2021（R3）年度 新潟大学　理系前期　入学試験　物理解説

$\boxed{1}$　　理科１科目の受験者は90分，２科目の受験者は180分

［１］

<解答>

問１(1)

最下面からの小球の高さ $h = L - L\cos\theta = (1-\cos\theta)L$

力学的エネルギー保存の法則により，$\frac{1}{2}mv^2 + mg(1-\cos\theta)L = \frac{1}{2}m{v_0}^2$

$\therefore v = \sqrt{{v_0}^2 - 2gL(1-\cos\theta)}$　（答）

(2)

円運動するためには，円運動の頂点，すなわち$\theta = \pi$において$v \geqq 0$でなければならない。

(1)の結果において，$\theta = \pi$ として$v = \sqrt{{v_0}^2 - 4gL}$，$\therefore v_0 > 2\sqrt{gL}$，$\therefore v_m = 2\sqrt{gL}$　（答）

問２(1)

小球の円運動の方程式は,

$\frac{mv^2}{L} = T - mg\cos\theta$，$\therefore T = \frac{mv^2}{L} + mg\cos\theta$

問１(1)の考察から，$\frac{mv^2}{L} = \frac{m}{L}\{{v_0}^2 - 2g(1-\cos\theta)L\}$を代入して,

$T = \frac{m{v_0}^2}{L} + mg(3\cos\theta - 2)$　（答）

(2)

$T = \frac{m{v_0}^2}{L} + mg(3\cos\theta - 2) \geqq 0$，$\therefore {v_0}^2 \geqq (2-3\cos\theta)gL$

$\theta = \pi$のとき，$(2-3\cos\theta)$は最大値５となるから，$v_0 \geqq \sqrt{5gL}$

したがって，円運動をするために必要な v_0 の最小値は $\sqrt{5gL}$　（答）

(3)

$T = \frac{m}{L}{v_0}^2 - 2mg + 3mg\cos\theta$ において，$v_0 = v_m = 2\sqrt{gL}$ のとき$T = 0$とすれば,

$\cos\theta = \cos\theta_m = -\frac{2}{3}$　（答）

<解説>

鉛直面内での回転運動に関する問題はセンター試験／共通テストでも出題された頻出問題である。スムーズに答えることができるようにしたい。小球を保持する物が棒と糸の場合の違いを理解する。

問１(2)

力学的エネルギー保存の法則から，円運動の頂点において速さが最小になることは明らかである。頂点で小球が停止しなければ（0より大きい速さをもつこと）円運動は続く。

問２(1)

図１のような図を描いて，円運動の方程式を考える。

(2)

一定以上の初速を与えなければ，小球は円運動の頂点にまで達することができないことは明らかであろう。

(3)

棒は剛体であるから，たるみを考慮する必要はない。重力により棒を押す力が円運動の向心力となる。頂点での速さが0でなければ，円運動を続ける。糸では張力が0となった瞬間に，糸がたるんで向心力がなくなるから，円運動を続けることができない。

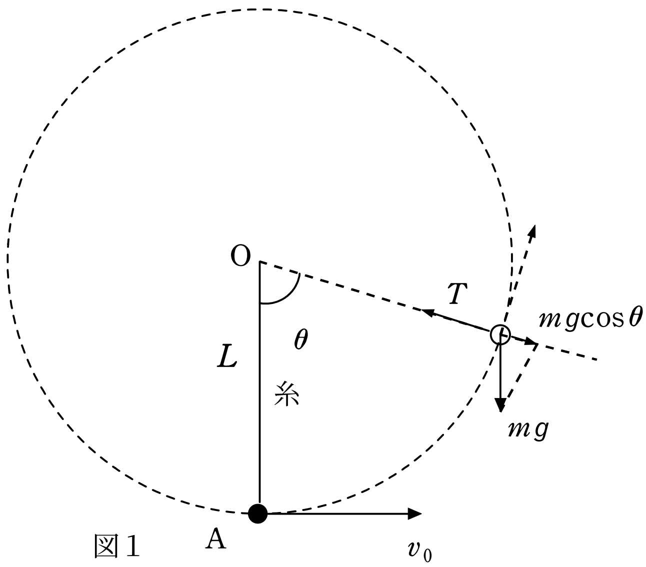

図１

［２］

＜解答＞

問１

木片が動き初めに有した運動エネルギーは$\frac{1}{2}mv_0{}^2$，動作中の摩擦によって失うエネルギーはFL,

力学的エネルギー保存の法則により両者は等しいから，$\frac{1}{2}mv_0{}^2 = FL$

したがって，$L = \dfrac{mv_0{}^2}{2F}$　（答）

問２

運動量保存の法則により，$mv_0 = (m + M)v$，$\therefore v = \dfrac{mv_0}{m+M}$　（答）

問３

静止していた板が木片から F の力を t の時間に 受けて右向きに速さ vの運動をする。

すなわち，板の運動量変化 $(Mv - M\times 0)$ は力積 Ft に等しいから,

$Mv = Ft$，$\therefore t = \dfrac{Mv}{F} = \dfrac{mMv_0}{(m+M)F}$　（答）

問４

時間 t において，板は初速 0，加速度 $\dfrac{F}{M}$ の加速度運動をするから，板が動いた距離 D は,

$D = \dfrac{1}{2}\left(\dfrac{F}{M}\right)t^2 = \dfrac{M}{2F}\left(\dfrac{mv_0}{m+M}\right)^2$　（答）

問５

木片は板上を距離 d 動いたのだから，摩擦によりエネルギー dF を失う。

エネルギー保存の法則により，$\dfrac{1}{2}m{v_0}^2 = dF + \dfrac{1}{2}(m+M)v^2 = dF + \dfrac{1}{2}\left(\dfrac{m^2{v_0}^2}{m+M}\right)$

したがって，$d = \dfrac{mM{v_0}^2}{2F(m+M)}$　（答）

<解説>

⑵

運動量保存の法則は時々刻々，木片と板からなる系において成立している。したがって初期の運動量は木片と板が一体となって運動しているときの運動量と一致する。

⑶

静止していた板は時間 t において速さ v となる。この間の運動量変化は板が受けた力積による。

⑷

木片が静止するまで，板は木片との摩擦力により，$F = ma$ の加速度運動をする。

したがって加速度 $a = \dfrac{F}{m}$

⑸

他の考え方もあるが，エネルギー保存の法則による上記の考え方が最もわかりやすい。

$\boxed{2}$

<解答>

問１

導線ABは速さ v で，垂直な磁束密度 kx を受けて動いているから，

誘導起電力は $V_1 = vkxd$　（答）

フレミングの左手の法則により，正電荷がAからBの向きに力を受ける，すなわち電位が高いのはA。

問２

コイルが含む磁束 $\phi = \dfrac{1}{2}\{kx + k(x+d)\}d^2$，磁束の時間変化がコイルに発生する誘導起電力，

$\dfrac{\Delta x}{\Delta t} = v$ だから，$V = \left|-\dfrac{\Delta\phi}{\Delta t}\right| = kvd^2$　（答）

問３

誘導起電力×抵抗 ＝ 電流だから，$I = \dfrac{kvd^2}{R}$　（答）

コイルの下降により上向きの磁束が増えるから，電流はその磁束変化を妨げるような向きに流れる。

すなわち，電流の向きは A → B　（答）

問４

導線 AB が受ける力は下向きに $dkxI$，導線 CD が受ける力は上向きに，$dk(x+d)I$

導線 AD，BC に働く力は互いに打ち消しあう。

したがって，コイルが磁場から受ける力は斜面方向上向きに

$$vdk(x+d)I-vdkxI = vdkdI = kd^2\times\frac{kvd^2}{R} = \frac{v(kd^2)^2}{R}$$ （答）

問５

コイルには斜面下方に重力の斜面方向成分 $mg\sin\theta$ が働くので，

コイルに働く力は $F = ma = mg\sin\theta - \frac{v(kd^2)^2}{R}$，

したがって，コイルに働く加速度は $a = g\sin\theta - \frac{v(kd^2)^2}{mR}$ （答）

問６

エネルギー保存の法則により，コイルが下降して失った重力の位置エネルギーが，コイルの得た運動エネルギーと発生したジュール熱の和に等しい。

コイルが失った位置エネルギーは $mgx\sin\theta = \frac{1}{2}mv^2 + Q$ ①

$\therefore Q = mgx\sin\theta - \frac{1}{2}mv^2$ （答）

問７

コイルが一定の速さということは，加速度が０ということだから，問５で $a=0$，$v = v_f$ として

$g\sin\theta - \frac{v_f(kd^2)^2}{mR} = 0$，$\therefore v_f = \frac{mgR\sin\theta}{k^2d^4}$ （答）

問８

問３の結果から，$I_f = \frac{kv_fd^2}{R}$，$\therefore P_f = I_f^2R = \frac{k^2v_f^2d^4}{R}$ （答）

コイルが単位時間あたりに失う位置エネルギーは $E_f = mgv_f\sin\theta = \frac{k^2v_f^2d^4}{R}$ （答）

以上により，両者は等しい。

＜解説＞

問１

長さ d の導体棒が垂直な磁場中を速さ v で移動するとき，棒の両端に発生する誘導起電力の問題である。教科書にローレンツ力による説明が記載されているので，参照してほしい。

問２

コイルが斜面を滑り落ちるにしたがい，コイルを貫く磁束が変化するので，ファラディの電磁誘導の法則により，コイルに誘導起電力が発生する。

問３

レンツの法則により，電流は磁束の変化を妨げる向きに流れる。

問４

電流の流れる導体棒に磁場が加わるとき，導体棒にはフレミングの左手の法則に則った力が働く。

問８

①の時間変化を考えると，コイルが単位時間あたりに失う位置エネルギーは，$v = v_f$ だから，

$mgv_f\sin\theta = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = P_f$，すなわちコイルに単位時間あたりに発生しているジュール熱に等しい。

3

＜解答＞

[1] 問1

過程 b は等温変化なので，ボイルの法則により $p_0V_0 = p_BV_1$，$\therefore\ p_B = \dfrac{V_0}{V_1}p_0$　（答）

過程 c は断熱変化なので，$pV^{\frac{5}{3}} =$ 一定 から $p_CV_1{}^{\frac{5}{3}} = p_0V_0{}^{\frac{5}{3}}$，$\therefore\ p_C = \left(\dfrac{V_0}{V_1}\right)^{\frac{5}{3}}p_0$　（答）

問2

過程 b では温度が一定の等温変化だから，

$pV =$ 一定 の p－V 曲線

過程 c では $pV^{\frac{5}{3}} =$ 一定 の p－V 曲線

それぞれのグラフは図１のようになる。

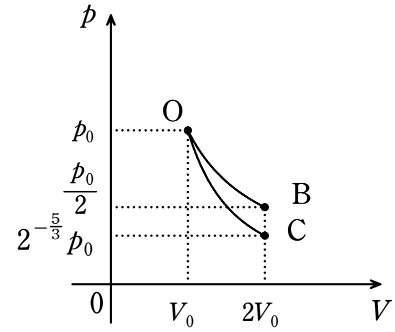

図１

問3

過程 a は定圧変化なので，シャルルの法則から

$\dfrac{V_0}{T_0} = \dfrac{V_0}{T_A}$，$\therefore\ T_A = \dfrac{V_1}{V_0}T_0$　（答）

ボイル・シャルルの法則から $\dfrac{p_0V_0}{T_0} = \dfrac{p_CV_1}{T_C}$，問１の結果を利用して，

$$T_C = p_CV_1 \times \frac{T_0}{p_0V_0} = \left(\frac{V_0}{V_1}\right)^{\frac{5}{3}}p_0V_1 \times \frac{T_0}{p_0V_0} = \left(\frac{V_0}{V_1}\right)^{\frac{2}{3}}T_0 \quad （答）$$

問4

過程 aでは $\dfrac{p_0V_0}{T_0} = \dfrac{pV}{T}$ において，

$p = p_0 =$ 一定 だから，$T = \dfrac{T_0}{V_0}V$

過程 c では $T = \dfrac{pV}{p_0V_0}T_0$ において，

$pV^{\frac{5}{3}} = p_0V_0{}^{\frac{5}{3}} =$ 一定だから，$T = \left(\dfrac{V_0}{V}\right)^{\frac{2}{3}}T_0$

それぞれのT－Vグラフは図２のようになる。

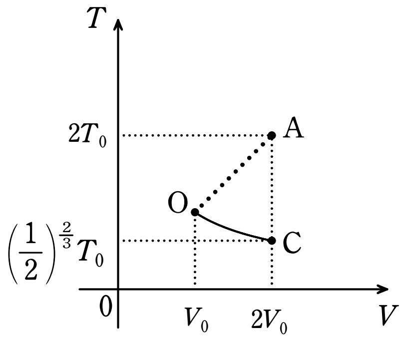

図２

問5

熱力学の第１法則により

$$Q_a = \frac{3}{2}R(T_A - T_0) + W_a = \frac{3}{2}p_0(V_1 - V_0) + p_0(V_1 - V_0) = \frac{5}{2}p_0(V_1 - V_0) \quad （答）$$

ただし，W_a は過程 a において気体がした仕事，R は気体定数

過程 c は断熱過程だから，熱力学の第１法則により，

$$W_c = \frac{3}{2}R(T_0 - T_C) = \frac{3}{2}(p_0V_0 - p_CV_1) = \frac{3p_0V_0}{2}\left\{1 - \left(\frac{V_0}{V_1}\right)^{\frac{2}{3}}\right\} \quad （答）$$

問６

問５の検討から，$Q_{\mathrm{a}} > W_{\mathrm{a}} = p_0(V_1 - V_0)$

過程ｂは等温変化だから内部エネルギーの変化はない。

したがって熱力学第１法則により，$Q_{\mathrm{b}} = W_{\mathrm{b}}$

W_{b} は問２の $p-V$ 曲線と V 軸が囲む面積だから，$W_{\mathrm{a}} > W_{\mathrm{b}}$，問２のグラフから $W_{\mathrm{b}} > W_{\mathrm{c}} > 0$

過程ｃは断熱変化だから，$Q_{\mathrm{c}} = 0$

以上によって，$Q_{\mathrm{a}} > W_{\mathrm{a}} > W_{\mathrm{b}} = Q_{\mathrm{b}} > W_{\mathrm{c}} > Q_{\mathrm{c}}$　（答）

＜解説＞

[1] 問１

３つの過程がどのような変化なのか，速やかに理解しよう。過程ａは定圧変化，過程bは等温変化，過程ｃは断熱変化である。

問２

過程b，ｃにおける p と V の関係式を求め，グラフとして記載する。

問４

過程a，ｃにおける T と V の関係式を求め，グラフとして記載する。

問５

過程ａは定圧変化だから，定圧モル比熱が $\frac{5}{2}R$ であることを利用して，

$Q_{\mathrm{a}} = \frac{5}{2}R(T_{\mathrm{A}} - T_0) = \frac{5}{2}p_0(V_1 - V_0)$ を導くことができる。

＜解答＞

[２] 問１

$L = 2d$　（答）

問２

ガラス面で反射する光は位相が反転するから，$\frac{L}{\lambda} = m$ ならば，レンズ下面反射光とガラス上面反射光の位相差が π となって，両者が弱め合って暗環となる。したがって，$L = m\lambda$　（答）

問３

$$d = R - \sqrt{R^2 - r^2} = R - R\left\{1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2\right\}^{\frac{1}{2}} \fallingdotseq R - R\left\{1 - \frac{1}{2}\left(\frac{r}{R}\right)^2\right\} = \frac{r^2}{2R}$$

問４

問１，問２の結果からから，暗環となる $d = \frac{L}{2} = \frac{m\lambda}{2}$ だから，問３の結果から

$$\frac{m\lambda}{2} = \frac{{r_m}^2}{2R} \quad ①,\quad \frac{(m+n)\lambda}{2} = \frac{{r_{m+n}}^2}{2R} \quad ②$$

②－①から，$n\lambda = \frac{1}{R}({r_{m+n}}^2 - {r_m}^2)$，$\therefore \lambda = \frac{1}{nR}({r_{m+n}}^2 - {r_m}^2)$　（答）

問５

図２から，$r_m = r_{m-1} + a_1$，$r_{m+1} = r_m + a_2$ として，問４の結果を利用して，

$$\lambda = \frac{1}{R}(r_m{}^2 - r_{m-1}{}^2) = \frac{1}{R}(2a_1 r_m - a_1{}^2) \quad ③$$

$$\lambda = \frac{1}{R}(r_{m+1}{}^2 - r_m{}^2) = \frac{1}{R}(2a_2 r_m + a_2{}^2) \quad ④$$

③ ＝ ④として，$r_m = \dfrac{a_1{}^2 + a_2{}^2}{2(a_1 - a_2)}$，③に代入して，

$$\lambda = \frac{1}{R}\frac{a_1 a_2(a_1 + a_2)}{a_1 - a_2} = \frac{1}{2.3} \times \frac{0.25 \times 0.23 \times 10^{-6}(0.25 + 0.23) \times 10^{-3}}{(0.25 - 0.23) \times 10^{-3}} = 0.60 \times 10^{-6}\ \mathrm{m} \quad (答)$$

＜解説＞

[2] 問１

ガラス上面で反射する光は間隔 d を往復するから，空気の屈折率を1として光路長の差 $L = 2d$

問２

ガラス上面で反射するとき位相が反転するから，暗環での光路長差 L について $\dfrac{L}{\lambda} = m$，$L = m\lambda$

問５

数値計算しやすいように，文字式をできるだけ変形する。

＜総評＞

問題設定や物理過程が単純明解で，基礎基本の理解が問われる良問が揃っている。このレベルの問題に的確に速やかに対応できることが，他の多くの難関大学の物理で高得点を得るために必要である。

$\boxed{1}$

[1] は鉛直面内での回転運動に関する問題。小球に重力が働く環境下で回転運動を考察する。向心力を与える手段が棒の場合と糸の場合の相違を理解すること。

[2] は床上の板の上の物体の運動に関する問題。床と板との間には摩擦がなく，物体が板上を動くときは，両者の間に一定の動摩擦力が働く。

いずれの問題も，複雑な事象ではないので理解しやすい。力学と運動の基礎基本を的確に理解しているかどうかを問う。難易度はＢ。

$\boxed{2}$

磁場が加わる斜面を滑るコイルに関する問題。電磁気分野の問題だが，力学が基礎となる。問題設定は複雑なものではなく，電磁誘導に関する基礎を的確に理解していることが重要だ。問８では，運動エネルギーは一定だから，位置エネルギーの変化は発生するジュール熱に等しいことは，エネルギー保存の法則から当然のことである。難易度はＢ。

$\boxed{3}$

[1] 気体の状態変化の問題。変化の過程が基本的なものであり，題意も明解だから，速やかに解答したい。難易度はＢ。

[2] は光学の問題。ニュートンリングとして知られる球面と平面の間隙を往復する光の干渉に関する。問題図は教科書に掲載される図である。光の干渉に関する基本的な事象に関するものである。難易度Ｂ。

230115