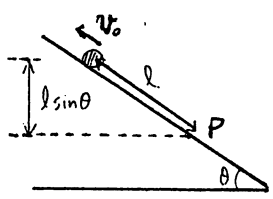


第1学期 物理S 演習問題の解答

1

(A) 始め ($t < 0$) から $t = 0$ になるまでに

小物体 B に与えられた仕事は $f \cdot l$



小物体 B の力学的エネルギーの増加分

- 小物体 B の
- 運動エネルギー変化
 $\frac{1}{2} m v_0^2 - 0$
 - 位置エネルギー変化 (点 P を基準)
 $mg \cdot (l \sin \theta) - 0$

以上のことから

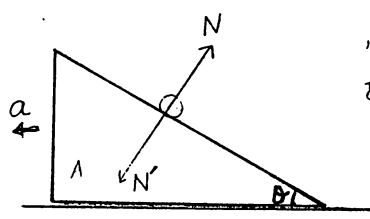
$$\frac{1}{2} m v_0^2 + mg l \sin \theta = f \cdot l$$

$$v_0^2 = \frac{2l(f - mg \sin \theta)}{m}$$

$$|v_0| = \sqrt{2l \left(\frac{f}{m} - g \sin \theta \right)}$$

アの答え

問題文から $f > mg \sin \theta$ である”矛盾なし



小物体 B が斜面から \vec{N} の垂直抗力を受けるとき。

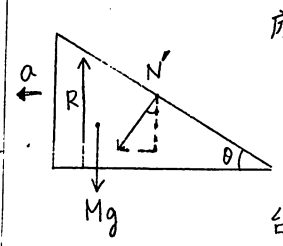
斜面は B から \vec{N} の反作用力 \vec{N}' を受けつける。

∴ $\vec{N} = -\vec{N}'$ かつ

$$|\vec{N}| = |\vec{N}'| = N$$

①

台 A だけに注目すれば (下図)

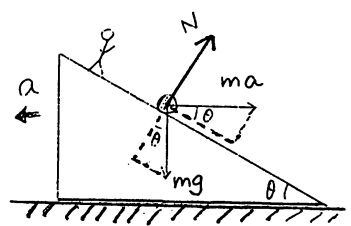


床に対して 水平方向に働く力は $|\vec{N}'| \sin \theta (= N \sin \theta)$ だけである。

この力による 加速度 a の発生している。

台 A の運動方程式は $Ma = N \sin \theta$

イの答え



台 A 上の観測者からは

小物体 B が 左方向へ 大ききか

ma の慣性力で引かれて

ウの答え

いるように見える。

慣性力も考えろ

斜面に 水平に働く力 $\rightarrow mg \sin \theta + ma \cos \theta$
 (加速度 \vec{a} を発生) I の答え

垂直に働く力 $\rightarrow N + ma \sin \theta = mg \cos \theta$
 (つりあっている) ∴ $N = mg \cos \theta - ma \sin \theta$

オの答え

(B) 台 A と小物体 B との系にはたらく

水平方向の力は 内力だけ \Rightarrow 運動量保存

よって 任意の時刻 t の 水平方向の運動量の和は

$$m v_0 \cos \theta = m \cdot \sqrt{2l \left(\frac{f}{m} - g \sin \theta \right)} \cos \theta = \sqrt{2lm(f - mg \sin \theta)} \cdot \cos \theta$$

答え

②

2

問題文を図にすると右下のようになるので

あとは設問を違ったりくにいきます。

B球が(仰角 θ 、初速度 v_B)で

投げ出され、

Aの最高点で正面衝突

するまでの時間を t とする。

* 最高点では

Aの速度の垂直成分ゼロだから

$$v_0 = \sqrt{2}gt$$

$$\therefore t = \frac{v_0}{\sqrt{2}g} \quad (1)$$

* 最高点の

$$x \text{ 座標 } (x) \dots x = v_0 \cos 45^\circ \cdot t = \frac{v_0^2}{2g} \quad (2)$$

$$y \text{ 座標 } (y) \dots 2 \cdot (-g) \cdot y = 0^2 - (v_0 \sin 45^\circ)^2$$

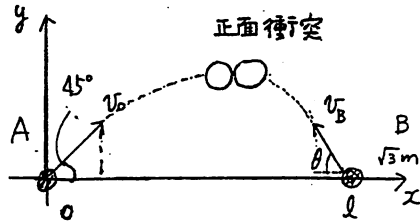
$$\therefore y = \frac{v_0^2}{4g} \quad (3)$$

衝突後、Aは原点にもどったのだから

衝突直後のAの速度は

$\left\{ \begin{array}{l} \text{水平方向 負の向き} \\ \text{大きさ } v_0 \cos 45^\circ = \frac{v_0}{\sqrt{2}} \end{array} \right.$	

3



A, Bともに
水平方向に飛んでいた。
↓
A, Bともに速度の
垂直成分ゼロ!

つまりは B に比べて
最高点!!

$$0^2 - (v_B \sin \theta)^2 = 2(-g) \cdot \frac{v_0^2}{4g}$$

$$(v_B \sin \theta)^2 = \frac{v_0^2}{2}$$

(1)の答え
運動量保存

衝突前の運動量 = 衝突後の運動量

$$m \cdot \frac{v_0}{\sqrt{2}} + \sqrt{3} m v_x = m \cdot \left(-\frac{v_0}{\sqrt{2}}\right) + \sqrt{3} m v_x'$$

$$\frac{2v_0}{\sqrt{2}} = \sqrt{3}(v_x' - v_x)$$

$$\therefore v_0 = \sqrt{\frac{3}{2}}(v_x' - v_x) \quad (4)$$

弾性衝突
↓
反発係数 $e=1$

$$\frac{\left(-\frac{v_0}{\sqrt{2}}\right) - v_x'}{\frac{v_0}{\sqrt{2}} - v_x} = -1 \Rightarrow v_x' = -v_x$$

これは(4)の式を代入

$$v_0 = \sqrt{\frac{3}{2}}(-2v_x) = -\sqrt{6}v_x$$

$$\therefore v_x = -\frac{v_0}{\sqrt{6}} \quad \text{または} \quad v_x' = \frac{v_0}{\sqrt{6}} \quad (5) \quad (6)$$

一方、

$$\left. \begin{array}{l} v_B \cos \theta = v_x = -\frac{v_0}{\sqrt{6}} \\ v_B \sin \theta = \frac{v_0}{\sqrt{2}} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} v_B^2 = \frac{v_0^2}{6} + \frac{v_0^2}{2} = \frac{2}{3}v_0^2 \\ \tan \theta = \frac{1/\sqrt{2}}{-1/\sqrt{6}} = -\sqrt{3} \end{array} \right.$$

衝突地点のx座標より。

$$l + v_B \cos \theta \cdot t = \frac{v_0^2}{2g}$$

$$l + \left(-\frac{v_0}{\sqrt{6}}\right) \times \frac{v_0}{\sqrt{2}g} = \frac{v_0^2}{2g}$$

$$l = \frac{v_0^4}{2g} + \frac{v_0^4}{2\sqrt{3}g} = \frac{(\sqrt{3}+1)v_0^4}{2\sqrt{3}g} \quad (9) \quad (10)$$

$$v_B = \sqrt{\frac{2}{3}}v_0 \quad (7)$$

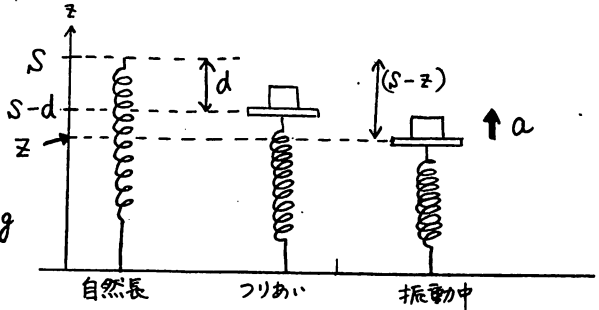
$$\theta = 60^\circ \quad (8)$$

$$|v_x'| = |v_x|$$

つまり

4

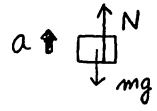
3



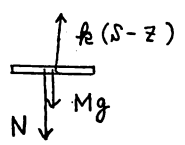
(1) $d \cdot k = (M+m)g$
 より
 $d = \frac{(M+m)g}{k}$

答

(2) おもり B について



台 A について



$ma = N - mg$... ①

答 1

$Ma = -N - Mg + k(S-z)$... ②

答 2

(3) 振動の中心座標は つりあいの位置である。

$\Rightarrow z = S - d$

答 3

(ど-しても計算したいなら)

①+②をつくらと $(M+m)a = -(M+m)g + k(S-d)$

$\Rightarrow d \cdot k = (M+m)g$ を代入すると

$(M+m)a = -k(S-d-z)$... ③

とすると 振動の中心では $a=0$ なので、③より

$k \neq 0$ だから $S-d-z=0 \Rightarrow z=S-d$

* 単振動の角速度 ω は $a = -\omega^2 x$ (x はばねの変位)

よって $(M+m)a = -kx$ とから $\omega = \sqrt{\frac{k}{M+m}}$ が算出される。

周期 $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{M+m}{k}}$

答 4

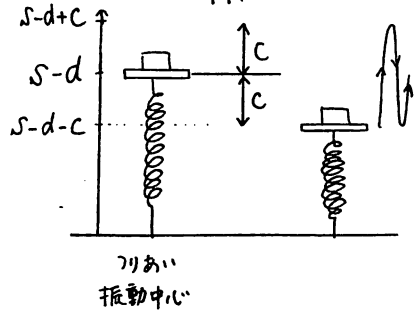
5

(4) おもり B が台 A より受ける垂直抗力がつねに正であれば 一体となって単振動を行う。

(5) ①, ②より a を消去する。

$N = \frac{mk}{M+m}(S-z)$... ④

$N > 0$ であるためには $S-z > 0$ であるよい



振幅が C であるというとは
 座標 z が次の範囲にあること。
 $S-d+C \geq z \geq S-d-C$
 逆側に -1 をかけると
 $d-C \leq S-z \leq d+C$

$\Rightarrow 0 < S-z$ のためには

$0 < d-C$ の必要 $\Rightarrow c < d$

答

(6) おもりが台から離れる
 ↓
 振動の速度最大のとき
 ↓
 つりあいの位置!

[このときのおもりの初速度 v は 振動の最大速度に等しい]

つりあいの位置 \Rightarrow 位置エネルギーの基準として
 エネルギー保存の式を立てると、

$\frac{1}{2}k(3d)^2 + (M+m)(-2d)g + 0$
 $= \frac{1}{2}kd^2 + 0 + \frac{1}{2}(M+m)v^2$... ⑤

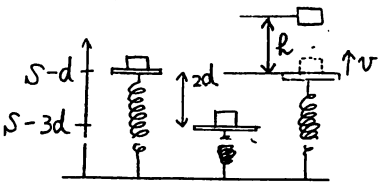
また、 $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$... ⑥

よって $(M+m)g = d \cdot k$ を使って、

$v = 2\sqrt{dg}$, $h = 2d$

よって 最高点の座標は $S-d+2d = S+d$

答 5



6

4

(a) 地表での小物体の持つ力学的エネルギー

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{運動エネルギー} - \frac{1}{2} m v^2 \\ \text{位置エネルギー} - G \frac{Mm}{R} \end{array} \right.$$

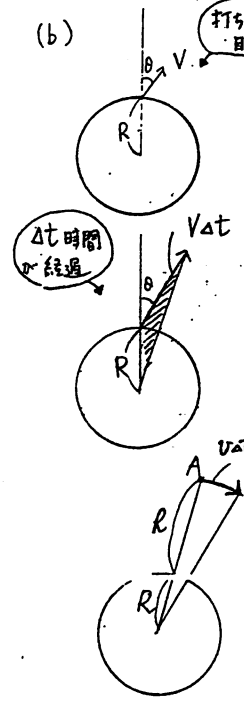
高さ h で小物体の持つ力学的エネルギー

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{運動エネルギー} - \frac{1}{2} m v^2 \\ \text{位置エネルギー} - G \frac{Mm}{R+h} \end{array} \right.$$

エネルギー保存

$$\frac{1}{2} m v^2 - G \frac{Mm}{R+h} = \frac{1}{2} m V^2 - G \frac{Mm}{R} \quad \therefore V = \sqrt{V^2 - \frac{2GMh}{R(R+h)}} \quad \text{答}$$

(b) 打ち上げの瞬間



Δt の間に小物体と地球の中心とを結ぶ線分が描く微小三角形

(下図の \triangle) の面積は

$$\frac{1}{2} R \times V \Delta t \sin \theta = \frac{1}{2} R V \Delta t \sin \theta \quad \text{答 in 1}$$

高さ h で微小時間 Δt の間に小物体と地球の中心とを結ぶ線分が描く扇形の面積は $\widehat{AB} \cong \overline{AB}$ と近似でき、

$$\frac{1}{2} (R+h) \cdot \overline{AB} = \frac{1}{2} (R+h) v \Delta t$$

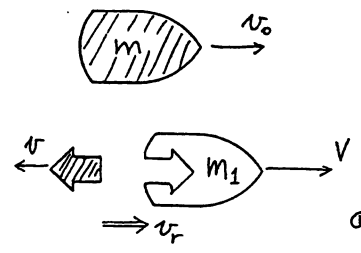
面積速度一定だからケプラーの第2法則)

$$\frac{1}{2} (R+h) v \Delta t = \frac{1}{2} R V \Delta t \sin \theta$$

$$\therefore v = \frac{R V \sin \theta}{R+h} \quad \text{答 in 2}$$

7

(c) ただの分裂問題!



衛星の速さを V
 プラズマの速さを v とすると

$$V - v = v_r \Rightarrow v = V - v_r \quad \text{--- ①}$$

運動量保存

$$m v_0 = m_1 V + (m - m_1) v \quad \text{--- ②}$$

①と②を代入

$$m v_0 = m_1 V + (m - m_1)(V - v_r)$$

↓

$$V = v_0 + \frac{m - m_1}{m} v_r \quad \text{答}$$

(d) 向心力は万有引力!!

衛星の速さを v とすると

$$\text{向心力} = M_1 \frac{v^2}{R+h} \quad \text{万有引力} = G \frac{M m_1}{(R+h)^2}$$

$$M_1 \frac{v^2}{R+h} = G \frac{M m_1}{(R+h)^2} \quad \therefore v = \sqrt{\frac{GM}{R+h}} \quad \text{答}$$

(e) 高さ h にある、この静止衛星の速さを v とすると

$$v = (R+h) \omega$$

$$\omega = \frac{v}{R+h} \quad \text{(d)の結果を代入}$$

$$\omega = \frac{1}{R+h} \sqrt{\frac{GM}{R+h}} = \sqrt{\frac{GM}{(R+h)^3}}$$

$$(R+h)^3 = \frac{GM}{\omega^2}$$

$$R+h = \sqrt[3]{\frac{GM}{\omega^2}} \quad \therefore h = \sqrt[3]{\frac{GM}{\omega^2}} - R \quad \text{答}$$

8

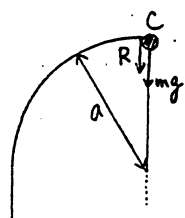
5

(1) $\frac{1}{2}kl^2$

(2) (位置エネルギー) (運動エネルギー)

$$mg(h+a) + \frac{1}{2}mv_0^2$$

(3) 壁からの抗力を R とすると $R \geq 0$ であり接触を保ちながら運動することを求める。



C点での向心力を求めた。

$$m \frac{v_0^2}{a} = R + mg$$

$$R = \frac{mv_0^2}{a} - mg = m \left(\frac{v_0^2}{a} - g \right) \geq 0 \text{ が必要}$$

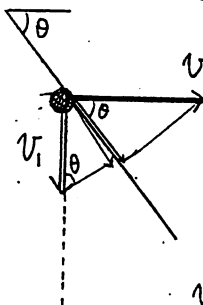
$$m > 0 \text{ ならば } v_0 \geq \sqrt{ag} \quad \text{(3)の答え}$$

(4) $\frac{1}{2}kl^2 = mg(h+a) + \frac{1}{2}mv_0^2$

この $v_0 = (3)$ の結果を代入

$$K = \frac{mg(3a+2h)}{l^2}$$

(4)の答え



(5) 剛体板に平行な力働かない

↓
剛体板に平行な運動量変化しない

↓
質量は変わらないから

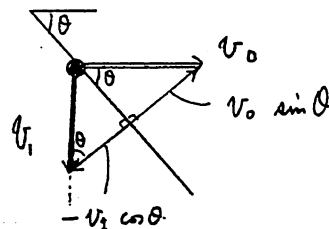
剛体板に平行な速度成分変化しない

$$v_0 \cos \theta = v_1 \sin \theta$$

$$\therefore \tan \theta = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \frac{v_0}{v_1} \quad \text{(5)の答え}$$

(9)

(6) 剛体板に垂直な速度成分は変化せず。



$$\frac{-v_1 \cos \theta}{v_0 \sin \theta} = -c$$

$$\downarrow$$

$$v_1 \cos \theta = c v_0 \sin \theta$$

$$\downarrow$$

$$\tan \theta = \frac{v_1}{c v_0} = \frac{v_0}{v_1} \quad \text{(5)の結果}$$

$$v_1 = \sqrt{c} v_0^2$$

$$= \sqrt{c} v_0 = \sqrt{c} \sqrt{ag} = \sqrt{acg} \quad \text{(6)の答え}$$

(7) $\frac{1}{2} m v_0^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 = \frac{1}{2} m (v_0^2 - v_1^2)$

$$= \frac{1}{2} m (ag - acg) = \frac{1}{2} mga(1-c)$$

(7)の答え

(8) 初速度 v_1 の投げ出し(7)キヨリ $(a+l)$ 打つことだから。

時間 t について $v_1 t + \frac{1}{2} g t^2 = a+l$ の成立

t について整理, $v_1 = \sqrt{acg}$ を代入

$$g t^2 + 2\sqrt{acg} t - 2(a+l) = 0$$

↓
 $t > 0$ の2次方程式を解くと

$$t = \frac{-\sqrt{acg} + \sqrt{acg + 2g(a+l)}}{g}$$

$$= \frac{-\sqrt{ac} + \sqrt{a(2+c) + 2l}}{\sqrt{g}}$$

(8)の答え

(9) 速度 v は

$$v = v_1 + g t$$

$$\downarrow$$

$$\left\{ \begin{array}{l} v_1 = \sqrt{acg} \\ t = (8) \text{の結果} \end{array} \right\} \text{代入}$$

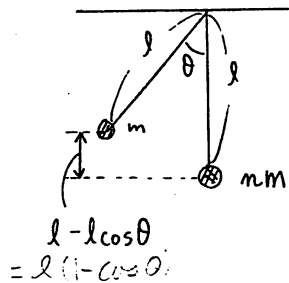
$$\downarrow$$

$$v = \sqrt{\{(2+c)a + 2l\}g}$$

(9)の答え

(10)

6



(1) 衝突直前の A の速さを v とす (エネルギー保存の式)

$$\frac{1}{2} m v^2 = m g (l - l \cos \theta)$$

$$\therefore v = \sqrt{2 g l (1 - \cos \theta)} \quad \text{--- ①}$$

衝突前後で

★ 運動量保存

$$m v = m v_A + m M v_B \quad \text{--- ②}$$

★ ばねのバネ係数

$$\frac{v_A - v_B}{v - 0} = -e \Rightarrow v_B - v_A = e v \quad \text{--- ③}$$

①, ②, ③より

$$v_A = \frac{1 - m e}{1 + m} \sqrt{2 g l (1 - \cos \theta)}$$

$$v_B = \frac{1 + e}{1 + m} \sqrt{2 g l (1 - \cos \theta)}$$

(2) $v_A < 0, v_B > 0$ と仮定す

$$-\frac{1 - m_0 e}{1 + m_0} v = -v_A = v_B = \frac{1 + e}{1 + m_0} v$$

$$\therefore m_0 e - 1 = 1 + e$$

$$m_0 = \frac{e + 2}{e}$$

1311215
 $v_A > 0$
 $v_B > 0$
 $m_0 = -1$ とは不適

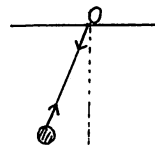
周期が
 2倍

(3) 衝突後 A, B とは長さ l で「振幅」等しい

単振り子運動となるから、 $\frac{1}{2}$ 周期後再び O の真下で衝突

(11)

(4) 小球 A が振り下りるあいだに、糸の張力が点 O を左方向に引いている。



糸 + 小球が点 O (台車) に対して W 仕事を W とす。

エネルギーに関して

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{小球: } m g l - W = \frac{1}{2} m v_A^2 \quad \text{--- ④} \\ \text{台車: } W = \frac{1}{2} M v_K^2 \quad \text{--- ⑤} \end{array} \right.$$

$$\text{運動量保存 } m v_A + M v_K = 0 \quad \text{--- ⑥}$$

④, ⑤より W を消去して

$$2 m g l = m v_A^2 + M v_K^2 \quad \text{--- ⑦}$$

⑥, ⑦より

$$v_A = \sqrt{\frac{2 M g l}{M + m}}$$

$$v_K = -\frac{m}{M} \sqrt{\frac{2 M g l}{M + m}}$$

(5) 運動量保存

$$m v_A + M v_K = m v_A' + M v_K' \quad \text{--- ⑧}$$

ばねのバネ係数 ($e = 1$)

$$\frac{v_K' - v_A'}{v_K - v_A} = -1 \Rightarrow v_K' - v_A' = v_A - v_K \quad \text{--- ⑨}$$

⑧, ⑨より

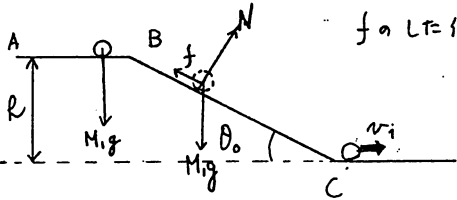
$$v_A' = -\sqrt{\frac{2 M g l}{M + m}}$$

$$v_K' = \frac{m}{M} \sqrt{\frac{2 M g l}{M + m}}$$

(12)

7

(1)



小球 Q_1 が斜面BC上にあるときに
働く動摩擦力を f とすると、

$$f \text{ の した仕事 } \dots -f \cdot BC$$

$$= -f \cdot \frac{h}{\sin \theta_0}$$

また、 $f = \mu N$
 $= \mu M_1 g \cos \theta_0$

Q_1 の力学的エネルギーについて

$$M_1 g h + (-\mu M_1 g \cos \theta_0) \cdot \frac{h}{\sin \theta_0} = \frac{1}{2} M_1 v_1^2$$

$$g h (1 - \mu \cot \theta_0) = \frac{1}{2} v_1^2$$

$$\therefore v_1 = \sqrt{2gh(1 - \mu \cot \theta_0)} \quad \text{--- (1) (答)}$$

(2) 運動量保存の式 (衝突後 Q_1 の速さを v_1' とすると)

$$M_1 v_1 + 0 = M_1 v_1' + M_2 v_2 \quad \text{--- (2)}$$

はね返り係数 e

$$\frac{v_1' - v_2}{v_1 - 0} = -e \rightarrow v_2 - v_1' = e v_1 \rightarrow v_1' = v_2 - e v_1 \quad \text{--- (3)}$$

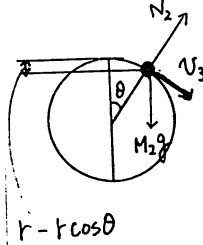
(3) を (2) に代入

$$M_2 v_2 = M_1 v_1 - M_1 v_2 + M_1 e v_1$$

$$\therefore v_2 = \frac{(1+e)M_1}{M_1+M_2} v_1 \quad \text{--- (4) (答)}$$

13

(3)



向心力は $N_2 - M_2 g \cos \theta = M_2 \frac{v_3^2}{r}$

点Eでは $N_2 = 0$ となる?

$$g \cos \theta = \frac{v_3^2}{r} \quad \therefore v_3 = \sqrt{gr \cos \theta} \quad \text{--- (5) (答)}$$

Q_2 について エネルギー-保存の式

$$\frac{1}{2} M_2 v_2^2 = \frac{1}{2} M_2 v_3^2 - M_2 g r (1 - \cos \theta)$$

$$\therefore \cos \theta = \frac{v_2^2 - v_3^2}{2gr} + 1 \quad \text{--- (6)}$$

$$\text{(5) を (6) に代入} \quad \cos \theta = \frac{1}{3gr} (v_2^2 + 2gr) \quad \text{--- (7) (答)}$$

(4) 有限の距離をたどるためには $\theta > 0 \quad \therefore \cos \theta < 1$

$$\text{(7) より} \quad 1 > \cos \theta = \frac{1}{3gr} (v_2^2 + 2gr)$$

$$\therefore 3gr > v_2^2 + 2gr \Rightarrow v_2 < \sqrt{gr} \quad \text{--- (8)}$$

$$\text{(4) と (8) から} \quad \frac{(1+e)M_1}{M_1+M_2} v_1 < \sqrt{gr}$$

$$\therefore v_1 < \frac{M_1+M_2}{(1+e)M_1} \sqrt{gr} \quad \text{--- (9) (答)}$$

t についての
二次方程式

(5) 垂直方向に初速度 $v_3 \sin \theta$ の落下となる?

$$v_3 \sin \theta \cdot t + \frac{1}{2} g t^2 = r(1 + \cos \theta)$$

$$\text{これを解いて} \quad \therefore t = \frac{1}{g} \left\{ \sqrt{v_3^2 \sin^2 \theta + 2gr(1 + \cos \theta)} - v_3 \sin \theta \right\} \quad \text{--- (10) (答)}$$

$$\overline{RP} = r \sin \theta + v_3 \cos \theta \cdot t$$

$$= r \sin \theta + \frac{v_3 \cos \theta}{g} \left\{ \sqrt{v_3^2 \sin^2 \theta + 2gr(1 + \cos \theta)} - v_3 \sin \theta \right\} \quad \text{--- (11) (答)}$$

14

1

(1) $PV = nRT$ より $n = \frac{PV}{RT}$

$$n_A = \frac{2 \times 1.013 \times 10^5 \times 22.4 \times 10^{-3}}{8.31 \times (273 + 0)} = 2.00 \dots$$

$$n_B = \frac{1 \times 1.013 \times 10^5 \times 44.8 \times 10^{-3}}{8.31 \times (273 + 273)} = 1.00 \dots$$

(答) n_A は 2.00 mol n_B は 1.00 mol

(2) 全体が、一様に T_0 とき

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{全圧 } P_0 \\ \text{温度 } T_0 \end{array} \right. \quad \text{すなわち 体積 } (22.4 + 44.8) \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 67.2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

すなわち A, B の分圧を P_A, P_B とすると

$$P_A + P_B = P_0 \quad \dots \textcircled{1}$$

$$1.013 \times 10^5 \cdot P_A \times (67.2 \times 10^{-3}) = 2.00 \times 8.31 \times T_0 \quad \dots \textcircled{2}$$

$$1.013 \times 10^5 \cdot P_B \times (67.2 \times 10^{-3}) = 1.00 \times 8.31 \times T_0 \quad \dots \textcircled{3}$$

①, ②, ③ をまとめると

$$1.013 \times 10^5 \cdot P_0 \times (67.2 \times 10^{-3}) = 3.00 \times 8.31 \times T_0 \quad \dots \textcircled{4}$$

一方、熱の出入りなく、体積一定だから仕事もしていないので

$$\Delta U = Q + W \quad \left\{ \begin{array}{l} Q = 0 \\ W = 0 \end{array} \right. \quad \therefore \Delta U = 0$$

つまり、内部エネルギー U は不変 (15)

よって AB 間の熱のやりとり \Rightarrow 温度変化

$$n_A C_V \times (273 + 0) + n_B C_V \times (273 + 273) = (n_A + n_B) C_V T_0 \quad \dots \textcircled{5}$$

これより T_0 を求める

$$T_0 = \frac{2.00 \times 273 + 1.00 \times 546}{2.00 + 1.00} = 364$$

これを ④ に代入

$$P_0 = \frac{3.00 \times 8.31 \times 364}{1.013 \times 10^5 \times (22.4 + 44.8) \times 10^{-3}} = 1.33 \dots$$

(答) T_0 は $3.64 \times 10^2 \text{ K}$, P_0 は 1.33 気圧

合計 3 mol
T₀ とき
A は 1 mol
B は 2 mol

(3) 同温・同圧のとき、 B には A の 2 倍の数の気体分子が存在する

温度変化 $\rightarrow \Delta M$ mol が $A \rightarrow B$ に移動したとすると

$$\frac{1.013 \times 10^5 \cdot P_A \times 22.4 \times 10^{-3}}{1.013 \times 10^5 \cdot P_B \times 44.8 \times 10^{-3}} = \frac{(1.00 - \Delta M) \cdot 8.31 \times 364 \dots \textcircled{6}}{(2.00 + \Delta M) \cdot 8.31 \times (273 - 9) \dots \textcircled{7}}$$

⑥ \div ⑦ をつくると

$$\frac{1}{2} = \frac{1.00 - \Delta M}{2.00 + \Delta M} \times \frac{364}{182} \quad \therefore \Delta M = \frac{2}{5}$$

これを ⑥ に代入して

$$P_A = \frac{0.6 \times 8.31 \times 364}{1.013 \times 10^5 \times 22.4 \times 10^{-3}} = 0.8 \dots$$

B 内の気体は

$$2.00 \rightarrow 2.40 \text{ mol とき}$$

1.20 倍

(16)

(答) $\left\{ \begin{array}{l} P_A \text{ は } 0.800 \text{ 気圧} \\ B \text{ 内気体は } 1.20 \text{ 倍} \end{array} \right.$

2

(1) 断熱的+状態変化だから、(2)式から素直に

Bの部屋の体積を V_B とでもおいて

また、 $P_0 \Rightarrow 2P_0$ になったのだから

$$P_0 V_0^{\frac{5}{3}} = 2P_0 V_B^{\frac{5}{3}} \Rightarrow \left(\frac{V_B}{V_0}\right)^{\frac{5}{3}} = \frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow V_B = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{3}{5}} V_0$$

$$= 0.66 V_0$$

(答)

(2) $PV=RT$ より $\frac{PV}{T} = R \rightarrow$ 一定

Bの部屋の温度を T_B とでもおいてやると

$$\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{2P_0 V_B}{T_B} \quad \text{また、(1)より } V_B = 0.66 V_0$$

$$\text{以上より } T_B = \frac{2V_B}{V_0} T_0 = 2 \times 0.66 T_0 = 1.32 T_0$$

(答)

(3) Aの部屋の体積から考えよう
(V_A)

Aについては
断熱変化ではない
(1) \rightarrow (2) の類推

$$V_A = 2V_0 - V_B$$

$$= 2V_0 - 0.66V_0 = 1.34V_0$$

つまり

$$\frac{V_A}{V_0} = 1.34$$

$PV=RT$ より

$$\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{2P_0 V_A}{T_A} \Rightarrow T_A = \frac{2V_A}{V_0} T_0 = 2 \times 1.34 T_0 = 2.68 T_0$$

(17)

(4) A, Bの部屋の中の気体の内部エネルギー変化を
それぞれ $\Delta U_A, \Delta U_B$ とすると、

$$\Delta U_A = Q_A - W$$

\uparrow \leftarrow
 外から与えられた熱エネルギー \quad $A \rightarrow B$ による体積仕事

$$\Delta U_B = 0 + W_{\text{by A}}$$

Aによって与えられた体積仕事

以上より $Q_A = \Delta U_A + \Delta U_B \quad \Delta U = \frac{3}{2} R \Delta T$

$$= \frac{3}{2} R \Delta T_A + \frac{3}{2} R \Delta T_B$$

$$= \frac{3}{2} R (\Delta T_A + \Delta T_B)$$

$$= \frac{3}{2} R (1.68 T_0 + 0.32 T_0)$$

$$= \frac{3}{2} \times 8.3 \times 2.0 \times 273$$

$$= 6797 \dots$$

答: $6.80 \times 10^3 \text{ J}$

(18)

3

気体は 1mol の理想気体 PV = RT が成立

(1) $\frac{PV}{T} = R$... 一定より

$$\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{P_C V_C}{T_C} \leftarrow \begin{cases} P_C = 2P_0 \\ V_C = 2V_0 \end{cases}$$

よって $T_C = 4T_0$ となる

$C_V = \frac{3}{2}R$
 $C_P - C_V = R$

= a 2式より

(2) B → C 定圧変化 → $C_P = \frac{5}{2}R$

よって $\frac{T_B}{2P_0} = \frac{T_0}{P_0} \rightarrow T_B = 2T_0$

$$Q_{BC} = \frac{5}{2}R(4T_0 - 2T_0) = 5RT_0 \text{ となる}$$

(3) B → C の体積仕事 W_{BC} は

$$W_{BC} = P \Delta V = 2P_0(2V_0 - V_0) = 2P_0V_0$$

よって $P_0V_0 = RT_0$ より

$$W_{BC} = 2RT_0 \text{ となる}$$

(4) 仕事総量 W は

$$\frac{W_{BC} + W_{DA}}{\text{体積仕事}} = 2RT_0 + P_0(V_0 - 2V_0) = 2RT_0 - P_0V_0$$

$P_0V_0 = RT_0$ より

$$= 2RT_0 - RT_0 = RT_0$$

(23)

一方、吸収した熱量 Q は

$$Q = Q_{AB} + Q_{BC} = \frac{3}{2}R(2T_0 - T_0) + 5RT_0$$
$$= \frac{3}{2}RT_0 + 5RT_0 = \frac{13}{2}RT_0$$

$$\therefore \frac{W}{Q} = \frac{RT_0}{\frac{13}{2}RT_0} = \frac{2}{13} \text{ となる}$$

(5) $W_{EA} = \frac{\frac{P_0}{2} + P_0}{2} (V_0 - \frac{V_0}{2}) = \frac{3}{8}P_0V_0$

$$= \frac{3}{8}RT_0 \text{ となる}$$

(6) PV = RT より

$$\frac{P_0}{2} \times \frac{V_0}{2} = RT_E \quad \therefore T_E = \frac{P_0V_0}{4R} = \frac{RT_0}{4R} = \frac{T_0}{4}$$

$$\Delta U_{EA} = \frac{3}{2}R(T_0 - \frac{T_0}{4}) = \frac{9}{8}RT_0$$

$$\Delta U = Q - P \Delta V \text{ より } Q = \Delta U + P \Delta V$$

↑
気体以外に仕事 (体積仕事)

$$\therefore Q_{EA} = \Delta U_{EA} + W_{EA}$$

$$= \frac{9}{8}RT_0 + \frac{3}{8}RT_0 = \frac{3}{2}RT_0$$

よってモル比熱は、

$$\frac{Q_{EA}}{T - \frac{T_0}{4}} = \frac{\frac{3}{2}RT_0}{\frac{3}{4}T_0} = 2R \text{ となる}$$

(24)

1

(1) 速さ v の波が x の位置まで届くには、
 $\frac{x}{v}$ の時間がかかる。

時刻 t に位置 x に達する波は、原点を
 $t - \frac{x}{v}$ の時刻に出発した波である。

$$A \sin 2\pi f \left(t - \frac{x}{v} \right) \quad (1) \text{の答え}$$

(2) 重ねあわせの

(3) (1) の x が L にかわっただけなので

$$A \sin 2\pi f \left(t - \frac{L}{v} \right)$$

±53L
-πでもよい

(4) $\pm 2\pi$ の位相

$$-A \sin 2\pi f \left(t - \frac{L}{v} \right) \Rightarrow \text{変形} \Rightarrow A \sin \left[2\pi f \left(t - \frac{L}{v} \right) + \pi \right]$$

$$(5) \pi$$

(6) L と x のキリは $(L-x)$ だから

$$\frac{L-x}{v}$$

$$(7) y_2(x, t) = -A \sin 2\pi f \left(t - \frac{L}{v} - \frac{L-x}{v} \right) \\ = -A \sin 2\pi f \left(t + \frac{x-2L}{v} \right)$$

$$(8) y(x, t) = y_1 + y_2 = A \sin 2\pi f \left(t - \frac{x}{v} \right) - A \sin 2\pi f \left(t + \frac{x-2L}{v} \right) \\ = 2A \sin 2\pi f \left(\frac{t - \frac{x}{v} - t - \frac{x-2L}{v}}{2} \right) \cdot \cos 2\pi f \left(\frac{t - \frac{x}{v} + t + \frac{x-2L}{v}}{2} \right) \\ = 2A \sin 2\pi f \left(\frac{L-x}{v} \right) \cdot \cos 2\pi f \left(t - \frac{L}{v} \right)$$

$$\sin 2\pi f \times \frac{L-x}{v} \quad (8) \text{の答え}$$

(9) $x=0$ での合成波は (8) より、

$$y(0, t) = 2A \cos 2\pi f \left(t - \frac{L}{v} \right) \times \sin 2\pi f \left(\frac{L-0}{v} \right) \\ = 2A \cos 2\pi f \left(t - \frac{L}{v} \right) \times \sin 2\pi f \cdot \frac{L}{v}$$

このときの振動数を f_m とすると、

$$\sin 2\pi f_m \cdot \frac{L}{v} = 0$$

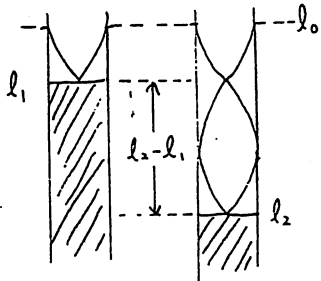
$$2\pi f_m \cdot \frac{L}{v} = m\pi \quad \Rightarrow \quad f_m = \frac{m v}{2L}$$

$$(10) \lambda_m = \frac{v}{f_m} = v \times \frac{2L}{m v} = \frac{2L}{m}$$

$$(11) m=1 \text{ のとき } f_1 = \frac{v}{2L}$$

$$(12) f_m = \frac{m v}{2L} = \frac{m}{2L} \times \sqrt{\frac{T}{\rho}} = \frac{m}{2L} \sqrt{\frac{T}{\rho}}$$

2 (1) 1 腹 2 節 3 定常波



(2) 4 $\frac{1}{2}$ 7) $l_2 - l_1 = \frac{\lambda}{2}$

$v = f\lambda$ より $f_1 = \frac{v}{\lambda}$

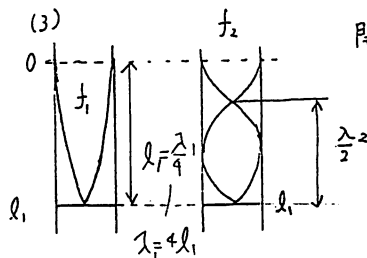
$f_1 = \frac{v}{2(l_2 - l_1)}$

音波は たゞ波だから 6 鉛直方向

7 l_1

8 $\frac{l_1 + l_2}{2}$ (腹)

開口端補正を考慮しない場合は $l = 0$ と腹になる。



開口端補正を 0 とすると、

$\frac{3}{4}\lambda_2 = l_1 \Rightarrow \lambda_2 = \frac{4}{3}l_1$

($v = f\lambda$ より)

$v = f_1\lambda_1 = f_2\lambda_2$

$f_1 \cdot 4l_1 = f_2 \cdot \frac{4}{3}l_1$

$\frac{f_2}{f_1} = 3$

$f_1 = 1 \times f_1, f_2 = 3 \times f_1, \dots$ と考えず。

$f_m = (2m-1) \cdot f_1$

(21)

(4) $\frac{3}{4}\lambda < 1.2$ ならば、

$\therefore \lambda < 1.6 \text{ [m]} \rightarrow f_1 = \frac{v}{\lambda} > \frac{336}{1.6} = 210$
($f_1 > 0$)

12 210 Hz

13 大きい

1) 温度

(5) $v = 331.5 + 0.6t$ で与えられる。

14 速く

$l_1 = \frac{\lambda}{4}$ と $v = f\lambda$ より、

$l_1 = \frac{1}{4} \cdot \frac{v}{f}$

$l_1 \propto v$

15 大きく

本問では、

「 λ の直径が
「 λ の直径に小さい
とあるので 不必要」

おまけ

(3) で 開口端補正を 1/4 にすると、

$\frac{\lambda_1}{4} - l_1 = \frac{2(l_2 - l_1)}{4} - l_1 = \frac{l_2 - 3l_1}{2}$

$\frac{3}{4}\lambda_2 = l_1 + \frac{l_2 - 3l_1}{2} = \frac{l_2 - l_1}{2}$

$\therefore \lambda_2 = \frac{2}{3}(l_2 - l_1)$

(22)

3

(1) ① ドップラー

$$f_2 = \frac{v - 0}{v - (-u)} f_1$$

$$= \frac{v}{v + u} f_1$$

$$f_3 = \frac{v}{v - u} f_1$$

直接音と反射音の合成音 → 強弱を繰り返す

うたの周波数 $n [Hz]$ は

$$\textcircled{5} \quad \left(\frac{f_3}{f_2} \right)$$

$$n = f_3 - f_2$$

$$= f_1 \left(\frac{v}{v - u} - \frac{v}{v + u} \right) = f_1 \cdot \frac{2vu}{v^2 - u^2}$$

周期 $T = \frac{1}{n}$ だから

$$T = \frac{v^2 - u^2}{2vu f_1}$$

S_2 から音源が遠ざかる速さは

$$u \cos \theta \quad (\theta \text{ は左図参照})$$

ドップラー効果のため

(t にかいて D において θ が変わるから)
遠ざかる速さ $u \cos \theta$ と変わる。 (2)

$$D = ut$$

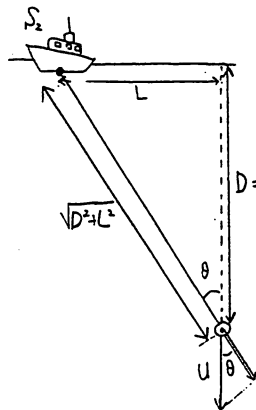
$$t = 3\tau$$

$$\cos \theta = \frac{D}{\sqrt{D^2 + L^2}} \quad \text{だから}$$

$$f_4 = \frac{v}{v + u \cos \theta} f_1 = \frac{v}{v + u \frac{ut}{\sqrt{ut^2 + L^2}}} f_1$$

$$= \frac{v}{v + \frac{u^2 t}{\sqrt{u^2 t^2 + L^2}}} f_1$$

25



f_4 が最大
易
 $\frac{u^2 t}{\sqrt{u^2 t^2 + L^2}}$ が最小

$$\frac{u^2 t}{\sqrt{u^2 t^2 + L^2}} = K \text{ とおくと}$$

$$\frac{u^2 t^2}{u^2 t^2 + L^2} = K^2$$

$u^2 \geq 0$
 $t \geq 0$
明らか
 $K \geq 0$

$$(u^2 K^2 - u^4) t^2 + L^2 K^2 = 0$$

t は実数だから

$$0 - 4L^2 K^2 (u^2 K^2 - u^4) \geq 0$$

$$4L^2 K^2 u^2 (-K^2 + u^2) \geq 0$$

$$-K^2 + u^2 \geq 0$$

$$u^2 \geq K^2$$

$$\begin{cases} u \geq 0 \\ K \geq 0 \end{cases} \Rightarrow u \geq K \geq 0$$

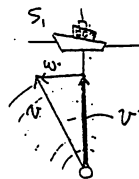
L は t と 1 が t 設問から $F = F_1$ になるから

f_5 は $K = 0$ のとき $t = 0$ かつ $t = \infty$

$$f_5 = f_1$$

f_6 は $u^2 t^2 \gg L^2$ より $K = u$ のとき $t = \infty$

$$f_6 = \frac{v}{v + u} f_1$$



S_1 へ向かう音波の速度 v' は

$$\sqrt{v^2 - u^2} \text{ であるから}$$

この音源が速さ u で L だけ進むので

1秒間のイベントとしては、 $(v' + u)_m$ 中に f_1 個の波が送られる。波長は1個の波の長さだから...

波長は $\frac{\sqrt{v^2 - u^2} + u}{f_1}$

したがって $f_7 = \frac{\sqrt{v^2 - u^2}}{\sqrt{v^2 - u^2} + u} f_1$

26

4

(1) 明さい (理由) $\left[\begin{array}{l} O \text{点, } S_1, S_2 \text{ の } \lambda \text{ 等距離に} \\ \text{ある } \gamma \text{ 行路差 也 } \gamma \text{ ありから.} \end{array} \right]$

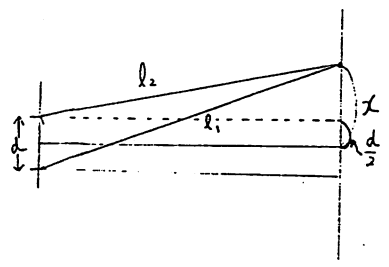
(2) 明さい場合

$$l_1 - l_2 = \frac{\lambda}{2} \cdot 2m$$

暗い場合

$$l_1 - l_2 = \frac{\lambda}{2} (2m + 1)$$

(3)



$$l_2^2 = L^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2$$

$$l_2 = \left\{ L^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$= L \left\{ 1 + \left(\frac{x - \frac{d}{2}}{L}\right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$\approx L \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{x - \frac{d}{2}}{L}\right)^2 \right\}$

近似式 $(1 + \epsilon)^n \approx 1 + n\epsilon$

ϵ 利用すべし.

$$l_2 = L \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{x - \frac{d}{2}}{L}\right)^2 \right\}$$

同様に $l_1 = \left\{ L^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \approx L \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{x + \frac{d}{2}}{L}\right)^2 \right\}$

$$\therefore l_1 - l_2 = \left\{ L + \frac{1}{2} \frac{(x + \frac{d}{2})^2}{L} \right\} - \left\{ L + \frac{1}{2} \frac{(x - \frac{d}{2})^2}{L} \right\}$$

$$= \frac{1}{2L} \left\{ (x + \frac{d}{2})^2 - (x - \frac{d}{2})^2 \right\} = \frac{1}{2L} (2x \times 2 \times \frac{d}{2})$$

$$= \frac{xd}{L} \Rightarrow (2) \text{より } \frac{xd}{L} = \frac{\lambda}{2} (2m)$$

$$\Delta x = \frac{L\lambda}{d} \{ (m+1) - m \} = \frac{L\lambda}{d}$$

$$\therefore x = \frac{L\lambda}{d} m$$

(27)

(4) $L = 1.0 \text{ m}, d = 0.05 \text{ cm} = 5 \times 10^{-2} \text{ m}$
 $\Delta x = 0.11 \text{ cm} = 1.1 \times 10^{-3} \text{ m}$

$$\Delta x = \frac{L\lambda}{d} \text{ より } \lambda = \frac{\Delta x \cdot d}{L}$$

$$= \frac{1.1 \times 10^{-3} \times 5 \times 10^{-2}}{1.0}$$

$$= \underline{5.5 \times 10^{-7} \text{ m}} \quad (\text{正解})$$

(5)

$$x = \frac{L\lambda}{d} m \text{ 及び}$$

$$\frac{L\lambda}{d} m = \frac{(L + dL)\lambda}{d} m$$

同(1)の理

$$\Delta L = (L + dL) m$$

$$\Delta L = \frac{m - m}{m} L$$

(正解)

(28)

5

問1. $\sin \alpha = n \sin \beta \Rightarrow v \text{ 対比}$

∴ 膜内の光速と

v 対比

$c = n v$ が導ける

問2. (1) 光が AE を進むのに要する時間を t_1 ,

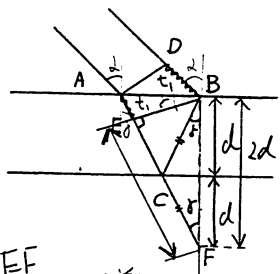
DB を進むのに " t_2 とする

$$t_1 = \frac{\overline{AE}}{v} = \frac{\overline{AB} \sin \beta}{\frac{c}{n}} = \overline{AB} \frac{n \sin \beta}{c}$$

$$t_2 = \frac{\overline{DB}}{c} = \frac{\overline{AB} \sin \alpha}{c} = \overline{AB} \frac{n \sin \alpha}{c}$$

よって $t_1 = t_2$

(2) $\Delta t = \frac{\overline{EC} + \overline{CB}}{v} = \frac{\overline{EC} + \overline{CF}}{v}$



EF
→ 光路差に
等しい

$t = t'$ (FはACの延長とBからの直線の交点)
屈折角から $CB = CF$ となる
わかった

$\overline{BF} = 2d$ [mm]
 $2d \times 10^{-9}$ m

また $v = \frac{c}{n}$ とする

$$\Delta t = \frac{2d \times 10^{-9} \cdot \cos \beta}{\frac{c}{n}} = \frac{2nd \cdot \cos \beta}{c} \times 10^{-9}$$

問5. $t = t'$ の計算

問3. (1) π だけ変化する

(2) 変化しない

(1) 光路差 $= \Delta t \times c = 2nd \cos \beta \times 10^{-9}$ [cm]

∴ 波長 λ [nm] と比較して

$$2nd \cos \beta = \frac{\lambda}{2} (2m+1)$$

① 式対比

7おめう

点Bで反射対比
位相が逆転 (π ずらす)
だから $\frac{\lambda}{2}$ の奇数倍

問4. $2nd \cos (\beta_0 + \Delta \beta)$

$$2nd \cos (\beta_0 + \Delta \beta) = \frac{\lambda}{2} \{ 2(m-1) + 1 \} \dots \text{②式}$$

①より $2nd \cos \beta_0 = \frac{\lambda}{2} (2m+1) \dots \text{①'}$

①'-②より

$$2nd \{ \cos \beta_0 - \cos (\beta_0 + \Delta \beta) \} = \lambda$$

$$\text{左辺} = 2nd \{ \cos \beta_0 - \cos \beta_0 \cos \Delta \beta + \sin \beta_0 \sin \Delta \beta \}$$

$$\approx 2nd \{ \cos \beta_0 - \cos \beta_0 + \sin \beta_0 \cdot \Delta \beta \}$$

$$= 2nd \sin \beta_0 \cdot \Delta \beta$$

左辺 = 右辺 $2nd \sin \beta_0 \cdot \Delta \beta = \lambda$

$$\Delta \beta = \frac{\lambda}{2nd \sin \beta_0}$$

問5. $t = t'$ の計算

$$d = \frac{\lambda}{2n \sin \beta_0 \Delta \beta} = \frac{590}{2 \times 1.5 \times \sin 30^\circ \times 0.070} = 5.6 \times 10^3$$

$$5.6 \times 10^3 \text{ mm} (= 5.6 \mu\text{m})$$