# 物　理

## 1 解答 問1．ウ　問2．エ　問3．エ　問4．ア　問5．ウ

### 解説

**《小問集合》**

**問1．** 小物体が斜面から受ける垂直抗力の大きさを $N$，静止摩擦力の大きさを $f$ とする。力のつり合いより

斜面方向：$f=mg\sin\theta$

斜面垂直方向：$N=mg\cos\theta$

小物体が斜面をすべらない条件より

$$f\leqq\mu N \iff mg\sin\theta\leqq\mu mg\cos\theta$$

$\therefore$ $\mu\geqq\tan\theta$

**問2．** 重力加速度の大きさを $g$ とすると，力のつり合いより

$$kd=mg$$

板が物体にした仕事 $W$ は，物体の力学的エネルギーの変化と等しいので

$$W=mgd-\frac{1}{2}kd^2$$
$$=\frac{1}{2}kd^2$$

**問3．** 抵抗値 $R$〔Ω〕の抵抗に電圧 $V$〔V〕を加えたときの消費電力 $P$〔W〕は

$$P=\frac{V^2}{R}$$

$$\therefore\ R=\frac{V^2}{P}=\frac{(1.0\times10^2)^2}{2.0\times10^2}=50\text{〔Ω〕}$$

この電熱線に$1.0\times10^2$Vの電圧を連続して1時間加えたときの電力量は

$$2.0\times10^2\text{W}\times1.0\text{h}=2.0\times10^{-1}〔\text{kWh}〕$$

**問4．** 状態1から状態2の間に気体がピストンにした仕事$W$は

$$W=1.0\times10^5\times2.0\times10^{-3}\times5.0\times10^{-2}=10〔\text{J}〕$$

熱力学第一法則より

$$Q=\Delta U+W$$

$$\therefore\quad \Delta U=Q-W$$

**問5．** 金属球の比熱を$c$〔J/(g・K)〕とする。熱量保存則より

$$125\times c\times(95-15)=(300\times4.2+240)\times(15-12)$$

$$\therefore\quad c=0.450〔\text{J/(g・K)}〕$$

## 2 解答 問1．ア 問2．オ 問3．オ 問4．イ 問5．ウ

### 解説

**《小球と箱の壁の連続衝突》**

**問1．** 小球がはじめて壁Bに衝突した直後の小球，箱の速度をそれぞれ$v_1$，$V_1$とする。運動量保存則より

$$mv_1+2mV_1=mv_0 \qquad \therefore\quad v_1+2V_1=v_0$$

反発係数の式より

$$v_1-V_1=-e(v_0-0)$$

この2式より

$$v_1=\frac{1-2e}{3}v_0,\quad V_1=\frac{1+e}{3}v_0$$

**問2．** 小球が壁Bに及ぼした力積の大きさ$I_1$は，運動量の変化と力積の関係より

$$I_1=2mV_1-2m\cdot0=\frac{2(1+e)}{3}mv_0$$

**問3．** 壁Bに衝突後の箱に対する小球の相対速度の大きさは$ev_0$である。よって，小球がはじめて壁Aに衝突するまでの時間$\Delta t$は

$$\Delta t=\frac{L}{v_0}+\frac{L}{ev_0}=\frac{(1+e)L}{ev_0}$$

**問4．** 小球がはじめて壁Aに衝突した直後の小球と箱の速度をそれぞれ

$v_2$, $V_2$ とする。運動量保存則より

$$mv_2+2mV_2=mv_0 \qquad \therefore \quad v_2+2V_2=v_0$$

反発係数の式より

$$v_2-V_2=-e(v_1-V_1)$$
$$=e^2v_0$$

この２式より

$$v_2=\frac{1+2e^2}{3}v_0,\quad V_2=\frac{1-e^2}{3}v_0$$

**問５．** 十分に時間が経過し，小球と箱が同じ速度 $v_\infty$ となったとき，運動量保存則より

$$mv_\infty+2mv_\infty=mv_0$$

$$\therefore \quad v_\infty=\frac{1}{3}v_0$$

## ３ 解答 問１．オ　問２．イ　問３．ア　問４．イ　問５．キ

### 解説

**《電磁場中における荷電粒子の運動》**

**問１．** ローレンツ力の大きさ $f$ は

$$f=|-e|v_0B=ev_0B$$

**問２．** 電子は半径 $d$ の円運動を行うので，中心方向の運動方程式より

$$m\frac{{v_0}^2}{d}=ev_0B$$

$$\therefore \quad d=\frac{mv_0}{eB}$$

**問３．** 導体板間に生じる電場の強さは $\dfrac{V}{L}$ なので，導体板間で電子にはたらく力のつり合いより

$$e\frac{V}{L}=ev_0B$$

$$\therefore \quad V=v_0BL$$

**問４．** 円運動の周期 $T_C$ は

$$T_C=\frac{2\pi d}{v_0}=\frac{2\pi\frac{mv_0}{eB}}{v_0}=\frac{2\pi m}{eB}$$

電子が再び点Oに到達するまでの時間 $T$ は

$$\begin{aligned}T&=T_C+\frac{d}{v_0}\times 2\\&=\frac{2\pi m}{eB}+\frac{2m}{eB}\\&=\frac{2m}{eB}(\pi+1)\end{aligned}$$

**問5．** 電子の速さを $v_0$ から $2v_0$ にしたとき，磁束密度の大きさを $B$ から $B'$ にすることで半径が $d$ に保たれたとすると

$$d=\frac{mv_0}{eB}=\frac{m(2v_0)}{eB'}\qquad \therefore\quad B'=2B$$

このとき，導体板 $D_1$，$D_2$ の電位を $V'$ とすると，導体板間における電子の力のつり合いより

$$e(2v_0)B'=e\frac{V'}{L}\iff 4ev_0B=e\frac{V'}{L}$$

$$\iff 4e\frac{V}{L}=e\frac{V'}{L}$$

$\therefore\quad V'=4V$

円運動の周期 $T_C$ は電子の速さによらず一定であるが，導体板間を通過する時間は電子の速さが $2v_0$ となることで短くなる。よって，再び点Oに到達するまでの時間は $T$ より短くなる。

## 4 解答　**問1．** ア　**問2．** イ　**問3．** イ　**問4．** オ　**問5．** イ

### 解説

**《ドップラー効果》**

**問1．** 音源からみた観測者側に伝わる音波の速さは $V-v$ なので，波の式より

$$V-v=f_0\lambda_1\qquad \therefore\quad \lambda_1=\frac{V-v}{f_0}$$

**問2．** 観測者が観測する直接音の振動数を $f_1$ とすると，波の式より

$$V=f_1\lambda_1 \qquad \therefore \quad f_1=\frac{V}{\lambda_1}$$

**問３．** 問１，問２の結果より

$$f_1=\frac{V}{V-v}f_0$$

音源から板に届く音の振動数を $f_2$ とすると，ドップラー効果の式より

$$f_2=\frac{V}{V+v}f_0$$

この振動数 $f_2$ の音波が反射されて観測者に届くので，観測者が観測するうなりの振動数 $n$ は

$$\begin{aligned} n&=|f_1-f_2| \\ &=\left|\frac{V}{V-v}f_0-\frac{V}{V+v}f_0\right| \\ &=\frac{2Vvf_0}{V^2-v^2} \end{aligned}$$

**問４．** 板で観測される音波の振動数を $f_2'$ とすると，波長は $\lambda_2$，板からみた音速は $V-v$ なので，波の式より

$$V-v=f_2'\lambda_2$$

板は振動数 $f_2'$ の音波を波長 $\lambda_2'$ として左向きに反射する。このときの板からみた音速は $V+v$ なので，波の速さの式より

$$V+v=f_2'\lambda_2'$$

この２式より

$$\frac{V+v}{V-v}=\frac{f_2'\lambda_2'}{f_2'\lambda_2} \qquad \therefore \quad \frac{\lambda_2'}{\lambda_2}=\frac{V+v}{V-v}$$

**問５．** 板からの反射音は波長 $\lambda_2'$ の波として観測者に振動数 $f_3$ として届くとすると，波の式より

$$V=f_3\lambda_2'$$

$$\begin{aligned} \therefore \quad f_3&=\frac{V}{\lambda_2'} \\ &=\frac{V(V-v)}{V+v}\cdot\frac{1}{\lambda_2} \\ &=\frac{V(V-v)}{(V+v)^2}f_0 \end{aligned}$$