解答速報 物理

医学部受験専門予備校 慧修会

2022年度　日本大学（N方式Ⅱ期）

【 講 評 】

全体としてやや簡単な問題ばかりで、計算も軽いため前期と同じく高得点争いになったであろう。

I は摩擦のある平面上の単振動の問題。

II は熱力学の基本的な問題。計算も軽いため落とせない。

III は波動に関する基本的な問題。満点をとりたい。

IV は平行金属板の電場に関する基本的な問題。誰しも一度は解いたことのある問題設定であるが、(4) 以降で差がついた。

V は X 線回析の基本的な問題。落とせない。

【 解 答 ・ 解 説 】

I

解答

$\boxed{1}$ ①　　$\boxed{2}$ ④　　$\boxed{3}$ ⑥　　$\boxed{4}$ ④　　$\boxed{5}$ ②

解説

(1) 加速度を A とすると、運動方程式は $mA = -kx$ であるから、角振動数は $\omega = \sqrt{\dfrac{k}{m}}$.

したがって、$T = \dfrac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$.

(2) $t = 0$ で $x = -a$ より、$x = -a\cos\omega t = -a\cos\dfrac{2\pi}{T}t$.

(3) 加速度を A' とすると、運動方程式は $mA' = -kx - \mu' mg = -k\left(x + \dfrac{\mu' mg}{k}\right)$. ゆえに、振動中心は $-\dfrac{\mu' mg}{k}$.

したがって、$\dfrac{x_1 + (-a)}{2} = -\dfrac{\mu' mg}{k}$ より $x_1 = a - \dfrac{2\mu' mg}{k}$.

[別解]

摩擦力による仕事を考えて、エネルギー保存則より

$$\frac{1}{2}ka^2 - \mu' mg(x_1 + a) = \frac{1}{2}k{x_1}^2$$

を解くことにより、同様の解を得る。

(4) 振幅は $a - \dfrac{\mu' mg}{k}$ より、速さの最大値 v_M は $v_M = A\omega = \left(a - \dfrac{\mu' mg}{k}\right)\sqrt{\dfrac{k}{m}}$.

(5) $x = -a$ で小物体が動き出す条件は $\mu mg < ka$ より $\dfrac{\mu mg}{k} < a$.

$x = x_1$ で小物体が静止する条件は静止摩擦力を f とすると、$-kx_1 + f = -ka + 2\mu' mg + f = 0$ かつ

$f \leqq \mu mg$. すなわち、$ka - 2\mu' mg \leqq \mu mg$ であるから、$a \leqq \dfrac{(\mu + 2\mu')mg}{k}$.

したがって、$\dfrac{\mu mg}{k} < a \leqq \dfrac{(\mu + 2\mu')mg}{k}$.

II

解答

$\boxed{6}$ ④　$\boxed{7}$ ⑥　$\boxed{8}$ ①　$\boxed{9}$ ⑤　$\boxed{10}$ ⑤

解説

(1) 融解熱を q とすると、$100q = 100 \times 80 \times 4.2$ より $q = 336\,\mathrm{J/g}$.

(2) ヒーターの消費電力は $600\,\mathrm{W}$ であるから、ヒーターから発生した熱量は $600 \times 50 = 30000\,\mathrm{J}$.

(3) 容器の熱容量を C とすると、$30 \times (200 \times 4.2 + C) = 30000$ より $C = 160\,\mathrm{J/K}$.

(4) 金属球の比熱を c とすると、$50 \times 500 \times c = 10 \times (160 + 840) = 10000$. したがって、$c = 0.40\,\mathrm{J/(g \cdot K)}$.

(5) 実際は外部に、$0.02 \times 50 \times 500 = 500\,\mathrm{J}$ の熱が放出されている。

III

解答

$\boxed{11}$ ⑤　$\boxed{12}$ ④　$\boxed{13}$ ③　$\boxed{14}$ ①　$\boxed{15}$ ⑤

解説

(1) $\lambda = vT$ である。

(2) 点 P での時刻 t における波 I の媒質の変位は、原点 O での時刻 $t - \dfrac{x}{v}$ における媒質の変位である。したがって、

$y_1 = A\sin\dfrac{2\pi}{T}\left(t - \dfrac{x}{v}\right).$

(3) 原点 O から、壁で反射して点 P に達するまでの距離は $2L - x$. したがって、$t_2 = \dfrac{2L - x}{v}$.

(4) 壁で自由端反射をするため、点 P での時刻 t における波 II の媒質の変位 y_2 は $y_2 = A\sin\dfrac{2\pi}{T}\left(t - \dfrac{2L - x}{v}\right)$.

したがって、変位の和は

$$A\sin\frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{x}{v}\right) + A\sin\frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{2L - x}{v}\right) = 2A\sin\frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{L}{v}\right)\cos\frac{2\pi}{T}\cdot\frac{L - x}{v}$$

変位の項は t が含まれていない部分であるから、$2A\left|\cos\dfrac{2\pi}{vT}(-x + L)\right|$.

(5) $vT = \dfrac{2}{5}L$ より定常波の振幅は $2A\left|\cos\dfrac{5\pi}{L}(-x + L)\right|$ となる。よって、腹となるのは、n を整数として

$\dfrac{5\pi}{L}(-x + L) = \dfrac{2n}{2}\pi$ のとき。すなわち、$x = \dfrac{5 - n}{5}L$ のとき。$0 \leqq x \leqq L$ より $0 \leqq n \leqq 5$.

したがって、定常波の腹の個数は 6 個である。

[別解]

壁での反射は自由端反射であるので、腹となる。

$\lambda = \dfrac{2}{5}L$ より腹と腹の感覚は $\dfrac{1}{5}L$ であるから、$0 \leqq x \leqq L$ には腹が 6 個であると数えられる。

IV

解答

$\boxed{16}$ ④　$\boxed{17}$ ②　$\boxed{18}$ ⑤　$\boxed{19}$ ②　$\boxed{20}$ ⑥

解説

(1) ガウスの法則より $E_0S = \dfrac{Q_0}{\varepsilon_0}$. したがって、$E_0 = \dfrac{Q_0}{\varepsilon_0 S}$.

(2) $0 < x < 3d$ では $-2E_0$、$3d < x < 6d$ では $2E_0$、$6d < x < 9d$ では $-2E_0$ である。

(3) 金属板 A と金属板 D の電位差は $2E_0 \cdot 3d - 2E_0 \cdot 3d + 2E_0 \cdot 3d = 6E_0 d$.
したがって、電流の大きさは $I = \dfrac{6E_0 d}{R}$.

(4) 金属板 A の電荷量を Q_A とおくと、金属板 B の上面の電荷量は $-Q_A$ とおくことができる。
同様にして B の下面は Q_B、金属板 C の上面は $-Q_B$、下面は Q_C、金属板 D は $-Q_C$ とおくことができる。
電荷保存則より、

$$\begin{aligned} -Q_A + Q_B &= -4Q_0 \\ -Q_B + Q_C &= \ \ 4Q_0. \end{aligned}$$

また、各コンデンサーの電気容量を C 遠くと、キルヒホッフ第二法則より

$$\frac{Q_A}{C} + \frac{Q_B}{C} + \frac{Q_C}{C} = 0.$$

これらを連立することにより、$Q_A = \dfrac{4}{3}Q_0$ を得る。
[別解]
金属板 A の電荷量を kQ_0 とおくと、金属板 A と金属板 D の電荷量の和は保存するから、金属板 D の電荷量は $-kQ_0$ である。
電場は、$0 < x < 3d$ では $-kE_0$、$3d < x < 6d$ では $(4-k)E_0$、$6d < x < 9d$ では $-kE_0$ である。
金属板 A と金属板 D は等電位であるから、

$$2 \cdot kE_0 \cdot 3d - (4-k)E_0 \cdot 3d = 0.$$

すなわち、$k = \dfrac{4}{3}$ である。
よって、金属板 A の電荷量は $\dfrac{4}{3}Q_0$.

(5) 金属板 B の位置を x とする。金属板 A と金属板 D の電位差は 0 であるから、
$2E_0 \cdot 3d - 2E_0 \cdot (x - 3d) + 2E_0 \cdot (9d - x) = 0$. したがって、$x = \dfrac{15}{2}d$.

V

解答

$\boxed{21}$ ④　$\boxed{22}$ ②　$\boxed{23}$ ⑤　$\boxed{24}$ ②　$\boxed{25}$ ④

解説

(1) エネルギー保存則より $\frac{1}{2}mv^2 = eV$ より $v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$.

(2) $\lambda = \frac{h}{mv}$ より $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV}}$.

(3) $eV = \frac{hc}{\lambda_0}$ より $\lambda_0 = \frac{hc}{eV}$.

(4) 経路差は $2d\sin\theta$ より $2d\sin\theta = n\lambda_1$.

(5) $n = 3$ の時、$\theta = 30.0°$. したがって、$2d\sin 30.0° = d = 3 \times 7.1 \times 10^{-11} = 2.13 \times 10^{-10} \fallingdotseq 2.1 \times 10^{-10}$