{5}H$ から $x=-\dfrac{12}{5}H$ まで変化するときと，A の位置が $x=-\dfrac{12}{5}H$ から $x=\dfrac{12}{5}H$ まで変化するときは，小球は解答に示した往復運動を 1 回ずつ行う．
（※小球の運動は単振動ではない．）

＜次頁につづく＞

第3問

問1 $\dfrac{nRT_{\rm A}}{V_{\rm A}}$

問2 $\dfrac{V_{\rm B}}{V_{\rm A}}T_{\rm A}$

問3 仕事：$nRT_{\rm A}\left(\dfrac{V_{\rm B}}{V_{\rm A}}-1\right)$，　熱量：$n\left(C_{\rm V}+R\right)T_{\rm A}\left(\dfrac{V_{\rm B}}{V_{\rm A}}-1\right)$

問4 $nC_{\rm V}\left(\dfrac{V_{\rm B}}{V_{\rm A}}T_{\rm A}-T_{\rm C}\right)$

問5 仕事，熱量どちらも $-nRT_{\rm C}\log\dfrac{V_{\rm C}}{V_{\rm D}}$

問6 $-nC_{\rm V}\left(T_{\rm A}-T_{\rm C}\right)$

問7 $1-\dfrac{RT_{\rm C}\log Y}{\left(C_{\rm V}+R\right)T_{\rm A}\left(X-1\right)}$

解説

問1 理想気体の状態方程式から $p_{\rm A}=\boldsymbol{\dfrac{nRT_{\rm A}}{V_{\rm A}}}$

問2 A→B は定圧変化なのでシャルルの法則から $T_{\rm B}=\boldsymbol{\dfrac{V_{\rm B}}{V_{\rm A}}T_{\rm A}}$

問3 求める仕事を $W_{\rm AB}$，求める熱量を $Q_{\rm AB}$ とする。A→B は定圧変化なので

$$W_{\rm AB}=p\varDelta V=p_{\rm A}\left(V_{\rm B}-V_{\rm A}\right)=\boldsymbol{nRT_{\rm A}\left(\frac{V_{\rm B}}{V_{\rm A}}-1\right)}$$

また，A→B は定圧変化なので，定圧モル比熱を C_p とすると，

$$Q_{\rm AB}=nC_{\rm p}\left(T_{\rm B}-T_{\rm A}\right)$$

ここに問2の答えとマイヤーの関係 $C_{\rm p}=C_{\rm V}+R$ を代入して

$$Q_{\rm AB}=\boldsymbol{n\left(C_{\rm V}+R\right)T_{\rm A}\left(\frac{V_{\rm B}}{V_{\rm A}}-1\right)}$$

問4 求める仕事を $W_{\rm BC}$ とおく。B→C は断熱変化なので，熱力学第一法則より

$$W_{\rm BC}=-\varDelta U=-nC_{\rm V}\left(T_{\rm C}-T_{\rm B}\right)=\boldsymbol{nC_{\rm V}\left(\frac{V_{\rm B}}{V_{\rm A}}T_{\rm A}-T_{\rm C}\right)}$$

問5 求める仕事を $W_{\rm CD}$，求める熱量を $Q_{\rm CD}$ とおく。等温変化で体積が $V_{\rm C}$ から $V_{\rm D}$ へ変化するので，題意より

$$W_{\rm CD}=nRT_{\rm C}\log\frac{V_{\rm D}}{V_{\rm C}}=\boldsymbol{-nRT_{\rm C}\log\frac{V_{\rm C}}{V_{\rm D}}}$$

また，等温変化より熱力学第一法則から $Q_{\rm CD}=W_{\rm CD}=\boldsymbol{-nRT_{\rm C}\log\dfrac{V_{\rm C}}{V_{\rm D}}}$

問6 求める仕事を $W_{\rm DA}$ とおく。D→A も断熱変化なので熱力学第一法則より

$$W_{\rm DA}=-\varDelta U=\boldsymbol{-nC_{\rm V}\left(T_{\rm A}-T_{\rm C}\right)}$$

問7 A→B→C→D→A の1サイクルのなかで，A→B は定圧膨張より吸熱過程で，C→D は等温圧縮より放熱過程である。よって

$$(\text{熱効率})=1-\frac{-Q_{\rm CD}}{Q_{\rm AB}}=1-\frac{nRT_{\rm C}\log\dfrac{V_{\rm C}}{V_{\rm D}}}{n\left(C_{\rm V}+R\right)T_{\rm A}\left(\dfrac{V_{\rm B}}{V_{\rm A}}-1\right)}=\boldsymbol{1-\frac{RT_{\rm C}\log Y}{\left(C_{\rm V}+R\right)T_{\rm A}\left(X-1\right)}}$$

＜次頁につづく＞

第4問

問 1　$\dfrac{eV}{d}$　　問 2　$\dfrac{eV}{dm}$，y 軸正の向き　　問 3　$\dfrac{D}{v}$　　問 4　$\dfrac{D^2eV}{2dmv^2}$

問 5　$\dfrac{DeV}{dmv^2}L$　　問 6　電子は極板 A に衝突する。　問 7　$\dfrac{m}{e}\left(\dfrac{d}{D}v\right)^2$

解説

問 1　極板間に生じる電場は y 軸負の向きに大きさ $E=\dfrac{V}{d}$．したがって，電子は y 軸正の向きに大きさ $f=\boldsymbol{\dfrac{eV}{d}}$ の力を受ける．

問 2　電子は y 軸正の向きに力を受けるので，加速度の向きは **y 軸正の向き**．加速度の大きさを a とすると，運動方程式の y 方向成分は

$ma=\dfrac{eV}{d}$ となるので，$a=\boldsymbol{\dfrac{eV}{dm}}$

問 3　速度の x 方向成分は v のまま変化しない．したがって，通過するのにかかる時間を t_0 とすると，$t_0=\boldsymbol{\dfrac{D}{v}}$

問 4　通過時間 t_0 の間の y 方向の変位 $\varDelta y$ を求めればよい．$\varDelta y=\dfrac{1}{2}a{t_0}^2=\boldsymbol{\dfrac{D^2eV}{2dmv^2}}$

問 5　極板間の右側から出た瞬間の速度を成分で表すと，$(v_x,\ v_y)=(v,\ at_0)=(v,\dfrac{DeV}{dmv})$

極板間から出たあと，電子は等速直線運動をする．飛び出した後，x 軸となす角 θ の方向に直線運動するとすると，$\tan\theta=\dfrac{v_y}{v_x}=\dfrac{DeV}{dmv^2}$

したがって，蛍光面上の y 座標は，$y=\varDelta y+(L-D/2)\tan\theta=\boldsymbol{\dfrac{DeV}{dmv^2}L}$

問 7　$V=V_{\rm c}$ のとき，電子は極板 A の端を通る．すなわち，$\varDelta y=\dfrac{d}{2}$ となればよい．

$$\varDelta y=\frac{D^2eV_{\rm c}}{2dmv^2}=\frac{d}{2}\qquad\therefore V_{\rm c}=\boldsymbol{\frac{m}{e}\left(\frac{d}{D}v\right)^2}$$

＜次頁につづく＞

講評

第 1 問 ［力学：剛体のつりあい］（標準）

問 3 までは基本的な問題。問 4 以降は，限界の位置にある場合の条件が与えられているため，問 3 までの立式が正しくできていれば解ききることは可能。ただし，問 3 は棒の置き方などの条件で摩擦力の向きが複数通り考えられるが，摩擦力の向きが書いていないため，解説では問 4 以降の状況を参考に向きを仮定し立式した。

第 2 問 ［力学：ひもでつながれた物体の運動］（標準～やや難）

問 5 までは基本的な問題であるが，問 6 では問題設定がやや込み入っているので混乱しやすい。また問 7 以降では，$x=0$ のときに小球の速さが 0 となることに気づかないと，失点がかさむ。

第 3 問 ［熱：サイクル］（標準）

サイクルの典型題。文字は多いが，見かけによらず計算は軽い。素早く完答し，他の大問に時間を使いたい。

第 4 問 ［電磁気：一様な電場中の電子の運動］（やや易）

受験生なら一度は解いたことがあるであろう有名な問題。問 6 以降は何が起こっているのかを正しく理解していれば答えられるだろう。完答したい。

総評

総じて昨年度前期よりも易化している。グラフの描図がなくなり，計算量も 2023 年度に比べて大幅に少なくなった。大問 1，3，4 はどれも完答できるレベルの問題だが，大問 2 は半分とれれば十分だろう。目標得点率は 65 ％