

日大 2013 物理

略解

- 1 $1 \cdot 2 \cdot 3 = 153$ $4 \cdot 5 \cdot 6 = 136$ $7 \cdot 8 \cdot 9 = 3.06$ $10 \cdot 11 = 17$
2 問 1.12 - 9 13 - 4 14 - 5 15 - 2 問 2.16 · 17 - 2.2 18 · 19 - 0.9
3 問 1.20 - ② 問 2.21 - ⑥ 22 - ⑤ 問 3.23 - ⑦ 問 4.24 - ②
4 問 1.25 - ② 問 2.26 - ⑥ 問 3.27 - ③ 問 4.28 - ④ 29 - ③
5 問 1.30 · 31 - 20 32 · 33 - 99 問 2.34 · 35 - 11 36 - 9
 問 3.37 - 1 38 · 39 - 15

配点

- 1 各 5 点 (5×4)
2 各 5 点 (5×4)
3 問 1、2 各 4 点 問 3、4 各 5 点 ($4 \times 3 + 5 \times 2$)
4 各 4 点 (4×5)
5 各 6 点 (6×3)

波動

○原則

ドップラー効果 波の発生源と観測者の相対速度により、波の周波数が変化して観測される。 f_0 を音源の振動数としたとき、観測者が感知する振動数は、 $f = \frac{V - v_0}{V - v_s} f_0$ と表わされる。ここで、 V は音速、 v_0 は観測者の速度、 v_s は音源の速度である。

うなり 振動数が f_1 , f_2 の 2 つの波が干渉することで、合成波の振動数が周期的に変わる現象のことを、うなりと言う。うなりの振動数 f は、 $f = |f_1 - f_2|$ と表わされる。速さ v (m/s) と振動数 f (1/s)、波長 λ (m) の関係は、 $v = f\lambda$ である。

○ 解答

1~3

【方針】

音源が移動する時、ドップラー効果により、波の振動数は変化して観測される。音源と波の向き（正負）に注意して解く。

【解説】

音波から観測器に向かう方向を正として、ドップラー効果の式より、

$$f_1 = \frac{340 - 0}{340 - 20} \times 144 = \underline{153} \text{ (Hz)} \text{ となる。}$$

4~6

【方針】

1~3 と同様。

【解説】

ドップラー効果の式より、 $f_2 = \frac{340 - 0}{340 + 20} \times 144 = \underline{136} \text{ (Hz)}$ である。

7~9

【方針】

直接聞こえた音と反射した音の時間差から、距離を求める。

【解説】

音源から観測器までの距離を l とする。音源を出た音が反射板で反射し、観測器に達するまでの時間は $\frac{(x-l)+x}{340}$ である。 f_1 の音を聞いてからうなりが観測されるまで 8 秒間あった

ので、 $\frac{(x-l)+x}{340} - \frac{l}{340} = 8$ が成り立つ。 $l = 340 \times 5$ (m) を代入して、 $x = 3.06 \times 10^3$ (m)

が得られる。

10, 11

【方針】

うなりの式を用いる。

【解説】

1秒間のうなりの数は $f_1 - f_2 = \underline{17}$ (回)

1. 光学

○原則

レンズの写像公式 凸レンズから物体までの距離 a 、焦点距離 f 、レンズから実像までの距離 b の関係は、 $1/a + 1/b = 1/f$ と表される。

○解答

問1 (12~15)

【方針】

虚像であることに注意して、レンズ L_1 に写像公式にあてはめる。

【解説】

レンズの写像公式より、

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{(-b)} = \frac{1}{f_1} \quad (12-1)$$

今 L_1 の倍率が 10 倍であるので、式(12-1)に代入して、 $f_1 = \frac{10}{9}a$ が得られる。図より、

$l + f_1 = 25$ (cm) であるから、 $10a + \frac{10}{9}a = 25$ である。よって、 $a = \underline{\frac{9}{4}}$ (cm) となる。また、

$f_1 = \frac{10}{9} \times \frac{9}{4} = \underline{\frac{5}{2}}$ (cm) である。

問2 (16~19)

【方針】

レンズ L_2 に写像公式にあてはめればよい。

【解説】

レンズの写像公式より、

$$\frac{1}{25} + \frac{1}{c} = \frac{1}{f_2}$$

よって、 $c = \frac{50}{23} \cong \underline{2.2}$ (cm) である。2つのレンズ全体での倍率 n は、 $n = \frac{b}{a} \times \frac{c}{25} = 10 \times \frac{\frac{50}{23}}{25} \cong$

0.9 となる。

2. 力学

○原則

弾性力 フックの法則より、弾性力は kx と表される。 k (N) はばね定数、 x (m) は自然長からの縮みである。力のつりあいの式より、角振動数 $\omega = (k/x)^{1/2}$ (rad/s) が得られる。弾性力のポテンシャルは $1/2 kx^2$ で表される。

運動方程式 (運動の第二法則) 物体の速度が光速に比べて十分に小さいとき、力は質量と加速度の積に等しい。

○ 解答

問 1 (20)

【方針】

フックの法則を用いる。

【解説】

小球 A には重力 mg とばねの張力 kx がかかる。力のつりあいの式より、 $mg = kx$ となり、ばねの長さは $L + \frac{mg}{k}$ である。解は②である。

問 2 (21, 22)

【方針】

問 1 の解を用いて運動方程式をたてる。

【解説】

小球 A の運動方程式は、

$$ma_A = mg - k(y_A + y_B + x) \quad (21-1)$$

と表わされる。 $x = \frac{mg}{k}$ より、 $ma_A = -k(y_A + y_B)$ となり、解は⑥である。

小球 B の運動方程式は、

$$ma_B = mg - T \quad (21-2)$$

と表わされる。解は⑤である。

問 3 (23)

【方針】

ばねの単振動の問題である。角振動数と振幅を導出し、単振動の式を形成して解く。

【解説】

ひもとばねの結び目の運動方程式は、

$$0 = k(y_A + y_B + \frac{mg}{k}) - T \quad (23-1)$$

となる。式(21-1)、(21-2)より、

$$\begin{aligned} m(a_A + a_B) &= -k(y_A + y_B) + mg - T \\ &= -2k(y_A + y_B) \end{aligned}$$

と表わされる。角振動数 $\omega = \sqrt{\frac{2k}{m}}$ の単振動をする。時刻 $t=0$ の時 $y_A + y_B$ が最大値 $2s$ を

とる。よって

$$y_A + y_B = 2s \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = 2s \cos\left(\sqrt{\frac{2k}{m}}t\right)$$

と書ける。時刻 t でのばねの長さ l は、

$$\begin{aligned} l &= L + x_0 + y_A + y_B \\ &= L + \frac{mg}{k} + 2s \cos\left(\sqrt{\frac{2k}{m}}t\right) \end{aligned}$$

よって、⑦が求める解である。

問 4 (24)

【方針】

常に $T \geq 0$ であればひもは弛まない。言い換えると、ひもに弛みが生じ始めるのは、 T の最小値が 0 以下になるときである。

【解説】

式(23-1)より

$$\begin{aligned} T &= k(y_A + y_B) + mg \\ &= 2sk \cos\left(\sqrt{\frac{2k}{m}}t\right) + mg \end{aligned}$$

T の最小値は $\sqrt{\frac{2k}{m}}t = \pi$ の時であるので、 $-2sk + mg \geq 0$ であればひもは弛まない。よって、

ひもが弛むのは $s > \frac{mg}{2k}$ の時である。解は②となる。

3. 電気回路

○ 原則

キルヒホッフの第二法則 電気回路の任意の閉じた経路で、電位差の和は 0 となる。

○ 解答

問 1 (25)

【方針】

スイッチ (イ) にすると、極板 AA' に電荷が蓄積され、極板間に電位差が発生する。電池と極板で閉回路が形成されるので、キルヒホッフの第二法則を適用できる。

【解説】

極板 A に電荷 Q_A が蓄えられたとする。電池と極板 AA' を含む閉回路において、キルヒホッフの第二法則より、

$$E + \frac{Q_A}{C} = 0$$

よって、 $Q_A = -CE$ となり、解は②である。

問 2 (26)

【方針】

スイッチを (ロ) にすると、閉回路でなくなり、極板 A における電荷量 Q は保存される。

このとき、極板間の電界 D も変化せず、極板が引き合う力は $\frac{1}{2}QD$ で表される。

【解説】

極板 AA' 間の電界を D とする。問 1 の状態の時、コンデンサーの電界と電圧の関係式より、 $D = \frac{E}{d}$ となる。極板が引き合う力は $\frac{1}{2}Q_A D = \frac{CE^2}{2d}$ より、解は⑥である。

問 3 (27)

【方針】

極板 AA' の電荷は変わらないが、静電容量は極板間隔に反比例する。

【解説】

極板 AA' の距離が $2d$ の時、極板 AA' の静電容量は $\frac{C}{2}$ である。この時の AA' 間の電

位差は $V = \frac{Q_A}{C/2} = 2E$ である。極板 A の電位は、 $V_A = E - 2E = -E$ 。よって、解は③である。

問 4 (28, 29)

【方針】

電池、極板 AA'、極板 BB' の閉回路でキルヒホッフの第二法則をたてればよい。

【解説】

S を (ハ) の状態にし、十分時間が経過したときの極板 A と B の電荷を、それぞれ Q_A' 、 Q_B' とする。(ハ) の状態にする前に極板 A に電荷 Q_A が存在したので、電荷保存より、 $Q_A = Q_A' + Q_B'$ が成り立つ。電池、極板 AA'、極板 BB' を含む閉回路における、キルヒホッフの第二法則より、

$$E + \frac{Q_A'}{C/2} = \frac{Q_B'}{C/3}$$

よって、A の電荷は $Q_A' = -\frac{4}{5}CE$ となり、解は③である。

求める電位は $V_A' = E + \frac{Q_A'}{C/2} = -\frac{3}{5}E$ となり、解は④となる。

4. 熱力学

○ 原則

理想気体の状態方程式 ボイル・シャルルの法則およびアボガドロの法則から、理想気

体は、 $PV=nRT$ の関係が成り立つ。ここで P (Pa)は気体の圧力、 V (m³)は気体が占める体積、 n (mol)は気体の物質量、 R (=8.31451 J/K/mol)は気体定数、 T (K)は気体の熱力学温度である。標準状態 (0度 1気圧) で 1mol 中に含まれる分子数 N_A (=6.02×10²³)をアボガドロ数と言う。

比熱 比熱 c (J/g/K)は、単位質量の物質の熱容量であり、 $Q=mc\Delta T$ の関係がある。比熱が大きい物質は、温まりにくく、冷めやすい。定積過程におけるモル比熱は $C_v=5/2RT$ 、定圧過程では $C_p=3/2RT$ となる。

○ 解答

問 1 (30~33)

【方針】

ピストンにかかる力は、A と B の圧力差で表される。理想気体であるので、A と B の圧力を求めるのに、気体の状態方程式を用いることができる。

【解説】

A と B の気体の物質量を n (mol)、気体の体積を V_0 (m³)とする。ピストンが静止したときの A と B の気体の圧力を、それぞれ P_A 、 P_B (Pa)とする。気体の状態方程式は、

$$P_0V_0 = nRT_0 \quad (30-1)$$

$$P_A \times 1.1V_0 = nRT_0$$

$$P_B \times 0.9V_0 = nRT_0$$

と表わされる。よって、 $P_A = \frac{1}{1.1}P_0$ 、 $P_B = \frac{1}{0.9}P_0$ である。

両気体が断熱板に及ぼす力の差 $P_B S - P_A S = \frac{20}{99}P_0 S$ の力を加えればよい。

問 2 (34~36)

【方針】

題意より、A の気体を T_A まで加熱することで、圧力が P_B まで上昇し、断熱板は動かなくなったことがわかる。断熱板の位置を固定しているので、加熱中の体積変化はない (定積変化)。気体と外部の間の熱の出入りもないので、加熱後の気体の状態方程式を用いればよい。

【解説】

A を加熱した後の気体の状態方程式は、

$$P_B \times 1.1V_0 = nRT_A$$

と表わされる。式 (30-1) を用いると、 $\frac{P_B \times 1.1V_0}{P_0V_0} = \frac{nRT_A}{nRT_0}$ となる。

よって、 $T_A = \frac{11}{9}T_0$ である。

問 3 (37~39)

【方針】

単原子分子の理想気体の定積モル比熱は $3/2R$ を用いる。抵抗 R に電圧 V を加えた時のジュール熱は、 V^2/R で表される。

【解説】

A の気体が得た熱量 Q は、式 (30-1) を用いて、

$$Q = n \frac{3}{2} R (T_A - T_0) = \frac{1}{3} n R T_0 = \frac{1}{3} P_0 V_0 = \frac{1}{6} P_0 S L$$

これがヒーターで加えた熱量に等しい。

よって、 $\frac{1}{6} P_0 S L = \frac{5^2}{10} t$ となり、 $t = \frac{1}{15} P_0 S L$ が得られる。