解答速報 物理

医学部受験専門予備校 慧修会

2021年度　慶應義塾大学

【 講 評 】

全体的に標準的な難易度であった。

Ⅰは小問集合であり、難しい問題もないためここは落とせない。

Ⅱは力学的波動と力学の問題。問1から問5までは必ず得点したい。問6では波の独立性と重ね合わせの原理が粒子のどのような性質に対応するか考えれば解答できる。問7は問5から三角形にどのような力が働くかわかるため、あとは近似と適切な物理量をおけば解答することができる。

Ⅲは磁場中の荷電粒子の運動の問題。標準的な難易度の問題であった。問1と問2では qB の符号に注意しなければならない。問6は量子力学における不確定性原理を元にした問題である。受験生にとってこの問題を正しく解答することは困難であると思われる。

【 解 答 ・ 解 説 】

I

解答

問 1 赤色　　問 2 (a) $\dfrac{M}{r}$　(b) $\dfrac{L}{4h}F$　　問 3 (a) $\dfrac{\mu' F\nu t}{2Ch\Delta r}$　(b) 35 s

解説

問 1

この光の空気中での波長は屈折の法則より、$1.33 \times 520 = 691.6$ nm である。したがって、赤色に見える。

問 2

(a) 中心軸のまわりのモーメントは $M = Tr$ だから $T = \dfrac{M}{r}$ である。

(b) $F = 2T\sin\theta \fallingdotseq 2T\tan\theta \fallingdotseq 2T\dfrac{2h}{L}$ である。したがって、$T = \dfrac{L}{4h}F$ である。

問 3

(a) 円筒の体積は $\pi\left\{(r+\Delta r)^2 - r^2\right\}h \fallingdotseq 2\pi rh\Delta r$ であり、摩擦により失われた力学的エネルギーは $2\pi r\mu' F\nu t$ だから、上昇温度は $T = \dfrac{2\pi r\mu' F\nu t}{2\cdot 2\pi rh\Delta r\cdot C} = \dfrac{\mu' F\nu t}{2Ch\Delta r}$ である。

(b) $C = 0.45 \times 8.0 \times 10^6 = 3.6 \times 10^6$ である。したがって、

$$t = \frac{2Ch\Delta rT}{\mu' F\nu} = \frac{2 \times 3.6 \times 10^6 \times 8.0 \times 10^{-3} \times 2.0 \times 10^{-3} \times 1.5 \times 10^3}{0.50 \times 10^3 \times 10} = 34.56$$

したがって、35 s である。

Ⅱ

解答

問 1　(a) 開管：$\dfrac{nV_A}{2L}$　閉管：$\dfrac{(2n-1)V_A}{4L}$　(b) 重ね合わせの原理、波の独立性

問 2　音の高さ、音の大きさ、音色　問 3　(a) $-mV$　(b) $-m(V-v)$　問 4　$\dfrac{nmV^2W+kx_s}{nmv^2+k}$

問 5　$\dfrac{W}{2}\left\{-\dfrac{k}{nmV^2}+\sqrt{\left(\dfrac{k}{nmV^2}\right)^2+4\left(\dfrac{kx_s}{nmV^2W}+1\right)}\right\}$

問 6　粒子同士の相互作用はないから独立性は成立する。また、進行ビームと反射ビームの重なりの粒子数密度はそれぞれのビームの粒子数密度の和だから重ね合わせの原理も成立する。

問 7　$Ma=-k(x-x_s)+nmV(V-v)(W-x)\left(1+\dfrac{x-\dfrac{2L}{V}v}{W}\right)$

解説

問 1

開管での n 倍振動の波長は $L=\dfrac{n\lambda}{2}$ より $f=\dfrac{V_A}{\lambda}=\dfrac{nV_A}{2L}$ である。閉管での $2n-1$ 倍振動の波長は $L=\dfrac{2n-1}{4}\lambda$ より $f=\dfrac{(2n-1)V_A}{4L}$ である。

問 2

音は疎密波であり、音の 3 要素はそれぞれ波の周波数、振幅、波形に対応する。

問 3

(a) 運動量変化は $-mV$ であるから、粒子が受ける力積の x 成分は $-mV$ である。

(b) 三角形とともに動く観測系から見ると運動量変化は $mv-mV=-m(V-v)$ である。

問 4

単位時間あたりに $nV(W-x_1)$ 個の粒子が三角形と衝突する。力の釣り合いより

$$k(x_1-x_s)=nmV^2(W-x_1)\Leftrightarrow x_1=\frac{nmV^2W+kx_s}{nmV^2+k}$$

問 5

辺 BC と衝突する粒子の個数は $nV(W-x_2)$ 個であり、辺 AB と衝突する粒子の個数は $nV\dfrac{x_2}{W}(W-x_2)$ 個である。したがって、力の釣り合いの式は

$$k(x_2-x_s)=nmV^2(W-x_2)\left(1+\frac{x_2}{W}\right)$$

となる。$x_2>0$ より

$$x_2=\frac{W}{2}\left\{-\frac{k}{nmV^2}+\sqrt{\left(\frac{k}{nmV^2}\right)^2+4\left(\frac{kx_s}{nmV^2W}+1\right)}\right\}$$

問 6 略

Ⅱ

解説

問 7

三角形の質量を M、ある時刻 t における三角形の位置を x、速度を v、加速度を a とする。このとき、辺 BC で衝突する粒子の個数は $nV(W-x)$ 個である。また、辺 AB で衝突する粒子は $nV\dfrac{x-\dfrac{2L}{V}v}{W}(W-x)$ 個である。ただし、$\dfrac{2L}{V}$ は十分短いので、この間 v は一定とみなした。このとき、三角形の運動方程式は

$$Ma=-k(x-x_s)+nmV(V-v)(W-x)\left(1+\frac{x-\dfrac{2L}{V}v}{W}\right)$$

となる。

Ⅲ

解答

問 1　$r=\dfrac{mv}{|qB|}$, $\omega=\dfrac{|qB|}{m}$

問 2

$$x=r\sin\theta,\ y=\begin{cases}y_0-r(1-\cos\theta) & (qB>0\text{ のとき})\\ y_0+r(1-\cos\theta) & (qB<0\text{ のとき})\end{cases}$$

問 3　負　問 4　$\boxed{ア}$ $-\tan\theta_0$　$\boxed{イ}$ $y_0+r\left(\dfrac{1}{\cos\theta_0}-1\right)$　問 5　$\boxed{ウ}$ $\dfrac{2mv}{qd(2x_F-d)}$　$\boxed{エ}$ 0

問 6　量子状態の非決定性により、運動量と位置の両方が確定した状態は一般的にありえないから。

解説

問 1

円運動の運動方程式より $r=\dfrac{mv}{|qB|}$ である。また、$\omega=\dfrac{v}{r}=\dfrac{|qB|}{m}$ である。

問 2

$qB>0$ のとき、円の中心は $(0,y_0-r)$ だから円のパラメータ表示より $x=r\sin\theta, y-(y_0-r)=r\cos\theta$ となる。

$qB<0$ のとき、円の中心は $(0,y_0+r)$ だから円のパラメータ表示より $x=r\sin\theta, y-(y_0+r)=-r\cos\theta$ となる。

問 3

問 2 より $y<y_0$ となるのは $qB>0$ のときであり、$q<0$ より $B<0$ である。

問 4

傾きが $-\tan\theta_0$ で点 $(r\sin\theta_0, y_0-r(1-\cos\theta_0))$ を通るから、

$$y=-\tan\theta_0(x-r\sin\theta_0)+y_0-r(1-\cos\theta_0)=(-\tan\theta_0)x+y_0+r\left(\frac{1}{\cos\theta_0}-1\right)$$

問 5

$d=r\sin\theta_0\fallingdotseq r\theta_0$ だから $\theta_0\fallingdotseq\dfrac{d}{r}$ である。問 4 より

$$r=\frac{x_F\tan\theta_0-y_0}{\dfrac{1}{\cos\theta_0}-1}\fallingdotseq\frac{x_F\theta_0-y_0}{\dfrac{1}{2}\theta_0^2}\fallingdotseq\frac{2r(dx_F-ry_0)}{d^2}\Leftrightarrow r=\frac{mv}{qB}=\frac{d(2x_F-d)}{2y_0}$$

したがって、

$$B=\frac{2mv}{qd(2x_F-d)}y_0$$

III

解説

問 6

量子力学によれば、任意の状態に対して、運動量のゆらぎと位置のゆらぎの積には下限 $\frac{\hbar}{2}$ が存在する。（Robertson-Kennard の不等式による量子状態の非決定性。）よって、速度が十分確定された状態に対しては位置のゆらぎが大きくなり、このゆらぎは質量が小さいほど大きくなる。これにより、粒子の軌道を完全に決定することはできない。

補足

混同されやすい概念としてハイゼンベルグの不確定性原理がある。これは測定値の標準偏差についての不確定性関係を示しており、量子状態が本質的に持つゆらぎとは全く異なる概念である。また、この不確定性関係は測定条件に依存するため、本問に適用するのは厳密には適当でない。