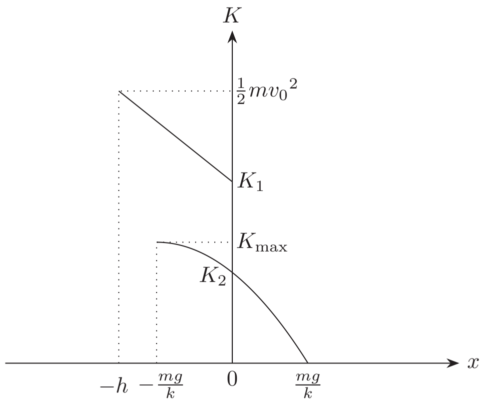
解答速報

関西医科大学（前期）　物理

2024年1月27日実施

I

略解



問 1　衝突直前の小球の速さ：$\sqrt{{v_0}^2-2gh}$

　　　衝突直後の小球と板の速さ：$\dfrac{1}{2}\sqrt{{v_0}^2-2gh}$

問 2　振動中心：$-\dfrac{mg}{k}$，周期：$2\pi\sqrt{\dfrac{2m}{k}}$

問 3　$\dfrac{{v_0}^2}{2g}-\dfrac{3mg}{k}$

問 4　$K_1=\dfrac{3(mg)^2}{k}$，$K_2=\dfrac{3(mg)^2}{2k}$，$K_{\max}=\dfrac{2(mg)^2}{k}$

解答

問 1　衝突直前の小球の速さを v_1 とすると，力学的エネルギー保存則より，

$$\frac{1}{2}m{v_0}^2=\frac{1}{2}m{v_1}^2+mgh \qquad \therefore\ v_1=\boldsymbol{\sqrt{{v_0}^2-2gh}}$$

また，衝突直後の小球と板の速さを v_2 とすると，衝突前後についての運動量保存則より，

$$mv_1=2mv_2 \qquad \therefore\ v_2=\frac{v_1}{2}=\boldsymbol{\frac{1}{2}\sqrt{{v_0}^2-2gh}}$$

問 2　小球と板の位置が x のときの加速度を a とする．$\varDelta x=\frac{mg}{k}$ であることに注意すると，運動方程式より，

$$(2m)a=k(\varDelta x-x)-2mg \qquad \therefore\ a=-\frac{k}{2m}\left(x+\frac{mg}{k}\right)$$

よって，単振動の振動中心の x 座標は $\boldsymbol{-\dfrac{mg}{k}}$，周期は $\boldsymbol{2\pi\sqrt{\dfrac{2m}{k}}}$ となる．

問 3　単振動のエネルギー保存則より，

$$\frac{1}{2}k(2\varDelta x)^2=\frac{1}{2}(2m){v_2}^2+\frac{1}{2}k(\varDelta x)^2$$

$\varDelta x$，v_2 を代入し，h について解くと，$h=\boldsymbol{\dfrac{{v_0}^2}{2g}-\dfrac{3mg}{k}}$

問 4　問 1，問 3 の結果より，

$$K_1=\frac{1}{2}m{v_1}^2=\frac{1}{2}m\left(\sqrt{{v_0}^2-2gh}\right)^2=\boldsymbol{\frac{3(mg)^2}{k}}$$

$$K_2=\frac{1}{2}(2m){v_2}^2=\frac{1}{2}(2m)\left(\frac{1}{2}\sqrt{{v_0}^2-2gh}\right)^2=\boldsymbol{\frac{3(mg)^2}{2k}}$$

$$K_{\max}=\frac{1}{2}k(2\varDelta x)^2=\boldsymbol{\frac{2(mg)^2}{k}}$$

＜次頁につづく＞

小球の位置を x とすると，小球が打ち出されてから衝突直前までの力学的エネルギー保存則より，

$$K_1 = K + mgx \qquad \therefore K = K_1 - mgx = \frac{3(mg)^2}{k} - mgx \quad (-h \leqq x < 0)$$

また，衝突直後から初めて振動中心に到達するまでの単振動のエネルギー保存則より，

$$K_{\max} = K + \frac{1}{2}k(x + \varDelta x)^2$$

$$\therefore K = K_{\max} - \frac{1}{2}k(x + \varDelta x)^2 = -\frac{1}{2}k\left(x + \frac{mg}{k}\right)^2 + \frac{1}{2}k\left(\frac{2mg}{k}\right)^2 \quad \left(-\frac{mg}{k} \leqq x \leqq \frac{mg}{k}\right)$$

となるので，これらを図示すればよい．ただし，衝突後の小球と板の x 座標は，$0 \to \dfrac{mg}{k} \to -\dfrac{mg}{k}$ のように変化する．

＜次頁につづく＞

II

略解

①　z 軸に平行負の向き　　②　y 軸に平行正の向き

※解答用紙中の選択肢での表現は，上記解答と異なる可能性がある．

ア	qvB	イ	vBd	ウ	$\dfrac{4Q}{\pi d^2}$	エ	$\dfrac{\pi dV}{4B}$
オ	$\dfrac{F_\mathrm{m}}{R_\mathrm{m}}$	カ	$\dfrac{L_1}{\mu_r\mu_0 S}$	キ	$\dfrac{L_2}{\mu_0 S}$	ク	$\dfrac{L_1+\mu_r L_2}{\mu_r\mu_0 S}$
ケ	$\dfrac{\mu_r\mu_0 SNI}{L_1+\mu_r L_2}$	コ	$\dfrac{\mu_r\mu_0 NI}{L_1+\mu_r L_2}$				

解答

①　右ねじの法則より，コイル部分での磁束は $+z$ の向き．磁束は鉄芯に沿って隙間部分まで流れるので，隙間部分での磁束は **z 軸に平行負の向き**．

②　荷電粒子の速度は $+x$ の向き，磁束は $-z$ の向きである．フレミングの左手の法則より，荷電粒子が受けるローレンツ力の向きは **y 軸に平行正の向き**．

ア　磁束の向きと荷電粒子の速度の向きが垂直なのでローレンツ力の大きさ $f = \boldsymbol{qvB}$

イ　前問の力を誘導電場から受けた力とみなすと，誘導電場の大きさ $E = \dfrac{f}{q} = vB$ なので，誘導起電力の大きさ $V = Ed = \boldsymbol{vBd}$

ウ　管の断面積 $S' = \pi\left(\dfrac{d}{2}\right)^2$ なので，$Q = vS'$ より $v' = \dfrac{Q}{S'} = \boldsymbol{\dfrac{4Q}{\pi d^2}}$

エ　$V = \dfrac{4Q}{\pi d^2}Bd$ なので，$Q = \boldsymbol{\dfrac{\pi dV}{4B}}$

オ　磁束を Φ とする．磁気抵抗についてのオームの法則 $F_\mathrm{m} = R_\mathrm{m}\Phi$ より $\Phi = \boldsymbol{\dfrac{F_\mathrm{m}}{R_\mathrm{m}}}$

カ　抵抗率が電流の「通りにくさ」を表す比例定数であるのに対して，透磁率が磁束線の「通りやすさ」を表していることに注意する．磁気抵抗を表す式で，透磁率は分母に現れるので $R_\mathrm{m1} = \boldsymbol{\dfrac{L_1}{\mu_r\mu_0 S}}$

キ　前問と同様に考えて，$R_\mathrm{m2} = \boldsymbol{\dfrac{L_2}{\mu_0 S}}$

ク　直列接続の合成抵抗の式より，$R_\mathrm{m} = R_\mathrm{m1} + R_\mathrm{m2} = \boldsymbol{\dfrac{L_1+\mu_r L_2}{\mu_r\mu_0 S}}$

ケ　問題文「電磁石の起磁力はコイルの巻き数とコイルに流した電流の大きさの積として与えられる」より，$F_\mathrm{m} = NI$．
磁束は $\Phi = \dfrac{F_\mathrm{m}}{R_\mathrm{m}} = \boldsymbol{\dfrac{\mu_r\mu_0 SNI}{L_1+\mu_r L_2}}$

コ　$\Phi = \dfrac{F_\mathrm{m}}{R_\mathrm{m}} = BS$ より，$B = \dfrac{F_\mathrm{m}}{R_\mathrm{m}S} = \boldsymbol{\dfrac{\mu_r\mu_0 NI}{L_1+\mu_r L_2}}$

＜次頁につづく＞

III

略解

問 1　速さ：$\dfrac{c}{n}$，　振動数：$\dfrac{c}{\lambda}$

問 2　$m = 1,\ 2,\ 3,\ \ldots$ として，

観測者 1：$2d\sqrt{n^2 - \sin^2\theta_0} = \left(m - \dfrac{1}{2}\right)\lambda$，　　観測者 2：$2d\sqrt{n^2 - \sin^2\theta_0} = m\lambda$

問 3　$\dfrac{\lambda_1\lambda_2}{2(\lambda_2 - \lambda_1)\sqrt{n^2 - \sin^2\theta_0}}$

問 4　720 nm

問 5　2.00×10^{-6} m

解答

問 1　略

問 2　入射角 θ_0 で薄膜に入射するときの屈折角を r とすると，屈折の法則より $\sin\theta_0 = n\sin r$ となるので，

$$\cos r = \sqrt{1 - \frac{\sin^2\theta_0}{n^2}}$$

が成り立つ．

以下では $m = 1,\ 2,\ 3,\ \ldots$ とする．

観測者 1 の観察する干渉光については，光路差は $2nd\cos r = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2\theta_0}$ となり，また D における反射においては反射光の位相に π のずれが生じることに注意すると，最も明るい光を観察することができる条件は

$$\boldsymbol{2d\sqrt{n^2 - \sin^2\theta_0} = \left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda}$$

また観測者 2 の観察する干渉光についても，光路差は $2d\sqrt{n^2 - \sin^2\theta_0}$ となり，また反射による位相のずれは生じないことに注意すると，最も明るい光を観察することができる条件は

$$\boldsymbol{2d\sqrt{n^2 - \sin^2\theta_0} = m\lambda}$$

問 3　下記の 2 式より m を消去し，d について解くと，$d = \boldsymbol{\dfrac{\lambda_1\lambda_2}{2(\lambda_2 - \lambda_1)\sqrt{n^2 - \sin^2\theta_0}}}$

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2\theta_0} = m\lambda_1$$

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2\theta_0} = (m-1)\lambda_2$$

問 4　観測者 1 が最も明るい光を観測するとき，観測者 2 は光をほとんど観測できない $\cdots$ ① ことに注意する．①の状況になる光の中で，最も波長の長い光の波長を答えればよい．**720 nm**

問 5　問 3 の結果の式において $\theta_0 = 0$ とし，図 4 の隣り合う 2 つのピークの波長を λ_1，λ_2 $(\lambda_1 < \lambda_2)$ として計算すればよい．図の読み取りやすさを考慮して $\lambda_1 = 540$ [nm]，$\lambda_2 = 600$ [nm] として計算すると $d = \mathbf{2.00 \times 10^{-6}\ m}$

＜次頁につづく＞

Ⅳ

略解

問 1　温度と物質量が一定の気体では，圧力と体積の積が一定となるという法則。(34 字)

問 2　$p_0 + \dfrac{mg}{S}$

問 3　$(p_0S + mg)\,L_0 \cdot \dfrac{1}{L} - p_0S$

問 4　1.1×10^5 Pa

問 5　6.2×10^{-5} m^3

解答

問 2　ピストンにはたらく力のつり合いより $p_1S = p_0S + mg$　　$\therefore\ p_1 = \boldsymbol{p_0 + \dfrac{mg}{S}}$

問 3　台はかりが測定する物理量 X は台はかり上面にはたらく垂直抗力である．図 3 の縦軸より X の単位は N である．

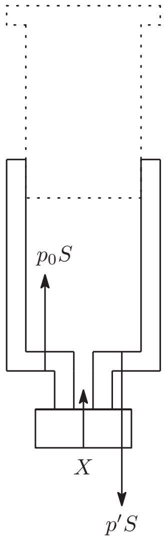
シリンダー内部の空気の圧力を p' とするとシリンダーには右図のような力がはたらく（シリンダーは軽いので重力は無視できる）．よって，シリンダーにはたらく力のつり合いより，

$$X = (p' - p_0)\,S$$

となる．またボイルの法則より問 2 の p_1 を用いて，

$$p_1SL_0 = p'SL \qquad \therefore\ p' = \frac{L_0}{L}p_1 = \frac{L_0}{L}\left(p_0 + \frac{mg}{S}\right)$$

これらから p' を消去して X について解くと，$X = \boldsymbol{(p_0S + mg)\,L_0 \cdot \dfrac{1}{L} - p_0S} \cdots$①



問 4　問 3 ①式より図 3 のグラフの縦軸切片は $a = -p_0S$，傾きは $k = (p_0S + mg)\,L_0 \cdots$② である．

図 3 からグラフが 2 点 $(1/L,\ X) = (0.162, 0)$ および $(1/L,\ X) = (0.222,\ 40)$ を通ると読み取ると，①に代入して，

$$0 = k \cdot 0.162 + a$$

$$40 = k \cdot 0.222 + a$$

$$\therefore\ k \fallingdotseq 667\ \mathrm{N{\cdot}cm}, \qquad a = -0.162k \fallingdotseq -108\ \mathrm{N}$$

よって，

$$p_0S = -a$$

$$p_0 = \frac{-a}{S} = \frac{108\ \mathrm{N}}{10\ \mathrm{cm}^2} = 10.8\cdots\ \mathrm{N/cm^2} \fallingdotseq \boldsymbol{1.1 \times 10^5}\ \mathrm{Pa}$$

問 5　図 1 において，ピストンにはたらく力のつり合いよりシリンダー内の空気の圧力は p_0 である．求める体積を V とするとボイルの法則より，

$$p_0V = p_1SL_0$$

$$V = \frac{L_0}{p_0} \cdot p_1S = \frac{L_0}{p_0}\,(p_0S + mg)$$

問 4 の②式から $p_0S + mg = \dfrac{k}{L_0}$ を代入して，

$$V = \frac{L_0}{p_0} \cdot \frac{k}{L_0} = \frac{k}{p_0} \fallingdotseq \frac{667\ \mathrm{N{\cdot}cm}}{10.8\ \mathrm{N/cm^2}} = 61.7\cdots\ \mathrm{cm^3} \fallingdotseq \boldsymbol{6.2 \times 10^{-5}}\ \mathrm{m^3}$$

＜次頁につづく＞

講評

Ⅰ ［力学：単振動・衝突］（標準）問５のグラフは難しいが，それ以外は正解したい。

Ⅱ ［電磁気：電磁血流計］（やや難）前半は確実に得点したいが，後半の磁気回路については問題文を正確に読む必要がある。特に磁気抵抗の比例定数としての透磁率は逆数をとる必要があることに注意が必要である。

Ⅲ ［波動：シャボン玉薄膜による光の干渉］（やや難）問２までは確実に得点したい。

Ⅳ ［熱：ボイルの法則（実験）］（やや難）問３がやや難しく，問４，問５は問３を用いて解答するため完答するのはやや難しい。

総評

総じて昨年度前期と同程度の難易度。2022 年度，2023 年度に続き，表やグラフを扱う問題が複数ある。各大問に関しては，大問Ⅰは８割程度，大問Ⅱは６割，大問Ⅲは５割，大問Ⅳは４割得点するのが理想だが，作業量が多く時間切れで全ての問題に手が回らなかった受験者も多かったことだろう。

目標の得点率は，55 ％