2022年度私大医学部入試
解答速報（解説付き）

日本医科大学(前期)【物理】

【全体講評】

大問の数が 4 題から 3 題に減少したが，計算に時間を要する設問が増えた。国公立の難関大に出題された問題をモディファイしたような問題が多い。問題のサイズが小さくなって省略されている点もあるので，やったことが一度もないと，問題の本質がわかない場合もあると思われる。計算に時間を取られる問題の後半の出来よりも，比較的計算の容易な前半を正しく解答できたが鍵となる。

【各問講評】

［Ⅰ］（力学）**可動する台車につながれた小球の振り子運動と衝突**

運動量保存則より「台車と小球からなる系の重心の水平方向には動かない」点を見抜くことが大切となる。(エ)の数値計算では，分母を有理化して計算したか，有理化せずにそのまま計算したかで有効数字の 2 桁目が異なる。

［Ⅱ］（電磁気）**ダイオードを含む回路**

理想化したダイオードを含む回路で，ダイオードの電流電圧特性に対して入試で多く用いられている理想化がされている。理想化の条件を正しく理解していれば，回路を解くための電圧の関係式(回路方程式)は比較的簡単に立式できる。ただし，(キ)の計算は面倒なので，この計算に時間を使うより，他の問題を解答した方が良い。

［Ⅲ］（波動）**光ファイバーの原理**

光ファイバーの原理に関する代表的な問題である。解いたことがあれば問題ないが，誘導がないので，(エ)以下の設問で差が出ると思われる。

［Ｉ］　$M = 5.00\,\mathrm{kg}$，$m = 3.00\,\mathrm{kg}$，$r = 2.50\,\mathrm{m}$，$e = 0.800$，$g = 9.80\,\mathrm{m/s}$ とする。

ア．衝突直前の速さを v_0 とすると，力学的エネルギー保存則より，

$$\frac{1}{2}m{v_0}^2 = mgr \quad \therefore v_0 = \sqrt{2gr} = \sqrt{2\times 9.80\times 2.50} = \underline{7.0} \;\; \mathrm{m/s}$$

イ．張力の大きさを T とすると，向心方向で成り立つ円運動の運動方程式より，

$$m\frac{{v_0}^2}{r} = T - mg \quad \therefore T = m\left(g + \frac{{v_0}^2}{r}\right) = 3mg = 3\times 3.00\times 9.80 \fallingdotseq \underline{8.8\times 10^1} \;\; \mathrm{N}$$

ウ．衝突後，方向は逆転し，速さは ev となるので，受けた力積の大きさ I は，

$$I = \left|m(-ev_0) - mv_0\right| = \left(1+e\right)mv_0 = \left(1+0.800\right)\times 3.00\times 7.0 \fallingdotseq \underline{3.8\times 10^1} \;\; \mathrm{kg\cdot m/s}$$

エ．衝突直前の小球 P と台車の速度を右向きを正としてそれぞれ v，V とすると，運動量保存則(水平方向成分)と力学的エネルギー保存則より，

$$mv + MV = 0,\quad \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}MV^2 = mgr$$

$v < 0$，$V > 0$ となることを考慮すると，この 2 式より，

$$v = -\sqrt{\frac{M}{M+m}\cdot 2gr} = -\sqrt{\frac{M}{M+m}}\,v_0$$

速さは，$|v| = \sqrt{\dfrac{M}{M+m}}\,v_0 = \sqrt{\dfrac{5.00}{5.00+3.00}}\times 7.0 = \dfrac{\sqrt{5}\times\sqrt{2}}{4}\times 7.0 \fallingdotseq \underline{5.5}$　m/s

(注)　分母を有理化せずに計算すると，$|v| = \sqrt{\dfrac{5.00}{5.00+3.00}}\times 7.0 = \dfrac{\sqrt{5}}{2\sqrt{2}}\times 7.0 \fallingdotseq \underline{5.6}$　m/s

オ．運動量保存則より，台車と小球 P からなる系の重心は動かない。図の状態の点 B の位置を原点 O として水平右向きに x 軸を取り，x 軸上での台車の重心の位置を X，小球 P の位置を x で表す。また，図の状態での台車の重心の位置を $X_0\,(<0)$ とすると，

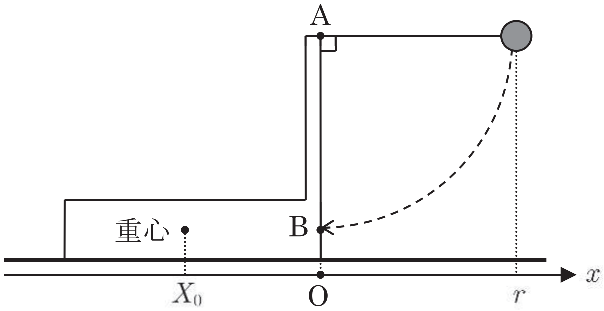
$$\left(x_{\mathrm{G}} =\right)\frac{MX + mx}{M+m} = \frac{MX_0 + mr}{M+m} \Leftrightarrow MX + mx = MX_0 + mr$$

点 B と台車の重心までの x 方向の距離は $0 - X_0$ より，衝突した瞬間は，

$$x - X = 0 - X_0$$

以上から，x を消去すると，$X = X_0 + \dfrac{m}{M+m}r$

重心の移動距離 L_1 [m]は，$L_1 = |X - X_0| = \dfrac{m}{M+m}r = \dfrac{3.00}{5.00+3.00}\times 2.50 \fallingdotseq \underline{9.4\times 10^{-1}}$　m



(注)　台車の重心の移動距離は点 B の移動に等しいので，点 B の位置を X [m]として，

$$MX + mx = mr$$

衝突した瞬間は，$X = x$

これを解いて $X = \dfrac{m}{M+M} r$

と計算を進めた方がシンプルである。

カ．衝突直後の速度を v_1，V_1 とすると，運動量保存則より，

$$mv_1 + MV_1 = mv + MV = 0 \quad \therefore\ V_1 = -\frac{m}{M} v_1,\ \ V = -\frac{m}{M} v \quad \cdots ①$$

反発係数の式より，

$$e = -\frac{v_1 - V_1}{v - V} \Leftrightarrow v_1 - V_1 = -e\left(v - V\right)$$

①を用いると，$v_1 = ev$，$V_1 = -\dfrac{m}{M}\left(ev\right)$　$\cdots$ ②

小球 P が最高点に達したとき，台車と P の速度は等しいので，運動量保存則より，この瞬間，台車と P は床に対して静止する。このときの P の点 B から図った高さを h とすると，力学的エネルギー保存則より，

$$\frac{1}{2} m{v_1}^2 + \frac{1}{2} M{V_1}^2 = mgh$$

②を用いると，$2gh = e^2 \left(1 + \dfrac{m}{M}\right) v^2 = e^2 \cdot 2gr \quad \therefore h = e^2 r = \left(0.800\right)^2 \times 2.50 = \underline{1.6}$　m

キ．系全体の重心の位置は動かないので，点 B に衝突した瞬間の台車の移動距離と同じになる。したがって，求める距離 L_∞ [m]は，

$$L_\infty = L_1 \fallingdotseq \underline{9.4 \times 10^{-1}} \ \ \text{m}$$

[Ⅱ]

ア．ホウ素やアルミニウムなど(3 価の元素でアクセプターと呼ばれる)。

イ．整流

ウ．ダイオードには電流が流れないので，十分に時間が経つと電源電圧Eがコンデンサーにかかる。コンデンサーに蓄えられる電気をQ_0とすると，

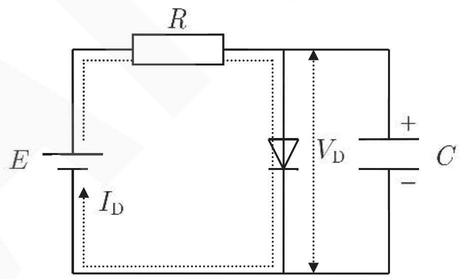
$$Q_0 = \underline{CE}$$

エ．蓄えられるエネルギーU_0は，$U_0 = \underline{\dfrac{1}{2}CE^2}$

オ．条件より，$E > v$の場合，$I_D = \dfrac{1}{r}\left(V_D - v\right)$ … ①

このとき，回路方程式(電圧の関係式)より，$E = RI_D + V_D$

①を代入して，$\alpha = \dfrac{r}{R}$を用いると，$V_D = \dfrac{rE + Rv}{r + R} = \underline{\dfrac{\alpha E + R}{\alpha + 1}}$



カ．$v = 0$となる極限で，ダイオードで消費される電力P_Dは，

$$P_D = I_D V_D = \frac{V_D}{r}\cdot V_D = \frac{{V_D}^2}{r} = \frac{rE^2}{\left(r + R\right)^2}$$

相加相乗平均の関係を用いると，

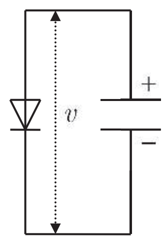
$$P_D = \frac{E^2}{r + \dfrac{R^2}{r} + 2R} \leqq \frac{E^2}{4R}$$

等号は$r = R$のとき成立するので，最大値P_{max}は，$P_{max} = \underline{\dfrac{E^2}{4R}}$

キ．スイッチを入れて十分に時間が経ったとき，ダイオードに並列接続されているコンデンサーには電圧V_Dがかかるので，

$$U_1 = \frac{1}{2}C{V_D}^2 = \frac{1}{2}C\left(\frac{rE + Rv}{r + R}\right)^2$$

スイッチを開けると，コンデンサーは放電し，ダイオードの電圧がvになると放電が止まので，



$$U_2 = \frac{1}{2}Cv^2$$

$$\therefore \varDelta U = \left|U_1 - U_2\right| = \frac{1}{2}C\left|\left(\frac{rE+Rv}{r+R}\right)^2 - v^2\right| = \frac{C}{2\left(r+R\right)^2}\left|-\left(r^2+2R\right)v^2 + 2rREv + \left(rE\right)^2\right|$$

ここで，絶対値| |内に着目すると

$$-\left(r^2+2rR\right)v^2 + 2rREv + \left(rE\right)^2 = -\left(r^2+2rR\right)\left(v - \frac{rRE}{r^2+2rR}\right)^2 + \frac{\left(r+R\right)^2 r^2E^2}{r^2+2rR}$$

これより，$v = \dfrac{rR}{r^2+2rR}E$ で最大となる。したがって，$\varDelta U$ の最大値 $\varDelta U_{\max}$ は $\alpha = \dfrac{r}{R}$ を用いて，

$$\varDelta U_{\max} = \frac{r^2}{2\left(r^2+2rR\right)}CE^2 = \frac{\alpha CE^2}{2\left(\alpha+2\right)} = \underline{\frac{\alpha}{\alpha+2}}\times U_0$$

［Ⅲ］

(1) ア．真空中の光速をcとすると，媒質中の光速c'は，$c' = \dfrac{1}{\underline{N}} \times c$

(2) イ．$\underline{N_1 > N_2}$

ウ．屈折の法則より，$N_1 \sin 60^\circ = N_2 \sin 90^\circ \quad \therefore N_1 = \dfrac{2}{\sqrt{3}} N_2 = \dfrac{2\sqrt{3}}{3} N_2 \fallingdotseq \underline{1.2} \times N_2$

(3) エ．端面Aでの屈折角をϕとすると，屈折の法則より(真空の屈折率は1)，

$$1 \cdot \sin\theta = n_2 \sin\phi \quad \therefore \sin\phi = \frac{1}{n_1}\sin\theta \quad \cdots \text{①}$$

媒質1，2の境界面での臨界角をθ_0とすると，屈折の法則より，

$$n_1 \sin\theta_0 = n_2 \sin 90^\circ \quad \therefore \sin\theta_0 = \frac{n_2}{n_1}$$

媒質1，2の境界面への光の入射角$90^\circ - \phi$が臨界角θ_0を越えると全反射が生じるので条件は，

$$\sin\left(90^\circ - \phi\right) > \sin\theta_0 \quad \therefore \cos\phi > \frac{n_2}{n_1}$$

①を用いると，$\sqrt{1 - \left(\dfrac{\sin\theta}{n_1}\right)^2} > \dfrac{n_2}{n_1} \quad \therefore \sin\theta < \underline{\sqrt{n_1^{\,2} - n_2^{\,2}}} \quad \cdots$ ②

オ．「$n_1^{\,2} - n_2^{\,2} > 1$」ならば，$\theta$によらず②が成立するので，$n_2 < \sqrt{n_1^{\,2} - 1} = \sqrt{\left(1.50\right)^2 - 1} \fallingdotseq \underline{1.1}$

カ．端面Aから端面Bまでの長さ(最短距離)をLとする。端面Aから端面Bまでの最短距離を真空中の光の速さcで直進するときに要する時間をt_0とすると，

$$t_0 = \frac{L}{c}$$

入射角30°で入射した光が端面Aから端面Bまで進むのに要する時間をt_1とすると，媒質1中の光の速さの最短距離方向の成分$c_{\parallel}$は，

$$c_{\parallel} = \frac{c}{n_1}\cos\phi = \frac{c}{n_1}\sqrt{1 - \left(\frac{\sin 30^\circ}{n_1}\right)^2} = \frac{c}{n_1^{\,2}}\sqrt{n_1^{\,2} - \sin^2 30^\circ} \qquad \therefore t_1 = \frac{L}{c_{\parallel}}$$

$$\therefore \frac{t_1}{t_0} = \frac{c}{c_{\parallel}} = \frac{n_1^{\,2}}{\sqrt{n_1^{\,2} - \sin^2 30^\circ}} = \frac{\left(1.50\right)^2}{\sqrt{\left(1.50\right)^2 - \left(0.5\right)^2}} \fallingdotseq \underline{1.6}$$