解答速報 物理

医学部受験専門予備校 慧修会

2021年度　日本医科大学

【 講 評 】

総じて典型的な問題であり、昨年と同じく標準的と言える。

[I] は単振動の単純な問題であり、計算ミスをせずに素早く処理したい。

[II] は電磁場の下での荷電粒子の運動だが、基本となるのは等速円運動と等加速度運動のみの簡単な問題であった。落ち着いて状況を把握して得点したい問題である。

[III] は熱気球をモデルにした熱力学の問題。はじめに $\dfrac{R}{M}$ が定数であることに気づくことができれば、あとは比の単純な計算問題である。計算ミスに気をつけながら確実に得点したい。

[IV] は回折についての問題。最後の問題で $\dfrac{3L\lambda}{D}$ と間違えないように注意。公式を闇雲に暗記するのでなく、考え方を理解しておきたい。

【 解 答 ・ 解 説 】

[I]

解答

$\boxed{\text{ア}}$ 0.1　　$\boxed{\text{イ}}$ 0.6　　$\boxed{\text{ウ}}$ 0　　$\boxed{\text{エ}}$ 0.2　　$\boxed{\text{オ}}$ -0.4

解説

力の釣り合いより、$x = \dfrac{m+M}{k}g = 0.1\text{m}$ である。周期は $2\pi\sqrt{\dfrac{m+M}{k}} = 2\times 3.14\times 0.1 = 0.628\text{s}$ である。単振動の振動中心は 0.1m であり、ばねの長さが自然長のとき物体 M は板から離れる。すなわち、$x = 0\text{m}$ のときに離れ、振幅が 0.1m 以上であることから、x_0 の最小値は 0.2m である。

力学的エネルギー保存則より $x = 0\text{m}$ における物体 M の速度 v[m/s] は

$$\frac{1}{2}\times 100\times (0.30)^2 = \frac{1}{2}\times 100\times (0.10)^2 + \frac{1}{2}\times 1.0\times v^2 \Leftrightarrow v^2 = 8$$

であるから、最高点の位置は

$$x = \frac{0-8}{2\times 10} = -0.40\text{m}$$

[Ⅱ]

解答

$\boxed{\text{ア}}$ $\dfrac{\pi m}{qB}$　$\boxed{\text{イ}}$ $\dfrac{2mv}{qB}$　$\boxed{\text{ウ}}$ $\dfrac{2mv}{qE}$　$\boxed{\text{エ}}$ $\dfrac{E}{B}$　$\boxed{\text{オ}}$ $\dfrac{E}{vB}$

解説

$y>0$ では円運動をしており、この円の半径 r は運動方程式より

$$m\frac{v^2}{r}=qvB \Leftrightarrow r=\frac{mv}{qB}$$

粒子が再び x 軸に到達するまでの時間は周期の $\dfrac{1}{2}$ である。ゆえに、

$$\pi\frac{r}{v}=\frac{\pi m}{qB}$$

である。また、この間に x 軸の方向に進んだ距離は半径の 2 倍だから

$$\frac{2mv}{qB}$$

である。$y<0$ なる空間に入るとき、粒子の速度は y 軸負の方向に v の大きさである。ゆえに、x 軸に戻るとき、粒子の速度は y 軸正の方向に v の大きさであるから、最短の時間は t

$$v=\frac{qE}{m}t-v \Leftrightarrow t=\frac{2mv}{qE}$$

したがって、x 軸方向の平均の速さは

$$\frac{\dfrac{2mv}{qB}}{\dfrac{\pi m}{qB}+\dfrac{2mv}{qE}}=\frac{\dfrac{E}{B}}{1+\dfrac{\pi E}{2Bv}}\to\frac{E}{B}\quad(v\to\infty)$$

x 軸に戻る最短の時間は v を $v\sin\theta$ と置き換えて $\dfrac{2mv\sin\theta}{qE}$ である。このとき、x 軸負の方向に $\dfrac{2mv^2\sin\theta\cos\theta}{qE}$ 進むから、これが x 軸が切り取る線分の長さとなればよい。この弦の長さは

$$2r\sin\theta=\frac{2mv\sin\theta}{qB}$$

より

$$\frac{2mv^2\sin\theta\cos\theta}{qE}=\frac{2mv\sin\theta}{qB}\Leftrightarrow\cos\theta=\frac{E}{vB}$$

である。

[Ⅲ]

解答

$\boxed{ア}$ $\dfrac{P}{dT}\times 10^{-3}$　$\boxed{イ}$ 2.40×10^{2}　$\boxed{ウ}$ 3.14×10^{2}　$\boxed{エ}$ 9.00×10^{-1}　$\boxed{オ}$ 8.25

解説

$nM = dV\times 10^3$ より

$$\frac{R}{M}=\frac{\dfrac{PV}{nT}}{\dfrac{dV}{n}\times 10^3}=\frac{P}{dT}\times 10^{-3}$$

である。大気の組成は常に一定だから、左辺は定数だから右辺も定数である。圧力が一定であるから、気球内部の空気の温度が $\dfrac{319}{290}=1.1$ 倍になるとき、密度は $\dfrac{10}{11}$ 倍になる。ゆえに、減少する空気の質量は

$$\left(1-\frac{10}{11}\right)\times 1.200\times 2200 = 2.40\times 10^2\mathrm{kg}$$

である。

気球が浮くためには浮力が重力よりも大きくならなければならない。このときの密度を d' とすると、

$$1.200\times 2200 \geqq d'\times 2200+200 \Leftrightarrow d' \leqq \frac{61}{55}$$

したがって、密度の比は

$$\frac{d'}{d}\leq\frac{61}{55}\times\frac{5}{6}=\frac{61}{66}$$

よりも小さくなければならない。このとき、温度は少なくとも $\dfrac{66}{61}$ 倍以上にならなければならず、

$$290.0\times\frac{66}{61}=313.7\ldots$$

したがって、温度は最低 $3.14\times 10^2\mathrm{K}$ まであげなければならない。

このとき、気体の密度は浮力と重力が釣り合うとき、求める密度 d'' は

$$2200\times d''=2200\times\frac{61}{66}d''+150 \Leftrightarrow d''=\frac{150}{2200}\times\frac{66}{5}=0.900\mathrm{kg/m^3}$$

となり、大気の温度は高度によらず一定であるから、圧力は地表の $0.9\times\dfrac{5}{6}=0.75$ 倍になる。したがって、

$$1.100\times 10^5\times 0.75 = 8.25\times 10^4\mathrm{Pa}$$

である。

[Ⅳ]

解答

$\boxed{\text{ア}}\ \dfrac{L\lambda}{d}$　$\boxed{\text{イ}}\ \dfrac{L\alpha}{n}$　$\boxed{\text{ウ}}\ \dfrac{\pi D\sin\theta}{\lambda}$　$\boxed{\text{エ}}\ \dfrac{L\lambda}{D}$　$\boxed{\text{オ}}\ \dfrac{2L\lambda}{D}$

解説

問 1 格子定数 d の回折格子の明線の条件は回折角を θ、m を整数として、$d\sin\theta = m\lambda$ である。

θ が十分小さいとき、$\sin\theta \fallingdotseq \tan\theta = \dfrac{x}{L}$ だから、$x = \dfrac{mL\lambda}{d}$ である。ゆえに、明点の間隔は $\dfrac{L\lambda}{d}$ である。

スネルの法則より $\sin\alpha = n\sin\beta$ が成り立ち、α, β が十分小さいとき、$\beta = \dfrac{\alpha}{n}$ となる。したがって、中心点 O は

$$L\tan\beta = \frac{L\alpha}{n}$$

だけずれる。

問 2 位相差は

$$\frac{2\pi}{\lambda}\cdot\frac{D}{2}\sin\theta = \frac{\pi D\sin\theta}{\lambda}$$

である。光が打ち消し合うのは

$$\frac{\pi D\sin\theta}{\lambda} = \pi \Leftrightarrow \sin\theta = \frac{\lambda}{D}$$

のとき。このとき、O から最初の暗点までの距離は

$$L\tan\theta \fallingdotseq \frac{L\lambda}{D}$$

である。次に打ち消し合うのは A,B を 2 等分したときのそれぞれの領域が打ち消し合う場合だから、$D \mapsto \dfrac{D}{2}$ として

$$\frac{2L\lambda}{D}$$

のときである。