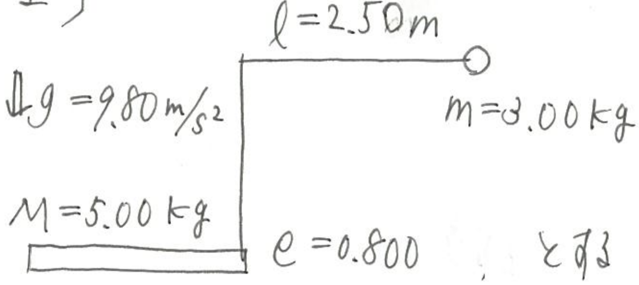
医学部専門予備校　クエスト　解答速報

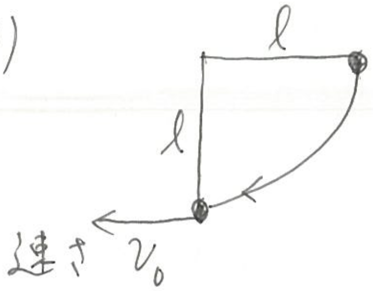
日本医科大学（前期）　物理　試験日 2 月 2 日（水）

［I］



$e=0.800$ とする

(ア)



エネルギー保存則より、

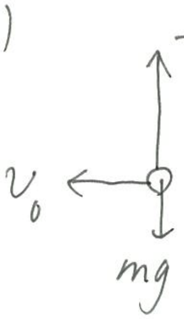
$$\frac{1}{2}mv_0^2 = mgl$$

$$\therefore v_0 = \sqrt{2gl}$$

$$= \sqrt{2\times 9.8\,m/s^2 \times 2.50\,m}$$

$$= 7.00\,m/s$$

(イ)



運動方程式を立てて、

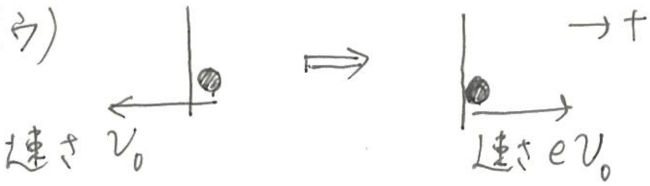
$$m\frac{v_0^2}{l} = T - mg$$

$$\therefore T = m\left(g + \frac{v_0^2}{l}\right)$$

$$T = 3.00\,kg \times \left(9.80\,m/s^2 + \frac{49\,m^2/s^2}{2.50\,m}\right)$$

$$\approx 8.8\times 10\,N$$

(ウ)



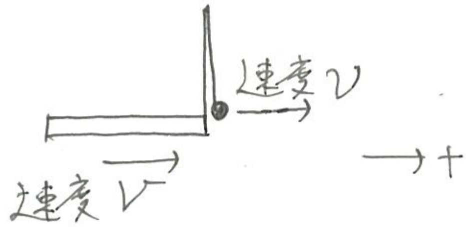
運動量の定理より

$$m(-v_0) + I = mev_0$$

$$\therefore I = m(1+e)v_0$$

$$\approx 3.8\times 10\ N\cdot s$$

(エ)



衝突直前

運動量保存則より、

$$mv + MV = 0 \quad \cdots ①$$

エネルギー保存則より、

$$\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}MV^2 = mgl \quad \cdots ②$$

$$mgl = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}M\left(-\frac{m}{M}v\right)^2$$

$$\Leftrightarrow \quad gl = \frac{1}{2}\,\frac{M+m}{M}\,v^2$$

$$\therefore v = \sqrt{\frac{2M}{M+m}gl}$$

$$= 7.00\,\mathrm{m/s} \times \sqrt{\frac{5}{8}}$$

$$\approx 5.6\,\mathrm{m/s}$$

or 次のような計算も有益.

$$\frac{1}{2}mv^2 : \frac{1}{2}MV^2 = \frac{(mv)^2}{2m} : \frac{(MV)^2}{2M}$$

$$= \frac{1}{m} : \frac{1}{M}$$

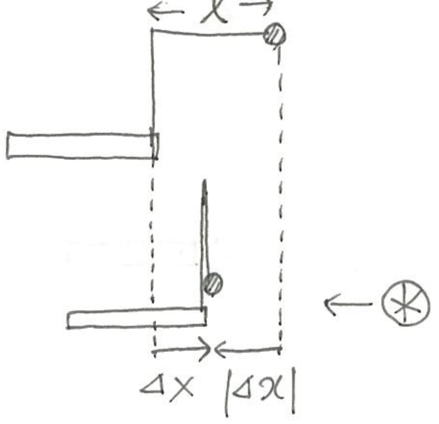
$(\because$ ① より$)$

$$= M : m$$

$$\therefore \frac{1}{2}mv^2 = mgl \times \frac{M}{M+m}$$

↓ 略

(オ)



$$① \Leftrightarrow m\frac{\Delta x}{\Delta t} + M\frac{\Delta X}{\Delta t} = 0$$

$$\begin{cases} \therefore m\Delta x + M\Delta X = 0 \\ \text{かつ} \\ |\Delta x| + \Delta X = l \end{cases}$$

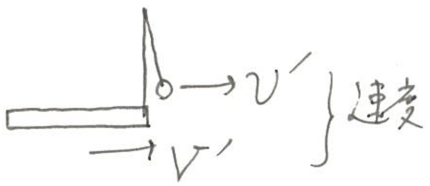
2式から Δx を消し、

$$\Delta X = \frac{m}{M+m}l$$

$$= \frac{5}{8} \times 2.50\,\mathrm{m}$$

$$\approx 9.4 \times 10^{-1}\,\mathrm{m}$$

(カ)



衝突直後

運動量保存則より、

$$mv' + MV' = mv + MV = 0 \quad \cdots ③$$

はね返りの式より、

$$e = -\frac{v' - V'}{v - V} \quad \cdots ④$$

③より、

$$\begin{cases} V = -\dfrac{m}{M}v \\ V' = -\dfrac{m}{M}v' \end{cases}$$

これらを④に代入して、

$$e = -\frac{v' + \frac{m}{M}v'}{v + \frac{m}{M}v}$$

$$= -\frac{v'}{v}$$

$$\therefore\ v' = -ev$$

同様に考えて、

$$V' = -eV$$

（この2つの結果は覚えておいて損なし。
あたかも地面と物体の衝突のよう。）

衝突後のエネルギー保存則より、

$$\frac{1}{2}mv'^2 + \frac{1}{2}MV'^2 = mgh$$

ここで、

$$\text{左辺} = \frac{1}{2}m(ev)^2 + \frac{1}{2}M(eV)^2$$

$$= e^2\left(\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}MV^2\right)$$

$$= e^2 mgl\ (\because ②)$$

よって、$mgh = mge^2 l$

$$\therefore\ h = e^2 l$$

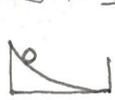
$$= (0.800)^2 \times 2.50\ \text{m}$$

$$\approx 1.6\ \text{m}$$

（hの値も、地面と物体の衝突の
場合と似ている。）

（キ）①より、重心は不動。
2物体が静止したとき、（オ）の
㋔が実現している。
よって、台車が動いたきより

$$= \Delta x \approx 9.4 \times 10^{-1}\ \text{m}$$

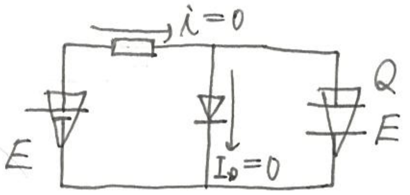
運動量保存則を扱うさいに、多くの人は

といった問題を解いたことがある
だろう。本問はその類題である。
数値計算がやや面倒だが、内容的には
ひねりも何もない問題である。できれば
完答したい。

〔II〕

(ア) ホウ素，アルミニウム，インジウム
(B)　(Al)　(In)

(イ) 整流

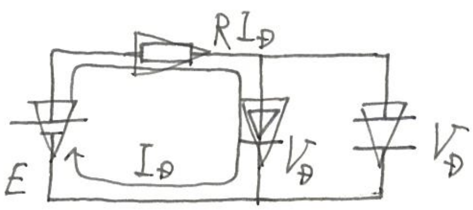
(ウ) $E \leqq v$ のとき



$Q = CE$

(エ) $U = \frac{1}{2}CE^2$

(オ) $E > v$ のとき



キルヒホッフ第2法則より，

$$E = RI_D + V_D$$

また，図1より，

$$I_D = \frac{1}{r}(V_D - v)$$

2式から I_D を消して，

$$E = \frac{R}{r}(V_D - v) + V_D$$

$$\therefore V_D = \frac{rE + Rv}{r + R}$$

$$= \frac{\frac{r}{R}E + v}{\frac{r}{R} + 1}$$

$$= \frac{\alpha E + v}{\alpha + 1}$$

(カ) (オ)より，I_D の値は，

$$I_D = \frac{1}{r}(V_D - v)$$

$$= \frac{1}{r}\left(\frac{rE + Rv}{r + R} - v\right)$$

$$= \frac{E - v}{r + R}$$

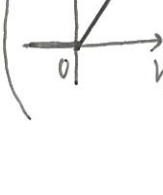
ダイオードの消費電力 P は，

$$P = V_D \cdot I_D$$

$$= \frac{rE + Rv}{r + R} \cdot \frac{E - v}{r + R}$$

である．

ここで，$v \to 0$ とすると，



のとき

$$P = \frac{rE}{r + R} \cdot \frac{E}{r + R}$$

となる．以下ではこの P の最大値を求めることにする．

$$\frac{dP}{dr} = \frac{(r+R)(-r+R)}{(r+R)^4}E^2$$

$\dfrac{dP}{dr} = 0$ のとき、$r = R$

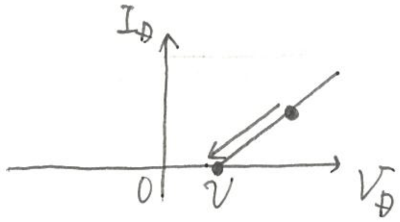
よって、Pの最大値 $= \dfrac{RE^2}{(R+R)^2}$

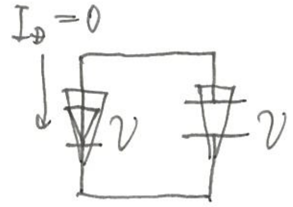
$$= \frac{E^2}{4R}$$

(キ)　$E > v$ のとき

$$U_1 = \frac{1}{2}CV_D{}^2$$

スイッチOFF後





$V_D = v$ となって，$I_D = 0$ となる。

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

$U_1 - U_2$

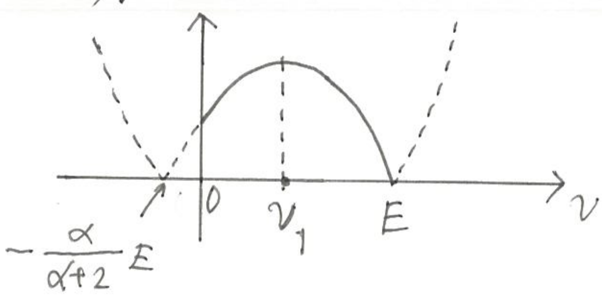
$$= \frac{1}{2}C(V_D{}^2 - v^2)$$

$$= \frac{1}{2}C(V_D + v)(V_D - v)$$

$$= \frac{1}{2}C\,\frac{\alpha E + v + \alpha v + v}{\alpha + 1}\cdot\frac{\alpha E + v - \alpha v - v}{\alpha + 1}$$

$$= \frac{1}{2}C\,\frac{\{(\alpha+2)v + \alpha E\}\alpha(E - v)}{(\alpha+1)^2}$$

$|U_1 - U_2|$ − v グラフは以下のとおり。



$$v_1 = \frac{1}{2}\left(E - \frac{\alpha}{\alpha+2}E\right)$$

$$= \frac{E}{\alpha+2}$$

このとき、$|U_1 - U_2| = \dfrac{\alpha}{\alpha+2}\,\dfrac{1}{2}CE^2$

題材はありきたりであるが，計算が大変である。
(キ)はできなくても仕方ないだろう。それ以外は何とか正答したい。
(2022年度の藤田の問題とよく似ている。)

〔Ⅲ〕

(ア) $\frac{1}{N}$ 倍

(イ) 屈折の法則より、

$$N_1 \sin\theta_1 = N_2 \sin\theta_2$$

いま、$\theta_2 > \theta_1$ ゆえ、

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} > 1$$

$$\Leftrightarrow \frac{N_1}{N_2} > 1 \qquad \therefore N_1 > N_2$$

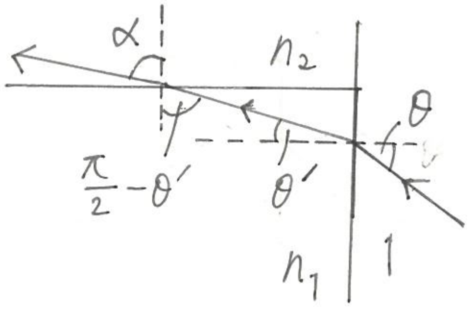
(ウ) 屈折の法則より、

$$N_1 \sin 60^\circ = N_2 \sin 90^\circ$$

$$\therefore N_1 = \frac{2}{\sqrt{3}} N_2$$

$$\approx 1.2\, N_2$$

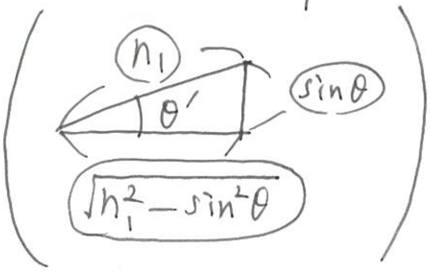
(エ)



屈折の法則より、

$$\begin{cases} \sin\theta = n_1 \sin\theta' & \cdots ① \\ n_1 \sin\left(\frac{\pi}{2}-\theta'\right) = n_2 \sin\alpha & \cdots ② \end{cases}$$

①より、$\sin\theta' = \frac{\sin\theta}{n_1}$



これと②から、

$$\sin\alpha = \frac{\cancel{n_1}}{n_2} \frac{\sqrt{n_1^2-\sin^2\theta}}{\cancel{n_1}}.$$

いま、αは存在しないことから、

$$\sin\alpha > 1$$

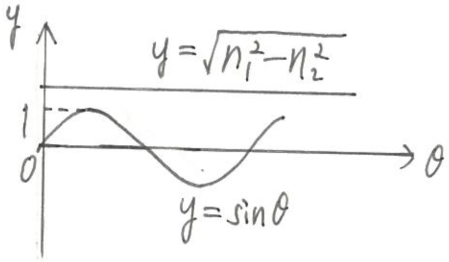
とすると、

$$\frac{1}{n_2}\sqrt{n_1^2-\sin^2\theta} > 1$$

$$\therefore \sin\theta < \sqrt{n_1^2-n_2^2} \quad \cdots ③$$

(この結果は非常によく出るので、覚えている人もいるでしょう)

(オ) 任意のθで③が成立するための条件を考えればよい。



上図より、

$$1 < \sqrt{n_1^2-n_2^2}$$

であればよいことが分かる。

$$\therefore n_1 < \sqrt{n_1^2-1} = \sqrt{\left(\frac{3}{2}\right)^2-1}$$

$$= \frac{1}{2}\sqrt{9-4}$$

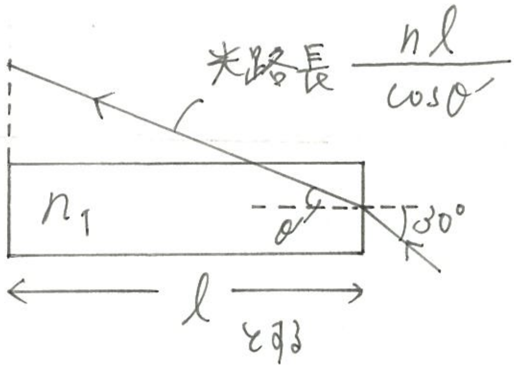
$$\approx 1.1$$

(カ) 屈折の法則より、

$$\sin 30^\circ = n_1 \sin\theta'$$

$$\therefore \sin\theta' = \frac{1}{n_1} \times \frac{1}{2}$$

$$= \frac{1}{3}$$



$$\begin{cases} t_1 = \dfrac{nl}{\cos\theta'} \times \dfrac{1}{c} \\ t_0 = l \times \dfrac{1}{c} \end{cases}$$

従って、

$$\frac{t_1}{t_0} = \frac{n}{\cos\theta'} = \frac{3\times 1.50}{2\sqrt{2}} \approx 1.6$$

典型問題である。完答したい。

Ⅰ〜Ⅲ いずれも典型的な内容であり、難しさはない(し、「そういうことだったのか!」といったような学びがあるわけでもない)。正答率が70%なかった人は、もう一度苦手項目を見直そう。本問を復習に使うのなら、Ⅰ(エ)〜(キ), Ⅱ(ア)〜(カ), Ⅲ(エ)〜(カ)がおすすめです。