解答速報

兵庫医科大学　物理

2024年1月24日実施

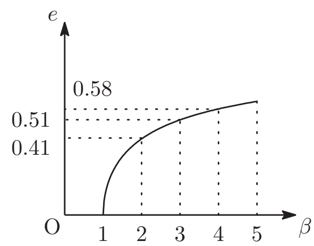
〔問 1〕

Ⅰ．(1) $\dfrac{v\sin\theta}{g}$　(2) $\dfrac{v^2\sin^2\theta}{2g}+h$　(3) $\dfrac{v\cos\theta}{2}$

(4) $-\dfrac{v(\alpha+\sin\theta)}{2}$　(5) $\dfrac{1}{4}mv^2(\alpha^2+2\alpha\sin\theta+1)$

Ⅱ．(6) $\dfrac{\sqrt{2(\beta-1)gh}}{\sin\theta}$　(7) $\dfrac{2(\beta-1)h}{\tan\theta}$　(8) $\sqrt{\dfrac{2\beta h}{g}}$

(9) $\dfrac{1}{\sqrt{\beta}}$　(10) $\dfrac{\sqrt{\beta}-1}{\sqrt{\beta}+1}$　(11) 下図



解説

以下では，初速が大きさ V_0 で鉛直上向きの鉛直投げ上げをして速度が 0 になるまでの運動と，速度が 0 の状態から速さが V_0，速度の向きが鉛直下向きになるまでの運動が時間に関して対称となることを用いる．

Ⅰ．

(1) 求める時刻を t_1 とする．速度の鉛直成分の変化を考えると

$$0=v\sin\theta-gt_1$$

となるので $t_1=\boldsymbol{\dfrac{v\sin\theta}{g}}$

(2) 変位の鉛直方向成分は $\dfrac{1}{2}g{t_1}^2$ となるので，求める高さは

$$\frac{1}{2}g{t_1}^2=\boldsymbol{\frac{v^2\sin^2\theta}{2g}+h}$$

(3) 運動量保存則より，求める x 成分は， A の速度の x 成分の半分になる． $\boldsymbol{\dfrac{v\cos\theta}{2}}$

(4) B の R における速度の y 成分は $-\alpha v-gt_1=-v(\alpha+\sin\theta)$ となる．運動量保存則より，求める y 成分は， B の速度の y 成分の半分になる． $\boldsymbol{-\dfrac{v(\alpha+\sin\theta)}{2}}$

(5) 衝突の前後で A と B の運動エネルギーの総和の減少量を考えればよい．

$$\frac{1}{2}m\left(v\cos\theta\right)^2+\frac{1}{2}m\left\{v(\alpha+\sin\theta)\right\}^2-\frac{1}{2}\cdot 2m\left[\left(\frac{1}{2}v\cos\theta\right)^2+\left\{-\frac{1}{2}v(\alpha+\sin\theta)\right\}^2\right]=\boldsymbol{\frac{1}{4}mv^2(\alpha^2+2\alpha\sin\theta+1)}$$

別解

A と B の相対運動エネルギーが 0 となることを用いて計算してもよい．

II．

(6)　求める初速度の大きさを v_0 とする．等加速度運動についての公式より

$$(v_0 \sin\theta)^2 - 0^2 = 2g(\beta - 1)h$$

が成り立つ．よって $v_0 = \boldsymbol{\dfrac{\sqrt{2(\beta-1)gh}}{\sin\theta}}$

(7)　A が壁に衝突するまでの時間を t_2 とする．速度の鉛直成分の変化を考えると

$$0 = v_0 \sin\theta - gt_2$$

が成り立つ．よって $t_2 = \dfrac{v_0 \sin\theta}{g}$ となる．求める水平距離を x とすると，

$$x = v_0 \cos\theta \cdot t_2 = \boldsymbol{\frac{2(\beta-1)h}{\tan\theta}}$$

(8)　求める時間を t_3 とおく．等加速度運動についての公式より

$$\frac{1}{2}gt_3 = \beta h$$

が成り立つ．よって $t_3 = \boldsymbol{\sqrt{\dfrac{2\beta h}{g}}}$

(9)　A が T で床と衝突する直前の速度の鉛直成分の大きさを v_y とすると，$v_y = gt_3 = \sqrt{2\beta gh}$ となる．
求める反発係数を e' とおく．T から P までの運動にかかる時間を t_4 とおく．速度の鉛直成分の変化を考えると

$$0 = e'v_y - gt_4$$

となるので，$t_4 = e'\sqrt{\dfrac{2\beta h}{g}} \cdots$① となる．また，A と T の高さの差が h であることより，

$$\frac{1}{2}g{t_4}^2 = h$$

が成り立つので，$t_4 = \sqrt{\dfrac{2h}{g}} \cdots$② となる．①②より $e' = \boldsymbol{\dfrac{1}{\sqrt{\beta}}}$

(10)　求める反発係数を e とする．A から S までの運動と，S から T を経由して A に達するまでの運動は，水平方向の移動距離が等しいことから

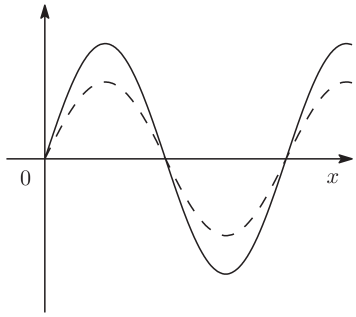
$$v_0 \cos\theta \cdot t_2 = ev_0 \cos\theta \cdot (t_3 + t_4)$$

が成り立つ．これより $e = \boldsymbol{\dfrac{\sqrt{\beta-1}}{\sqrt{\beta}+1}}$

(11)　与えられた近似値を用いて点を打ち，なめらかな曲線でつなげばよい．

＜次頁につづく＞

〔問 2〕



実線は $E_y(x)$ を，破線は $H_z(x)$ を表す

Ⅰ. (1) $\dfrac{V}{R}$　　(2) ① CV　② $\dfrac{1}{2}CV^2$

Ⅱ. (3) $2\pi\sqrt{LC}$　　(4) $V\sqrt{\dfrac{C}{L}}$

Ⅲ. (5) 右図　　(6) 7.5×10^3 m

解説

Ⅰ. (1) スイッチを閉じた直後，コンデンサーの電圧は直前と等しく，0 である。よってキルヒホッフ第 2 法則により抵抗の電圧は V となる。よってオームの法則より $I_R=\boldsymbol{\dfrac{V}{R}}$

(2) スイッチを閉じて十分時間が経過すると，コンデンサーに流れる電流が 0 となる。よって抵抗に流れる電流と抵抗の電圧が 0 となる。このときキルヒホッフ第二法則よりコンデンサーの電圧は V となる。

よって① (電気量) $=\boldsymbol{CV}$　② (静電エネルギー) $=\boldsymbol{\dfrac{1}{2}CV^2}$

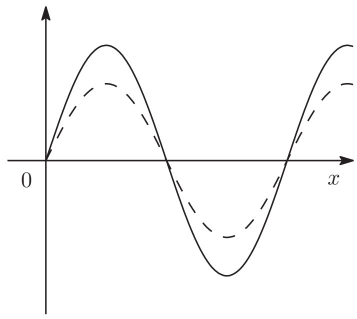
Ⅱ. (3) 振動電流の周期の公式から (周期) $=\boldsymbol{2\pi\sqrt{LC}}$

(4) 求める電流を I_0 とする。振動回路のエネルギー保存則から (2) ②を用いて，

$$\frac{1}{2}L{I_0}^2=\frac{1}{2}CV^2 \qquad \therefore\ I_0=\boldsymbol{V\sqrt{\frac{C}{L}}}$$

Ⅲ.

(5) 電磁波は電場と磁場が進行方向に垂直に同位相で振動しながら伝播する。また，電場の向きから磁場の向きへ右ねじを回すときの，右ねじの進む向きに電磁波が伝播する。よって右図のようになる。



実線は $E_y(x)$ を，破線は $H_z(x)$ を表す

(6) 振動電流と放射される電磁波の周期が一致するので，

$$\lambda=cT=c\cdot2\pi\sqrt{LC}$$
$$=3.0\times10^8\ [\mathrm{m/s}]\cdot2\times3.14\sqrt{2\times10^{-3}\ [\mathrm{H}]\cdot8.0\times10^{-9}\ [\mathrm{F}]}$$
$$=75.36\times10^2\fallingdotseq\boldsymbol{7.5\times10^3\ [\mathrm{m}]}$$

＜次頁につづく＞

〔問 3〕

Ⅰ. (1) $p_0Sh_0 \geqq nRT_0$

Ⅱ. (2) $\dfrac{p_0Sh_0}{nR}$ (3) $\dfrac{3}{2}(p_0Sh_0 - nRT_0)$

Ⅲ. (4) $p_0 + \dfrac{kh_1}{S}$ (5) $p_0Sh_1 + \dfrac{1}{2}k{h_1}^2$

(6) $\left(\dfrac{5}{2}p_0S + \dfrac{3}{2}kh_0 + 2kh_1\right)h_1$

解説

Ⅰ. (1) 初めの状態の気体の圧力を p とすると

$$pSh_0 = nRT_0$$

となる。また，ピストンにはたらく力のつり合いより，ストッパーからピストンにはたらく垂直抗力を N として

$$pS = p_0S - N \cdots ① \qquad \therefore p_0 \geqq p$$

$$p_0Sh_0 \geqq pSh_0 = nRT_0 \qquad \therefore \boldsymbol{p_0Sh_0 \geqq nRT_0}$$

Ⅱ. (2) 求める温度を T_1 とする。作用反作用の法則よりピストンにストッパーからはたらく垂直抗力 $N = 0$ である。したがって①式より気体の圧力は $p = p_0$ となる。理想気体の状態方程式 $p_0Sh_0 = nRT_1$ を解いて $T_1 = \boldsymbol{\dfrac{p_0Sh_0}{nR}}$

(3) 定積変化なので単原子分子の定積モル比熱 $C_{\mathrm{V}} = \dfrac{3}{2}R$ を用いて求める熱量 Q_1 は，$Q_{\mathrm{in}} = nC_{\mathrm{V}}\Delta T$ より

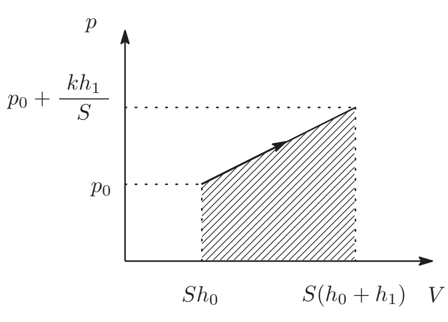
$$Q_1 = n \cdot \frac{3}{2}R(T_1 - T_0) = \boldsymbol{\frac{3}{2}(p_0Sh_0 - nRT_0)}$$

Ⅲ. (4) ばねの縮みが h_1 なので，弾性力の大きさは kh_1 である。よって求める圧力を p' としてピストンにはたらく力のつり合いより

$$p'S = p_0S + kh_1 \qquad \therefore p' = \boldsymbol{p_0 + \frac{kh_1}{S}}$$

(5) 縮みが x のとき (4) と同様に力のつり合いから気体の圧力は $p(x) = p_0 + \dfrac{kx}{S}$ となる。また，気体の体積は $V(x) = S(h_0 + x)$ である。$p(x)$ と $V(x)$ はともに x の 1 次関数なので，$p(x)$ は $V(x)$ の 1 次関数である。したがって，$p - V$ グラフは直線となる。よって右図のように $p - V$ グラフが描けて，気体がした仕事をグラフの斜線部の面積から求めると $\boldsymbol{p_0Sh_1 + \dfrac{1}{2}k{h_1}^2}$ となる。

別解：気体は大気に p_0Sh_1 の仕事をし，ばねに $\dfrac{1}{2}k{h_1}^2$ の仕事をするので，気体のする仕事はこれらの和であり $p_0Sh_1 + \dfrac{1}{2}k{h_1}^2$ である。



＜次頁につづく＞

(6)　理想気体の状態方程式から，ピストンの高さが h_0+h_1 のときの気体の温度は $T_2=\dfrac{p_2S(h_0+h_1)}{nR}=\dfrac{(p_0S+kh_1)(h_0+h_1)}{nR}$ である。よって気体の内部エネルギーの変化は

$$\varDelta U=\frac{3}{2}nR(T_2-T_1)=\frac{3}{2}\left(p_0Sh_1+kh_0h_1+k{h_1}^2\right)$$

となる。熱力学第 1 法則より

$$\begin{aligned}Q_{\text{in}}&=\varDelta U+W_{\text{out}}\\&=\frac{3}{2}\left(p_0Sh_1+kh_0h_1+k{h_1}^2\right)+\frac{1}{2}k{h_1}^2+p_0Sh_1\\&=\boldsymbol{\left(\frac{5}{2}p_0S+\frac{3}{2}kh_0+2kh_1\right)h_1}\end{aligned}$$

＜次頁につづく＞

〔問 4〕

(1)　$r_2 - r_1 = m\lambda$　　(2)　$m\dfrac{l\lambda}{d}$　　(3)　$R_2 - R_1 + r_2 - r_1 = m'\lambda$

(4)　$m'\dfrac{l\lambda}{d} - \dfrac{l}{L}a$　　(5)　$-\dfrac{l}{L}v$　　(6)　$-\dfrac{l}{L}nv$

解説

(1)　経路差：$\mathrm{S_1Q} - \mathrm{S_2Q} = r_2 - r_1$ が波長の整数倍であればよいので，明線ができる条件は，$\boldsymbol{r_2 - r_1 = m\lambda}$

(2)　$r_2 - r_1$ を以下のように近似する。

$$
\begin{aligned}
r_2 - r_1 &= \sqrt{l^2 + (b + d/2)^2} - \sqrt{l^2 + (b - d/2)^2} \\
&= l\left\{1 + \left(\frac{b + d/2}{l}\right)^2\right\}^{\frac{1}{2}} - l\left\{1 + \left(\frac{b - d/2}{l}\right)^2\right\}^{\frac{1}{2}} \\
&\fallingdotseq l\left\{1 + \frac{1}{2}\left(\frac{b + d/2}{l}\right)^2\right\} - l\left\{1 + \frac{1}{2}\left(\frac{b - d/2}{l}\right)^2\right\} \\
&= \frac{d}{l}b
\end{aligned}
$$

明線ができる条件は $\dfrac{d}{l}b = m\lambda$ となるので，これを b について解くと，$\boldsymbol{b = m\dfrac{l\lambda}{d}}$

(3)　経路差：$\mathrm{S_0S_1Q} - \mathrm{S_0S_2Q} = (R_2 + r_2) - (R_1 + r_1)$ が波長の整数倍であればよいので, 明線ができる条件は $\boldsymbol{R_2 - R_1 + r_2 - r_1 = m'\lambda}$

(4)　(2) と同様にして，$R_2 - R_1 \fallingdotseq \dfrac{d}{L}a$ と近似できる。よって，明線ができる条件は $\dfrac{d}{l}b + \dfrac{d}{L}a = m'\lambda$ となる。これを b について解くと，$b = \boldsymbol{m'\dfrac{l\lambda}{d} - \dfrac{l}{L}a}$

(5)　$\mathrm{S_0}$ を移動し始めた時刻を $t = 0$ とすると，時刻 t における $\mathrm{S_0}$ の位置は，$a = vt$ とかける。

したがって，(4) より，$b = m'\dfrac{l\lambda}{d} - \dfrac{l}{L}vt$ となるので，Q は速度 $\boldsymbol{-\dfrac{l}{L}v}$ （t の係数）で移動することがわかる。

(6)　AB 間の光路差が $n\dfrac{d}{L}a$ となるため，明線ができる条件は，$\dfrac{d}{l}b + n\dfrac{d}{L}a = m'\lambda$ となる。

したがって，$b = m'\dfrac{l\lambda}{d} - n\dfrac{l}{L}a = m'\dfrac{l\lambda}{d} - \dfrac{l}{L}nvt$ となるので，Q は速度 $\boldsymbol{-\dfrac{l}{L}nv}$ （t の係数）で移動することがわかる。

＜次頁につづく＞

〔問 5〕

(1) 1.7×10^{-27} kg　(2) 9.3×10^{2} MeV　(3) 0.62 MeV

(4) ${}^{14}_{7}\mathrm{N}$　(5) 1.9×10^{4} 年　(6) 0.16 MeV

解説

(1) 統一原子質量単位の定義と，1 mol の炭素 12 原子の質量が約 12 g であることから，求める質量は

$$\frac{12 \times 10^{-3}}{6.02 \times 10^{23}} \cdot \frac{1}{12} = 1.66\ldots \times 10^{-27} \fallingdotseq \mathbf{1.7 \times 10^{-27}\ kg}$$

(2) $\dfrac{1.66\ldots \times 10^{-27} \cdot (3.00 \times 10^{8})^{2}}{1.60 \times 10^{-19}} \times 10^{-6} \fallingdotseq 9.31 \times 10^{2} \fallingdotseq \mathbf{9.3 \times 10^{2}\ MeV}$

(3) この原子核反応における質量の減少量は 0.00067 u となるので $0.00067 \cdot 9.31 \times 10^{2} = \mathbf{0.62\ MeV}$

(4) β 崩壊により，原子核中の中性子が 1 つ陽子に変化することより $\mathbf{{}^{14}_{7}N}$

(5) 求める年数を t，半減期を T とすると

$$\frac{1}{10} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

が成り立つので，$t = \dfrac{T}{\log_{10} 2} = \dfrac{5730}{0.301} \fallingdotseq \mathbf{1.9 \times 10^{4}}$ **年**

(6) この崩壊における質量の減少量は 0.00017 u となるので，$0.00017 \cdot 9.31 \times 10^{2} = \mathbf{0.16\ MeV}$

＜次頁につづく＞

講評

〔問 1〕［力学：放物運動，反発係数］（やや難）

斜方投射と壁や床との衝突を扱う問題。(1)〜(8) までは標準的だが，(9) 以降はやや難しい。(10)，(11) は最後に回した方がよい問題。

〔問 2〕［電磁気：電気振動］（標準）

電気振動の標準的問題である。(5) の電磁波の空間変化を図示する問題は過去にも出題された問題だが，電場と磁場の関係を正しく覚えている受験生は少ないだろう。

〔問 3〕［熱：気体の状態変化］（標準）

標準的な内容だが，(1) の条件に戸惑った受験者は多かったのではないだろうか。(1) は (2) 以降には影響せず，(2)〜(6) は標準的。

〔問 4〕［波動：ヤングの実験］（標準）

標準的内容のヤングの実験の問題。できれば完答したい。

〔問 5〕［原子：原子核反応・放射性崩壊］（標準）

原子核反応と，放射性崩壊の標準的な問題。質量の減少量から発生するエネルギーを求める計算がポイント。重い数値計算は解く時間がなかったかもしれない。原子核反応は 2 年連続出題された。

総評

問題数は 2023 年度よりも 1 問多く 36 問。昨年度よりも解きやすい問題が多くなったが，大問 1 の力学の後半や大問 5 の数値計算の問題で時間をとられるため，全ての問題を解ききることはかなり難しい。大問 2，3，4 の問題をできるだけ解き，大問 1 の前半と大問 5 の数値計算以外の問題を解くだけで時間が足りなくなるだろう。

難易度の高い問題の割合は下がったが，昨年度よりも作業量が多い問題が増えたことを考えると，総じて目標点数は昨年度と同程度で 60 %