解答速報 物理

医学部受験専門予備校 慧修会

2021 年度　順天堂大学

【 講 評 】

全体的に標準的な問題であり、計算はもちろん、定性的な議論に小慣れているかどうかで処理時間に差がつく問題だったと言える。

Ⅰ 第 1 問 は小問集合。どれも基本的な問題であり、ここは落とせない。

Ⅰ 第 2 問 は慣性系と単振動。誘導に従えば問題なく解けるため、得点しておきたい。

Ⅰ 第 3 問 交流回路。交流回路に慣れており、きちんと理解していれば問題なく解けるであろう。

Ⅱ は気体分子運動論。ピストンが等速で動く問題は頻出である。力学の知識、特に 2 体問題についての知識がきちんと身についていれば計算を省略することができる問題であった。

【 解 答 ・ 解 説 】

Ⅰ

第 1 問

解答

1	⑥	2	③	3	⑦	4	①
5	④	6	⑤	7	①	8	②

解説

問 1

(a) 物体が滑り出さない条件は

$$F \leqq \frac{2}{3} \times 15 \times 9.8 = 98\ \mathrm{N} \tag{1}$$

である。傾き始めたときに接地している点のまわりのモーメントを考えると、傾き始める条件は

$$Fh - 15 \times 9.8 \times 0.2 > 0 \Leftrightarrow F > \frac{15 \times 9.8 \times 0.2}{0.49} = 60\ \mathrm{N} \tag{2}$$

ゆえに、物体が滑らないで傾き始めるのは F が 60 N を超えたとき。

(b) 物体が滑り出さないで傾き始める条件は 2 式 (1) および (2) のどちらも満たす F が存在するとき、すなわち

$$\frac{15 \times 9.8 \times 0.2}{h} \leqq 98 \Leftrightarrow h \leqq 0.3\ \mathrm{m} = 30\ \mathrm{cm}$$

第１問

解説

問２ 物体の質量を m、第２宇宙速度を v とすると、エネルギー保存則より

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{GMm}{R} = 0 \Leftrightarrow v = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

である。

問３

(a) ピストンが静止した位置を $L + \Delta L$ とする。等圧変化では $\dfrac{V}{T}$ が一定であり、温度が $\dfrac{3}{2}$ 倍になったことから、$\Delta L = \dfrac{1}{2}L$ である。ゆえに、シリンダー内の気体が外部にした仕事は $\dfrac{1}{2}pSL$ である。

(b) 等圧変化だから、ヒーターがシリンダー内の気体に与えた熱量は $\dfrac{5}{2}pS \cdot \dfrac{L}{2} = \dfrac{5}{4}pSL$ である。

問４

点 Q で反射して伝わる波は点 S の x 軸に関して対称な点 $\mathrm{S}'(0, -a)$ から伝わった波とみなせる。水面波の壁での反射は自由端反射だから、反射した波の位相は同位相である。よって、２つの波が弱め合う条件は

$$\sqrt{x^2 + (y+a)^2} - \sqrt{x^2 + (y-a)^2} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

となる。

問５

一般に観測者の向きに音源を動かすと振動数は大きくなる。このときおんさ B の振動数が f と一致することから、おんさ B の振動数は $f - n$ であることがわかる。おんさを観測者に近づけている間のおんさ B の振動数が f と一致することから

$$\frac{V}{V-u}(f-n) = f \Leftrightarrow u = \frac{n}{f}V$$

問６

原点から距離 l の位置にある導体棒中の単位電荷は O から P 向きに大きさ $l\omega B$ のローレンツ力を受ける。この単位電荷に働くローレンツ力と電場から受ける力はつりあうから、この位置における電場は P から O 向きで大きさ $l\omega B$ である。よって、O に対する P の電位は $\dfrac{1}{2}Br^2\omega$ である。

第 2 問

解答

1	①	2	②	3	⑥	4	⑦
5	⑤	6	②	7	③		

解説

問 1

運動方程式は $MA = N\sin\theta - kX$ となる。

問 2

台と共に運動する観測者から見ると小球には X 軸負の方向に mA の慣性力が働いている。したがって、

$$ma = (-m\sin\theta) \times g + (-m\cos\theta) \times A$$

問 3

斜面鉛直方向の力のつりあいより

$$0 = N + mA\sin\theta - mg\cos\theta \Leftrightarrow N = mg\cos\theta - mA\sin\theta$$

問 4

式 (3) を式 (1) に代入すると

$$MA = (mg\cos\theta - mA\sin\theta)\sin\theta - kX \Leftrightarrow (M + m\sin^2\theta)A = -k\left(X - \frac{mg\sin\theta\cos\theta}{k}\right)$$

したがって、角振動数 ω と振動中心はそれぞれ

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{M + m\sin^2\theta}}, \quad C = \frac{mg\sin\theta\cos\theta}{k}$$

問 5

式 (2) は $a = -g\sin\theta - A\cos\theta$ だから、微小時間の変化は

$$\frac{1}{\Delta t}(\Delta v + \Delta V\cos\theta) = -g\sin\theta$$

とかける。$t = 0$ で $v = v_0, V = 0$ であり、時刻 t で $V = \omega C\sin\omega t$ であることから

$$v + V\cos\theta = -gt\sin\theta + v_0 \Leftrightarrow v = v_0 - gt\sin\theta + \omega C\cos\theta\sin\omega t$$

第 3 問

解答

1　③　　2　⑥　　3　⑤　　4　②

5　①　　6　⑦

解説

問 1

$I_1 = C\dfrac{\Delta V}{\Delta t} \Leftrightarrow \dfrac{\Delta V}{\Delta t} = \dfrac{1}{C}I_1$ である。また、$V = L\dfrac{\Delta I_2}{\Delta t}$

問 2

コンデンサーの容量リアクタンスは $\dfrac{1}{\omega C}$ であり、コイルの誘導リアクタンスは ωL である。また、コンデンサーでは電流の位相は電圧の位相より $\dfrac{\pi}{2}$ だけ早くなり、コイルでは $\dfrac{\pi}{2}$ だけ遅くなるから

$$I = \frac{V_0}{R}\cos\omega t + \frac{V_0}{\dfrac{1}{\omega C}}\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) + \frac{V_0}{\omega L}\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = \frac{V_0}{R}\cos\omega t - V_0\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)\sin\omega t$$

問 3

それぞれに蓄えられるエネルギーの和は

$$\frac{1}{2}CV^2 + \frac{1}{2}LI_2^2 = \frac{1}{2}CV_0^2\cos^2\omega t + \frac{1}{2}L\left(\frac{V_0}{\omega L}\sin\omega t\right)^2 = \frac{CV_0^2}{2}\cos^2\omega t + \frac{V_0^2}{2\omega^2 L}\sin^2\omega t$$

問 4

コンデンサーとコイルそれぞれに流れる電流を I_C, I_L とし、電圧を V とする。このとき、

$$I_Q = \frac{dQ}{dt} = \omega Q_0\cos\omega t$$
$$V = L\frac{dI_L}{dt} = \frac{Q_0}{C}\sin\omega t$$
$$I_L = -\frac{Q_0}{\omega CL}\cos\omega t$$

だから、

$$I = I_Q + I_L = Q_0\left(\omega - \frac{1}{\omega CL}\right)\cos\omega t$$

問 5

$\dfrac{1}{2}RI^2$ より消費電力の時間平均は $\dfrac{Q_0^2 R}{2C^2}\left(\omega C - \dfrac{1}{\omega L}\right)^2$

問 6

時刻 t における電源電圧は

$$RI + V = \frac{Q_0}{C}\left\{\sin\omega t + R\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)\cos\omega t\right\}$$

Ⅱ

解答

問 1　$(1+e)u+ev$

問 2　$\dfrac{N(v+u)}{2L}\Delta t$

問 3　$\dfrac{m(1+e)N(v+u)^2}{2L}u\Delta t$

問 4　$\dfrac{m(1+e)(v+u)^2N}{2V}$

問 5　0

問 6　(a) $\dfrac{mv^2(1+e)N}{2L}$　(b) $\dfrac{1+e}{2K-(j-1)}$

解説

問 1

衝突後の分子の速さを v' とすると、$v'-u=e(v+u)$ より $v'=(1+e)u+ev$

問 2

負の向きに運動しているのは $\dfrac{N}{2}$ 個であり、このうち、Δt の間にピストンと衝突するのは $x=0$ から $x=(v+u)\Delta t$ の間の領域に含まれるものだから、$\dfrac{N}{2}\cdot\dfrac{(v+u)\Delta t}{L}=\dfrac{(v+u)N}{2L}$

問 3

ピストンを押す力の大きさを F として、Δt の間に壁が受ける力積の大きさは

$$F\Delta t=m\left\{(1+e)u+ev+v\right\}\cdot\frac{(v+u)N}{2L}\Delta t=\frac{m(1+e)(v+u)^2N}{2L}\Delta t$$

Δt の間にピストンは $u\Delta t$ 動くから、外からピストンを押す力がする仕事は

$$\Delta W=Fu\Delta t=\frac{m(1+e)(v+u)^2N}{2L}\cdot u\Delta t$$

問 4

断面積を A とすると、$\Delta W=P\Delta V=PAu\Delta t$ より

$$P=\frac{\Delta W}{Au\Delta t}=\frac{m(1+e)(v+u)^2N}{2LA}=\frac{m(1+e)(v+u)^2N}{2V}$$

問 5

完全弾性衝突ではエネルギーは保存するので 0 である。

問 6

(a) $v'=v$ より $\Delta E=0$ であるから、$\dfrac{\Delta R_1}{u\Delta t}=\dfrac{\Delta W}{u\Delta t}=\dfrac{mv^2(1+e)N}{2L}$

(b) $E=\dfrac{1}{2}mv^2N$ と $\Delta R_j=\dfrac{mv^2(1+e)N}{2\left\{L-(j-1)u\Delta t\right\}}u\Delta t=E\cdot\dfrac{(1+e)\cdot\dfrac{L}{2K}}{L-(j-1)\cdot\dfrac{L}{2K}}$ となる。したがって、$C_j=\dfrac{1+e}{2K-(j-1)}$