1 鉛直ピストンに閉じ込められた気体の変化

⑴ 状態１の気体Ａの温度をT_1とすると，状態方程式より，

$$P_0V_0 = nRT_1 \quad \therefore T_1 = \frac{P_0V_0}{nR} \boxed{答}$$

⑵ 状態１から状態２への変化は定圧変化なので，

$$W_{12} = P_0(2V_0 - V_0) = P_0V_0 \boxed{答}$$

⑶ 状態２における気体 Ａ の温度をT_2とすると⑴と同様にして，

$$T_2 = \frac{2P_0V_0}{nR}$$

したがって，内部エネルギー変化は，

$$\Delta U_{12} = nC_{\mathrm{V}}(T_2 - T_1) = \frac{C_{\mathrm{V}}P_0V_0}{R} \boxed{答}$$

⑷ 熱力学第１法則より，

$$Q_{12} = W_{12} + \Delta U_{12} = \left(\frac{C_{\mathrm{V}}}{R} + 1\right)P_0V_0 \boxed{答}$$

⑸ 状態１から状態３の間に気体がした仕事W_{31}は，大気を押す仕事と，おもりの重力に逆らってした仕事の合計なので，

$$W_{31} = P_0 \times \left(-\frac{1}{2}V_0\right) + mg \times \left(-\frac{V_0}{2S}\right)$$

$$= -\frac{1}{2}V_0\left(P_0 + \frac{mg}{S}\right) \boxed{答}$$

⑹ 熱力学第１法則より，

$$0 = W_{31} + \Delta U_{31} = \frac{1}{2}V_0\left(P_0 + \frac{mg}{S}\right) + nC_{\mathrm{V}}(T_1 - T_3)$$

⑴の結果を代入して，

$$T_3 = \frac{V_0}{2nC_{\mathrm{V}}RS}\left(mgR + P_0SR + 2P_0SC_{\mathrm{V}}\right) \boxed{答}$$

⑺ 状態３での圧力をP_3とすると，状態方程式より，

$$P_3 = \frac{2nRT_3}{V_0} = \frac{mgR + P_0SR + 2P_0SC_{\mathrm{V}}}{C_{\mathrm{V}}S} \boxed{答}$$

2 ばね付きピストンに閉じ込められた気体の変化

1〔1〕状態方程式より，

$$2\times\frac{RT_0}{P_0}\quad\text{(b)}\boxed{答}$$

〔2〕同様にして，

$$1\times\frac{RT_0}{P_0}\quad\text{(a)}\boxed{答}$$

2〔3〕状態２での気体Ａの体積を$V_\mathbf{A}$，温度をT_2，封入されている空間のシリンダーの長さを$l_\mathbf{A}$，同様に気体Ｂをそれぞれ$V_\mathbf{B}$，T_2，$l_\mathbf{B}$とすると，両気体の圧力は等しくP_0なので，状態方程式より，

Ａ：$P_0V_\mathbf{A}=2RT_2$

Ｂ：$P_0V_\mathbf{B}=RT_2$

２式より，$V_\mathbf{A}=2V_\mathbf{B}$

よって，$l_\mathbf{A}=2l_\mathbf{B}$

また，$l_\mathbf{A}+l_\mathbf{B}=4l$ なので，

$$V_\mathbf{A}=\frac{8}{3}\times\frac{RT_0}{P_0}\quad\text{(n)}\boxed{答}$$

〔4〕状態方程式より，

$$P_0\times\frac{8}{3}\times\frac{RT_0}{P_0}=2RT_2\ \therefore T_2=\frac{4}{3}T_0\quad\text{(k)}\boxed{答}$$

〔5〕求める仕事は，

$$W_2=P_0\Delta V=1\times RT_0\quad\text{(a)}\boxed{答}$$

〔6〕内部エネルギーの変化は，

$$\Delta U_2=\frac{3}{2}\times(1+2)R(\frac{3}{2}T_0-T_0)=\frac{9}{4}RT_0$$

熱力学第１法則より，

$$Q_2=W_2+\Delta U_2=\frac{5}{2}RT_0\quad\text{(f)}\boxed{答}$$

3〔7〕気体ＡとＢ全体の圧力をP_3，体積をV_3として，状態方程式より，

$$P_3V_3=3R\times3T_0$$

$$P_3\times\frac{5RT_0}{P_0}=9RT_0\qquad\therefore P_3=\frac{9}{5}P_0$$

シリンダーの断面積は，$S=\dfrac{RT_0}{P_0l}$なので，ばね定数をkとして，ピストンⅡにはたらく力のつり合いより，

$$P_3S=P_0S+kl$$

$$\frac{9}{5}\times\frac{RT_0}{l}=\frac{RT_0}{l}+kl\qquad\therefore k=\frac{4RT_0}{5l^2}$$

よって，求めるエネルギーは，

$$U_k=\frac{1}{2}kl^2=\frac{1}{2}\times\frac{4RT_0}{5l^2}\times l^2=\frac{2}{5}RT_0\quad\text{(o)}\boxed{答}$$

〔8〕大気がピストンに対してする仕事は，P_0Slなので，求める仕事は，

$$W_3=P_0Sl+U_k=\frac{7}{5}RT_0\quad\text{(s)}\boxed{答}$$

〔9〕気体の内部エネルギー変化は，

$$\Delta U_3=\frac{3}{2}\times3R(3T_0-\frac{4}{3}T_0)=\frac{15}{2}RT_0$$

よって，熱力学第１法則より，

$$Q_3=W_3+\Delta U_3=\frac{89}{10}RT_0\quad\text{(y)}\boxed{答}$$

〔10〕気体Ａ，Ｂの圧力をP，ばねの縮みをxとすると，ピストンⅡにはたらく力のつり合いより，

$$PS=kx+P_0S$$

$$\therefore P=\frac{4P_0}{5l}x+P_0$$

よって，グラフは(a)$\boxed{答}$

〔11〕気体Ａ，Ｂの圧力がPのときの温度をTとすると，ボイルシャルルの法則より，

$$\frac{P\times(4l+x)}{T}=\frac{P_0\times3l}{T_0}$$

$$\therefore T=\left(\frac{4P_0}{5l}x+P_0\right)\times(4l+x)\times\frac{T_0}{3P_0l}$$

よって，グラフは(e)$\boxed{答}$

4〔12〕ピストンⅠの位置は左端から，

$$5l\times\frac{2}{3}=\frac{10}{3}l$$

よって，

$$\left(4l-\frac{10}{3}l\right)\times\frac{RT_0}{P_0l}=\frac{2}{3}\frac{RT_0}{P_0}\quad\text{(j)}\boxed{答}$$

〔13〕求める温度をT_4として，気体Ｂの状態方程式より，

$$P_0\times\frac{2}{3}\times\frac{RT_0}{P_0}=1\times RT_4$$

$$\therefore T_4=\frac{2}{3}T_0\quad\text{(j)}\boxed{答}$$

〔14〕気体が外部にした仕事は，

$$W_{\text{した}}=-P_0Sl-U_k=-\frac{7}{5}RT_0$$

なので，求める仕事は，

$$W_4=\frac{7}{5}RT_0\quad\text{(s)}\boxed{答}$$

〔15〕内部エネルギー変化は，

$$\Delta U_{4\mathbf{B}}=\frac{3}{2}R(\frac{2}{3}T_0-3T_0)=-\frac{7}{2}RT_0$$

熱力学第１法則より，

$$Q_{吸収} = W_4 + \Delta U_{4\mathbf{B}} = -\frac{49}{10}RT_0$$

よって，気体 B から気体 A に移動した熱量は，

$$Q_4 = \frac{49}{10}RT_0 \quad \text{(v)}\boxed{答}$$

〔16〕気体 A の内部エネルギー変化は，

$$\Delta U_{4\mathbf{A}} = \frac{3}{2}\times 2R\left(\frac{2}{3}T_0 - 3T_0\right) = -7RT_0$$

よって，求める熱量は，

$$Q_4 - \Delta U_{4\mathbf{A}} = \frac{119}{10}RT_0 \quad \text{(z)}\boxed{答}$$

3 断熱変化を含む熱サイクル

(1) $W_{\mathbf{A\to B}} = p_1(V_{\mathbf{B}} - V_{\mathbf{A}})$

ここで，状態方程式より，

$$W_{\mathbf{A\to B}} = nR(T_{\mathbf{B}} - T_{\mathbf{A}}) \quad \boxed{答}$$

(2) 内部エネルギー変化は，

$$\Delta U_{\mathbf{A\to B}} = nC_V(T_{\mathbf{B}} - T_{\mathbf{A}})$$

熱力学第１法則より，

$$Q_{\mathbf{A\to B}} = W_{\mathbf{A\to B}} + \Delta U_{\mathbf{A\to B}} = n(C_V + R)(T_{\mathbf{B}} - T_{\mathbf{A}}) \boxed{答}$$

(3) B→C は断熱過程なので，熱力学第１法則より，

$$0 = W_{\mathbf{B\to C}} + \Delta U_{\mathbf{B\to C}}$$

$$\therefore W_{\mathbf{B\to C}} = -\Delta U_{\mathbf{B\to C}} = -nC_V(T_{\mathbf{C}} - T_{\mathbf{B}}) \boxed{答}$$

(4) B→C の過程で，

$$p_1 V_{\mathbf{B}}^{\gamma} = p_2 V_{\mathbf{C}}^{\gamma} \qquad \therefore V_{\mathbf{C}} = V_{\mathbf{B}}\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}}$$

ここで，C の状態方程式より，

$$T_{\mathbf{C}} = \frac{p_2 V_{\mathbf{C}}}{nR} = \frac{p_2 V_{\mathbf{B}}}{nR}\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}} = T_{\mathbf{B}}\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$

同様に，D→A の過程で，

$V_{\mathbf{D}} = V_{\mathbf{A}}\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}}$ なので，

$$T_{\mathbf{D}} = \frac{p_1 V_{\mathbf{D}}}{nR} = T_{\mathbf{A}}\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$

よって，

$$W_{\mathbf{C\to D}} = p_2(V_{\mathbf{D}} - V_{\mathbf{C}}) = nR(T_{\mathbf{D}} - T_{\mathbf{C}}) = nR(T_{\mathbf{A}} - T_{\mathbf{B}})\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \boxed{答}$$

(5) 内部エネルギー変化は，

$$\Delta U_{\mathbf{C\to D}} = nC_V(T_{\mathbf{D}} - T_{\mathbf{C}}) = nC_V(T_{\mathbf{A}} - T_{\mathbf{B}})\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$

熱力学第１法則より，

$$Q_{\mathbf{C\to D}} = W_{\mathbf{C\to D}} + \Delta U_{\mathbf{C\to D}} = n(C_{\mathbf{V}} + R)(T_{\mathbf{A}} - T_{\mathbf{B}})\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \boxed{答}$$

(6) D→A は断熱過程なので，熱力学第１法則より，

$$0 = W_{\mathbf{D\to A}} + \Delta U_{\mathbf{D\to A}}$$

$$\therefore W_{\mathbf{D\to A}} = -\Delta U_{\mathbf{D\to A}} = -nC_V T_{\mathbf{A}}\left\{1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}\right\} \boxed{答}$$

(7) $T_{\mathbf{B}} > T_{\mathbf{A}}$ なので，１サイクルで吸収した熱量は，$Q_{\mathbf{A\to B}}$，放出した熱量は $|Q_{\mathbf{C\to D}}|$ より，求める正味の仕事は，

$$W = Q_{\mathbf{A\to B}} - |Q_{\mathbf{C\to D}}| = n(C_V + R)(T_{\mathbf{B}} - T_{\mathbf{A}})\left\{1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}\right\} \boxed{答}$$

(8) $e = \dfrac{W}{Q_{\mathbf{A\to B}}} = 1 - \left(\dfrac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$ $\boxed{答}$

4 液体から力を受ける気体の変化

問１　状態Ｂの気体の圧力が p_{A} であることに注意して，ボイルシャルルの法則より，

$$\frac{p_{\mathrm{A}}\times\frac{4}{5}SL}{T_{\mathrm{A}}}=\frac{p_{\mathrm{A}}\times\frac{3}{4}SL}{T_{\mathrm{B}}}$$

$$T_{\mathrm{B}}=\frac{15}{16}T_{\mathrm{A}}\ \boxed{答}$$

問２　状態Ｃにおいて，ピストンにはたらく力のつり合いより，

$$p_{\mathrm{C}}S=p_{\mathrm{A}}S+\left(x+\frac{1}{3}L\right)\rho Sg$$

$$\therefore x=\frac{p_{\mathrm{C}}-p_{\mathrm{A}}}{\rho g}-\frac{1}{3}L\ \boxed{答}$$

問３　状態Ｃの気体の温度が T_{B} であることに注意して，ボイルの法則より，

$$p_{\mathrm{A}}\times\frac{3}{4}SL=p_{\mathrm{C}}\times\frac{2}{3}SL$$

$$\therefore p_{\mathrm{C}}=\frac{9}{8}p_{\mathrm{A}}\ \boxed{答}$$

問４　ボイルシャルルの法則より，

$$\frac{p_{\mathrm{C}}\times\frac{2}{3}SL}{T_{\mathrm{B}}}=\frac{p_{\mathrm{D}}\times\frac{3}{4}SL}{T_{\mathrm{D}}}$$

$$\therefore T_{\mathrm{D}}=\frac{9p_{\mathrm{D}}}{8p_{\mathrm{C}}}T_{\mathrm{B}}$$

また，状態Ｄにおいてピストンにはたらく力のつり合いより，

$$p_{\mathrm{D}}S=p_{\mathrm{A}}S+\left(x+\frac{1}{4}L\right)\rho Sg$$

問２，３の結果より，

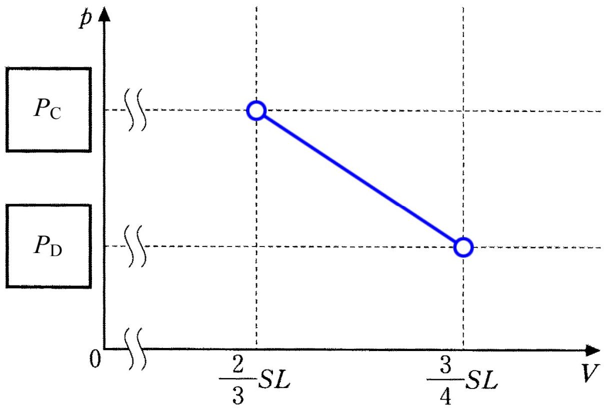
$$p_{\mathrm{D}}=\frac{9}{8}p_{\mathrm{A}}-\frac{1}{12}\rho Lg\ \boxed{答}$$

問５　体積が V のとき，ピストンにはたらく力のつり合いより，

$$pS=p_{\mathrm{A}}S+\{Sx+(SL-V)\}\rho g$$

$$\therefore p=\frac{9}{8}p_{\mathrm{A}}+\frac{2}{3}\rho Lg-\frac{\rho g}{S}V$$

これよりグラフは以下のようになる。



問６　気体がした仕事は，問５のグラフの面積より，

$$W=\frac{1}{2}(p_{\mathrm{C}}+p_{\mathrm{D}})\times\left(\frac{3}{4}SL-\frac{2}{3}SL\right)$$

$$=\frac{(27p_{\mathrm{A}}-\rho Lg)SL}{288}\ \boxed{答}$$

$\boxed{5}$ 気体の分子運動論と混合気体

(A)(イ) 壁に対して垂直方向の運動量変化は，

$$\Delta p = mv\cos\theta - (-mv\cos\theta)$$

$$= mv \times 2\cos\theta \ \boxed{\text{答}}$$

(ロ) 次の衝突が起こるまでに，分子は$2R\cos\theta$進むので，次の衝突が起こるまでの時間は，

$$\Delta t = \frac{2R\cos\theta}{v}$$

よって，単位時間あたりに起こる衝突回数は，

$$\frac{1}{\Delta t} = \frac{v}{2R\cos\theta} \ \boxed{\text{答}}$$

(ハ) 単位時間あたりに与える力積を平均の力と考えると，１個の分子が与える力は，

$$\overline{f} = \Delta p \times \frac{1}{\Delta t} = \frac{mv^2}{R} \ \boxed{\text{答}}$$

(ニ) １個の分子が(ハ)の力を球の表面(表面積$S = 4\pi R^2$)に加えることから，圧力は，

$$\frac{N \times \overline{f}}{S} = \frac{1}{3}Nm \boxed{\text{答}} \times \overline{v^2}\left(\frac{4}{3}\pi R^3\right)^{-1}$$

(B)(ホ) 各状態での圧力と体積は，

	圧力	体積
1	P_1	$V_0 + SL = 3V_0$
2	P_0	$V_0 + S \times \frac{1}{2}L = 2V_0$
3	P_0	$V_0 + SL = 3V_0$

状態 1→2 は断熱，状態 2→3 は定圧過程なので，(d) $\boxed{\text{答}}$

(ヘ) 状態１，２の温度をそれぞれT_1，T_2とすると，状態方程式より，

$$T_1 = \frac{3P_1V_0}{nR}, \quad T_2 = \frac{2P_0V_0}{nR}$$

熱力学第１法則より，$0 = W + \Delta U$なので，

$$W = -\Delta U = -\frac{3}{2}nR'(T_2 - T_1)$$

$$= -\frac{3}{2}(2P_0V_0 - 3P_1V_0) \ \boxed{\text{答}}$$

(ト) 状態 2→3 は定圧過程なので，

$$W = P_0(3V_0 - 2V_0) = P_0V_0 \ \boxed{\text{答}}$$

$\boxed{6}$ 断熱微小振動

問１

(1) $p = \dfrac{RT}{V} = \dfrac{8.3 \times 300}{1} \fallingdotseq 2.5 \times 10^3 [\mathrm{Pa}] \ \boxed{\text{答}}$

(2) 単原子分子なので，$C_v = \dfrac{3}{2}R \ \boxed{\text{答}}$

(3) 状態方程式より，

$$p_0V_0 = RT_0$$

$$(p_0 + \Delta p)(V_0 + \Delta V) = R(T_0 + \Delta T)$$

２式より，$\Delta p\Delta V \fallingdotseq 0$として，

$$R\Delta T = V_0\Delta p + p_0\Delta V \ \boxed{\text{答}}$$

(4) (3)において，$\Delta T = 0$とすると，

$$V_0\Delta p + p_0\Delta V = 0 \qquad \therefore \Delta p = -\frac{p_0}{V_0}\Delta V \ \boxed{\text{答}}$$

(5) 題意より，

$$C_v\Delta T = -p_0\Delta V \qquad \therefore \Delta T = -\frac{p_0\Delta V}{C_v}$$

(3)に代入して，

$$-\frac{p_0\Delta V \times R}{C_v} = V_0\Delta p + p_0\Delta V$$

これより，

$$\Delta p = -\frac{C_v + R}{C_v} \times \frac{p_0}{V_0}\Delta V \qquad \therefore \gamma = 1 + \frac{R}{C_v} \ \boxed{\text{答}}$$

(6) (3)の式を，$RT_0 = p_0V_0$で辺々割ると，

$$\frac{R\Delta T}{RT_0} = \frac{V_0\Delta p + p_0\Delta V}{p_0V_0} \qquad \therefore \frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta p}{p_0} + \frac{\Delta V}{V_0}$$

(5)を代入して，

$$\frac{\Delta T}{T_0} = (-\gamma + 1)\frac{\Delta V}{V_0} \qquad \therefore \Delta T = (1 - \gamma)\frac{\Delta V}{V_0}T_0 \ \boxed{\text{答}}$$

(7) $1 - \gamma < 0$なので，(6)より，$\Delta V > 0$のとき$\Delta T < 0$となり，温度は下がる。$\boxed{\text{答}}$

問２

(1) 問１の結果より，

$$\Delta p_{\mathrm{L}} = -\gamma\frac{p_0}{V_0}\Delta V_{\mathrm{L}} = -\gamma\frac{p_0}{V_0}(Sx) \ \boxed{\text{答}}$$

$$\Delta p_{\mathrm{R}} = -\gamma\frac{p_0}{V_0}\Delta V_{\mathrm{R}} = -\gamma\frac{p_0}{V_0}(-Sx) \ \boxed{\text{答}}$$

(2) ピストンの加速度を右向きにαとすると，ピストンの運動方程式は，

$$M\alpha = (p_0 + \Delta p_{\mathrm{L}})S - (p_0 + \Delta p_{\mathrm{R}})S$$

$$= \Delta p_{\mathrm{L}}S - \Delta p_{\mathrm{R}}S = -\frac{2\gamma p_0S^2}{V_0}x \ \boxed{\text{答}}$$

(3) (2)より，角振動数は，$\omega = S\sqrt{\dfrac{2\gamma p_0}{MV_0}}$

また，$t = 0$のとき，$x = +A$から振動が始まるので，

$$x = A\cos\omega t = A\cos\left(S\sqrt{\frac{2\gamma p_0}{MV_0}}t\right) \ \boxed{\text{答}}$$

1 定常波の式

(1) 図より，周期は$T=4t_s$

また，時間t_sの間に，距離eだけ進むので，波の速さは，

$$v=\frac{e}{t_s}\ \boxed{答}$$

振動数は，$f=\frac{1}{T}=\frac{1}{4t_s}\ \boxed{答}$

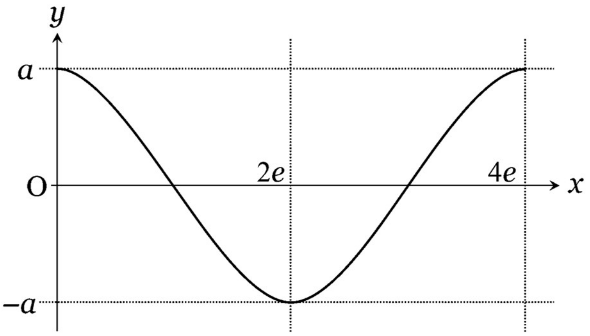
変位は，

$$y=a\sin\frac{2\pi}{T}t=a\sin\frac{\pi t}{2t_s}\ \boxed{答}$$

(2) (1)の振動が位置xには，$\frac{x}{v}$だけ遅れて伝わるので，

$$y_1=a\sin\frac{\pi}{2t_s}\left(t-\frac{x}{v}\right)$$
$$=a\sin\frac{\pi}{2}\left(\frac{t}{t_s}-\frac{x}{e}\right)\ \boxed{答}$$

また，この波の波長は，$\lambda=vT=4e$なので，$t=t_s$における波は次図のようになる。



(3) 板で自由端反射するので，(1)の振動が板で反射し，位置xには，

$$\frac{L+L-x}{v}=\frac{2L-x}{v}$$

だけ遅れて伝わるので，

$$y_2=a\sin\frac{\pi}{2t_s}\left(t-\frac{2L-x}{v}\right)$$
$$=a\sin\frac{\pi}{2}\left(\frac{t}{t_s}-\frac{2L-x}{e}\right)\ \boxed{答}$$

(4) $y_3=y_1+y_2$

$$=a\sin\frac{\pi}{2}\left(\frac{t}{t_s}-\frac{x}{e}\right)+a\sin\frac{\pi}{2}\left(\frac{t}{t_s}-\frac{2L-x}{e}\right)$$
$$=2a\sin\pi\left(\frac{t}{2t_s}-\frac{L}{2e}\right)\cos\pi\left(\frac{x}{2e}-\frac{L}{2e}\right)$$

したがって，

① $2a$　② $\frac{1}{2t_s}$　③ $\frac{L}{2e}$　④ $\frac{1}{2e}$

(5) 板で自由端反射するので，$x=L$が定常波の腹になる。よって，$0\leqq x\leqq L$の範囲に腹と節がともにn個となるには，

$$(n-1)\frac{\lambda}{2}+\frac{\lambda}{4}\leqq L<n\frac{\lambda}{2}$$
$$\therefore (2n-1)e\leqq L<2ne\ \boxed{答}$$

2 薄膜の干渉

(1)

$$\sin\alpha+\sin\beta=2\sin\frac{\alpha+\beta}{2}\cos\frac{\alpha-\beta}{2}$$

より，

$$y_1+y_2$$

$$=2a\cos\frac{\pi(n_1l_1-n_2l_2)}{\lambda}$$

$$\times\sin\left\{2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{n_1l_1+n_2l_2}{2\lambda}\right)+\phi\right\}$$

よって，振幅は，

$$2a\left|\cos\frac{\pi(n_1l_1-n_2l_2)}{\lambda}\right|$$ 答

(2) (1)より，

$$\frac{\pi(n_1l_1-n_2l_2)}{\lambda}=\pm m\pi$$

のとき，y_1+y_2 は最大になるので，

$$n_1l_1-n_2l_2=\pm m\lambda$$ 答

(3) $\lambda'=\dfrac{\lambda}{n}$ 答

また，屈折の法則より，

$$\sin\theta_1=n\sin\theta_2$$ 答

(4) 経路 ABC を進む光の光路長が, DC を進む光より，$2nd\cos\theta_2$ だけ長い。(3)の結果より，

$$D=2nd\cos\theta_2=2nd\sqrt{1-\sin^2\theta_2}$$

$$=2d\sqrt{n^2-\sin^2\theta_1}$$

薄膜の上面で反射する光は位相が π ずれるので，強め合う条件は，

$$2d\sqrt{n^2-\sin^2\theta_1}=\left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda$$ 答

(5) $\theta_1=45°$ のとき，

$$D=2\times0.1\times\sqrt{1.5^2-\sin^2 45°}$$

$$=0.1\times\sqrt{7}=0.265$$

強め合う条件を満たすのは，$m=0$ において，$\lambda=0.53[\mu\mathrm{m}]$

よって，緑色に見える。答

$\theta_1=30°$ のとき，

$$D=2\times0.1\times\sqrt{1.5^2-\sin^2 30°}$$

$$=0.2\sqrt{2}=0.282$$

強め合う条件を満たすのは，$m=0$ において，$\lambda=0.56[\mu\mathrm{m}]$

よって，黄色に見える。答

$\theta_1=0°$ のとき，

$$D=2\times0.1\times\sqrt{1.5^2-\sin^2 0°}$$

$$=0.2\sqrt{1.5^2}=0.30$$

強め合う条件を満たすのは，$m=0$ において，$\lambda=0.60[\mu\mathrm{m}]$

よって，橙色に見える。答

(6) 太陽の白色光がシャボン玉の薄膜に反射するとき，薄膜の上面で反射する光と下面で反射する光が干渉するから。答

$\boxed{3}$ヤングの干渉実験とくさび型ガラスの干渉

[1] (1) (a) $\mathbf{S}_2\mathbf{P}_1=\sqrt{L_2^2+\left(z_1+\dfrac{d}{2}\right)^2}$

$$=L_2\left\{1+\left(\frac{z_1+\frac{d}{2}}{L_2}\right)^2\right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$\fallingdotseq L_2\left\{1+\frac{1}{2}\left(\frac{z_1+\frac{d}{2}}{L_2}\right)^2\right\} \boxed{答}$$

(b) (a)と同様にして,

$$\mathbf{S}_1\mathbf{P}_1=\sqrt{L_2^2+\left(z_1-\frac{d}{2}\right)^2}$$

$$\fallingdotseq L_2\left\{1+\frac{1}{2}\left(\frac{z_1-\frac{d}{2}}{L_2}\right)^2\right\}\boxed{答}$$

(c) (a)(b)より,

$$\left|\mathbf{S}_2\mathbf{P}_1-\mathbf{S}_1\mathbf{P}_1\right|=\frac{dz_1}{L_2}\boxed{答}$$

(2) 強め合う条件は,

$$\frac{dz_1}{L_2}=m\lambda$$

これより，明線の位置は,

$$z_1=\frac{mL_2\lambda}{d}$$

となるので，明るい線の間隔は,

$$\Delta z=\frac{(m+1)L_2\lambda}{d}-\frac{mL_2\lambda}{d}=\frac{L_2\lambda}{d}$$

よって,

$$\lambda=\frac{d\Delta z}{L_2}=\frac{2.0\times10^{-4}\times3.3\times10^{-3}}{1.2}$$

$$=5.5\times10^{-7}[\mathrm{m}] \boxed{答}$$

(3) 図２の状態での強め合う条件は,

$$\left|\mathbf{S}_0\mathbf{S}_1'-\mathbf{S}_0\mathbf{S}_2'\right|+\left|\mathbf{S}_1'\mathbf{P}_2-\mathbf{S}_2'\mathbf{P}_2\right|=m\lambda$$

$$\frac{da}{L_1}+\frac{d(a+z_2)}{L_2}=m\lambda$$

$$\therefore z_2=\frac{mL_2\lambda}{d}-a\left(1+\frac{L_2}{L_1}\right)$$

よって,

$$\left|z_2-z_1\right|=a\left(1+\frac{L_2}{L_1}\right)\boxed{答}$$

[2] (1) (d) ウ　(e) ア

(2) 位置x_1にできるガラス A と B(面$\mathbf{B}_1$)のすき間をdとすると，三角形の相似より,

$$\frac{d}{x_1}=\frac{D}{L}\quad\therefore d=\frac{Dx_1}{L}$$

また，ガラス B の上面で反射する光の位相がπずれることを考慮して，強め合う条件は,

$$2d=\left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda$$

$$\therefore\frac{2Dx_1}{L}=\left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda\boxed{答}$$

(3) (2)より,

$$x_1=\left(m+\frac{1}{2}\right)\frac{L\lambda}{2D}$$

よって，明線の間隔は,

$$\Delta x=\left((m+1)+\frac{1}{2}\right)\frac{L\lambda}{2D}-\left(m+\frac{1}{2}\right)\frac{L\lambda}{2D}$$

$$=\frac{L\lambda}{2D}$$

$$\therefore D=\frac{L\lambda}{2\Delta x}=\frac{1.0\times10^{-1}\times5.5\times10^{-7}}{2\times2.5\times10^{-3}}$$

$$=1.1\times10^{-5}[\mathrm{m}] \boxed{答}$$

(4) 面$\mathbf{B}_2$上面で反射する光が強め合う条件は,

$$2(d+h)=\left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda$$

$$\therefore 2\left(\frac{Dx'}{L}+h\right)=\left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda$$

明線の中心($m=0$)の位置は,

$$x'=\frac{L\lambda}{4D}-\frac{Lh}{D}$$

また(2)より，面$\mathbf{B}_1$上面で反射する光の，明線の中心の位置は,

$$x=\frac{L\lambda}{4D}$$

よって，この２つの位置のずれがu　なので,

$$\frac{Lh}{D}=u\quad\therefore h=\frac{Du}{L}\boxed{答}$$