解答速報

東海大学医学部　物理

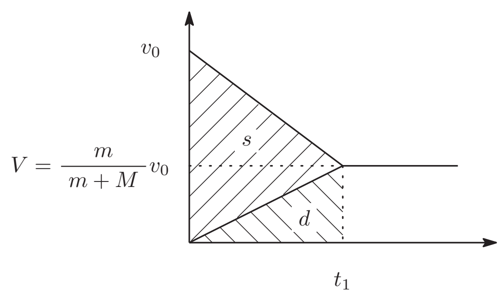
2024年2月3日実施

1

(1)　Fd　　(2)　$-F(s+d)$　　(3)　Fs　　(4)　$\sqrt{\dfrac{2Fd}{M}}$　　(5)　$\dfrac{d}{s-d}M$

解説

台 P と物体 Q は一定の動摩擦力 F を受けてそれぞれ等加速度運動を行う。したがって，右図のような $v-t$ グラフが描ける。



(1)　板 P は右向きに d だけ移動し，その間に右向きに一定の摩擦力 F がはたらいたので，求める仕事は $\boldsymbol{Fd}$

(2)　板 P は右向きに d 移動し，板 P からみて物体 Q は右向きに s 移動しているので，地面から見て物体 Q は $s+d$ 右向きに移動する（$v-t$ グラフ参照）。よって力の向きと移動する向きが逆であることに注意して求める仕事は $\boldsymbol{-F(s+d)}$

(3)　エネルギーの原理より，台 P と物体 Q の力学的エネルギーの和の変化量 ΔK は，P と Q それぞれに摩擦力がした仕事の和と等しい。よって (1)(2) より $\Delta K=-Fs$ となる。よって摩擦によって失われたエネルギーは $|\Delta K|=\boldsymbol{Fs}$

(4)　求める速さを V とおく。台 P のエネルギーの原理より

$$Fd=\frac{1}{2}MV^2 \qquad \therefore\ V=\sqrt{\boldsymbol{\frac{2Fd}{M}}}$$

(5)　物体 Q の質量を m とおく。物体 Q の初速度を v_0 とおくと，運動量保存則より

$$mv_0=(m+M)V \qquad \therefore\ \frac{V}{v_0}=\frac{m}{m+M}$$

ここで台 P と物体 Q が同じ速さになった時刻を t_1 とすると，$v-t$ グラフより

$$\begin{cases} d=\dfrac{1}{2}Vt_1 \\ s=\dfrac{1}{2}v_0t_1 \end{cases}$$

$$\therefore\ \frac{d}{s}=\frac{V}{v_0}$$

よって $\dfrac{d}{s}=\dfrac{m}{m+M}$ より $m=\boldsymbol{\dfrac{d}{s-d}M}$

＜次頁につづく＞

2

(1) $\dfrac{E}{R}$〔A〕　(2) $\dfrac{2}{3}CE$〔C〕　(3) $\dfrac{2}{15}E$〔V〕　(4) $\dfrac{1}{6}E$〔V〕　(5) $\dfrac{5}{12}CE^2$〔J〕

解説

(1) スイッチ S_1 を閉じた直後に R_1 を流れる電流を I_0 とすると，このとき C_1，C_2 に蓄えられている電気量は 0〔C〕であるから，キルヒホッフの第 2 法則より，

$$E - RI_0 = 0 \qquad \therefore I_0 = \boldsymbol{\frac{E}{R}}\text{〔A〕}$$

(2) C_1，C_2 の合成容量を C' とすると，

$$\frac{1}{C'} = \frac{1}{C} + \frac{1}{2C} \qquad \therefore C' = \frac{C \times 2C}{C + 2C} = \frac{2}{3}C$$

よって，C_2 に蓄えられている電気量 Q_2 は，

$$Q_2 = C'E = \boldsymbol{\frac{2}{3}CE}\text{〔C〕}$$

(3) Q_2 が C_2，C_3 に電気容量の比で分配されるので，操作 A の後に C_3 に蓄えられる電気量 Q_3 は，

$$Q_3 = \frac{3C}{2C + 3C}Q_2 = \frac{3}{5} \times \frac{2}{3}CE = \frac{2}{5}CE$$

したがって，求める電圧は，

$$\frac{Q_3}{3C} = \boldsymbol{\frac{2}{15}E}\text{〔V〕}$$

(4) 電池の負極側の電位を 0〔V〕，C_1 の左側極板の電位を V〔V〕とする．電気量保存則より，

$$0 = C(V - E) + 2C(V - 0) + 3C(V - 0) \qquad \therefore V = \frac{1}{6}E$$

よって，C_3 の両極板間の電圧は，$V - 0 = \boldsymbol{\frac{1}{6}E}$〔V〕

(5) 3 つのコンデンサーの合成容量は，

$$\frac{C \times (2C + 3C)}{C + (2C + 3C)} = \frac{5}{6}C$$

であるから，電荷の移動がない定常状態に到達したとき，C_1 に蓄えられている電気量，すなわち，電池を通過した電気量は $\dfrac{5}{6}CE$ である．よって，電池がした仕事は

$$\frac{5}{6}CE \times E = \frac{5}{6}CE^2$$

となる．この半分が 3 つのコンデンサーの静電エネルギーとなり，残りの半分が回路全体で発生したジュール熱となるので，

$$\frac{1}{2} \times \frac{5}{6}CE^2 = \boldsymbol{\frac{5}{12}CE^2}\text{〔J〕}$$

＜次頁につづく＞

3

(1)　イ　(2)　オ　(3)　エ　(4)　ウ　(5)　エ

解説

(1)　状態方程式 $P_0SL = RT_0$ より $T_0 = \boldsymbol{\frac{P_0SL}{R}} \cdots$ **イ**

(2)　力のつりあいより $P_1SL = P_0SL + \frac{S}{L}P_0L_1$．これと状態方程式 $P_1S(L+L_1) = RT_1$ より $T_1 = \boldsymbol{\frac{P_0SL}{R}\left(1+\frac{L_1}{L}\right)^2} \cdots$ **オ**

(3)　B 内の気体の内部エネルギーの変化量が $\frac{3}{2}R(T_1 - T_0)$，B 内の気体のする仕事が $P_0SL_1 + \frac{P_0S}{2L}{L_1}^2$ であることより，熱力学第一法則から求める熱量は

$$\frac{3}{2}R(T_1 - T_0) + P_0SL_1 + \frac{P_0S}{2L}{L_1}^2 = \boldsymbol{2P_0S\left(2L_1 + \frac{{L_1}^2}{L}\right)} \cdots \textbf{エ}$$

(4)　状態 2 の温度を T_2 とおく．A 内の気体と B 内の気体を合わせた系について，外部との熱のやりとりがないことから，熱力学の第一法則より，内部エネルギーの変化量と気体が外部にした仕事の和は 0 となる．よって

$$\frac{3}{2}\cdot 4RT_2 - \frac{3}{2}\cdot 4RT_0 + P_0SL_2 + \frac{1}{2}\cdot\frac{S}{L}P_0{L_2}^2 = 0$$

が成り立つ．この式と状態方程式 $P_2S(2L + L_2) = 4RT_2$，力のつりあいの式 $P_2S = P_0S + \frac{S}{L}P_0L_2$ から P_2，T_2 を消去することにより $4{L_2}^2 + 11LL_2 - 6L^2 = 0$ となる．この L_2 についての 2 次方程式を $L_2 > 0$ の範囲で解くことにより，$L_2 = \boldsymbol{\frac{\sqrt{217}-11}{8}L} \cdots$ **ウ**

(5)　$P_2 = P_0\left(1 + \frac{L_2}{L}\right) = \boldsymbol{\frac{\sqrt{217}-3}{8}P_0} \cdots$ **エ**

＜次頁につづく＞

4

(1)　ア　(2)　ウ　(3)　オ※　(4)　カ　(5)　ウ

※（$L_1 = L_2$ と仮定した。）

解説

(1)　鏡 1 に反射する経路と鏡 2 に反射する経路の差は $2(L_2 - L_1)$。いずれの鏡による反射でも位相は π ずれるので反射による位相のずれの影響は打ち消し合う。光路差 λ あたり位相差が 2π 生じるので，求める位相差は，

$$\frac{2(L_2 - L_1)}{\lambda} \times 2\pi = \boldsymbol{\frac{4\pi(L_2 - L_1)}{\lambda}} \cdots \textbf{ア}$$

(2)　鏡 2 の移動距離 x に対して，(1) の位相差が π 減少するため，

$$\frac{4\pi x}{\lambda} = \pi \qquad \therefore x = \boldsymbol{\frac{\lambda}{4}} \cdots \textbf{ウ}$$

(3)　まず，薄膜を入れることにより，鏡 2 を経由する側の光路長が $2(n-1)t$ 増加する。したがって，$\lambda = \lambda_1$ のとき，光の強度が極大となるため，m を整数として，

$$\frac{4\pi(L_2 + (n-1)t - L_1)}{\lambda_1} = 2\pi m$$

また，$\lambda = \lambda_2$ のとき，問題文中の条件より，

$$\frac{4\pi(L_2 + (n-1)t - L_2)}{\lambda_1} = 2\pi(m-1)$$

辺々差を取ると，

$$4\pi(L_2 + (n-1)t - L_1)\left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right) = 2\pi$$

この式の t は指定の文字で表すことはできないので，$L_1 = L_2$ を仮定すると，

$$4\pi(n-1)t\left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right) = 2\pi \qquad \therefore t = \boldsymbol{\frac{\lambda_1\lambda_2}{2(n-1)(\lambda_2 - \lambda_1)}} \cdots \textbf{オ}$$

(4)　屈折の法則より，$\sin\alpha = n\sin\beta$ が成り立つ。したがって，

$$\cos\beta = \sqrt{1 - \sin^2\beta} = \boldsymbol{\sqrt{1 - \frac{\sin^2\alpha}{n^2}}} \cdots \textbf{カ}$$

(5)　与えられた図より，α 回転したことによる光路差を考えて，干渉条件は，

$$\frac{nt}{\cos\beta} + \left\{t - \frac{t}{\cos\beta}\cos(\alpha - \beta)\right\} - nt = \frac{N\lambda}{2}$$

とかける。また，$\sin\beta = \dfrac{\sin\alpha}{n}$ より，$\sin\beta \fallingdotseq \beta \fallingdotseq \dfrac{\alpha}{n}$，$\cos\beta \fallingdotseq 1 - \dfrac{\alpha^2}{2n^2}$ であることと，与えられた近似に加えて，$\dfrac{1}{\cos\theta} \fallingdotseq \left(1 - \dfrac{\theta^2}{2}\right)^{-1} \fallingdotseq 1 + \dfrac{\theta^2}{2}$，および，$\tan\theta \fallingdotseq \theta$ を用いると，

$$\begin{aligned} N\lambda &= 2t\left(\frac{n}{\cos\beta} + 1 - \frac{\cos\alpha\cos\beta + \sin\alpha\sin\beta}{\cos\beta} - n\right) \\ &= 2t\left(\frac{n}{\cos\beta} + 1 - \cos\alpha - \sin\alpha\tan\beta - n\right) \\ &\fallingdotseq 2t\left(n + \frac{\alpha^2}{2n} + 1 - 1 + \frac{\alpha^2}{2} - \frac{\alpha^2}{n} - n\right) \\ &= \boldsymbol{\frac{t\alpha^2(n-1)}{n}} \cdots \textbf{ウ} \end{aligned}$$

解答者注：答えを選択肢から選ぶだけなら，$n = 1$ を代入して 0 になるウを選べばよい。

＜次頁につづく＞

講評

$\boxed{1}$ [力学：摩擦のある台上の物体の運動]（やや易）

摩擦のある台上の物体の運動に関する典型的な問題。入試では非常によく取り上げられるテーマ。$v-t$ グラフを用いて考えると分かり易い。完答したい。

$\boxed{2}$ [電磁気：コンデンサーの接続]（標準）

コンデンサーの接続の標準的な問題。合成を用いて手早く処理して完答したい。

$\boxed{3}$ [熱：気体の状態変化]（やや難）

気体の状態変化を追う問題であるが，文字定数や変数が多く，また (4) の作業量が多いため，ミスが起こりがちであり，また完答には時間がかかる問題である。選択肢があるので，ミスには気づきやすい。(3) までは確実に取りたい。

$\boxed{4}$ [波動：マイケルソン干渉計]（やや難）

(3) の問題を解くための条件が問題に与えられておらず，選択肢の形から $L_1 = L_2$ の条件を仮定して解説した。(5) の近似は図が与えられているものの計算は重い。(1)，(2)，(4) の 3 問は確実に正解したい。

総評

難易度は 2024 年の 1 日目と同程度。（2023 年度 2 日目より大幅に易化）。大問 1，大問 2 の記述問題はいずれも典型的な問題で作業量も少ないため素速く完答しておきたい。大問 3 および大問 4 の選択問題はいずれも後半の問題が落としやすい。目標得点率は 65 ％