解答速報　物理

医学部受験専門予備校　慧修会

2022年度　日本医科大学

【 講 評 】

大問数が4題から3題に減った。処理量も多くなく、焦らず正確に計算できたかどうかが合否を分ける。7割以上確保したい。

$\boxed{\text{I}}$ は円運動と衝突の問題。前半は非常に基本的で、落とせない。後半の解法には様々なものが考えられるが、解答のように重心と相対運動エネルギーを考慮すると計算量が少なく済む。差がついた問題だろう。

$\boxed{\text{II}}$ はダイオードを含む回路の問題。ダイオードの電流電圧特性を考慮しさえすれば、普通の並列回路の問題と変わりなく処理できる。後半の計算は着目する変数を確実におさえ、混乱せずに計算したい。

$\boxed{\text{III}}$ は光の屈折の問題。非常に基本的であり、落とせない。

【 解 答 ・ 解 説 】

$\boxed{\text{I}}$

解答

ア	7.0	イ	88	ウ	38	エ	5.6
オ	0.94	カ	1.6	キ	0.94		

解説

(ア) 解説を通して、台車の質量を M、小球 P の質量を m、頂点 A から小球 P までの距離を r、重力加速度を g、はねかえり係数を e とおく。

エネルギー保存則より、点 B での小球 P の速度 v_{B} として、

$$\frac{1}{2}\,mv_{\mathrm{B}}^2 = mgr,$$

だから、$v_{\mathrm{B}} = \sqrt{2gr} = 7.0\ \mathrm{m/s}$ である。

(イ) 点 B での円運動の向心力は mv_{B}^2/r となることから、糸の張力 T として、

$$T - mg = \frac{mv_{\mathrm{B}}^2}{r},$$

である。これより、$T \fallingdotseq 88\ \mathrm{N}$ である。

(ウ) 衝突後の小球 P の速さは ev_{B} となる。よって、運動量の変化から力積を求めると、

$$emv_{\mathrm{B}} - (-mv_{\mathrm{B}}) = (1+e)mv_{\mathrm{B}} \fallingdotseq 38\ \mathrm{kg\cdot m/s}.$$

(エ) 系に水平方向の外力がないことから系の重心速度は零で一定である。よって、はじめにあった重力の位置エネルギーは、すべて系の相対運動エネルギーに変化する。小球 P が点 B にあるときの小球 P の台車に対する相対速度の大きさを v_r とすると、

$$mgr = \frac{1}{2}\frac{mM}{m+M}\,v_r^2,$$

となる。小球 P と台車の速度は相対速度を質量の逆比で分配すればよいので、求める小球の速さは、

$$\frac{M}{m+M}\,v_r = \sqrt{\frac{M}{m+M}\cdot 2gr} \fallingdotseq 5.6\ \mathrm{m/s}.$$

(オ) 系の重心の位置の水平成分は一定であり、小球 P は台車に対して r だけ水平方向に移動したので、求める台車の移動距離を x とすると、右向き正として

$$m(x-r) + Mx = 0,$$

となり、$x = (m/(m+M))r \fallingdotseq 0.94\ \mathrm{m}$ がわかる。

(カ) 衝突により相対速度が 0.8 倍になるので、全エネルギーは $(0.8)^2 = 0.64$ 倍になる。よって、高さの最大値は $0.64r \fallingdotseq 1.6\ \mathrm{m}$ となる。

(キ) 重心位置は変わらず、前々問と同じ状況となるはずなので、0.94 m である。

$\boxed{\text{II}}$

解答

ア	ホウ素・アルミニウムなど	イ	整流
ウ	CE	エ	$\frac{1}{2}CE^2$
オ	$\frac{\alpha}{1+\alpha}E+\frac{1}{1+\alpha}v$	カ	$\frac{E^2}{4R}$
キ	$\frac{\alpha}{2+\alpha}$		

解説

(ア) Si は IV 族元素であり、正孔がキャリアとなる p 型半導体では、ドープされた元素により価電子が減少する必要があるので、III 族元素などを注入すればよい。

(イ) ダイオードにより電流の向きが整えられることを整流作用という。

(ウ) ダイオードに電流は流れないので、十分時間が経ち電流が零となると電源の電圧がすべてコンデンサーに加わる。そのとき、電荷量は電気容量 C と電圧 E の積である。

(エ) コンデンサーに蓄えられているエネルギーは $CE^2/2$ である。

(オ) ダイオードに電流 $I(>0)$ が流れるとき、電流電圧特性のグラフより、$rI+v$ の電圧がダイオードにかかる。十分時間が経ったときは、コンデンサーに電流は流れずダイオードのみに電流が流れる。そのため、抵抗とダイオードに流れる電流は一致し、それを I とおくと、回路方程式は

$$RI+(rI+v)=E.$$

これより $I=(E-v)/(R+r)$ であり、これとダイオードにかかる電圧が $rI+v$ であることを考えると、求める電圧は

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

(カ) ダイオードが消費する電力 W はダイオードに加わる電圧とダイオードを流れる電流の積であるから、

$$W=\frac{E-v}{R+r}\cdot\left(\frac{r}{R+r}\,E+\frac{R}{R+r}\,v\right)=\frac{(E-v)(\alpha E+v)}{R(1+\alpha)^2}.$$

$v\to 0$ とすれば、

$$W\to\frac{1}{\alpha+2+1/\alpha}\frac{E^2}{R}, \tag{1}$$

であり、相加相乗平均の大小関係より、$\alpha=1$ で最大値 $E^2/4R$ をとる。

(キ) スイッチを切って十分時間が経つと、コンデンサーの電圧はダイオードに電流が流れる限界の電圧である v まで落ちる。そのため、オの電圧を V とすると、

$$|U_1-U_2|=\frac{CV^2}{2}-\frac{Cv^2}{2}=\frac{C}{2}(V-v)(V+v)=\frac{\alpha(2+\alpha)}{2(1+\alpha)^2}(E-v)\left(\frac{\alpha}{2+\alpha}\,E+v\right).$$

二次関数の性質により、v が E と $-(\alpha/(2+\alpha))E$ の平均であるときこれは最大値をとり、その値は $(CE^2/2)$ の $\alpha/(2+\alpha)$ 倍である。

III

解答

ア	$1/N$	イ	$>$	ウ	1.2
エ	$\sqrt{n_1^2 - n_2^2}$	オ	1.1	カ	1.6

解説

(1) 媒質中の光速は絶対屈折率に反比例する。

(2) 屈折の法則により、屈折率と入射・屈折角の正弦の積は一定であるから、入射・屈折角の大小関係と屈折率の大小関係は逆転する。

臨界角が 60° のとき、$N_1 \sin 60^\circ = N_2$ となることから、$N_1/N_2 = 2/\sqrt{3} \fallingdotseq 1.2$ である。

(3) 媒質 1 から媒質 2 への入射角を φ とすると、端面 A での屈折、および媒質間の光が全反射する条件について、それぞれ

$$\sin\theta = n_1 \sin(90^\circ - \varphi),$$
$$n_1 \sin\varphi > n_2,$$

と表せる。これらから φ を削除すると、$\sin\theta < \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$ がわかる。

$\sqrt{n_1^2 - n_2^2} > 1$ であるとき、常に前問の条件が満たされる。これと $n_1 = 1.50$ より、有効数字 2 桁で $n_2 < 1.1$ がわかる。

媒質 1 中の光路（屈折率と距離の積）は、AB 間の距離の

$$\frac{n_1}{\sin\varphi} = \frac{n_1}{\sqrt{1 - \sin^2\theta / n_1^2}},$$

倍となる。これと $\theta = 30^\circ$ より、求める時間の比は有効数字 2 桁で 1.6 となる。