解答速報

聖マリアンナ医科大学（後期）　物理

2024年 3月5日実施

【解答】

1

［1］① 7.0　② 4.2　③ 0.90

［2］④ 3.6×10^{10}　⑤ -3.0　⑥ 3.0×10^{9}

［3］⑦ $\frac{3}{5}$　⑧ 5×10^{14}　⑨ $\frac{5}{6}$

［4］⑩ プランク定数　⑪ $\mathrm{kg\cdot m^2/s}$　⑫ $\frac{h}{p}$

2

［1］$mg-T$

［2］$\frac{3}{8}mg\tan\theta$

［3］$\frac{8}{3}$

［4］$\frac{\sqrt{73}}{8}r$

［5］$\frac{mg}{\cos\Phi}$

［6］$mg\tan\Phi$

［7］$\frac{3}{8}+\tan\Phi$

$\boxed{3}$

［１］　① $I_{\mathrm{R}}+I_{\mathrm{L}}+I_{\mathrm{C}}$　② $\frac{V_0}{R}$　③ $-\frac{V_0}{\omega L}$　④ ωCV_0

⑤ $\sqrt{\frac{1}{R^2}+\left(\omega C-\frac{1}{\omega L}\right)^2}$　⑥ $\frac{\omega C-\frac{1}{\omega L}}{\frac{1}{R}}$　⑦ $\frac{1}{Y}$

［２］回路の平均消費電力を求めると，

$$\begin{aligned}\overline{P}&=\overline{VI}\\&=\overline{V_0\sin\omega t\times V_0Y\sin(\omega t+\phi)}\\&=V_0^2Y\frac{1}{2}\overline{\{\cos(\omega t-\omega t-\phi)-\cos(\omega t+\omega t+\phi)\}}\\&=V_0^2Y\frac{1}{2}\left\{\cos(-\phi)-\overline{\cos(2\omega t+\phi)}\right\}\\&=\frac{1}{2}V_0^2Y\cos\phi\quad\left(\because\overline{\cos(2\omega t+\phi)}=0\right)\\&=\frac{V_0}{\sqrt{2}}\frac{V_0Y}{\sqrt{2}}\cos\phi\\&=V_{\mathrm{e}}I_{\mathrm{e}}\cos\phi\end{aligned}$$

よって力率は $\cos\phi$，すなわち $\frac{\frac{1}{R}}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2+\left(\omega C-\frac{1}{\omega L}\right)^2}}=\frac{1}{RY}$

［３］［２］の $cos\Phi=\frac{1}{R\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2+\left(\omega C-\frac{1}{\omega L}\right)^2}}$ の分母を最小にすればよいので

$$\omega_0C-\frac{1}{\omega_0L}=0\qquad\therefore\omega_0=\frac{1}{\sqrt{LC}}$$

［４］　$\omega=\omega_0$ の時は共振回路となり抵抗を取り除いているので，電源には電流が流れない。したがって電源を流れる電流は 0。

$\boxed{4}$

［１］入射波：0.05ms　　反射波：0.75ms

［２］32　cm/ms

［３］11.2　cm

［４］　① 11.2　② 12.8　③ 1.6　あ　b　④ 0.25

⑤ 0.35　⑥ 0.30　⑦ 0.17

$\boxed{5}$

［１］$\frac{P_0V}{nR}$　［２］$\frac{P_0V}{nR}$　［３］$\frac{P_0}{2}$　［４］$\frac{n}{2}$　［５］$\frac{3}{4}P_0V$

［６］$\frac{9}{8}P_0V$　［７］$\frac{3}{4}P_0$　［８］$\frac{5}{4}P_0$　［９］$\frac{5}{8}P_0$　［10］$\frac{9}{8}P_0V$

［11］$\frac{V}{2}$

【講評】

1 小問集合

完答を目指したい。

2 剛体のつりあい

落ち着いて立式すれば完答できるが，［４］，［７］は時間がかかる。

3 交流回路 聖マリ直前講習が的中！

［２］を答えられた受験生は少ないと思われる。

4 ドップラー効果

［４］は（あ），④，⑤だけでも正答し，時間をかけ過ぎないようにしたい。

5 断熱容器内での気体の混合 聖マリ後期模試が的中！

分量は多いが，個々の設問は難しくない。この大問に時間をかけて得点を稼ぎたい。

【総評】

今年の前期日程や昨年の後期日程と比べて難化。時間のかかる設問や難易度の高い設問をうまく飛ばし，それ以外の設問でいかに得点を稼げたかが合否を分けるだろう。

正規合格ラインは，配点次第ではあるが，1 1 ミス，2 2 ミス，3 3 ミス，4 5 ミス，5 3 ミスの「合計 6 割台後半」，1 次通過ラインは「合計 5 割台後半」か。

1

〔1〕① エネルギー保存則より

$$v_0 = \sqrt{2gh} = 7.0 \text{ m/s}$$

に数値を代入する。

② 反発係数の定義より

$$v_1 = ev_0 = 0.60 \times 7 = 4.2 \text{ m/s}$$

③ ①のエネルギー保存則を用いて

$$e^2 h = (0.60)^2 \times 2.5 = 0.90 \text{ m}$$

〔2〕④ $\mathrm{F} = 9.0 \times 10^9 \times \frac{2.0 \times 8.0}{2.0^2} = 3.6 \times 10^{10}\ N$

⑤ 電荷保存則より

$$\frac{+2.0 + (-8.0)}{2} = -3.0 \text{ C}$$

⑥ $E = 9.0 \times 10^9 \times \frac{3.0}{3.0^2} = 3.0 \times 10^9 N/C$

〔3〕⑦ 屈折の法則より

$$\frac{8}{5} \cdot \sin 30^\circ = \frac{4}{3} \cdot \sin\theta$$

$$\therefore \sin\theta = \frac{3}{5}$$

⑧ 振動数は変化しない

⑨ 屈折の法則より

$$\frac{8}{5} \cdot \sin\theta = \frac{4}{3} \cdot \sin 90^\circ$$

$$\therefore \sin\theta = \frac{5}{6}$$

〔4〕⑩ プランク定数

⑪ $\mathrm{J \cdot s = kg \cdot m \cdot s^{-2} \cdot s = kg \cdot m \cdot s^{-1}}$

⑫ $\lambda = \frac{h}{p}$

$\boxed{2}$

〔１〕力のつり合いより、

$$N + T = mg \qquad よって、N = mg - T$$

〔２〕O 点まわりのモーメントのつり合いより、

$$T\cos\theta\cdot r = mg\sin\theta\cdot\frac{3}{8}r \qquad よって、T = \frac{3}{8}mg\tan\theta$$

〔３〕$\theta = \theta_0$のとき、$N = 0$なので、[１]と[２]より、Tを消去して、

$$N = mg\left(1 - \frac{3}{8}\tan\theta_0\right) = 0 \qquad よって、\tan\theta_0 = \frac{8}{3}$$

〔４〕前問より、

$$\tan\theta_0 = \frac{8}{3} \qquad なので、\sin\theta_0 = \frac{8}{\sqrt{73}} \quad 、\cos\theta_0 = \frac{3}{\sqrt{73}}$$

このことに注意して、点 O の高さを基準とすると点 G の高さH_Gは、

$$H_G = -\frac{3}{8}r\times\cos\theta_0 = -\frac{9}{8\sqrt{73}}r$$

同様にして、点 P の高さH_Pは、

$$H_P = r\times\sin\theta_0 = \frac{8}{\sqrt{73}}r$$

以上より、$h_P - h_G$は、

$$h_P - h_G = H_P - H_G = \frac{\sqrt{73}}{8}r$$

〔５〕鉛直方向の力のつり合いより、

$$T = \frac{mg}{\cos\varphi}$$

〔６〕水平方向の力のつり合いより、

$$N = T\sin\varphi = mg\tan\varphi$$

〔７〕O 点まわりのモーメントのつり合いより、

$$T\sin(\theta - \varphi)\cdot r = mg\cos\theta\cdot\frac{3}{8}r$$

これを加法定理で展開し、全体を$\cos\theta$で割ると、

$$\tan\theta - \tan\varphi = \frac{3}{8} \qquad よって、\tan\theta = \frac{3}{8} + \tan\varphi$$

$\boxed{3}$

〔1〕

① キルヒホッフの第一法則より

② $I_{\mathrm{R}} = \frac{V_0}{R}\sin\omega t$

③ $I_{\mathrm{L}} = -\frac{V_0}{\omega L}\cos\omega t$

④ $I_{\mathrm{C}} = \omega C V_0 \cos\omega t$

⑤ ①～④より

$$I = \frac{V_0}{R}\sin\omega t + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)V_0\cos\omega t = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2}\,V_0 \sin(\omega t + \varphi)$$

$$\therefore Y = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2}$$

⑥ ⑤より

$$\tan\varphi = \frac{\omega C - \frac{1}{\omega L}}{\frac{1}{R}}$$

⑦ インピーダンス

$$Z = \frac{V_0}{I_0} = \frac{V_0}{YV_0} = \frac{1}{Y}$$

$\boxed{4}$

〔1〕入射波：0.05ms　　反射波：0.75ms

〔2〕$v = \frac{1.6}{0.05} = 32$cm/ms

〔3〕求める距離xとすると

$$0.75 = \frac{1.60+2x}{v} \quad \therefore \quad x = 11.2\text{cm}$$

〔4〕① 反射波を観測しはじめる時刻は図 2 と同じ 0.75s なので 11.2cm

② 求める距離をx_1とすると、波の後端が受信機を通った時刻は$t = 0.3$s と$t = 1.1$s であるから，この間に波の後端が移動した距離は$2x_1$である。

よって，$2x_1 = (1.1 - 0.3)v \quad \therefore \quad x_1 = 12.8$cm

③ $12.8 - 11.2 = 1.6$cm

あ　b

④ $1.0 - 0.75 = 0.25$ms

⑤ $1.1 - 0.75 = 0.35$ms

⑥ このときの波の長さlは　$l = 0.25 \times v = 8$cm

よって，波が反射する間に波が移動する距離は$(l + 1.6)$cm であるから，求める

時間は$t = \frac{l+1.6}{v} = 0.30$ms

⑦ 反射板の速さをuと置くと　$u \times 0.30\text{ms} = 1.6$cm　　$\therefore$　$u = \frac{16}{3}$cm/ms

よって，$\frac{u}{V} = \frac{1}{6}$倍

$\boxed{5}$

[1]　求める温度をT_{A1}とすると，状態方程式より，$P_0V = nRT_{A1}$　$\therefore T_{A1} = \dfrac{P_0V}{nR}$

[2]　断熱自由膨張より，温度は変化せず$T_{A1} = \dfrac{P_0V}{nR}$のまま。

[3]　求める圧力をP_{A2}とする。状態 II についての状態方程式は，$P_{A2}\cdot 2V = nR\cdot\dfrac{P_0V}{nR}$

$$\therefore P_{A2} = \frac{P_0}{2}$$

[4]　熱平衡に達していることと，A，B の体積が等しいことから，A，B 内の物質量はそれぞれ$\dfrac{n}{2}$ずつ。

[5]　A 内の気体の温度をT_{A3}とおくと，A 内の気体の状態方程式は，$P_0V = \dfrac{n}{2}RT_{A3}$

$$\therefore T_{A3} = \frac{2P_0V}{nR}$$

定積変化より，$Q = \dfrac{3}{2}\dfrac{n}{2}R(T_{A3} - T_{A1}) = \dfrac{3}{2}\dfrac{n}{2}R\left(\dfrac{2P_0V}{nR} - \dfrac{P_0V}{nR}\right) = \dfrac{3}{4}P_0V$

[6]　断熱変化であり，系全体のする仕事も 0 であることから，A，B 内の内部エネルギーは保存する。

よって，求める温度をT_4とおくと，$\dfrac{3}{2}\dfrac{n}{2}RT_{A1} + \dfrac{3}{2}\dfrac{n}{2}RT_{A3} = \dfrac{3}{2}nRT_4$

$T_{A1} = \dfrac{P_0V}{nR}$，$T_{A3} = \dfrac{2P_0V}{nR}$を代入して，$T_4 = \dfrac{3P_0V}{2nR}$

よって，A 内の内部エネルギーは，$\dfrac{3}{2}\dfrac{n}{2}RT_4 = \dfrac{9}{8}P_0V$

[7]　A，B 全体についての状態方程式より，

$P_4\cdot 2V = nRT_4$，$T_4 = \dfrac{3P_0V}{2nR}$を代入して，$P_4 = \dfrac{3}{4}P_0$

[8]　A 内の圧力をP_5とすると，A 内の状態方程式は，$P_5V = \dfrac{n}{2}RT_5$

A 内の気体に関する熱力学第 1 法則より，$Q = \dfrac{3}{2}\dfrac{n}{2}R(T_5 - T_4)$

T_4，T_5，$Q = \dfrac{3}{4}P_0V$を代入して整理すると，$P_5 = \dfrac{5}{4}P_0$

[９] 断熱自由膨張より，温度は変化せず$T_5 = \dfrac{5P_0V}{2nR}$のままなので，

A，B 全体についての状態方程式は，$P_6 \cdot 2V = \dfrac{n}{2}R\dfrac{5P_0V}{2nR}$　$\therefore P_6 = \dfrac{5}{8}P_0$

[10] A，B 全体についての状態方程式は，$P_0 \cdot 2V = \dfrac{n}{2}RT_7$　$\therefore T_7 = \dfrac{4P_0V}{nR}$

熱力学第 1 法則より，$Q' = \dfrac{3}{2}\dfrac{n}{2}R(T_7 - T_5) = \dfrac{3}{2}\dfrac{n}{2}R\left(\dfrac{4P_0V}{nR} - \dfrac{5P_0V}{2nR}\right) = \dfrac{9}{8}P_0V$

[11] コック α を開けたときの圧力はP_0，モル数は$\dfrac{n}{2} + \dfrac{n}{20} = \dfrac{11n}{20}$，

全体の体積は $2V + \dfrac{V}{5} = \dfrac{11V}{5}$ より，状態方程式は，$P_0\dfrac{11V}{5} = \dfrac{11n}{20}RT'_7$

よって，$T'_7 = \dfrac{4P_0V}{nR}$

加熱後の圧力はピストンに関する力のつり合いより P_0 のままなので，状態方程式は

$$P_0V_8 = \frac{11n}{20}RT_8 \qquad \therefore T_8 = \frac{20P_0V_8}{11nR}$$

定圧変化より，$Q = \dfrac{5}{2}\dfrac{11n}{20}R(T_8 - T'_7)$　これに$T_8 = \dfrac{20P_0V_8}{11nR}$，$T'_7 = \dfrac{4P_0V}{nR}$，

$Q = \frac{3}{4}P_0V$を代入して整理すると，$V_8 = \frac{5}{2}V$

よって，シリンダーとピストンの間の体積は，$\frac{5}{2}V - 2V = \frac{V}{2}$