2020年度　東北大学前期試験　物理解答・解説

【解答】

1

問(1)

(a) 力学的エネルギー保存則により

$$\frac{1}{2}m{v_0}^2 = mgh \qquad \therefore \quad v_0 = \sqrt{2gh}$$

(b) 衝突直後、弾性衝突なので、斜面に平行な成分、垂直な成分とも速さは変化しないから、

$$v_x = v_0 cos30° = \frac{\sqrt{3}}{2}v_0$$

$$v_y = v_0 sin30° = \frac{1}{2}v_0$$

(c) 水平方向には等速度運動、鉛直方向には鉛直投げ上げ運動なので、

$$x = \frac{\sqrt{3}}{2}v_0 t \qquad \cdots①$$

$$y = \frac{1}{2}v_0 t - \frac{1}{2}gt^2 \qquad \cdots②$$

①　②よりtを消去して、

$$y = \frac{x}{\sqrt{3}} - \frac{2g}{3{v_0}^2}x^2 \qquad \cdots③$$

(d) $B(L, -Ltan30°)$を③は通るので、(a)の結果と合わせて代入すると、

$$-\frac{L}{\sqrt{3}} = \frac{L}{\sqrt{3}} - \frac{2g}{3 \cdot 2gh}L^2 \qquad \therefore L = 2\sqrt{3}h$$

問(2)

(a) 運動量原理により、

$$m{v_x}' = Psin30° \qquad \therefore \quad {v_x}' = \frac{P}{2m}$$

$$m{v_y}' - (-mv_0) = Pcos30° \qquad \therefore \quad {v_y}' = \frac{\sqrt{3}P}{2m} - v_0$$

(b) 作用反作用の法則により、

$P_1 = P$

台について、上向き正として運動量原理により、

配点予想

1

合計　50 点

問(1)	(a)	3 点
	(b)	3 点×2
	(c)	4 点
	(d)	5 点
問(2)	(a)	4 点×2
	(b)	4 点×2
	(c)	4 点
	(d)	6 点
	(e)	6 点

$$0-0=P_2-P\cos 30° \quad \therefore\ P_2=\frac{\sqrt{3}}{2}P$$

(c) 運動量原理により、

$$MV=-P\sin 30° \quad \therefore\ V=-\frac{P}{2M}$$

(d) (a)の結果を使い、力学的エネルギー保存則により、

$$\frac{1}{2}m{v_0}^2=\frac{1}{2}MV^2+\frac{1}{2}m\left({v_x}'^2+{v_y}'^2\right)$$

$$\frac{1}{2}m{v_0}^2=\frac{1}{2}M\left(\frac{V}{2M}\right)^2+\frac{1}{2}m\left\{\left(\frac{P}{2m}\right)^2+\left(\frac{\sqrt{3}P}{2m}-v_0\right)^2\right\} \qquad \therefore\ P=\frac{4\sqrt{3}Mmv_0}{4M+m}$$

(e) $M=5m$より、

$$P=\frac{4\sqrt{3}Mmv_0}{4M+m}=\frac{4\sqrt{3}\cdot 5m\cdot mv_0}{4\cdot 5m+m}=\frac{20\sqrt{3}}{21}mv_0$$

$${v_x}'=\frac{P}{2m}=\frac{10\sqrt{3}}{21}v_0\ ,\ \ {v_y}'=\frac{\sqrt{3}P}{2m}-v_0=\frac{3}{7}v_0,\ \ V=-\frac{P}{2M}=-\frac{2\sqrt{3}}{21}v_0$$

$$\therefore\quad \tan\alpha=\frac{{v_y}'}{{v_x}'-V}=\frac{\frac{3}{7}v_0}{\frac{10\sqrt{3}}{21}v_0-\left(-\frac{2\sqrt{3}}{21}v_0\right)}=\frac{\sqrt{3}}{4}$$

2

問(1)

(a)　z 方向のつり合いより

$$eE - kv_0 = 0 \qquad \therefore\ v_0 = \frac{eE}{k}$$

(b)　$N = (\text{体積}) \times (\text{個数密度}) = abv_0 t \cdot n = abnv_0 t$

(c)　$I = (\text{体積}) \times (\text{個数密度}) \times (\text{電荷}) = v_0 abne$

(d) ①　mr　②　$\frac{r}{m}$　③　L　④　ab

(e) オームの法則により

$$r' = \frac{V}{I} = \frac{EL}{v_0 abne} = \rho \frac{L}{ab} \qquad \therefore\ \rho = \frac{k}{ne^2}$$

配点予想

2

合計点 50 点

問(1)	(a)	3 点
	(b)	4 点
	(c)	3 点
	(d)	2 点×4
	(e)	4 点
問(2)	(a)	5 点×2
	(b)	4 点×2
	(c)	4 点
	(d)	6 点

問(2)

(a) ホールに働く力の合力を

$\vec{F} = \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{pmatrix}$, 静電気力$\overrightarrow{f_1}$，ローレンツ力 $\overrightarrow{f_2}$，抵抗力$\overrightarrow{f_3}$とすると、

$$\vec{F} = \overrightarrow{f_1} + \overrightarrow{f_2} + \overrightarrow{f_3} = \begin{pmatrix} 0 \\ -eE' \\ eE \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -kv_y \\ -kv_z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ eBv_z \\ -eBv_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ -eE' - kv_y + eBv_z \\ eE - kv_z - eBv_y \end{pmatrix}$$

$$F_y = -eE' - kv_y + eBv_z$$
$$F_z = eE - kv_z - eBv_y$$

(b) $F_y = F_z = 0,\ v_y = 0,\ v_z = v_1, E' = E"$ を(a)の結果にあてはめると、

$F_y = -eE" + eBv_1 = 0$　…①

$F_z = eE - kv_1 = 0$　…②

①②より　$E" = \frac{eB}{k}E,\ v_1 = \frac{eE}{k}$

(c) y方向の電位差と、z方向の電位差を加えて

$$V = E"Y - Ez = \frac{eEBY}{k} - Ez$$

(d)

$V_2 = V_1 - Ec$　…③

$V_3 = -Ec - V_1$ …④　（Bを$-B$に置き換えた）

③④より

$$V_1 = \frac{V_2 - V_3}{2}$$

3

問(1)

(a)　ピストンのつりあいより

$$P_1S - P_0S - \rho Shg = 0$$

$$P_1 = P_0 + \rho hg$$

(b)　状態方程式より

$$P_1Sh = nRT_1$$

$$T_1 = \frac{P_1Sh}{nR}$$

(c)　$P_1 \cdot S2h = nRT_1$

$$T_2 = 2 \cdot \frac{P_1Sh}{nR} = 2T_1$$

(d)　定圧変化なので、体積変化 ΔV として

$$W_1 = P_1\Delta V = P_1Sh$$

(e)　定積モル比熱を Cv、内部エネルギーの変化を ΔU とすると
熱力学第 1 法則により

$$\Delta U = Q_1 - W_1$$

$$\begin{aligned} Q_1 &= \Delta U + W_1 \\ &= nCv\Delta T + P_1Sh \\ &= \frac{3}{2}nR(T_2 - T_1) + P_1Sh \\ &= \frac{3}{2}nRT_1 + P_1Sh \\ &= \frac{3}{2} \cdot P_1Sh + P_1Sh \\ &= \frac{5}{2}P_1Sh \end{aligned}$$

問(2)

(a)　水深を H とすると、水の体積を考えて

$$SH + S(H - x) = Sh$$

$$H = \frac{x+h}{2}$$

ピストンのつりあいから、上向き正として

$$PxS - P_0S - \rho SHg = 0$$

$$\therefore Px = P_0 + \frac{\rho(x+h)}{2}g$$

予想配点

3

合計 50 点

問(1)	(a)	4 点
	(b)	4 点
	(c)	5 点
	(d)	5 点
	(e)	6 点
問(2)	(a)	7 点
	(b)	5 点
	(c)	7 点
	(d)	7 点

(b)　気体の体積Vとすると

$$V = S \cdot 2h - Sx$$
$$Sx = 2hS - V$$
$$x = 2h - \frac{V}{S}$$
$$\therefore P_x = P_0 + \frac{\rho g}{2}\left(2h - \frac{V}{S} + h\right)$$
$$= P_0 + \frac{\rho g}{2}\left(3h - \frac{V}{S}\right)$$
$$= -\frac{\rho g}{2S}V + P_0 + \frac{3}{2}\rho g h$$

4→1は右下がりの直線→（い）

(c)　$P_4 = P_0 + \frac{1}{2}\rho g h$ より

PVグラフの面積を考えて

$$W_4 = \frac{1}{2}(P_1 + P_4)Sh = \left(P_0 + \frac{3}{4}\rho g h\right)Sh$$

(d)　熱力学第1法則より $\Delta U = 0$ だから

1サイクルで気体が外部にする仕事をWとして

$$0 = Q_c - W$$
$$Q_c = W$$
$$= \frac{1}{2}(P_1 - P_4)(2Sh - Sh)$$
$$= \frac{1}{2}\left\{(P_0 + \rho g h) - \left(P_0 + \frac{1}{2}\rho g h\right)\right\} \cdot Sh$$
$$= \frac{1}{4}\rho S h^2 g$$

解説

1　衝突は単振動とともに、力学の再頻出のジャンルである。しかも、受験生にはおなじみの二体問題であり、普通に入試用の問題集を仕上げていれば、必ず何度かやっているはずだ。この手の問題を初見という受験生は論外である。誘導もかなり丁寧で、運動量原理を使うことも指示されている。これは完答を狙う問題であろう。これに手が出なかった受験生は自分が果たして納得のいく準備が出来ていたのか自分を顧みていただきたい。

2　半導体を扱った問題。難問ではないが、電場と磁場が 3 方向からかけられていて、ケアレスミスしやすい設定だ。普通にやっても問題ないが、ベクトルとして一括して扱うと、処理しやすく、ミスを減らせると思う。問(2)の(d)が新傾向の問題で、意味が分かりずらい人もいたと思うが、それ以外のところはやはり完答を目指したい問題だ。

3　非常に素直な問題で、この手の問題は、状態方程式＋ピストンのつりあいを考えていけば必ず解ける。その際、この問題のように、図が与えられなくても常に PV グラフを描いて考える習慣をつければ、見通しよく問題を解けるはずだ。完答したい。

講評

ここ何年か物理の問題は易化傾向で、今年もその傾向は続いた。5 年以上前の入試問題を解いことのある受験生はそのギャップを感じると思う。この傾向が来年も続くとは限らないので、受験生は最低限入試レベルの問題集を 1 冊は消化しておきたい。あるいは基礎ができている受験生は、同じレベルの大学の入試問題を片っ端から解くのも効果的だと思う。十分な準備で本番にのぞみたい。