

2025年2月3日 実施

順天堂大学

医学部 一般A 物理

(制限時間 理科2科120分)

解答
速報

医学部専門予備校

D組
ディー

解 答

I

第1問

1	⑧	2	④	3	②	4	②	5	⑦
6	⑧	7	⑥	8	⑨	9	⑤		

第2問

1	②	2	⑦	3	③	4	⑨	5	⑧
6	②								

第3問

1	③	2	⑥	3	②	4	①	5	⑤
6	⑦								

II

問1 微小時間 Δt における三角形OPQの面積変化 ΔS は,

$$\Delta S = \frac{1}{2}(x + v\Delta t) \cdot 2(x + \Delta t)\tan\theta - \frac{1}{2}x \cdot x\tan\theta \doteq 2xv\tan\theta \Delta t$$

と表せるから、閉回路PQOPを貫く磁束の変化の大きさ $\Delta\Phi$ は,

$$\Delta\Phi = B\Delta S = 2Bxv\tan\theta \cdot \Delta t$$

(答) $2Bxv\tan\theta \cdot \Delta t$ 問2 回路に生じる誘導起電力の大きさは $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 2Bxv\tan\theta$ であり、PQ間の抵抗値は $\sigma \cdot 2x\tan\theta$ であるから、流れる電流の強さ I は

$$I = \frac{2Bxv\tan\theta}{\sigma \cdot 2x\tan\theta} = \frac{Bv}{\sigma}$$

$$(\text{答}) \frac{Bv}{\sigma}$$

問3 金属棒には右向きに $IB \cdot 2x \tan \theta$ の力を受けるため、運動量変化と力積の関係より、

$$m\Delta v + \underbrace{\frac{2B^2 \tan \theta}{\sigma}}_{\text{あ}} \times xv \Delta t = 0$$

$$(\text{答}) \frac{2B^2 \tan \theta}{\sigma}$$

問4(a) 与えられた式(2)より、 $mv + \frac{B^2 \tan \theta}{\sigma} x^2$ が時刻によらない定数であることから、

$t = 0$ における値 $v = v_0$, $x = 0$ を代入した値と等しい。よって、

$$mv + \frac{B^2 \tan \theta}{\sigma} x^2 = mv_0 \quad \therefore v = v_0 - \frac{B^2 \tan \theta}{m\sigma} x^2$$

$$(\text{答}) v_0 - \frac{B^2 \tan \theta}{m\sigma} x^2$$

(b) 十分時間が経過したとき $x = x_f$, $v = 0$ であることから、

$$\frac{B^2 \tan \theta}{\sigma} x_f^2 = mv_0 \quad \therefore x_f = \sqrt{\frac{m\sigma v_0}{B^2 \tan \theta}}$$

$$(\text{答}) \sqrt{\frac{m\sigma v_0}{B^2 \tan \theta}}$$

(c) x の位置に達するまでに発生したジュール熱を Q とすると、回路と金属棒のエネルギー収支から、

$$\frac{1}{2}mv^2 + Q = \frac{1}{2}mv_0^2$$

$$\therefore Q = \frac{1}{2}m(v_0^2 - v^2) = \frac{B^2 \tan \theta}{2\sigma} x^2 \left(2v_0 - \frac{B^2 \tan \theta}{m\sigma} x^2 \right)$$

$$(\text{答}) \frac{B^2 \tan \theta}{2\sigma} x^2 \left(2v_0 - \frac{B^2 \tan \theta}{m\sigma} x^2 \right)$$

解 説

第1問

問1 棒の長さを L として、糸の張力の鉛直成分の大きさを T_y 、斜面から棒にはたらく垂直抗力の大きさを N とすれば、

$$\text{鉛直方向の力のつり合い：} T_y + N\cos 30^\circ = W$$

$$\text{棒の上端まわりの力のモーメントのつり合い：} L \times N\cos 30^\circ = \frac{L}{2} \times W\sin 30^\circ$$

これらより N を消去すれば、

$$T_y = \frac{3}{4}W$$

□1□ : ⑧

問2 球の表面から離れる瞬間の速さを v とすれば、離れる瞬間には垂直抗力が0であることから、点Oへ向かう向きの運動方程式より、

$$m \frac{v^2}{r} = mg\cos\theta$$

が成り立つ。また、力学的エネルギー保存則より、

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 + mgr(1 - \cos\theta)$$

が成り立つ。これらより v を消去して $\cos\theta$ について解けば、

$$\cos\theta = \frac{\frac{2}{3}}{\frac{3}{3}} + \frac{1}{\frac{3}{3}} \times \frac{v_0^2}{gr}$$

□2□ : ④ □3□ : ②

問3 x 軸上を正の向きに進む正弦波による媒質の変位 y は、振幅 A 、周期 T 、波長 λ を用いて $y = A\sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{\lambda}x\right)$ と表される。波の速さ V は $V = 2.5\text{ m/s}$ であり、図3より、 $T = 0.8\text{ s}$ であることから、 $\lambda = VT = 2.0\text{ m}$ である。図3より、 $A = 0.5\text{ m}$ であるから、 $y[\text{m}]$ を $t[\text{s}]$ 、 $x[\text{m}]$ で表すと、

$$y = 0.5\sin\left(\frac{2\pi}{0.8}t - \frac{2\pi}{2}x\right) = \frac{0.5\sin(2.5\pi t - \pi x)}{\frac{4}{4}} : ②$$

問4 媒質1内の波の波長は 3.0 cm 、周期は 0.30 s であるから、媒質1内での波の速さ v_1 は

$$v_1 = \frac{3.0\text{ cm}}{0.30\text{ s}} = 10\text{ cm/s}$$

である。媒質2内での波の速さを v_2 とすると、入射角が 30° 、屈折角が 60° であることに注意して、

$$v_2 = \frac{\sin 30^\circ}{\sin 60^\circ} v_1 = \frac{10 \text{ cm/s}}{\sqrt{3}} \div \frac{10}{1.7} \text{ cm/s} \div \frac{5.9 \text{ cm/s}}{\boxed{5} : \textcircled{7}}$$

※ 最後の計算を有理化してから行くと、

$$\frac{10\sqrt{3}}{3} \text{ cm/s} \div \frac{17}{3} \text{ cm/s} \div 5.7 \text{ cm/s}$$

となるが、最も近い値を選べばやはり⑦となる。

問5 状態Aの気体の圧力を p とすると、状態方程式より、

$$p = \frac{nRT}{V}$$

である。定圧過程A→Bにおける気体の体積変化を ΔV とすれば、気体が外部にした仕事は $p\Delta V$ と表されるため、

$$p\Delta V = \frac{5}{2}nRT \quad \therefore \quad \frac{nRT}{V}\Delta V = \frac{5}{2}nRT \quad \therefore \quad \Delta V = \frac{5}{2}V$$

である。よって、状態Bの気体の体積は

$$V + \Delta V = \frac{7}{2}V$$

$\boxed{6} : \textcircled{8}$

である。この過程で気体が吸収した熱量は、

$$\frac{5}{2}p\Delta V = \frac{25}{4}pV = \frac{25}{4}nRT$$

$\boxed{7} : \textcircled{6}$

問6 電気力線の本数の定義より、電気量 Q の点電荷から出る電気力線の総本数は $4\pi kQ$ である。単位長さあたり σ の電気量で帯電した金属棒から距離 r の位置にお

$\boxed{8} : \textcircled{9}$

る電場の強さを E とする。金属棒を中心軸とする半径 r 、高さ h の円柱状領域を考えると、対称性から、電気力線は円柱側面（円筒面）を一様に貫く。円柱内部の電気量は σh であるから、この円柱状領域にガウスの法則を適用すれば、

$$E \cdot 2\pi r h = 4\pi k \cdot \sigma h \quad \therefore \quad E = \frac{2k\sigma}{r}$$

$\boxed{9} : \textcircled{5}$

第2問

問1 弾丸が木片に対して静止するまでの間では、弾丸と木片は「一定の大きさ f の抵抗力」を及ぼし合う。したがって弾丸の運動は等加速度運動、木片には抵抗力だけでなくばねによる弾性力が働くため、木片の運動は単振動である。

(a) 時刻 t における弾丸の速度を v とする。弾丸の運動量変化と力積の関係より、

$$mv - mv_0 = -ft \quad \therefore \quad v = v_0 - \frac{ft}{m}$$

□1 : ②

(b) 木片に働く力は $-kx + f$ である。

□2 : ⑦

(c) 時刻 t における木片の加速度を A とする。木片の運動方程式より、

$$MA = -kx + f \quad \therefore \quad A = -\frac{k}{M} \left(x - \frac{f}{k} \right)$$

ゆえに木片の運動は中心 $x = \frac{f}{k}$ 、角振動数 $\omega = \sqrt{\frac{k}{M}}$ の単振動である。初期条件 ($t = 0$ において原点で静止していること) より、時刻 t における木片の位置座標 x は、

$$x = \frac{f}{k} - \frac{f}{k} \cos \omega t = \frac{f}{k} \left[1 - \cos \left(t \sqrt{\frac{k}{M}} \right) \right]$$

□3 : ③

問2 木片の速度 V は、

$$V = \frac{dx}{dt} = \frac{f}{k} \sqrt{\frac{k}{M}} \sin \left(t \sqrt{\frac{k}{M}} \right)$$

であり、時刻 $t = \frac{\pi}{6} \sqrt{\frac{M}{k}}$ を代入したときに $v = V$ となるから、

$$v_0 - \frac{f}{m} \cdot \frac{\pi}{6} \sqrt{\frac{M}{k}} = \frac{f}{k} \sqrt{\frac{k}{M}} \sin \left(\frac{\pi}{6} \sqrt{\frac{M}{k}} \cdot \sqrt{\frac{k}{M}} \right)$$

$$f = \frac{6mMv_0}{3m + \pi M} \sqrt{\frac{k}{M}}$$

□4 : ⑨

問3 弾性力による力積の大きさを I とすると、木片の運動量変化と力積の関係より、

$$MV = ft - I \quad \therefore \quad I = ft - MV$$

問2で求めた V を代入して、

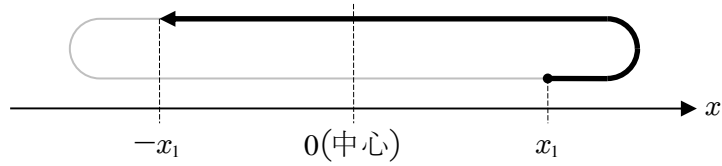
$$I = ft - M \frac{f}{k} \sqrt{\frac{k}{M}} \sin \left(t \sqrt{\frac{k}{M}} \right) = f \left\{ t - \sqrt{\frac{M}{k}} \sin \left(t \sqrt{\frac{k}{M}} \right) \right\}$$

問2で求めた f と時刻 $t = \frac{\pi}{6} \sqrt{\frac{M}{k}}$ を代入して、

$$I = \frac{6mMv_0}{3m + \pi M} \sqrt{\frac{k}{M}} \left\{ \frac{\pi}{6} \sqrt{\frac{M}{k}} - \sqrt{\frac{M}{k}} \cdot \frac{1}{2} \right\} = \frac{(\pi - 3)mMv_0}{3m + \pi M}$$

[5] : ⑧

問4 一体となった木片と弾丸の単振動は次図のように半周期である。



木片と弾丸の単振動の周期は $2\pi\sqrt{\frac{m+M}{k}}$ であるから、 $x = -x_1$ に到達する時刻は、

$$t = \frac{\pi}{6} \sqrt{\frac{M}{k}} + \pi \sqrt{\frac{m+M}{k}}$$

[6] : ②

第3問

A 問1 粒子の速度は、器壁に垂直な成分だけが反転するため、運動量変化の大きさは、

$$mv\cos\theta - (-mv\cos\theta) = \frac{2mv\cos\theta}{\boxed{1}:③}$$

問2 衝突間で粒子が進む距離は $2r\cos\theta$ であり、この距離を一定の速さ v で進むため、

衝突1回あたりにかかる時間は $\frac{2r\cos\theta}{v}$ である。したがって、単位時間あたりの衝突

回数は、この逆数として、 $\frac{v}{2r\cos\theta}$ と表せる。
 $\boxed{2}:⑥$

問3 問1, 2の結果より、速さ v の粒子が単位時間に器壁に及ぼす力積の大きさ、すなわち力の大きさ F は、

$$F = 2mv\cos\theta \cdot \frac{v}{2r\cos\theta} = \frac{mv^2}{r}$$

となり、 θ にはよらないことがわかる。 N 個の粒子について器壁に及ぼす力の大きさの合計 F_{tot} を考えると、

$$F_{\text{tot}} = \frac{Nmv^2}{r}$$

となる。圧力 p は、この F_{tot} を球の表面積 $4\pi r^2$ で割って、

$$p = \frac{F_{\text{tot}}}{4\pi r^2} = \frac{Nmv^2}{4\pi r^3} \quad \boxed{3}:②$$

B 問4 振動数 f の光子が持つ運動量の大きさが $\frac{hf}{c}$ であることに注意して、問1, 2

と同様に考えると、この光子が1回の衝突で器壁に及ぼす力積の大きさは $\frac{2hf}{c}\cos\theta$ で

あり、単位時間あたりの衝突回数は $\frac{c}{2r\cos\theta}$ である。よって、この光子が単位時間に

器壁に及ぼす力積の大きさ、すなわち力の大きさ F は、

$$F = \frac{2hf}{c}\cos\theta \cdot \frac{c}{2r\cos\theta} = \frac{hf}{r} \quad \boxed{4}:①$$

問5 N 個の光子が器壁に及ぼす力の大きさの合計 F_{tot} を考えると、

$$F_{\text{tot}} = \frac{Nhf}{r}$$

となる。圧力 p は、この F_{tot} を球の表面積 $4\pi r^2$ で割って、

$$p = \frac{F_{\text{tot}}}{4\pi r^2} = \frac{Nhf}{4\pi r^3} \quad \boxed{5}:⑤$$

問 6 N 個の光子のエネルギーの合計 E は、 $E = Nh\bar{f}$ であり、容器の体積 V は

$V = \frac{4}{3}\pi r^3$ であるから、問 5 の結果を E 、 V で表すと、

$$p = \frac{Nh\bar{f}}{4\pi r^3} = \frac{1}{3} \cdot \frac{Nh\bar{f}}{\frac{4}{3}\pi r^3} = \frac{E}{3V}$$

となる。よって、

$$\frac{E}{V} = 3p$$

6

: ⑦

II

問4 問3で得た式

$$m\Delta v + \frac{2B^2 \tan \theta}{\sigma} x v \Delta t = 0$$

において、 $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ を代入すると、

$$m\Delta v + \frac{2B^2 \tan \theta}{\sigma} x \Delta x = 0$$

となる。ここで、 $\Delta(x^2) = (x + \Delta x)^2 - x^2 \doteq 2x\Delta x$ と近似できることから、

$x\Delta x = \frac{1}{2}\Delta(x^2)$ を代入して、

$$m\Delta v + \frac{B^2 \tan \theta}{\sigma} \Delta(x^2) = 0$$

を得る。定数は Δ の中に入れてもよいから、

$$\Delta \left(mv + \frac{B^2 \tan \theta}{\sigma} x^2 \right) = 0$$

となり、 $mv + \frac{B^2 \tan \theta}{\sigma} x^2$ の変化が0、すなわち、 $mv + \frac{B^2 \tan \theta}{\sigma} x^2$ が定数であることが導かれた。

これは、 Δ を d に置き換えて次のような積分を行ったのと等価である。

$$mdv + \frac{2B^2 \tan \theta}{\sigma} x dx = 0$$

この両辺を積分すると、積分定数が現れることに注意して、

$$m \int dv + \frac{2B^2 \tan \theta}{\sigma} \int x dx = \text{積分定数}$$

$$\therefore mv + \frac{B^2 \tan \theta}{\sigma} x^2 = \text{積分定数}$$

となる。