解答速報 物理

医学部受験専門予備校 慧修会

# 2024年度　東海大学　２日目

【 講 評 】

典型問題が多い。７割以上は得点したい。

1 は摩擦により相互作用する二体系の問題。仕事の定義がわかっていれば難なく解ける。少なくとも(4)までは得点したい。

2 はコンデンサーを含む回路の問題。非常に典型的である。

3 は気体の状態変化の問題。エネルギーの変化を正確に記述できたかが鍵。やや計算量が多いが、解説のように無次元化することでミスを減らすことができるだろう。

4 はマイケルソン干渉計の問題。もはや入試では典型となりつつあり、(1),(2),(4)は確実に解きたい。

【 解 答 】

1

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

2

(1) $\frac{E}{R}$ [A]　(2) $\frac{2CE}{3}$ [C]　(3) $\frac{2E}{15}$ [V]　(4) $\frac{E}{6}$ [V]　(5) $\frac{5CE^2}{12}$ [J]

3

(1) イ　(2) オ　(3) エ　(4) ウ　(5) エ

4

(1) ア　(2) ウ　(3) 解なし　(4) カ　(5) ウ

【 解 説 】

$\boxed{1}$

(1) 仕事は、力の変位方向成分の大きさに、力の受け手の変位をかけて得られるので、求める仕事は

$$Fd$$

(2) 同様に、物体 Q の変位が $s+d$ であるので、力と変位が逆方向であることに注意すれば、

$$-F(s+d)$$

(3) 系 P+Q でのエネルギー収支は (1)+(2) であるから、失われたエネルギーは

$$Fs$$

(4) P のエネルギーを考えると、求める速度を $V$ として、

$$Fd=\frac{MV^2}{2} \Rightarrow V=\sqrt{\frac{2Fd}{M}}$$

(5) Q の質量 $rM$、初速を $v_0$ とする。運動量保存則より、

$$rMv_0=(1+r)MV$$

(3)で失われたエネルギーは相対運動エネルギー分なので、

$$Fs=\frac{rMv_0^2}{2(1+r)}$$

これらを解いて、

$$rM=\frac{d}{s-d}M$$

$\boxed{2}$

この解説では、電位差、電気量は電池の正極側を正とする。

(1) $S_1$ を閉じた直後は、コンデンサー$C_1$、$C_2$には電荷がたまっていないので、その両端の電位差は 0 である。よって、電池の起電力がすべて抵抗 $R_1$ にかかるので、求める電流は、

$$\frac{E}{R}\ [\mathrm{A}]$$

(2) 充分時間が経過したあとは電流が流れていないので、コンデンサー$C_1$、$C_2$の電位差$V_1$、$V_2$とすると、

$$E = V_1 + V_2$$

また、$C_1$、$C_2$の間の電荷の合計は 0 なので、

$$0 = -CV_1 + 2CV_2$$

以上を解いて、求める電気量は、

$$2CV_2 = \frac{2CE}{3}\ [\mathrm{C}]$$

(3) 充分時間が経過したあとは電流が流れていないので、コンデンサー$C_2$、$C_3$の電位差が一致する。その電位差を$V$とすれば、(2)の電気量が $C_2$、$C_3$ に蓄えられている電気量の和となることから、

$$\frac{2CE}{3} = 2CV + 3CV$$

よって、求める電圧は、

$$V = \frac{2E}{15}\ [\mathrm{V}]$$

(4) 定常状態では、電池の電位差とコンデンサー$C_1$、$C_2$の電位差の和が一致すること、コンデンサー$C_2$、$C_3$の電位差が一致すること、および電気量保存から、以下が成立する。

$$E = V_1 + V_2$$

$$V_2 = V_3$$

$$-CV_1 + 2CV_2 + 3CV_3 = 0$$

これを解いて、

$$V_1 = \frac{5E}{6}\ [\mathrm{V}], \qquad V_2 = V_3 = \frac{E}{6}\ [\mathrm{V}]$$

(5) 電池のした仕事は

$$E \cdot CV_1 = \frac{5CE^2}{6}$$

であり、コンデンサーに蓄えられたエネルギーは

$$\frac{1}{2}CV_1^2 + CV_2^2 + \frac{3}{2}CV_3^2 = \frac{5CE^2}{12}$$

差をとって、求めるエネルギーは、

$$\frac{5CE^2}{12}\ [\mathrm{J}]$$

$\boxed{3}$

(1) 状態方程式を考えると、

$$T_0 = \frac{P_0SL}{R}\ [\mathrm{K}]$$

(2) ばねによる圧力は、

$$\frac{S}{L}P_0 \cdot \frac{L_1}{S} = \frac{L_1}{L}P_0$$

よって、容器 B 内の気体の圧力は$\frac{L_1}{L}P_0 + P_0$となり、体積は$S(L+L_1)$なので、

$$T_1 = \frac{P_0SL}{R}\left(1+\frac{L_1}{L}\right)^2\ [\mathrm{K}]$$

(3) 気体が得た熱量は、熱力学第一法則より、内部エネルギーの変化と気体がした仕事の和なので、

$$\frac{3}{2}R(T_1 - T_0) + \left(P_0SL_1 + \frac{1}{2}\cdot\frac{S}{L}P_0\cdot L_1^2\right) = 2P_0S\left(2L_1 + \frac{L_1^2}{L}\right)\ [\mathrm{J}]$$

(4) $x = \frac{L_2}{L}$とする。状態 2 における圧力は、(2)と同様の議論により、$(1+x)P_0$ である。また、状態 2 における温度は、状態方程式により

$$T_2 = \frac{(1+x)P_0 \cdot S \cdot (2+x)L}{4R}$$

内部エネルギーの変化とした仕事の和が 0 となるので、

$$\frac{3}{2}\cdot 4R(T_2 - T_0) + P_0SLx + \frac{1}{2}P_0SLx^2 = 0$$

これらを解いて、

$$x = \frac{\sqrt{217}-11}{8}$$

(5) 前問の議論より、状態 2 での圧力は、$P_0$ の

$$1 + x = \frac{\sqrt{217}-3}{8}$$

倍である。

$\boxed{4}$

(1) 距離差 $2(L_2 - L_1)$ であり、波長は $\lambda$ なので、位相差は、

$$\frac{4\pi(L_2 - L_1)}{\lambda}$$

(2) 位相差が $\pi$ だけ変化するように近づければよい。距離を $d$ 近づけると、位相差は $4\pi d/\lambda$ だけ変化するので、求める距離は

$$\frac{\lambda}{4}\ [\mathrm{m}]$$

(3) 波長が $\lambda$ のときの位相差は、

$$\frac{4\pi((L_2 - t) + nt - L_1)}{\lambda}$$

となる。問題の条件より、

$$\frac{4\pi((L_2 - t) + nt - L_1)}{\lambda_1} - \frac{4\pi((L_2 - t) + nt - L_1)}{\lambda_2} = 2\pi$$

なので、求める厚みは、

$$t = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(n-1)(\lambda_2 - \lambda_1)} - \frac{L_2 - L_1}{n-1}\ [\mathrm{m}]$$

これに対応する解は選択肢の中に存在しない。

(4) 気体が得た熱量は、屈折の法則より、$\sin\alpha = n\sin\beta$ だから、

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

(5) 回転していない状態（$\alpha = 0$）との位相差を考えると、

$$\frac{4\pi}{\lambda}\left\{\left(\frac{nt}{\cos\beta} - \frac{t\cos(\alpha-\beta)}{\cos\beta}\right) - (nt - t)\right\} = 2\pi N$$

$\alpha, \beta \ll 0$ より、

$$\frac{1}{\cos\beta} \fallingdotseq \frac{1}{1 - \frac{\alpha^2}{2n^2}} \fallingdotseq 1 + \frac{\alpha^2}{2n^2}$$

$$\cos(\alpha - \beta) = \cos\alpha\cos\beta + \sin\alpha\sin\beta \fallingdotseq \left(1 - \frac{\alpha^2}{2}\right)\left(1 - \frac{\alpha^2}{2n^2}\right) + \alpha \cdot \frac{\alpha}{n} \fallingdotseq 1 - \frac{(n-1)^2}{2n^2}\alpha^2$$

これを代入することで、

$$N\lambda \fallingdotseq \frac{t\alpha^2(n-1)}{n}\ [\mathrm{m}]$$

を得る。