1．波動

○原則

ドップラー効果　波の発生源と観測差の相対速度により、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、$f=\dfrac{V-v_0}{V-v_s}f_0$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、$f_1=\dfrac{340-0}{340-20}\times 144=\underline{153}$ (Hz)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、$f_2=\dfrac{340-0}{340+20}\times 144=\underline{136}$ (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$\dfrac{(x-l)+x}{340}$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、$\dfrac{(x-l)+x}{340}-\dfrac{l}{340}=8$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 = $ <u>17</u> (回)

2. 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、

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

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、$c = \frac{50}{23} \cong$ <u>22</u> (cm)である。2 つのレンズ全体での倍率 n は、$n = \frac{b}{a} \times \frac{c}{25} = 10 \times \frac{\frac{50}{23}}{25} \cong$ <u>0.9</u> となる。

3. 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$L+\dfrac{mg}{k}$ 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、

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

と表わされる。$x=\dfrac{mg}{k}$ 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、

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

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、

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

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 $w=\sqrt{\dfrac{2k}{m}}$ 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

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

と書ける。時刻 t でのばねの長さ l は、

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

よって、⑦が求める解である。

問 4 (24)

【方針】

　常に $T \geqq 0$ 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

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

T の最小値は $\sqrt{\frac{2k}{m}}t = \pi$ の時であるので、$-2sk+mg \geqq 0$ 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。

4. 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。

5. 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(=6.02×10^{23})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、

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

$$P_A \times 1.1V_0 = nRT_0$$

$$P_B \times 0.9V_0 = nRT_0$$

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 $P_BS - P_AS = \underline{\frac{20}{99}P_0S}$ 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=$\underline{\frac{11}{9}T_0}$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、

$$Q = n\frac{3}{2}R(T_A - T_0) = \frac{1}{3}nRT_0 = \frac{1}{3}P_0V_0 = \frac{1}{6}P_0SL$$

これがヒーターで加えた熱量に等しい。

よって、$\frac{1}{6}P_0SL = \frac{5^2}{10}t$ となり、$\underline{t = \frac{1}{15}P_0SL}$ が得られる。