東京慈恵会医科大学　物理

2024年 2月18日実施

【解答】

1

問１　$J = m(xv_y - yv_x) = m(r\cos\alpha \cdot v\sin\beta - r\sin\alpha \cdot v\cos\beta)$

$= mrv(\sin\beta\cos\alpha - \cos\beta\sin\alpha) = mrv\sin(\beta - \alpha)$

ここで $\frac{1}{2}rv\sin(\beta-\alpha)$ は $\vec{r}$ ，$\vec{v}$ で作られる面積速度であるので

$$\frac{1}{2}rv\sin(\beta-\alpha) = S$$

とおくと

$$J = 2mS$$

と表せ，これによって面積速度 S が一定であれば，角運動量 J も一定であることが言える。

$0 \leqq \beta - \alpha \leqq \pi$ のとき $J \geqq 0$ で，A は O の周りを反時計回りに回る。また，$\pi \leqq \beta - \alpha \leqq 2\pi$ のとき $J \leqq 0$ で，A は O の周りを時計回りに回っていることがわかる。

問２　$\frac{\Delta J}{\Delta t} = xF_y - yF_x$　　条件：$xF_y = yF_x$ であり，つまり $\vec{r}$ と $\vec{F}$ が平行。

問３　$mR^2\omega$

問４　$\frac{J^2}{2mR^2}$

問５　ア　$\frac{\hbar\omega}{2\pi}$　　イ　ω　　ウ　$\frac{\hbar}{2\pi}$

2

Ⅰ　問１　コイルを動かしたとき，コイル中の電子が磁場から受けるローレンツ力の単位電荷あたりの仕事が起電力であるので，起電力の大きさはコイルの（磁場に垂直な方向の）速さと磁場に依存するものの，導線の材質にはよらない。

問２　永久磁石を動かしたとき，コイルの場所における磁場は時間的に変化し，そこには誘導電場由来の起電力が生じている。ファラデーの法則より，その起電力の大きさは磁場の時間変化率に依存するものの，導線の材質にはよらない。

Ⅱ　問１　$F_x = qv_yB$　　$F_y = qE - qv_xB$

問２　$\frac{E}{B}$

問３　$-\frac{qB}{m}$

問４　$x = Vt - \frac{V}{\omega}\sin\omega t$　　$y = -\frac{V}{\omega}(1-\cos\omega t)$　　$v_x = V(1-\cos\omega t)$　　$v_y = -V\sin\omega t$

Ⅲ　電磁場のある空間で観測者が運動するとあらたに電磁場が生じる。

Ⅳ　真空中のコイルに起電力が生じているとき，ファラデーの法則から，コイルを辺縁とする 2 つの交わらない曲面を同じ向きに貫く磁束の時間変化は等しい。したがって，2 つの曲面からなる閉曲面について，閉曲面を外向きに貫く磁束の時間変化はゼロあり，閉曲面の内部から湧き出す磁束密度は時間によらず一定であるといえる。題意より，閉曲面は任意に取れ，時間的に変化させても構わないので，閉曲面を動かしていったときに，閉曲面のなかに物体を含めても含めなくても閉曲面の内部から湧き出す磁束密度は変わらない。以上より，真空中に置かれた物体から湧き出す磁束密度はゼロであり，物体の総磁気量はゼロであるといえる。

【講評】

１．角運動量保存則

誘導が丁寧であるため完答することは困難でないものの，大きく失点した受験生は少なくないだろう。面積速度一定の法則（角運動量保存則）について理論的な学習をした経験があると有利であろう。

２．荷電粒子のドリフト運動とローレンツ変換

荷電粒子のドリフト運動は難関大学の典型問題であるので，受験物理の習熟度が高い受験生は対応できたであろう。一方で，ローレンツ変換に関する問については，日常学習における科学的関心がそのまま得点として反映されるのではないか。

【総評】

昨年に比べてやや易化。正規合格ラインは配点次第であるものの，大まかには１.７割，２.６割の「合計 65%」，一次合格ラインは「合計 55%」程度か。

【解説】

I

問2. $\dfrac{\Delta J}{\Delta t}=\dfrac{m\left\{\left(x+v_x\Delta t\right)\left(v_y+\dfrac{F_y}{m}\Delta t\right)-\left(y+v_y\Delta t\right)\left(v_y+\dfrac{F_x}{m}\Delta t\right)\right\}-m\left(xv_y-yv_x\right)}{\Delta t}$

$=xF_y-yF_x$ （ここで Δt の項は無視した）

$=\vec{r}$ と $\vec{F}$ がなす平行四辺形の面積

J が保存されるためには，J の時間的変化がゼロであればよく，そのためには $\vec{r}$ と $\vec{F}$ がなす平行四辺形の面積がゼロ，つまり $\vec{r}$ と $\vec{F}$ が平行または反平行であればよい，

問 3. $J=m\left(xv_y-yv_x\right)=m\times\left(\vec{r}\text{ と }\vec{v}\text{ がなす平行四辺形の面積}\right)=m\times R\times R\omega=mR\omega^2$

問 4. $K=\dfrac{m}{2}\left(R\omega\right)^2=\dfrac{J^2}{2mR^2}$

問 5. $\boxed{\text{ア}}$ $E=h\nu=h\dfrac{\omega}{2\pi}$

$\boxed{\text{イ}}$ $\dfrac{dK}{dJ}=\dfrac{d}{dJ}\left(\dfrac{J^2}{2mR^2}\right)=\dfrac{J}{mR^2}\ \Leftrightarrow\ \Delta K=\dfrac{J}{mR^2}\Delta J=\omega\Delta J$

$\boxed{\text{ウ}}$ 光子 1 個が放出されるときのエネルギー減少量について，$E=\Delta K\ \Leftrightarrow\ h\dfrac{\omega}{2\pi}=\omega\Delta J\ \Leftrightarrow\ \Delta J=\dfrac{h}{2\pi}$

II

問 1　v_x，v_yそれぞれについてのローレンツ力を考えて，$F_x = qv_yB$，$F_y = qE - qv_xB$

問 2　$qE = qVB$　となることから，$V = \dfrac{E}{B}$

問 3　観測者 S から見た小球 A の相対速度の大きさをv_rとすると，観測者 S から見た小球 A の

運動方程式は，$m\dfrac{{v_r}^2}{R} = qv_rB$　　　$\therefore R = \dfrac{mv_r}{qB}$

回転方向は時計回りなので，$\omega < 0$ であることに注意すると，$v_r = R|\omega|$ より，

$\omega = -\dfrac{v_r}{R} = -v_r\dfrac{qB}{mv_r} = -\dfrac{qB}{m}$

問 4　小球 A を観測者 S から見ると，x軸負方向に大きさVの初速度で動き出すように見える。

また，題意より，観測者 S から見ると，小球には電場からの力は働かず，相対速度についての

ローレンツ力のみが働くように見えるので，反時計回りに角速度$|\omega|$で等速円運動する。

また，静止系から見た運動は，等速円運動に，観測者の等速直線運動を合成したものである

ことと，$V = R|\omega| = -R\omega$より，$R = -\dfrac{V}{\omega}$であることに注意すると，

$x = Vt - R\sin|\omega|t = Vt - \dfrac{V}{\omega}\sin\omega t$，$y = R - R\cos|\omega|t = R(1 - \cos\omega t) = -\dfrac{V}{\omega}(1 - \cos\omega t)$

$v_x = V - V\cos|\omega|t = V(1 - \cos\omega t)$，$v_y = V\sin|\omega|t = -V\sin\omega t$

本解答速報の内容に関するお問合せは
医学部専門予備校 YMS heart of medicine
☎ 03-3370-0410 https://yms.ne.jp/
東京都渋谷区代々木1-37-14
医学部進学予備校 メビオ 0120-146-156 https://www.mebio.co.jp/
医学部専門予備校 英進館メビオ 福岡校 0120-192-215 https://www.mebio-eishinkan.com/
メルマガ登録または LINE 友だち追加で全科目を閲覧
メルマガ登録
LINE 登録