医学部進学予備校 メビオ × 医学部専門予備校 YMS × 医学部専門予備校 英進館メビオ 福岡校

解答速報

藤田医科大学（後期）　物理

2024年3月3日実施

第1問

問１　$\tan\theta_c = \dfrac{1}{\mu}$

問２　$g(\cos\theta_1 - \mu'\sin\theta_1)$

問３　$-m_A g t_0 (\cos\theta_1 - \mu'\sin\theta_1)$

問４　$\dfrac{m_A + m_B}{m_B} g t_0 (\cos\theta_1 - \mu'\sin\theta_1)$

問５　物体Ａの速さ：$g(t-t_0)(\cos\theta_1 - \mu'\sin\theta_1)$

物体Ｂの速さ：$g\left(\dfrac{m_A}{m_B}t_0 + t\right)(\cos\theta_1 - \mu'\sin\theta_1)$

問６　$\dfrac{m_A(m_A+m_B)}{2m_B}\{g t_0(\cos\theta_1 - \mu'\sin\theta_1)\}^2$

問７　$t_0 \times \dfrac{\cos\theta_1 - \mu'\sin\theta_1}{\cos\theta_2 - \mu'\sin\theta_2}$

解説

問１　θ が鉛直方向からの角度であることに注意する．摩擦角の考え方より，$\boldsymbol{\tan\theta_c = \dfrac{1}{\mu}}$

問２　求める加速度の大きさを α とすると, 物体Ｐについての運動方程式は $m\alpha = mg\cos\theta_1 - \mu' mg\sin\theta_1$　　$\therefore\ \alpha = \boldsymbol{g(\cos\theta_1 - \mu'\sin\theta_1)}$

問３　時刻 t_0 における物体Ｐの速度 $v_0 = \alpha t_0 = g t_0(\cos\theta_1 - \mu'\sin\theta_1)$．爆発直前の物体Ａの運動量は $m_A v_0$．爆発の直後に物体Ａの運動量は０になるので，爆発から受けた力積 I_A は,

$$I_A = 0 - m_A v_0 = \boldsymbol{-m_A g t_0(\cos\theta_1 - \mu'\sin\theta_1)}$$

問４　求める速さを v_B とする．爆発の直前，直後についての運動量保存則 $(m_A + m_B)v_0 = 0 + m_B v_B$ より,

$$v_B = \frac{m_A + m_B}{m_B} v_0 = \boldsymbol{\frac{m_A + m_B}{m_B} g t_0(\cos\theta_1 - \mu'\sin\theta_1)}$$

問５　時刻 $t = t_0$ 以降，物体Ａ，Ｂともに加速度の大きさ α の等加速度直線運動をするので,

物体Ａの速さ：　$0 + \alpha(t - t_0) = \boldsymbol{g(t-t_0)(\cos\theta_1 - \mu'\sin\theta_1)}$

物体Ｂの速さ：　$v_B + \alpha(t - t_0) = \boldsymbol{g\left(\dfrac{m_A}{m_B}t_0 + t\right)(\cos\theta_1 - \mu'\sin\theta_1)}$

問６　物体ＡとＢが受けた仕事の和が運動エネルギーの和の変化に等しいので、求める仕事 W は,

$$W = 0 + \frac{1}{2}m_B {v_B}^2 - \frac{1}{2}(m_A + m_B){v_0}^2 = \boldsymbol{\frac{m_A(m_A+m_B)}{2m_B}\{g t_0(\cos\theta_1 - \mu'\sin\theta_1)\}^2}$$

【補足】次のように考えることもできる．

物体ＡとＢからなる系の重心の速度は，爆発の直前，直後ともに v_0 である．重心から見ると爆発直前の運動エネルギーの和は０である．一方，物体Ａ，Ｂそれぞれの爆発直後の重心から見た場合の運動エネルギーを ${K_A}'$，${K_B}'$ とすると，${K_A}' : {K_B}' = m_B : m_A$ である．以上より，物体ＡとＢが受けた仕事の和は ${K_A}' + {K_B}'$ に等しい．求める仕事 W は,

$$W = {K_A}' + {K_B}' - 0 = {K_A}' + \frac{m_A}{m_B}{K_A}' = \left(1 + \frac{m_A}{m_B}\right) \times \frac{1}{2}m_A {v_0}^2 = \boldsymbol{\frac{m_A(m_A+m_B)}{2m_B}\{g t_0(\cos\theta_1 - \mu'\sin\theta_1)\}^2}$$

問７　求める時刻を t_2 とする．角度を θ_2 とすると，物体Ｐの加速度の大きさ $\beta = g(\cos\theta_2 - \mu'\sin\theta_2)$．時刻 t_2 直前の物体Ｐの速度が v_0 であればよいので,

$$v_0 = \beta t_2 \qquad \therefore\ t_2 = t_0 \times \frac{\alpha}{\beta} = \boldsymbol{t_0 \times \frac{\cos\theta_1 - \mu'\sin\theta_1}{\cos\theta_2 - \mu'\sin\theta_2}}$$

＜次頁につづく＞

第2問

問1 $\dfrac{n_1 \sin\theta_1}{n_2}$

問2 $\dfrac{n_1}{n_3}$

問3 （ア）$\sqrt{2}$　（イ）$\sqrt{\left(\dfrac{n_{\mathrm{G}}}{n_{\mathrm{A}}}\right)^2 - 1}$　（ウ）1

問4 空気からガラス板に入射するときの屈折角を θ，ガラス板から空気に入射するときに全反射が起こらずガラス板から出射する成分があるときの屈折角を θ_{out} とすると，$n_{\mathrm{A}}\sin\theta_{\mathrm{in}} = n_{\mathrm{G}}\sin\theta$，$n_{\mathrm{G}}\sin\theta = n_{\mathrm{A}}\sin\theta_{\mathrm{out}}$ より常に $\theta_{\mathrm{in}} = \theta_{\mathrm{out}}$ となるため，全反射が起きないことがわかる．このため，ガラス板から空気に入射するごとに空気に出射する成分があり，減衰を繰り返すためガラス板の中を進み続けることはできない．

$\boxed{\text{解説}}$

問1　屈折の法則より，

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

が成り立つので，$\sin\theta_2 = \boldsymbol{\dfrac{n_1 \sin\theta_1}{n_2}}$

問2　屈折の法則より，

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

$$n_2 \sin\theta_2 = n_3 \sin\theta_3$$

が成り立ち，θ_3 が上限となるのは $\theta_1 = \dfrac{\pi}{2}$ としたときなので，$\sin\theta_3 = \boldsymbol{\dfrac{n_1}{n_3}}$

問3　ガラス板に入射するときの屈折角を θ とおく．問の現象（全反射）が起こるとき，屈折の法則より

$$n_{\mathrm{A}}\sin\theta_{\mathrm{in}} = n_{\mathrm{G}}\sin\theta$$

$$n_{\mathrm{G}}\sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) \geqq n_{\mathrm{A}}$$

が成り立つ．θ を消去すると，$n_{\mathrm{G}} > n_{\mathrm{A}}$ に注意して，

$$\sin^2\theta_{\mathrm{in}} \leqq \left(\frac{n_{\mathrm{G}}}{n_{\mathrm{A}}}\right)^2 - 1$$

となる．よって，

(i)　$n_{\mathrm{G}} < \boldsymbol{\sqrt{2}} \times n_{\mathrm{A}}$ のとき，$\left(\dfrac{n_{\mathrm{G}}}{n_{\mathrm{A}}}\right)^2 - 1 < 1$ となることより $0 \leqq \sin\theta_{\mathrm{in}} \leqq \boldsymbol{\sqrt{\left(\dfrac{n_{\mathrm{G}}}{n_{\mathrm{A}}}\right)^2 - 1}}$

(ii)　$n_{\mathrm{G}} \geqq \sqrt{2} \times n_{\mathrm{A}}$ のとき，$\left(\dfrac{n_{\mathrm{G}}}{n_{\mathrm{A}}}\right)^2 - 1 \geqq 1$ となることと，$\theta_{\mathrm{in}} < \dfrac{\pi}{2}$ より $0 \leqq \sin\theta_{\mathrm{in}} < \boldsymbol{1}$

＜次頁につづく＞

第3問

問 1　AB：大きさ $\dfrac{\mu_0 I}{2\pi x_0}$，向き (f)　　CD：大きさ $\dfrac{\mu_0 I}{2\pi(x_0+L)}$，向き (f)

問 2　$\Phi_{\mathrm{AB}} = \dfrac{\mu_0 ILv\Delta t}{2\pi x_0}$，　$\Phi_{\mathrm{CD}} = \dfrac{\mu_0 ILv\Delta t}{2\pi(x_0+L)}$

問 3　$-\dfrac{\mu_0 IL^2 v}{2\pi x_0(x_0+L)}\Delta t$

問 4　$\dfrac{\mu_0 IL^2 v}{2\pi x_0(x_0+L)}$

問 5　$\dfrac{\mu_0 ILv}{8\pi\rho x_0(x_0+L)}$

問 6　$\dfrac{L^3}{16\rho}\left\{\dfrac{\mu_0 Iv}{\pi x_0(x_0+L)}\right\}^2$

問 7　AB (d),　BC (e),　CD (a),　DA (b)

問 8　$\dfrac{L^3 v}{16\rho}\left\{\dfrac{\mu_0 I}{\pi x_0(x_0+L)}\right\}^2$

解説

問 1　直線電流が AB 上に作る磁場は $H_{\mathrm{AB}} = \dfrac{I}{2\pi x_0}$ だから，AB 上の磁束密度は $B_{\mathrm{AB}} = \mu_0 H_{\mathrm{AB}} = \boldsymbol{\dfrac{\mu_0 I}{2\pi x_0}}$ である。AB が位置 x_0 のとき，CD は位置 x_0+L なので，B_{AB} の $x_0 \to x_0+L$ と置き換えて $B_{\mathrm{CD}} = \boldsymbol{\dfrac{\mu_0 I}{2\pi(x_0+L)}}$ また，磁束密度の向きは右ねじの法則から AB 上，CD 上どちらも **(f)** z 軸負の向き。

問 2　Δt の間に辺 AB が通過する面積は $Lv\Delta t$ である。Δt が十分に短いので面積も十分に小さく，この面積内の磁束密度が B_{AB} で一定とみなすと，

$$\Phi_{\mathrm{AB}} \fallingdotseq B_{\mathrm{AB}} \times Lv\Delta t = \boldsymbol{\frac{\mu_0 ILv\Delta t}{2\pi x_0}}$$

また AB が位置 x_0 のとき，CD は位置 x_0+L なので，Φ_{AB} の $x_0 \to x_0+L$ と置き換えて $\Phi_{\mathrm{CD}} \fallingdotseq \boldsymbol{\dfrac{\mu_0 ILv\Delta t}{2\pi(x_0+L)}}$

(末尾の【問 2 補足】参照)

問 3　コイルが x 軸正方向に動くと，コイルを z 軸負の向きに貫く磁束は Φ_{CD} だけ増えて，Φ_{AB} だけ減るので，

$$\Delta\Phi = \Phi_{\mathrm{CD}} - \Phi_{\mathrm{AB}} = \boldsymbol{-\frac{\mu_0 IL^2 v}{2\pi x_0(x_0+L)}\Delta t}$$

問 4　ファラデーの電磁誘導の法則より，求める誘導起電力の大きさ V は，

$$V = \left|-1\cdot\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| = \boldsymbol{\frac{\mu_0 IL^2 v}{2\pi x_0(x_0+L)}}$$

問 5　コイルの 4 辺の長さの和が $4L$ で単位長さ当たりの電気抵抗が ρ なので，コイル全体の電気抵抗は $R = 4\rho L$ である。よってオームの法則より求める電流の大きさは，

$$\frac{V}{R} = \boldsymbol{\frac{\mu_0 ILv}{8\pi\rho x_0(x_0+L)}}$$

問 6　求める単位時間当たりのジュール熱は $\dfrac{V^2}{R} = \boldsymbol{\dfrac{L^3}{16\rho}\left\{\dfrac{\mu_0 Iv}{\pi x_0(x_0+L)}\right\}^2}$

問 7　レンツの法則からコイルには時計回り（A → D → C → B → A の向き）に誘導電流が流れる。また，コイルの各辺の位置には直線電流がつくる磁場が $-z$ 向きに生じている。したがってフレミング左手の法則によりコイルの各辺は以下の向きの力を磁場から受ける。

AB **(d)** x 軸負の向き，　BC **(e)** y 軸負の向き，　CD **(a)** x 軸正の向き，　DA **(b)** y 軸正の向き

問 8　求める外力の大きさを F とする。コイルのエネルギー収支を考えると，外力の仕事率 Fv が問 6 で求めた単位時間当たりのジュール熱と一致するので，

$$Fv = \frac{L^3}{16\rho}\left\{\frac{\mu_0 Iv}{\pi x_0(x_0+L)}\right\}^2 \qquad \therefore F = \boldsymbol{\frac{L^3 v}{16\rho}\left\{\frac{\mu_0 I}{\pi x_0(x_0+L)}\right\}^2}$$

【問 2 補足】

問 2 において与えられた近似式を使って Φ_{AB} を計算するなら以下のようになる。

位置 x_0 における磁束密度は $B = \dfrac{\mu_0 I}{2\pi x_0}$，位置 $x_0 + v\Delta t$ における磁束密度は，

$$B + \Delta B = \frac{\mu_0 I}{2\pi(x_0+v\Delta t)} = \frac{\mu_0 I}{2\pi x_0}\left(1+\frac{v\Delta t}{x_0}\right)^{-1} \fallingdotseq \frac{\mu_0 I}{2\pi x_0}\left(1-\frac{v\Delta t}{x_0}\right) \quad (< B)$$

となる。B は単調減少なので

$$BLv\Delta t \geqq \Phi_{\mathrm{AB}} \geqq (B+\Delta B)Lv\Delta t$$

$$\frac{\mu_0 ILv\Delta t}{2\pi x_0} \geqq \Phi_{\mathrm{AB}} \geqq \frac{\mu_0 I}{2\pi x_0}\left(1-\frac{v\Delta t}{x_0}\right)Lv\Delta t \fallingdotseq \frac{\mu_0 ILv\Delta t}{2\pi x_0}$$ (∵ 題意より Δt の 2 次の項を無視した)

$$\therefore \Phi_{\mathrm{AB}} \fallingdotseq \frac{\mu_0 ILv\Delta t}{2\pi x_0}$$

＜次頁につづく＞

第4問

問1　$\dfrac{4}{3}\pi r^3\rho_0 g$

問2　$\dfrac{4}{3}\pi r^3\rho g$

問3　$\left(1-\dfrac{\rho_0}{\rho}\right)g-\dfrac{3k}{4\pi r^2\rho}v$

問4　$\sqrt{\dfrac{3kv_1}{4\pi(\rho-\rho_0)g}}$

問5　$QE+\dfrac{4}{3}\pi r^3\rho_0 g-\dfrac{4}{3}\pi r^3\rho g-krv_2=0$

問6　$Q=\dfrac{kr(v_1+v_2)}{E}$

問7　1.71×10^{-19} C

説明：5つの測定値の差をとると，どの値もほぼ 1.7×10^{-19} の整数倍なので，各値もそれぞれ，1.7×10^{-19} の整数倍だと推測できる。実際それぞれの値は，1.7×10^{-19} の約3倍，5倍，6倍，8倍，12倍なので，電気素量は，ほぼ 1.7×10^{-19} だと推測できる。したがって，次のように全ての測定値の和を各電荷の電気素量の個数の推測値の総和 $(3+5+6+8+12)$ で割ることにより結果を得た。

$$\frac{5.14+8.54+10.23+13.74+20.55}{3+5+6+8+12}\times10^{-19}=1.712\cdots\times10^{-19}\fallingdotseq1.71\times10^{-19}\ \mathrm{C}$$

解説

問1　油滴の体積 V は $\dfrac{4}{3}\pi r^3$ と表せるので，油滴にはたらく浮力の大きさは，$\rho_0 Vg=\boldsymbol{\dfrac{4}{3}\pi r^3\rho_0 g}$

問2　油滴にはたらく重力の大きさは，$\rho Vg=\boldsymbol{\dfrac{4}{3}\pi r^3\rho g}$

問3　求める加速度の大きさを a とすると，油滴についての運動方程式は，

$$\rho Va=\rho Vg-\rho_0 Vg-krv$$

となる．これを a について解くと

$$a=\boldsymbol{\left(1-\frac{\rho_0}{\rho}\right)g-\frac{3k}{4\pi r^2\rho}v}$$

問4　$v=v_1$ のとき $a=0$ となるので，

$$\left(1-\frac{\rho}{\rho_0}\right)g=\frac{3k}{4\pi r^2\rho}v_1\qquad\therefore r=\boldsymbol{\sqrt{\frac{3kv_1}{4\pi(\rho-\rho_0)g}}}$$

問5　油滴は静電気力 QE により上昇するので，QE と浮力は上向き，また抵抗力 krv_2 と重力は下向きにはたらくのでつり合いの式は

$$\boldsymbol{QE+\frac{4}{3}\pi r^3\rho_0 g-\frac{4}{3}\pi r^3\rho g-krv_2=0}$$

となる。

問6　問4において，速度 v_1 で移動しているとき，抵抗力 krv_1 は浮力と重力の和とつり合っている。したがって，問5の浮力と重力の和は krv_1 と表せるので，

$$QE=krv_1+krv_2\qquad\therefore Q=\boldsymbol{\frac{kr(v_1+v_2)}{E}}$$

＜次頁につづく＞

講評

第 1 問 ［力学：摩擦力，撃力を受ける運動］（やや難）

運動方程式から，力積，仕事まで広く問う出題であった。計算途中の文字数が多くなり計算ミスをしやすい問いもあるが，落ち着いて得点したい。問題中の θ が鉛直方向からの角度であることに注意。

第 2 問 ［波動：屈折，全反射］（標準）

屈折に関する標準的な問題。問 3 において数学的な考察が必要で，戸惑う受験者もいたかもしれない。

第 3 問 ［電磁気：正方形コイルに生じる誘導起電力］（標準）

直線電流のつくる磁場中を移動する正方形コイルに生じる誘導起電力に関する問題。問 2 でどのように近似計算を行うか迷ったかもしれないが，それ以外は標準的な難易度。問 2 の近似に関しては解説のように簡易的に行うのが実践的だろう。できれば完答したい。

第 4 問 ［原子：ミリカンの実験］（標準）

ミリカンの実験に関する問題。油滴にはたらく浮力を扱う問題を解いたことがない受験者は少しとまどったかもしれないが，時間をかければ完答も可能。問 7 の論述にはあまり時間をかけたくない。

総評

総じて 2023 年度後期と難易度は同程度。2024 年度前期よりもやや難しい。問題量，計算量ともに例年並で全ての問題を解ききるにはかなりの実力がいるだろう。全体での目標は 60 ％