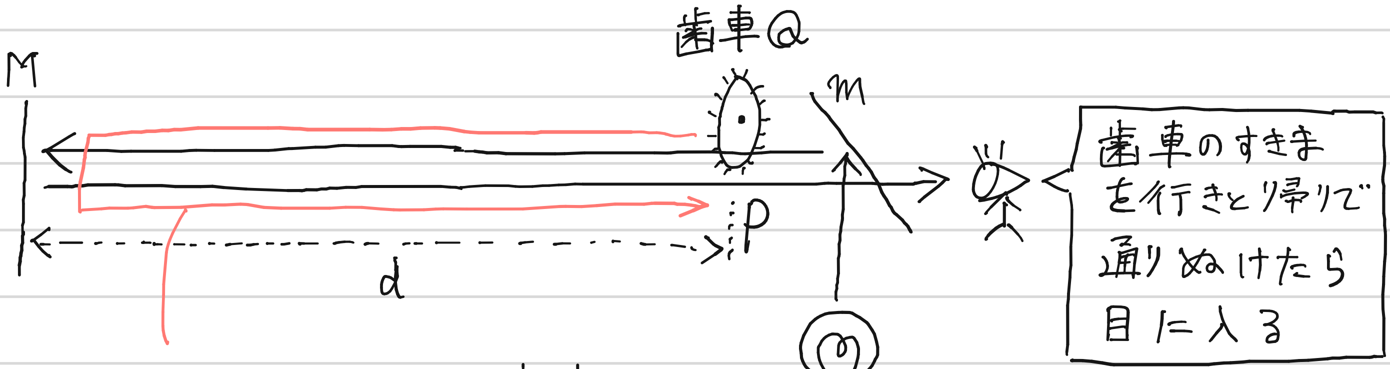
208 フィゾーの実験

原理



2d 光が進む際、歯車で

行き → 帰り

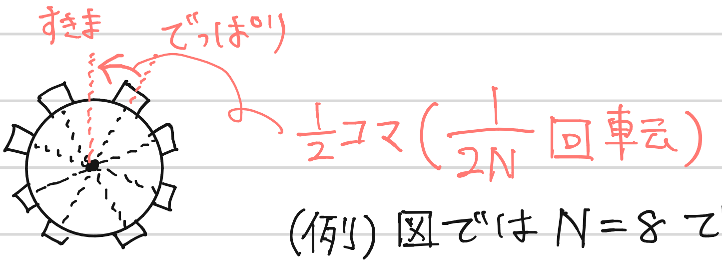
「すきま」　「でっぱり」

となっていたら光は観測者に届かない。

(ア) 光が　の経路を進む時間が聞かれている。

$$t=\frac{2d}{c}$$ //(ア)

(イ) 歯車が「すきま」→「でっぱり」まで回転する時間が聞かれている



(例) 図では $N=8$ で

でっぱり → でっぱりが $\frac{1}{8}$ 回転

でっぱり → すきまで $\frac{1}{16}$ 回転

⇒ 毎秒 n 回転 ⇒ 1回転に $\frac{1}{n}$ 秒 ⇒ $\frac{1}{2N}$ 回転に $\frac{1}{2nN}$ 秒 //(イ)

$\boxed{208}$ 続き

(ウ) (イ)と(ロ)が同じ時間だと，光が観測者にとどかない.
このことから

$$\frac{2d}{c} = \frac{1}{2Nn}$$

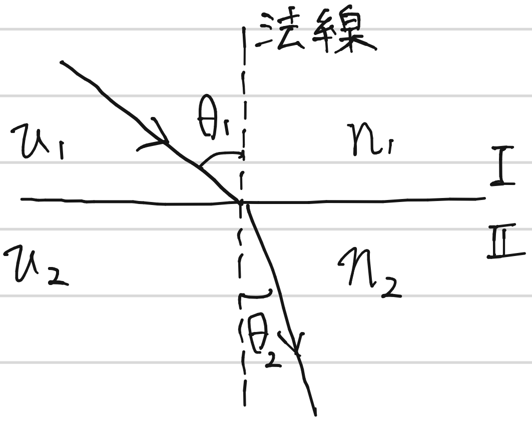
$$\therefore c = \underline{4dnN} \quad /\!/ \text{(ウ)}$$

(エ) 値を代入すると

$$C = 4 \cdot 8633 \cdot 12.6 \cdot 720$$

$$\fallingdotseq \underline{3.13 \times 10^{8} \ [\mathrm{m/s}]} \quad /\!/ \text{(エ)}$$

209 屈折の法則



注意

入射角 θ_1、屈折角 θ_2 は法線との間の角度

ポイント

☆ 分数の形で覚えるとまちがえやすい。⇒かけ算型で覚える

$$\begin{cases} n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \quad \text{(オ)} \\ n_1 v_1 = n_2 v_2 \\ n_1 \lambda_1 = n_2 \lambda_2 \end{cases}$$

※ n…絶対屈折率

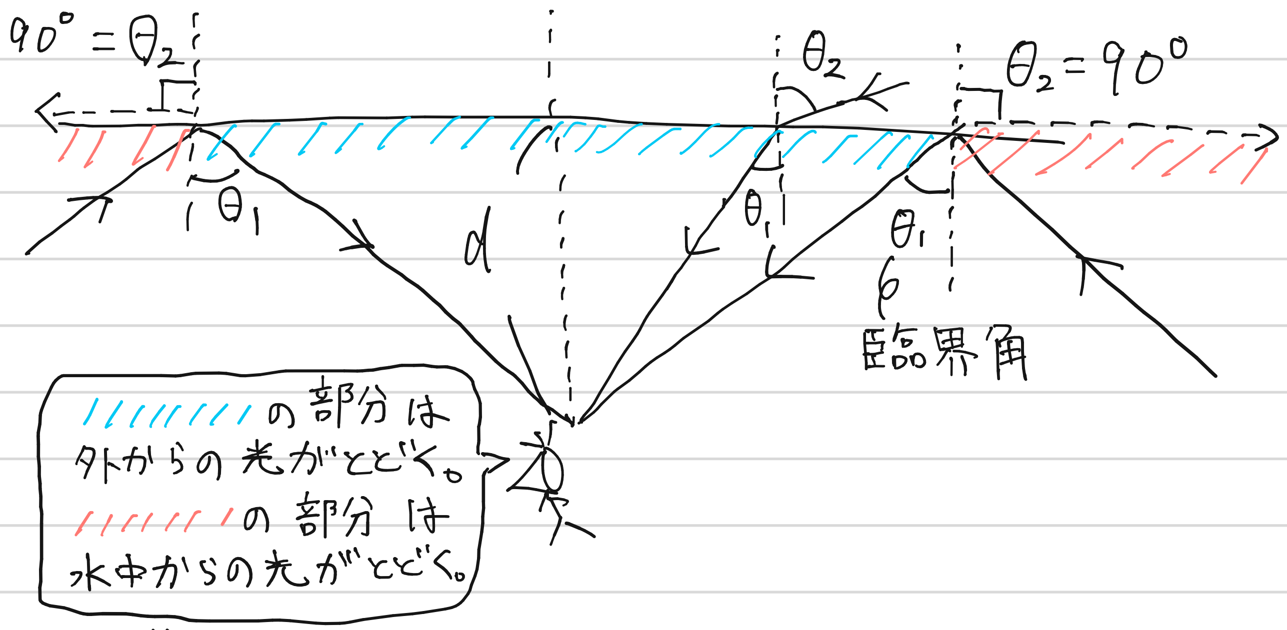
☆ I に対する II の相対屈折率 n_{12} は分数型ででてくる

$$n_{12} = \underbrace{\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}}_{\text{(ア)}} = \underbrace{\frac{v_1}{v_2}}_{\text{(ウ)}} = \underbrace{\frac{\lambda_1}{\lambda_2}}_{\text{(エ)}} = \underbrace{\frac{n_2}{n_1}}_{\text{(イ)}}$$

これだけ 1, 2 が逆。
$n_1 \lambda_1 = n_2 \lambda_2$ になるか
などであってるか確かめる

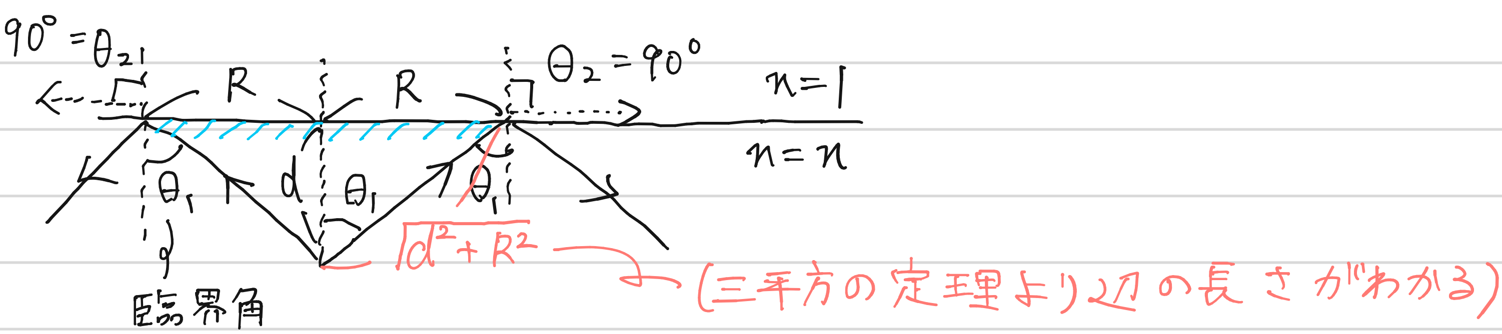
210 全反射 → 屈折角が90°以上になると発生
(境い目となる入射角を臨界角という)

(問題の設定を理解する)



⇓

空気中の景色が見えるのは //////// の部分だけ。 ⇒ スネルの窓という現象



上図のように書け、図形的な関係を立式すると

$$\sin\theta_1 = \frac{R}{\sqrt{d^2+R^2}} \quad \cdots ①$$

$\boxed{210}$ 続き

屈折の法則より

$$n \sin\theta_1 = 1 \times \sin 90^\circ$$

$$n \sin\theta_1 = 1$$

$$\sin\theta_1 = \frac{1}{n} \quad \cdots ②$$

①に②を代入して

$$\frac{1}{n} = \frac{R}{\sqrt{d^2+R^2}}$$

両辺2乗

$$\frac{1}{n^2} = \frac{R^2}{d^2+R^2}$$

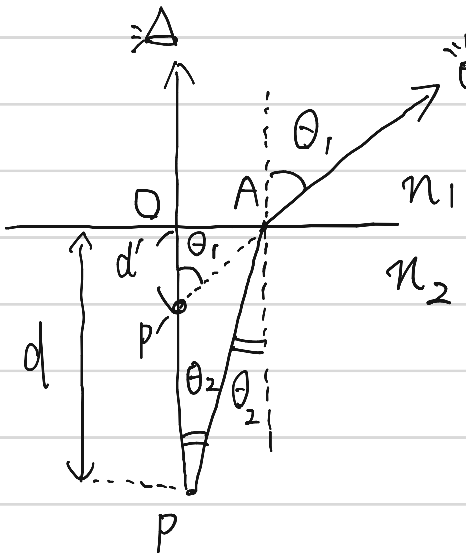
$$d^2+R^2 = n^2R^2$$

$$R^2(n^2-1) = d^2$$

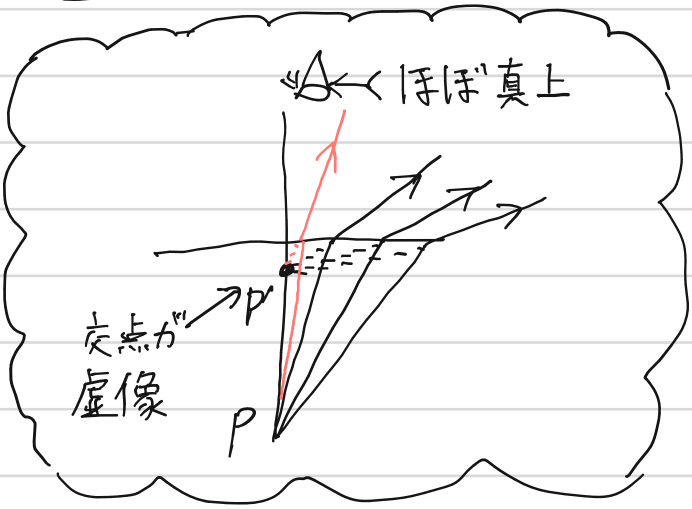
$$R^2 = \frac{d^2}{n^2-1}$$

$$R = \frac{d}{\sqrt{n^2-1}}$$

$\boxed{211}$



P′から光がでてる → P′を虚像という.



(1) 屈折の法則より

$$n_2 \sin\theta_2 = n_1 \sin\theta_1 \quad \cdots ①$$

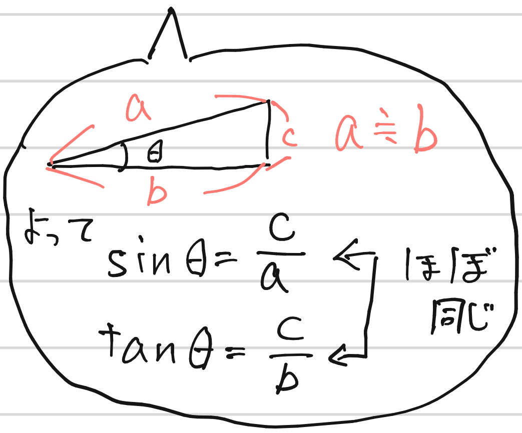
図形的な立式より

$$d' \tan\theta_1 = \overline{OA} \quad \cdots ②$$
$$d \tan\theta_2 = \overline{OA} \quad \cdots ③$$

②. ③より

$$d' \tan\theta_1 = d \tan\theta_2 \quad \cdots ④$$

ここで θ が非常に小さければ $\sin\theta \fallingdotseq \tan\theta$ と近似できる



①より

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

④より

$$\frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2} = \frac{d}{d'}$$

よって

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} \fallingdotseq \frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2} \Longleftrightarrow \frac{n_2}{n_1} \fallingdotseq \frac{d}{d'}$$

211 (1) 続き

$$d' = \frac{n_1}{n_2} d$$

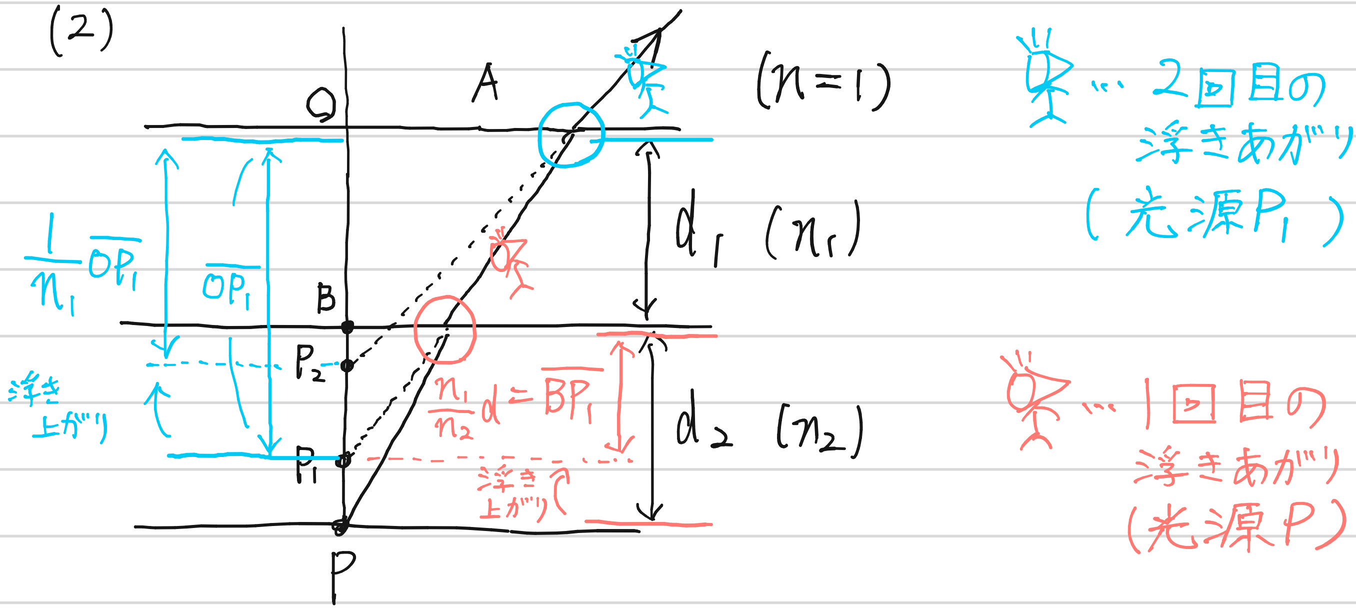
$$= \frac{d}{n_{12}} \quad \left(\because \frac{n_2}{n_1} = n_{12} \right)$$

浮き上がりの距離は $d-d'$ なので

$$d - d' = d - \frac{d}{n_{12}}$$

$$= d\left(1 - \frac{1}{n_{12}}\right)$$

(2)



前問(1)で求めた虚像の位置の式 $d' = \frac{n_1}{n_2} d$ を利用

$$\overline{BP_1} = \frac{n_1}{n_2} d_2 \quad (ア)$$ (1回目の浮きあがり)

$$\overline{OP_1} = d_1 + \frac{n_1}{n_2} d_2 \quad (イ)$$ (図形的な関係)

$$\overline{OP_2} = \frac{1}{n_1} \cdot \overline{OP_1} = \frac{1}{n_1}\left(d_1 + \frac{n_1}{n_2} d_2\right)$$

(2回目の浮きあがり)

$$= \frac{d_1}{n_1} + \frac{d_2}{n_2} \quad (ウ)$$

212

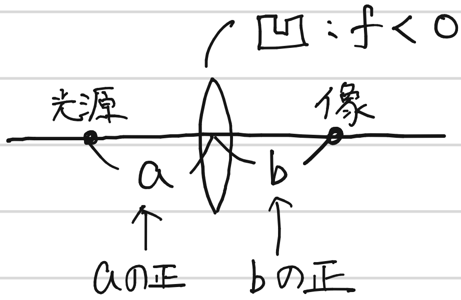
レンズの公式をグラフに書きだして、像のでき方を考察する問題。作図による像の考察とリンクさせて考えよう。

レンズの公式

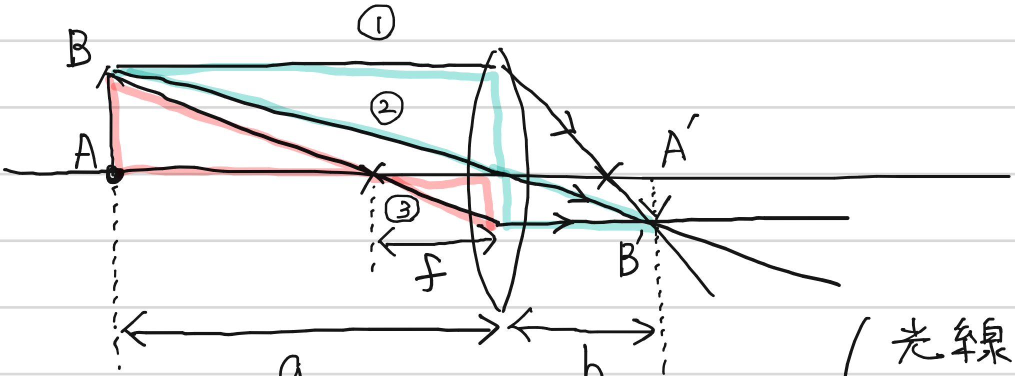
$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$$

凸：$f>0$
凹：$f<0$

倍率 $m=\left|\frac{b}{a}\right|$



(i) 凸の実像



$(\underbrace{a>2f}_{\text{(i)の条件}})$

（光線が交わっているので実像）

凸レンズを通る光で特徴的なコースをとるもの

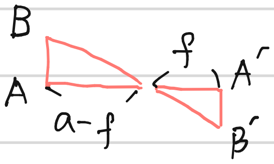
① 平行に入射 → 焦点を通る
② レンズの中心に入射 → 直進する
③ 焦点を通って入射 → 平行にでていく

図からわかる通り $\underbrace{f}_{(ア)}<b<\underbrace{2f}_{(イ)}$ となる。((イ)は $a=2f$ の作図で判断)

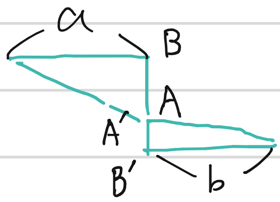
$a>b$ なので像は元より小さくなり倍率 $m<\underbrace{1}_{(ウ)}$ といえる。

$\boxed{212}$ (i) 続き

※図からレンズの公式を導いてみる.



$$(a-f) : f = \overline{AB} : \overline{A'B'} \Rightarrow \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{f}{a-f}$$



$$a : b = \overline{AB} : \overline{A'B'} \Rightarrow \underbrace{\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{b}{a}}$$

⇓

倍率 m を示している

$$m = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{b}{a}$$

2式より

$$\frac{f}{a-f} = \frac{b}{a}$$

分母を払って

$$af = b(a-f)$$

$$\Rightarrow af = ab - bf$$

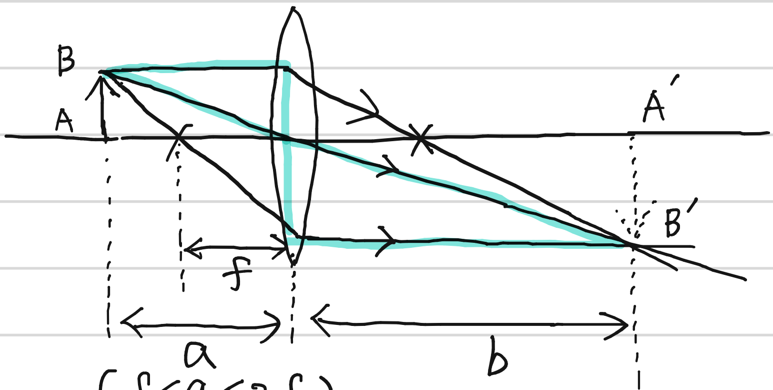
全体を $\frac{1}{abf}$

$$\Rightarrow \frac{1}{b} = \frac{1}{f} - \frac{1}{a}$$

$$\Rightarrow \underbrace{\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}}$$

レンズの公式

(ii) 凸の実像 ((i)と像のサイズがちがうだけ)



$\underbrace{(f<a<2f)}$ (ii)の条件

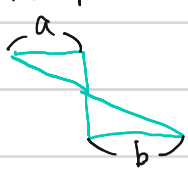
$a=2f$ のときの作図より $\underline{2f<b}$ (エ)

図より $a<b$ となり

元よりも大きくなることもわかる

倍率 $m > 1$ (オ)

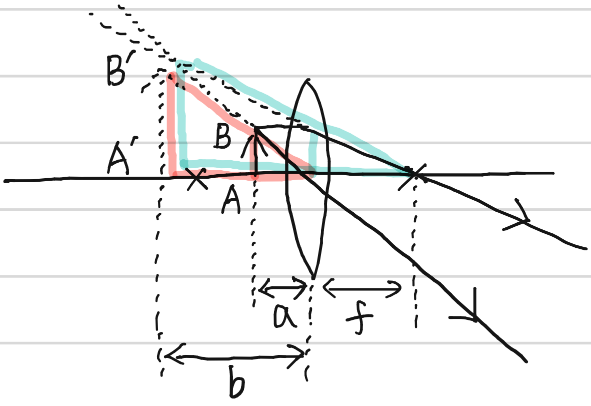
(



の相似と倍率をむすびつけよう)

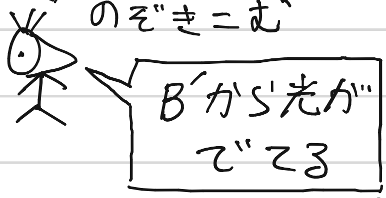
212 続き

(iii) 凸の虚像 ($0<a<f$)



← 交わらない。

⇓ そういうときはのぞきこむ



とかんちがい(虚像をみている)

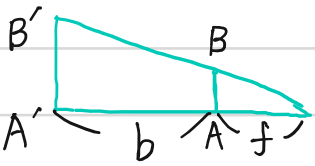
図より

bが前方なので $b<0$ (カ) かつ $|b|>a$ がわかる。

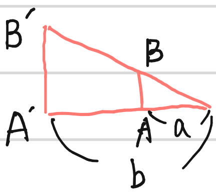
⇒ $b<0$ となるときはのぞきこんで観測できる虚像となる。

⇒ $|b|>a$ は元より像が大きくなることを示し倍率 $m>1$ とわかる (キ)

レンズの公式を導いてみる



$f:(f+b)=\overline{AB}:\overline{A'B'}$ ⇒ $\dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}=\dfrac{f+b}{f}$



$a:b=\overline{AB}:\overline{A'B'}$ ⇒ $\dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}=\dfrac{b}{a}$

⇓

倍率mを示している

$m=\dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}=\dfrac{b}{a}$

2式より

$\dfrac{f+b}{f}=\dfrac{b}{a}$

↓ 分母を払って

$af+ab=bf$

↓ 全体を $\dfrac{1}{abf}$

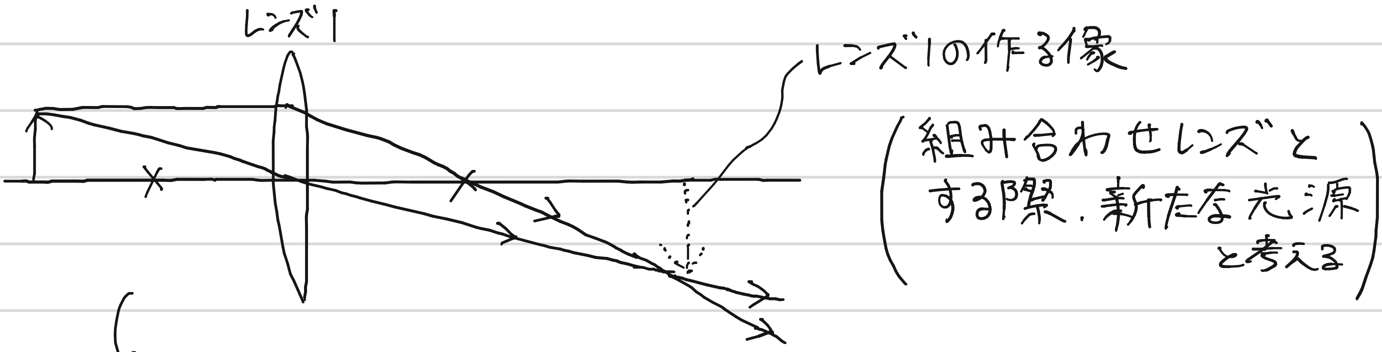
$\dfrac{1}{b}+\dfrac{1}{f}=\dfrac{1}{a}$

⇒ $\dfrac{1}{a}-\dfrac{1}{b}=\dfrac{1}{f}$ < $\boxed{\dfrac{1}{a}+\dfrac{1}{b}=\dfrac{1}{f}\text{で } b\text{が前方なので } -b\text{を代入}}$

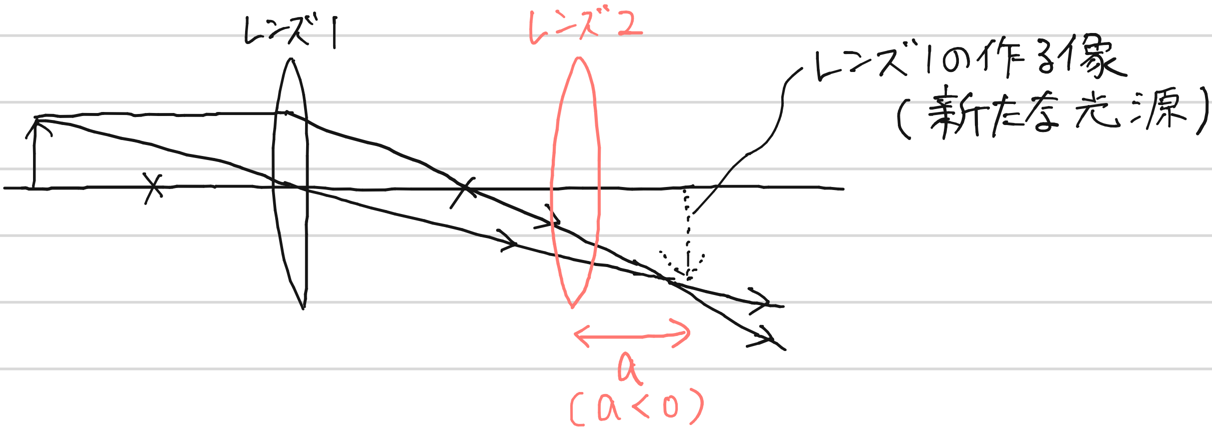
$\boxed{212}$ 続き

(iv) 虚光源 ($a<0$)

$a<0$ という状況は組み合わせレンズなどの装置でおこる。



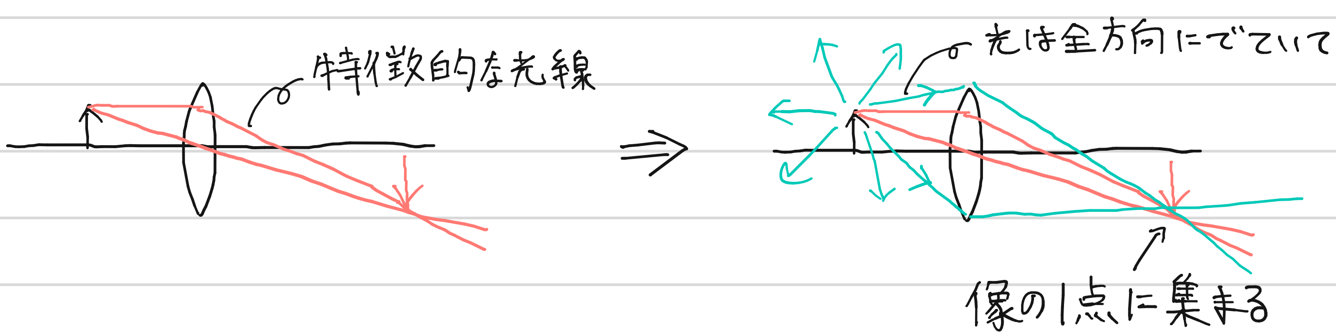
像より前方にレンズ2を置く



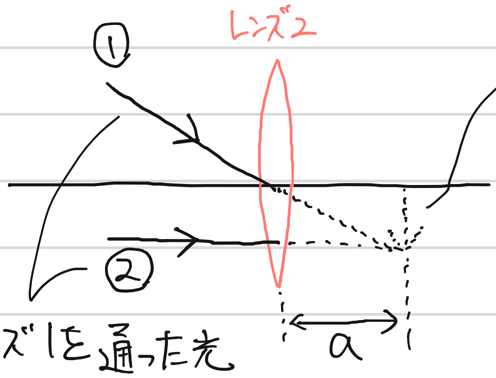
このように $a<0$ となる光源を虚光源という。

虚光源に関する作図のためには、以下のことを頭に入れておく必要がある。(重要)

— 光源から光は全方向にでていて、像で1点に集まっている —



$\boxed{212}$ (iV) 続き



レンズ1を通った光は、全てこの像に集まるようにすすむ。

⇓

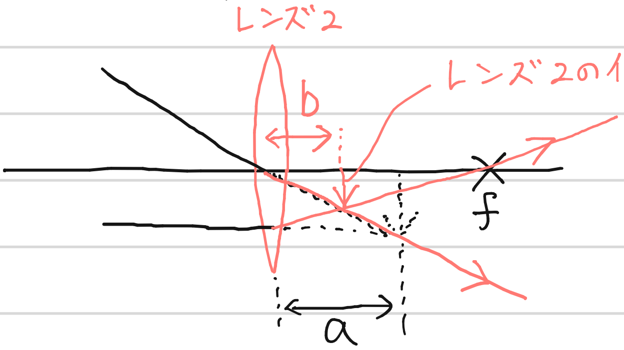
このことをふまえて、レンズ2の作図に必要な

① 中心を通る光、

② 平行に入射する光を書く。

レンズ1を通った光の中からピックアップした光線

⇓ レンズ2の作る像を書いてみる。



図より

b が後方（$0 < b$）かつ $b < |a|$ であることがわかる。

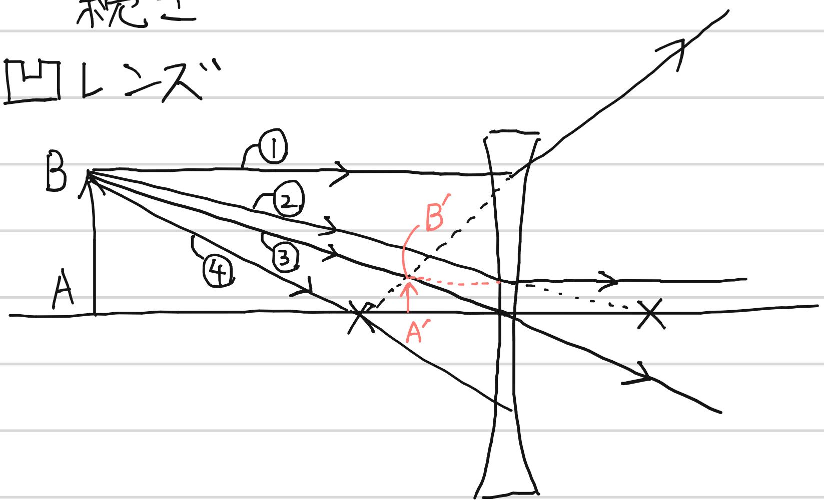
(ク)

$b < |a|$ なので像は元より小さくなるので倍率 $m < 1$ (ケ)

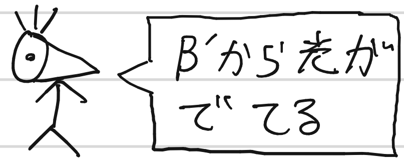
ここまで 図 で考察した (i)〜(iV) の状況とグラフの数値の条件が一致することを確かめよう

212 続き

凹レンズ



交わらない
⇓
のぞきこむ



とかんちがい
(虚像をみている)

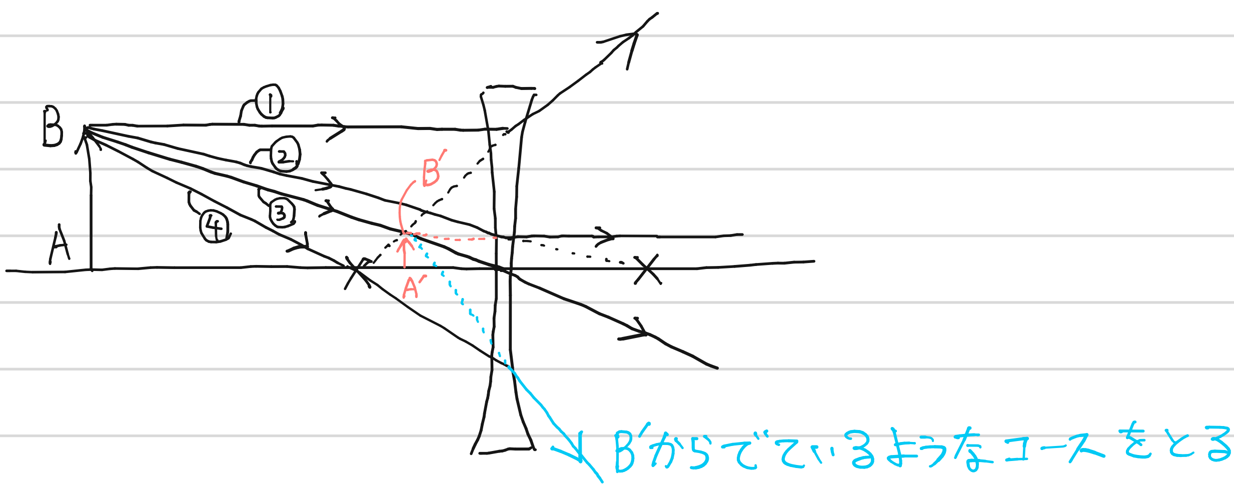
凹レンズを通る光で特徴的なコースをとるもの

① 平行に入射 → 前方の焦点からでたかのようにでていく
② 後方の焦点に向かって入射 → 平行にでていく
③ レンズの中心に入射 → 直進する

光を拡散するレンズ、と考えよう

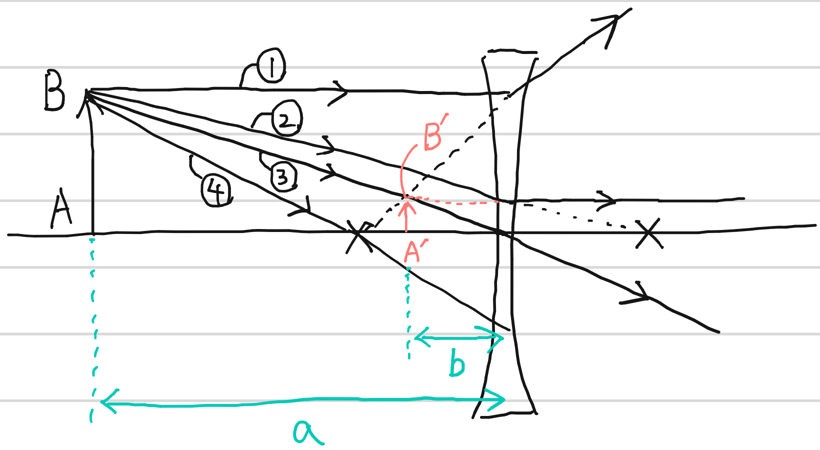
④ 前方の焦点を通って入射する光
→ 特徴的なコースは通らない。
なんとなく書いてしまって、迷いがちになるので気をつけよう。

※ ④の光がどのようなコースをとるか考える



$\boxed{212}$ 続き

問題を考察



図より

b が前方なので $b < \underset{\sim\sim}{0}$ (コ) かつ $|b| < a$ がわかる.

$|b| < a$ なので像が元より小さくなり, 倍率 $m < \underset{\sim\sim}{1}$ (サ)

※ 三角形の相似からレンズの公式を導くと

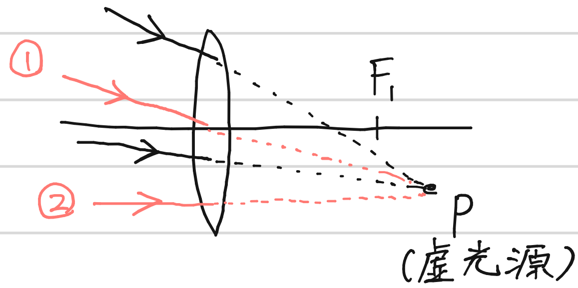
$$\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = -\frac{1}{f}$$

となることを確かめてみよう.

$\boxed{213}$

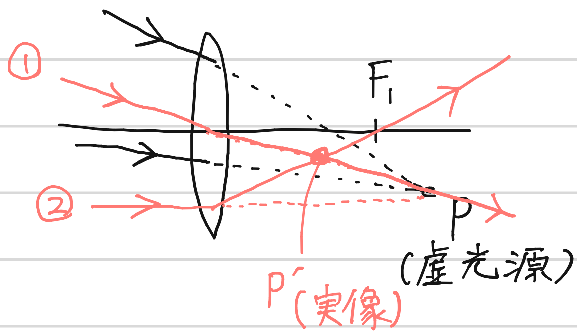
虚光源 P には 色々な方向から光が集まっており，
その中で，レンズの作図に必要な光をピックアップする．
（$\boxed{212}$ (iv)の解説参照）

$\boxed{\text{凸レンズ}}$

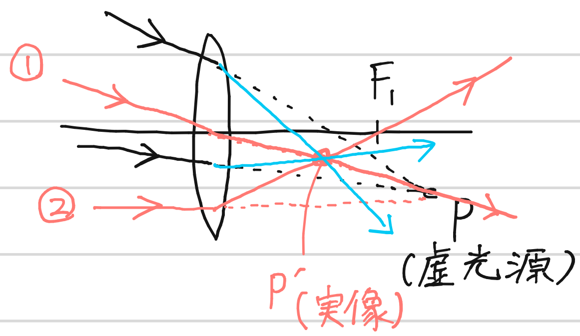


（STEP 1）
Pに向かう光は無数にあり，
① レンズの中心を通る光
② 光軸と平行に入射する光
をピックアップ．

（模範解答では F_2 を通る光をかいている）



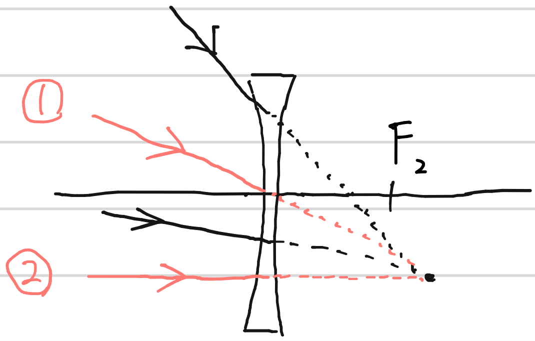
（STEP2）
像を作図。
①は直進
②は F_1 を通るようにまがる．



（STEP3）… $\boxed{\text{答え}}$
像に集まるように
与えられた光線のつづきを
かいてみる。

$\boxed{213}$ 続き

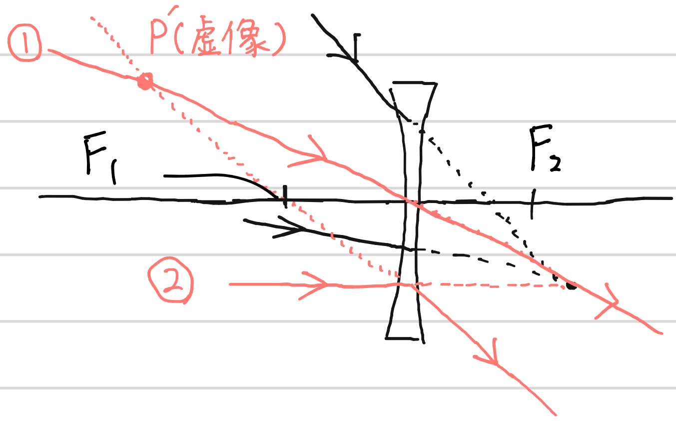
$\boxed{凹レンズ}$



(STEP 1)

Pに向かう光は無数にあり、
①レンズの中心を通る光
②光軸と平行に入射する光
をピックアップ。

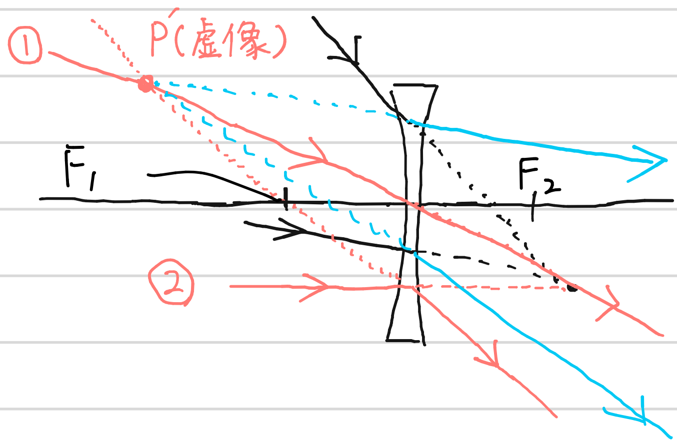
(模範解答では F_2 に向かう光をかいている)



(STEP2)

像を作図。
①は直進
②は F_1 を通るようにまがる.

(光線が交わらないので
虚像の作図を行う)

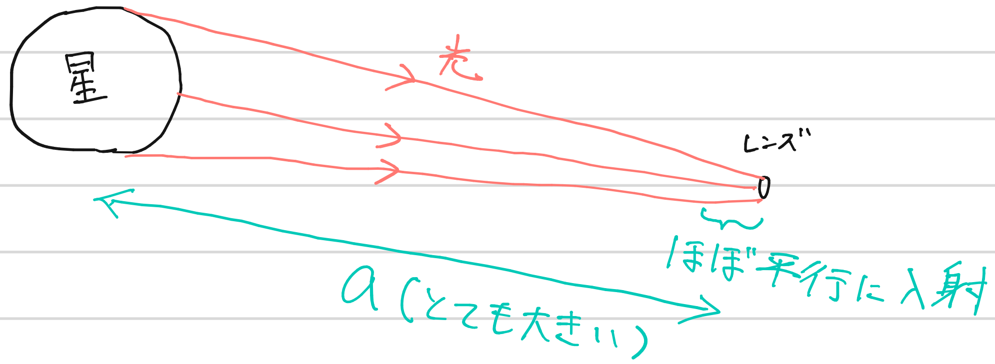


(STEP3)…$\boxed{答え}$

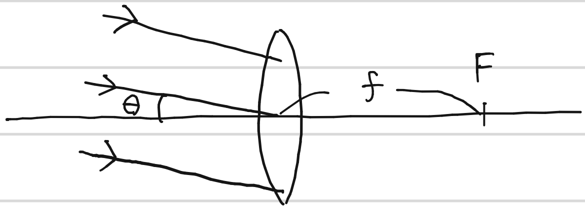
像に集まるように
与えられた光線のつづきをかいてみる。

$\boxed{214}$

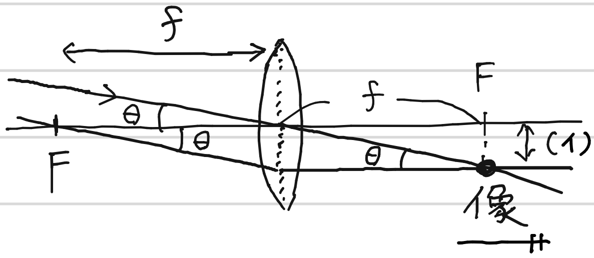
問題の状況を理解する



(1)



必要な線のみかく ⇒



レンズの中心を通る光と、
前方の焦点を通る光を書くと
像が距離 f のところに
できるとわかる。

(2) 図より像は後方 $\underline{f}_{\#(ア)}$ にできる。

また

$$(イ) = f\tan\theta$$

であり $\tan\theta \fallingdotseq \theta$ と近似すると

$$(イ) = \underline{f\theta}_{\#(イ)}$$

$\boxed{別解}$ 像までの長さを b としてレンズの公式を立式すると

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

a がとても大きいと $\frac{1}{a} \fallingdotseq 0$ と近似できる。

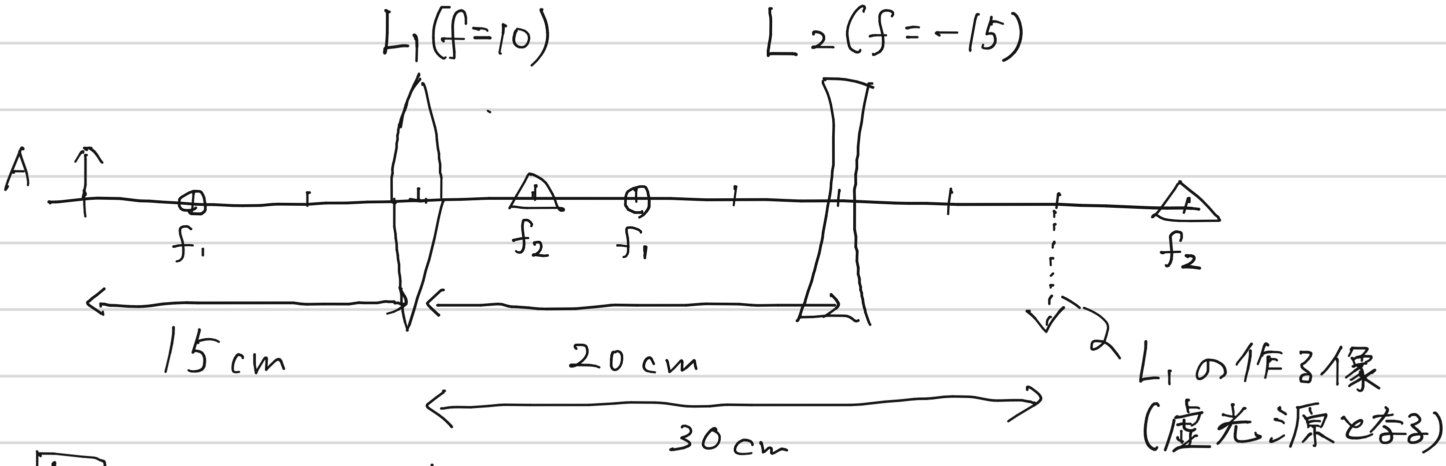
$$0 + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

$$\therefore\ b = \underline{f}_{\#(イ)}$$

このように像の位置を求めることができる。

215 組み合わせレンズと虚光源

1つ目のレンズの作る像を書く ⇒ その像を新たな光源として考える.



$\boxed{L_1}$ $\dfrac{1}{a}+\dfrac{1}{b}=\dfrac{1}{f}$ より

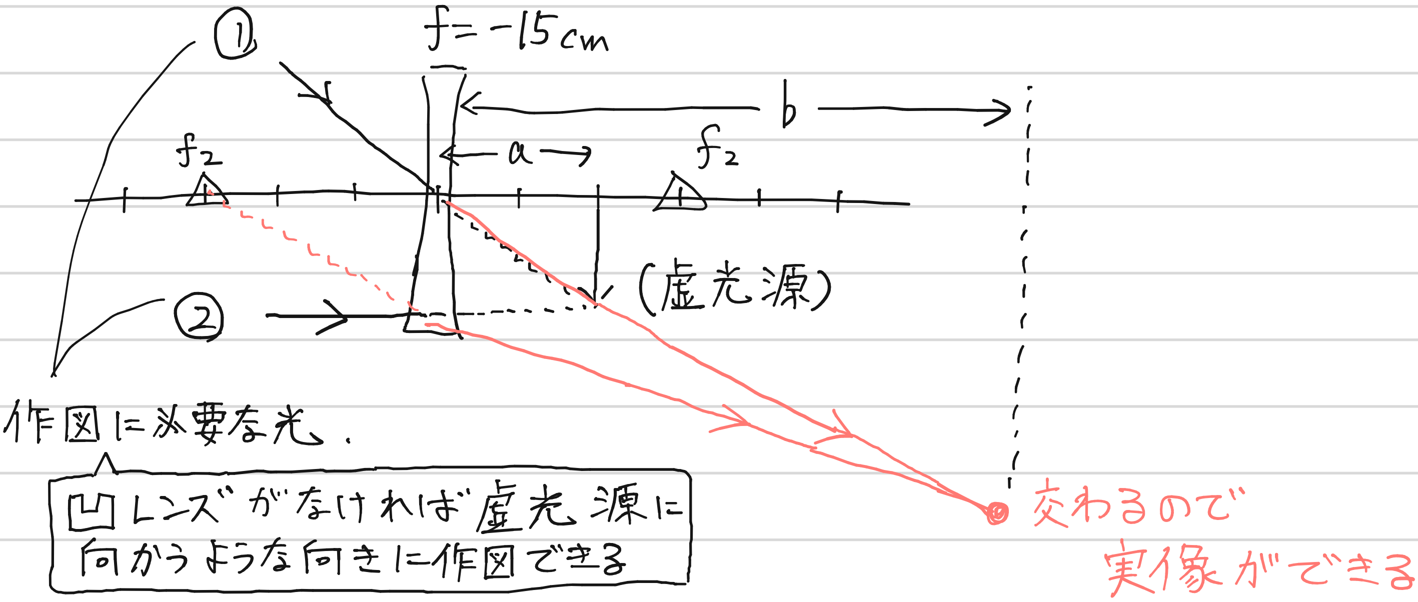
$$\frac{1}{15}+\frac{1}{b}=\frac{1}{10}$$

$$\frac{1}{b}=\frac{1}{30} \quad \therefore\ b=30\,\text{cm} \quad \left(\text{倍率 } m=\left|\frac{b}{a}\right|=\left|\frac{30}{15}\right|=2\text{倍}\right)$$

$\boxed{L_2}$ 後方の像が光源になるので虚光源となる

(作図)

① 中心を通る光 ② 平行に入る光 を書きたい



$\boxed{215}$ 続き

$\boxed{L_2}$ レンズの公式を立式すると

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{-10}+\frac{1}{b}=\frac{1}{-15}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{1}{b}=\frac{1}{30}$$

$\therefore\ b = 30\mathrm{cm}$ （$0<b$ なので実像）

（作図とも矛盾していない）

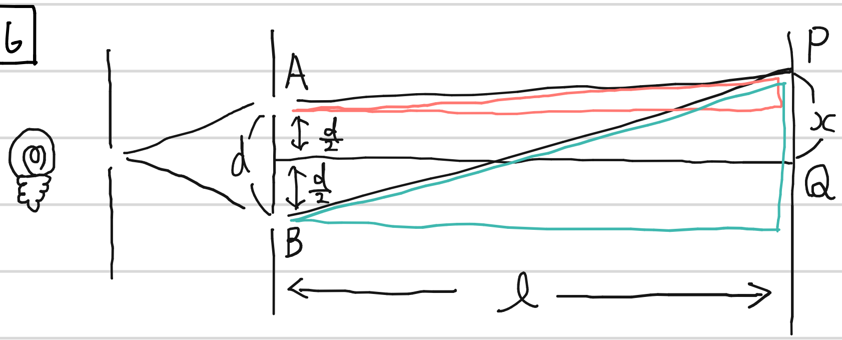
最終的な像の位置は $\underline{L_2 \text{の後方} 30\mathrm{cm}}$ //

作図より $\underline{\text{倒立実像}}$ //（$0<b$ だから，と考えてもよい）

倍率は L_1 で2倍，L_3 で3倍になっているので

$2\times3=\underline{6\text{倍}}$ //

216



(1) $\overline{AP} = \sqrt{\left(x - \frac{d}{2}\right)^2 + \ell^2}$ $\qquad$ $\overline{BP} = \sqrt{\left(x + \frac{\ell}{2}\right)^2 + \ell^2}$

$$\overline{BP} - \overline{AP} = \sqrt{\ell^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2} - \sqrt{\ell^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2}$$

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

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

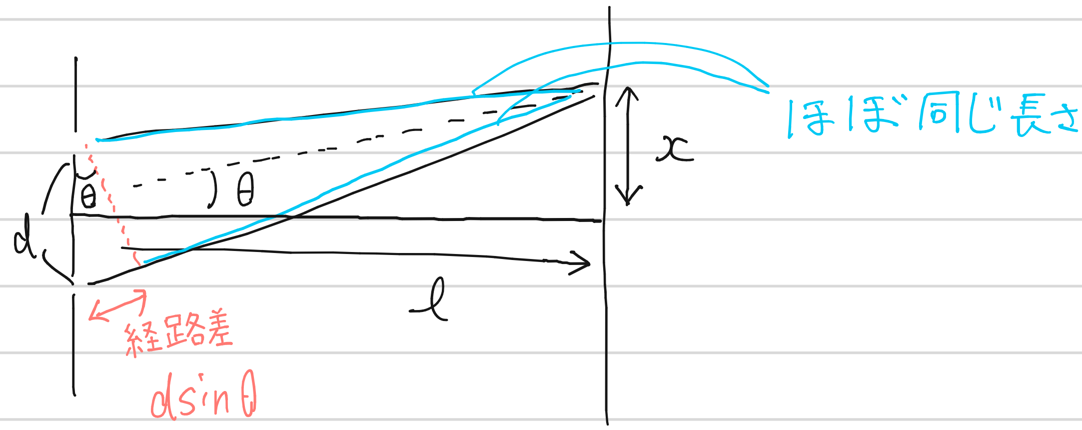
$$\fallingdotseq \ell\left\{1 + \frac{1}{2}\cdot\frac{\left(x+\frac{d}{2}\right)^2}{\ell^2}\right\} - \ell\left\{1 + \frac{1}{2}\cdot\frac{\left(x-\frac{d}{2}\right)^2}{\ell^2}\right\}$$

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

$$= \frac{x^2 + xd + \frac{d^2}{4} - x^2 + xd - \frac{d^2}{4}}{2\ell}$$

$$= \underline{d\frac{x}{\ell}}_{\,/\!/}\ (ア)$$

別解



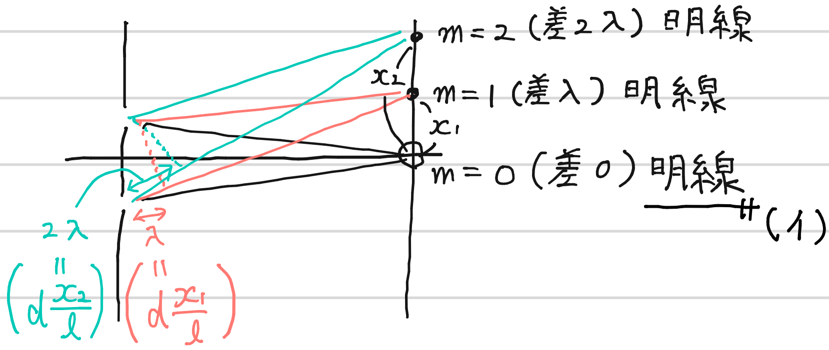
θが小さいとき

$$\sin\theta \fallingdotseq \tan\theta = \frac{x}{\ell} \implies (経路差) = d\sin\theta = \underline{d\frac{x}{\ell}}_{\,/\!/}\ (ア)$$

216 続き

(2) m番目 ⇒経路差が $m\lambda$ になっている。

図で原理をイメージしよう



式にすると

$$d\frac{x_m}{l} = m\lambda$$

$$\therefore x_m = \frac{ml\lambda}{d} \quad \text{// (ウ)}$$

(3) 方法① m と $m+1$ 番目をくらべる

$$x_m = \frac{ml\lambda}{d} \qquad x_{m+1} = \frac{(m+1)l\lambda}{d}$$

$$\Delta x = x_{m+1} - x_m$$

$$= \frac{(m+1)l\lambda}{d} - \frac{ml\lambda}{d}$$

$$= \frac{l\lambda}{d} \quad \text{// (エ)}$$

方法② $m=0$ と $m=1$ をくらべる.

$$\underbrace{x_0 = 0 \qquad x_1}_{\text{差が}\Delta x} = \frac{l\lambda}{d}$$

$$\Delta x = \frac{l\lambda}{d} \quad \text{// (エ)}$$

(4) 白色光 → 色々な色が混ざった光

・点Qは(差)=0なので全ての色の光が強め合う.

⇒白色になる. //(オ)

・$m=1$ の点の位置は $x=\dfrac{l\lambda}{d}$, よって λ が小さい程内側にくる ⇒紫 //(カ) (λ 長←赤橙黄緑青藍紫→λ 短)

※暗記事項

$\boxed{217}$

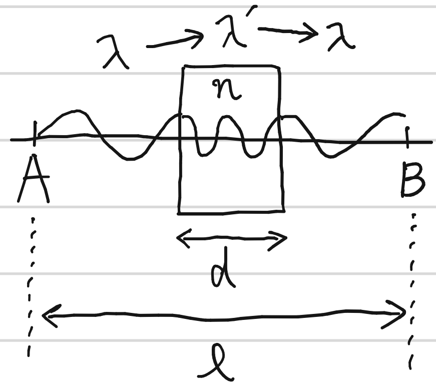
(1)

媒質 n 中では 波長 λ が短くなる。
屈折の法則より

$$1 \times \lambda = n\lambda'$$

$$\therefore \lambda' = \frac{1}{n}\lambda$$

となっている。



d の区間に λ' がいくつあるか数えると

$$\frac{d}{\lambda'} \text{個} \Rightarrow \frac{d}{\frac{\lambda}{n}} \Rightarrow \frac{nd}{\lambda} \text{個}$$

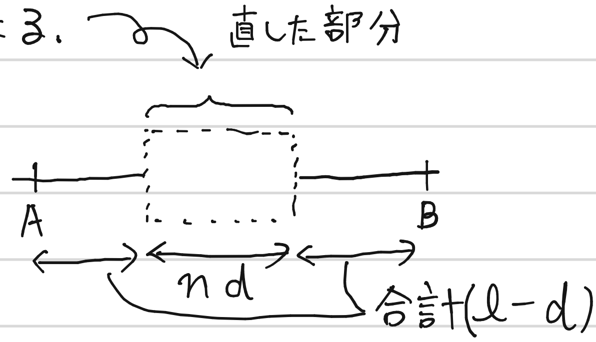
d 以外の区間に λ がいくつあるか数えると

$$\frac{l-d}{\lambda} \text{個}$$

あわせて

$$\frac{nd}{\lambda} + \frac{l-d}{\lambda} = \frac{l-d+nd}{\lambda}$$

※ 区間 d を光路長に直すと nd となる。



A→Bまでの光路長は

$$(l-d)+nd$$

$$\Downarrow$$

ここに波長 λ がいくつあるか数えると

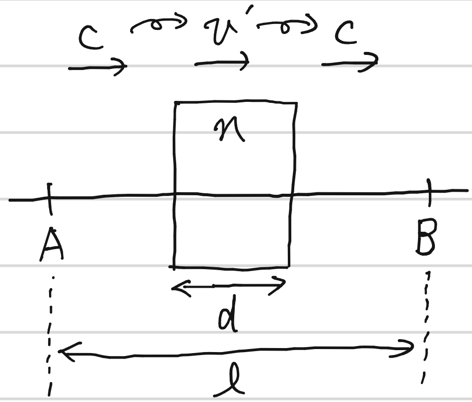
$$\frac{(l-d)+nd}{\lambda}$$

このように考えることもできる。

光路長はちぢんでしまった部分を元に戻しているイメージ!!

$\boxed{217}$ 続き

(2) 媒質中は速度が遅くなる



屈折の法則より

$$1 \times c = n \times v'$$

$$\therefore\ v' = \frac{c}{n}$$

dの区間を通過するのにかかる時間は

$$\frac{d}{v'} \Rightarrow \frac{d}{\frac{c}{n}} \Rightarrow \frac{nd}{c}\ [s]$$

d以外の区間を通過するのにかかる時間は

$$\frac{l-d}{c}\ [s]$$

あわせて

$$\frac{nd}{c} + \frac{l-d}{c} = \underline{\frac{l-d+nd}{c}} \ /\!/$$

※ A→B の区間を光路長に直すと.(1)の※と同様に

$$(l-d)+nd$$

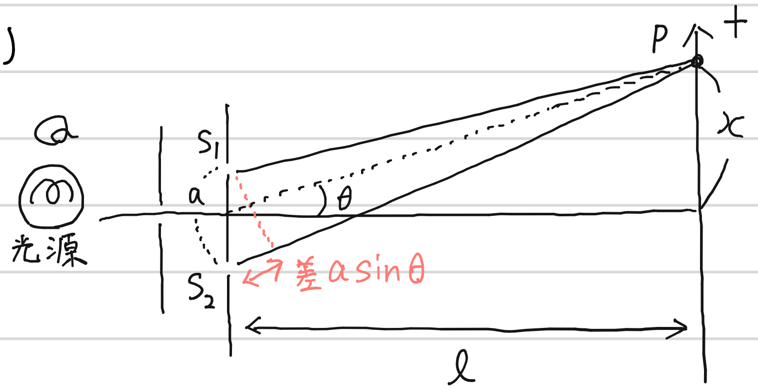
この長さを光速cで通過するのにかかる時間は

$$\underline{\frac{(l-d)+nd}{c}} \ /\!/$$

光路長に直したら、真空中の動きと同等に
扱ってよくなるのだ。

$\boxed{218}$

(ア)



図の赤線部が差といえる

$$(\text{差}) = a\sin\theta$$
$$= \frac{ax}{l} \quad \text{(ア)}$$

$\sin\theta \fallingdotseq \frac{x}{l}$

(イ) (差)が(半波長)×(偶数)なら強め合う

$$\frac{ax}{l} = \frac{\lambda}{2} \times 2m$$

$$\Rightarrow \frac{ax}{l} = m\lambda \quad \text{(イ)}$$

(ウ) $m=0$ の点 と $m=1$ の点の x の差が間隔となる.

$\frac{ax}{l} = m\lambda$ を変形して

$$x = \frac{ml\lambda}{a}$$

$m=0$ $\Downarrow$ $x=0$

$m=1$ $\Downarrow$ $x=\frac{l\lambda}{a}$

$$\Delta x = \frac{l\lambda}{a} \quad \text{(ウ)}$$

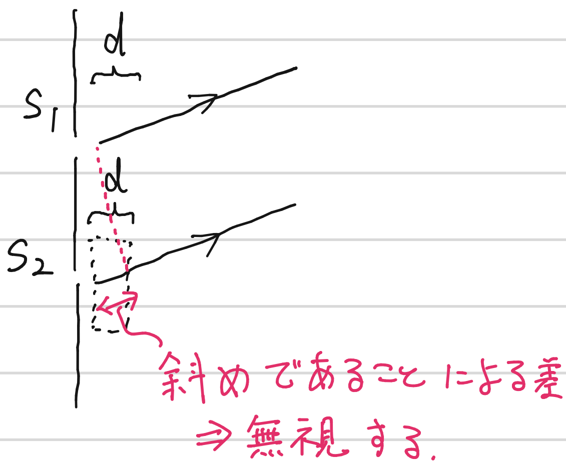
218 続き

(エ)

薄膜がないときの光路差は(イ)と同様に求められ、$\underline{\frac{a\Delta x}{l}}$ // (エ)

(オ)

薄膜部分を拡大すると右図のようにかける。少し斜めにすすんでいるので、それによる経路差もあるが、dが小さいことから無視してよい



dの区間について光路長を考えると

S_1はそのまま d　　S_2はn倍してnd

差をとって

$nd-d$

$=\underline{(n-1)d}$ // (オ) だけS_2からの経路の方が長くなる。

(カ)

(エ)と(オ)の和だけS_2の光路長の方が長くなり、その経路差が0になる点の関係式をたてると

(エ)+(オ) = 0

$\Rightarrow \underline{\frac{a\Delta x}{l}+(n-1)d=0}$ // (カ)

(キ)

(カ)をΔxについて解いて

$\underline{\Delta x=-\frac{l}{a}(n-1)d}$ //

218 続き

(ク)

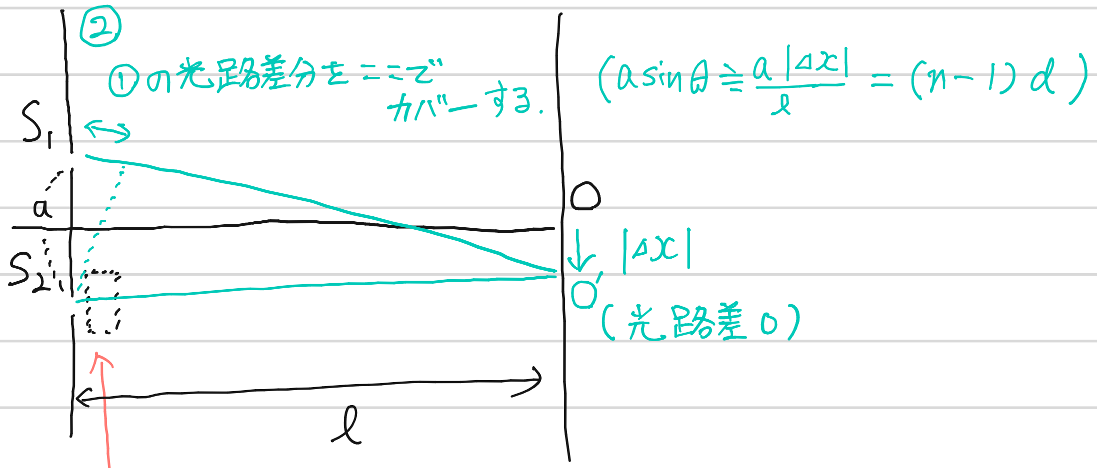
$n>1$ なので (キ) の Δx は負とわかる $\#$(ク)

(ケ)

$\Delta x = \underbrace{-}_{\text{負の向きに}} \underbrace{\frac{l}{a}(n-1)d}_{\text{これだけ移動}}$

よって $\frac{l}{a}(n-1)d$ 移動 $\#$(ケ)

※(カ)〜(ケ) 図から経路差0の点を追跡できるようになろう.



① ここの分 S_2 の光路長が長い ($(n-1)d$ だけ長い) ⇒ $a\sin\theta$ の部分でその差を消したい ⇒ S_1 の方が長くなる経路をとるので Δx が負とわかる

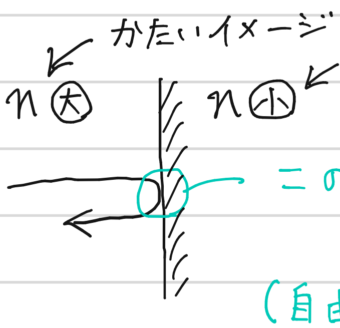
上図のように書けるので Δx は負とわかる $\#$(ク)

ここで $(n-1)d$ と $\frac{a|\Delta x|}{l}$ がプラマイ0になるはずなので

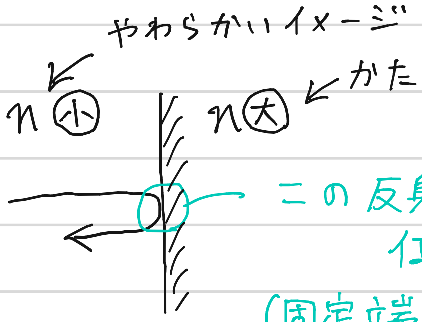
$$\frac{a|\Delta x|}{l} = (n-1)d$$

$$|\Delta x| = \frac{l}{a}(n-1)d$$ $\#$(ケ)

219 反射時の位相変化

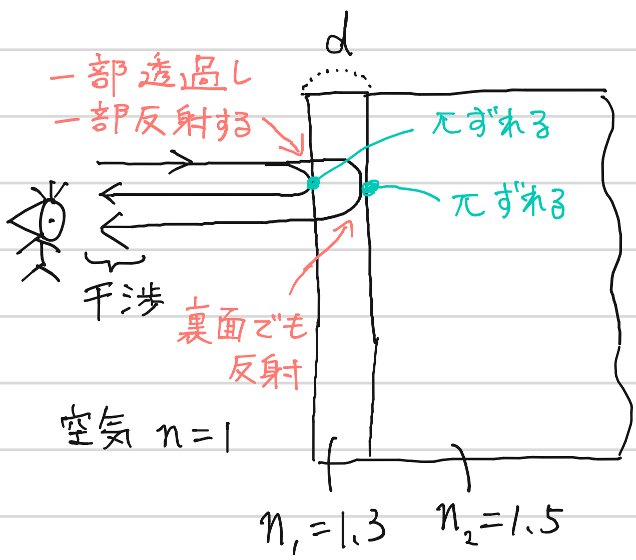


この反射では
位相はずれない
(自由端反射のイメージ)
(相手がやわらかい)



この反射では
位相がπずれる
(固定端反射のイメージ)
(相手が固い)

(1) 反射光の干渉



STEP 1 経路差を考える

$\Rightarrow 2d$

STEP 2 光路差に直す

$\Rightarrow 2n_1d$

STEP 3 位相ずれを考慮して
条件式をたてる

$\Rightarrow$ 強 $2n_1d = m\lambda$

(2回πずれてるので
結果通常の条件式と同じ)

ここで d が最小となるのは、光路差が $\lambda\,(m=1)$ のとき

$$2n_1d = \lambda$$

$$\therefore\ d = \frac{\lambda}{2n_1}$$

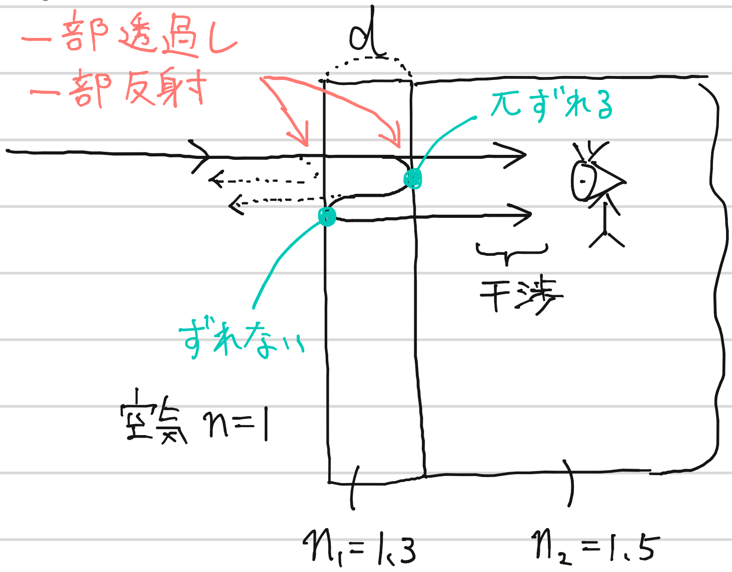
$n_1 = 1.3$ を代入して

$$d = \frac{\lambda}{2\times 1.3}$$

$$= \underline{\frac{\lambda}{2.6}}_{//}$$

219 続き

(2) 透過光の干渉



STEP 1 経路差を考える

$\Rightarrow 2d$

STEP 2 光路差に直す

$\Rightarrow 2n_1d$

STEP 3 位相ずれを考慮して条件式をたてる

$\Rightarrow$ 弱 $2n_1d=m\lambda$

(1回πずれてるので通常と逆の条件式)

ここでdが(1)の厚さだと、

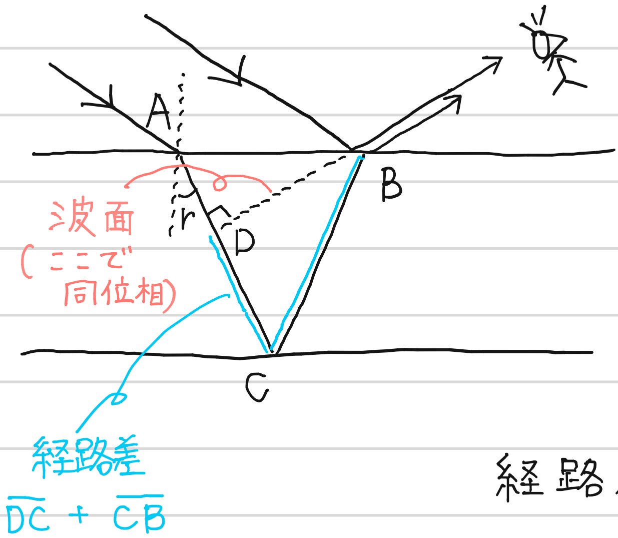
$$2n_1d=\lambda$$

という関係のままであり、これは透過光では弱め合う条件を満たしているので弱めあう。

$\boxed{220}$ 薄膜への斜め入射

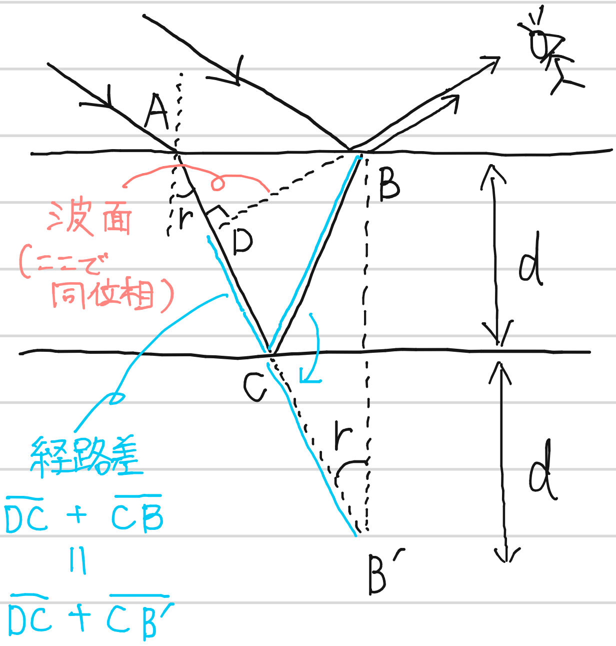
↳ 典型問題なのでパターンをおさえるようにしよう.

(1) なぜ $\overline{DC}+\overline{CB}$ を求めるのか考える.



経路差を考えているのだ.

⇓



左図のように作図をすると

$$\overline{DC}+\overline{CB}=\overline{DC}+\overline{CB'}$$
$$=\underline{2d\cos r}_{\,/\!/}$$

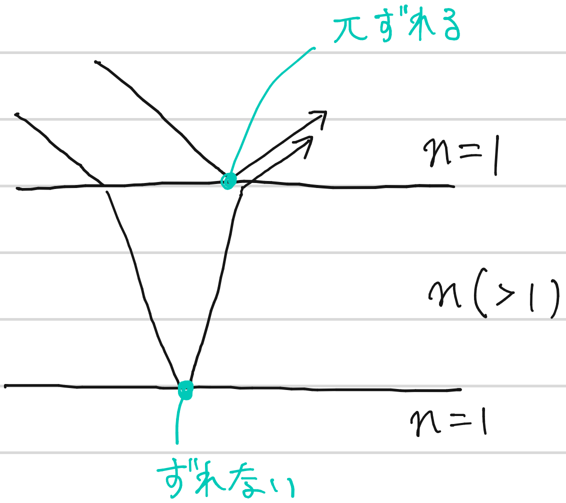
と求まる。

(2) 媒質 n 中の経路差が $2d\cos r$ なので光路差は

$\underline{2nd\cos r}_{\,/\!/}$

$\boxed{220}$ 続き

(3)



合わせて π ずれる

(4) 光路差が $2nd\cos r$ で
位相が途中 π ずれてるので条件は

強 $2nd\cos r = \frac{\lambda}{2}\times(2m+1)$

$\Rightarrow 2nd\cos r = (m+\frac{1}{2})\lambda$ (a)

弱 $2nd\cos r = \frac{\lambda}{2}\times 2m$

$\Rightarrow 2nd\cos r = m\lambda$ (b)

(5) 屈折の法則より

$1\times\sin i = n\sin r$

$\Rightarrow \sin r = \frac{1}{n}\sin i$ …①

$\cos^2\theta = 1-\sin^2\theta$ より

$\cos r = \sqrt{1-\sin^2 r}$ …②

② に ① を代入して

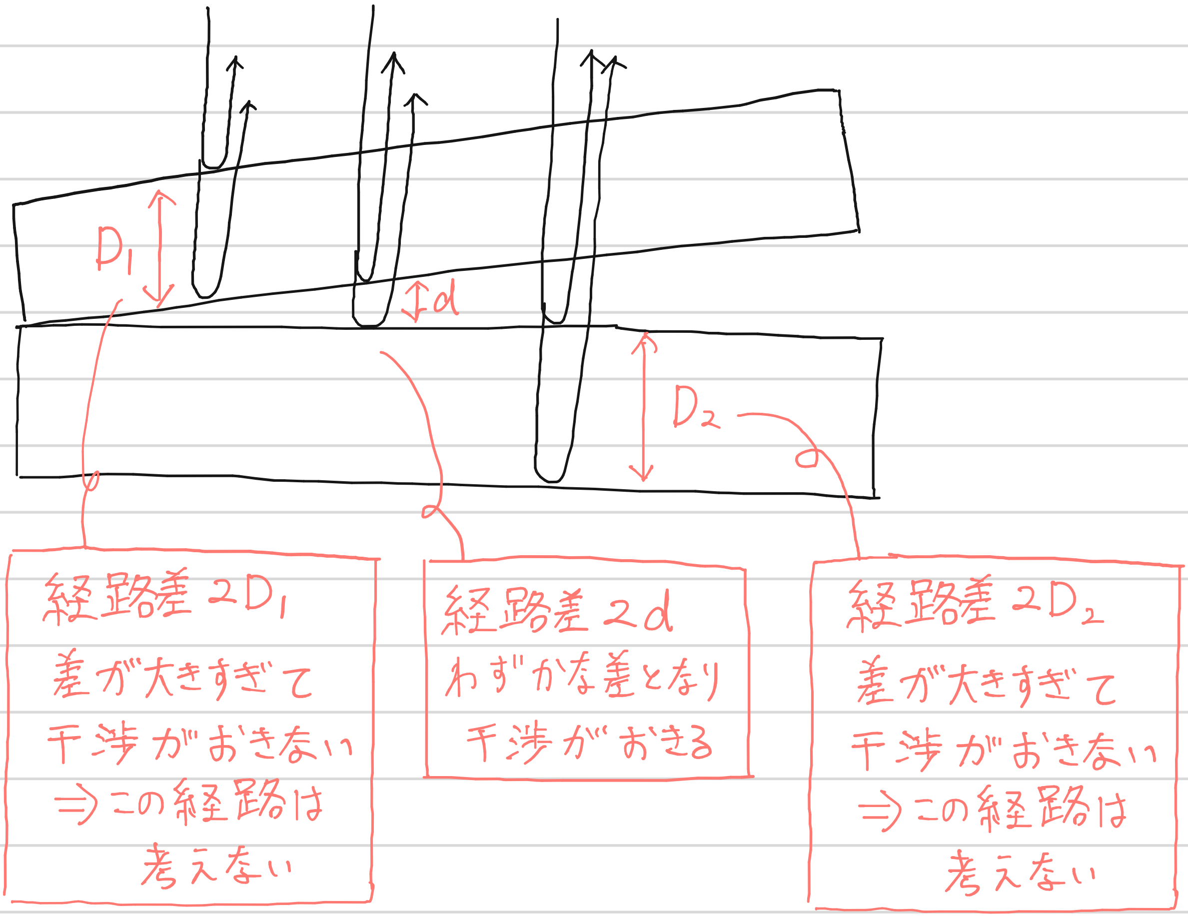
$\cos r = \sqrt{1-(\frac{1}{n}\sin i)^2}$

光路差 $2nd\cos r$ に代入して

$2nd\sqrt{1-(\frac{1}{n}\sin i)^2} = 2d\sqrt{n^2-\sin^2 i}$

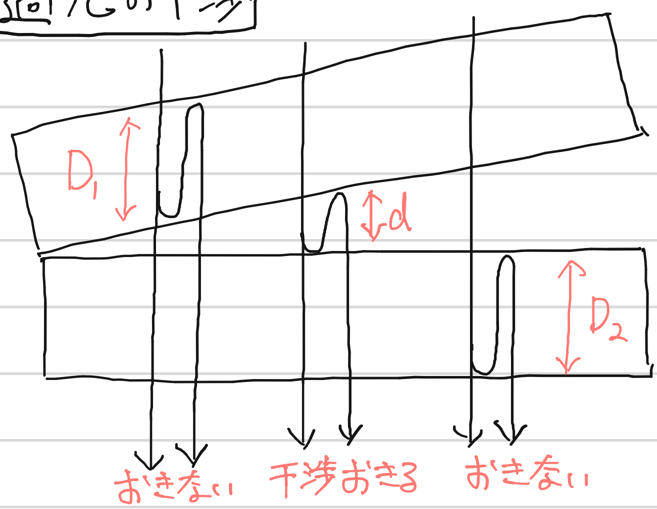
221　くさび型空気の経路差がどこになるか確認する。

反射光の干渉



- 経路差が大きすぎると干渉がおきないことは知識として知っておこう。（実際の縮尺だとガラスはもっと分厚い）
- ガラスの間のすごくせまいすきまでできる経路差でのみ干渉がおこることに注意して作図しよう。

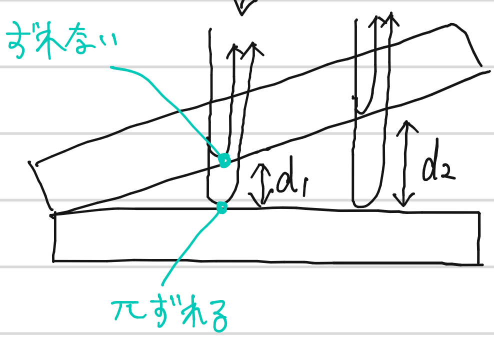
透過光の干渉



透過光も同様ですごくせまいすきま d による経路差でのみ干渉がおこる。

221 続き

(ア)(イ)



経路差が $2d$ で、途中1回位相が π ずれているので暗線の条件式は

$$2d = \frac{\lambda}{2} \times 2m$$

$$\Rightarrow 2d = m\lambda$$

干渉の条件式を次のように解釈しよう。

$m=1$ のとき 経路差は λ.
$m=2$ 〃 2λ
$m=3$ 〃 3λ
⋮

差が λ 増えるごとに干渉がおこる。
⇓
それが $2d$ となっている

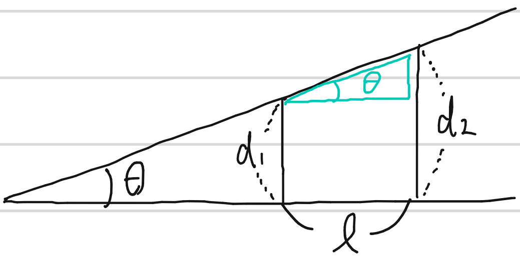
今回 m番目の暗線の経路差が $2d_1$ でこれが $m\lambda$ なので

$$2d_1 = \underline{m}\lambda \text{ (ア)}$$

m+1番目の暗線の経路差が $2d_2$ でこれが $(m+1)\lambda$ なので

$$2d_2 = \underline{(m+1)}\lambda \text{ (イ)}$$

(ウ) となりあう線の分析時は三角形を意識しよう。



図形的に

$$d_2 - d_1 = l\tan\theta$$

ここで θ がとても小さければ

$$l\tan\theta \fallingdotseq l\sin\theta \fallingdotseq l\theta$$

この形で示すと

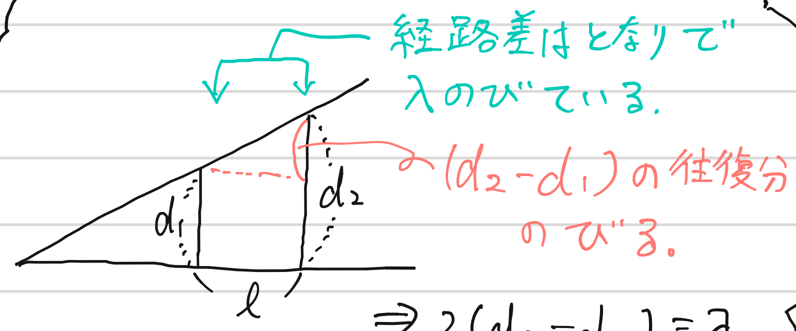
$$\underline{d_2 - d_1 = l\theta} \text{ (ウ)}$$

$\boxed{221}$ 続き

(エ)

d と λ の関係は干渉の条件から考えて

$$2(d_2-d_1)=\lambda$$



$\Rightarrow 2(d_2-d_1)=\lambda$

これに (ハ)の式 $d_2-d_1=\ell\tan\theta$ を代入して

$$2\ell\tan\theta=\lambda$$

$$\therefore \ell=\frac{\lambda}{2\tan\theta}\fallingdotseq\frac{\lambda}{2\sin\theta}\fallingdotseq\underline{\frac{\lambda}{2\theta}}\ /\!/ \text{(エ)}$$

(オ) 経路差をn倍して干渉の条件を考える必要があり。

(エ)でたてた $2(d_2-d_1)=\lambda$ の条件が

$$2n(d_2-d_1)=\lambda$$

となる。

一方で図形的な関係 $\ell\tan\theta=d_2-d_1$ は変わらず

$$\ell'\tan\theta=d_2-d_1$$

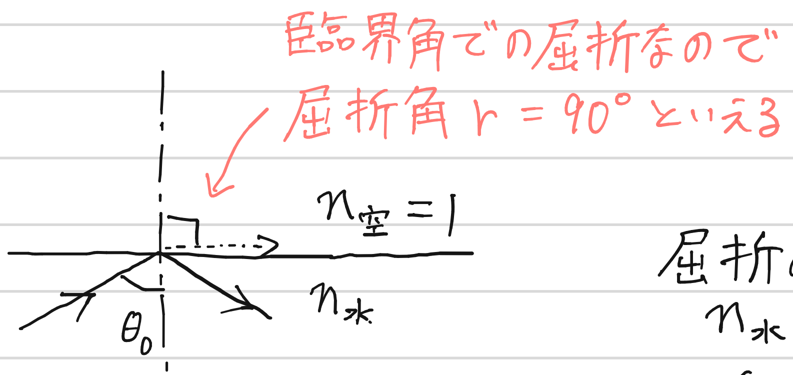
となる。

2式を連立して

$$2n\ell'\tan\theta=\lambda$$

$$\therefore \ell'=\frac{\lambda}{2n\tan\theta}\fallingdotseq\frac{\lambda}{2n\sin\theta}\fallingdotseq\underline{\frac{\lambda}{2n\theta}}\ /\!/ \text{(オ)}$$

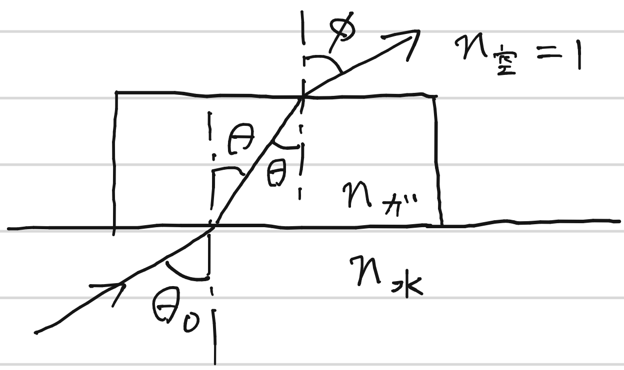
$\boxed{222}$



屈折の法則より

$n_水 \sin\theta_0 = n_空 \sin 90°$ … ①

$(\Rightarrow n_水 \sin\theta_0 = 1)$



屈折の法則より

$n_水 \sin\theta_0 = n_ガ \sin\theta$ … ②

$n_ガ \sin\theta = n_空 \sin\phi$ … ③

$(\Rightarrow n_ガ \sin\theta = \sin\phi)$

②、③より

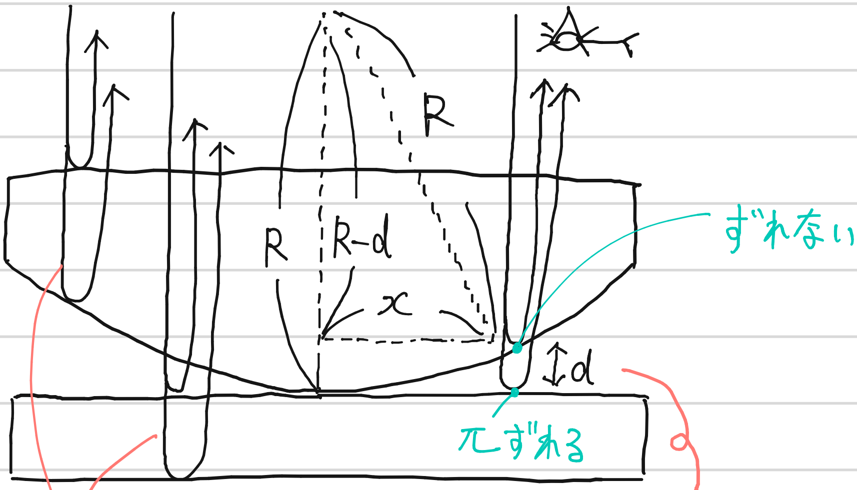
$$n_水 \sin\theta_0 = n_空 \sin\phi$$

これと①をくらべると、

$$\phi = \underline{90°}$$

※ 間にガラスなどが入っても、
臨界角が変化しないということを意味する。

223 ニュートンリングの反射光の観察



ガラスの厚みは現実だとすごく大きく、この経路だと経路差が大きすぎて干渉がおきない

d はすごく小さいので干渉がおこる（経路差 2d）

(ア) 経路差が 2d で、位相が1回ずれていることから、

暗 $2d = \frac{\lambda}{2} \times 2m$

$\Rightarrow 2d = m\lambda$ // (ア)

(イ) 三平方の定理で R、x と d を関連づける

$R^2 = (R-d)^2 + x^2$

$R^2 = R^2 - 2dR + d^2 + x^2$

$0 = -2dR + d^2 + x^2$ （この段階で $d^2 \fallingdotseq 0$ としてもよい）

$0 = -2d + \frac{d^2}{R} + \frac{x^2}{R}$

d≪R なので $\frac{d^2}{R} \fallingdotseq 0$ と近似

$0 = -2d + \frac{x^2}{R}$

$\therefore 2d = \frac{x^2}{R}$ // (イ)

※ おそらく問題文の「x≪R とする」は誤植

$\boxed{223}$ 続き

(ウ)

(ア)(イ)より

$$\underline{\frac{x^2}{R} = m\lambda}_{/\!/}$$ ←(経路差)$= m\lambda$ を立式している

(エ)

薄層が空気のときは

$$\frac{x_1^2}{R} = m\lambda \quad \cdots ①$$

薄層が液体($n=n$)のときは

$$2nd = m\lambda$$

$$\frac{nx_2^2}{R} = m\lambda \quad \cdots ②$$

$2d$は液体があってもなくても.
図形的に(イ)と同じく $2d = \frac{x^2}{R}$

①.②を辺々割って

$$\frac{\frac{nx_2^2}{R}}{\frac{x_1^2}{R}} = \frac{m\lambda}{m\lambda}$$

$$\therefore \quad n = \left(\frac{x_1}{x_2}\right)^2$$

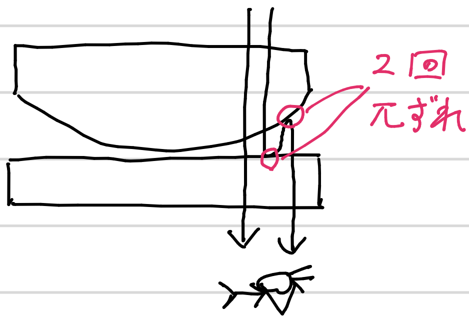
これは「光路差」を使った考え方

※ 模範解答では、光路差ではなく、液体中で短くなった波長 $\lambda' = \frac{\lambda}{n}$ を用いて考えている。

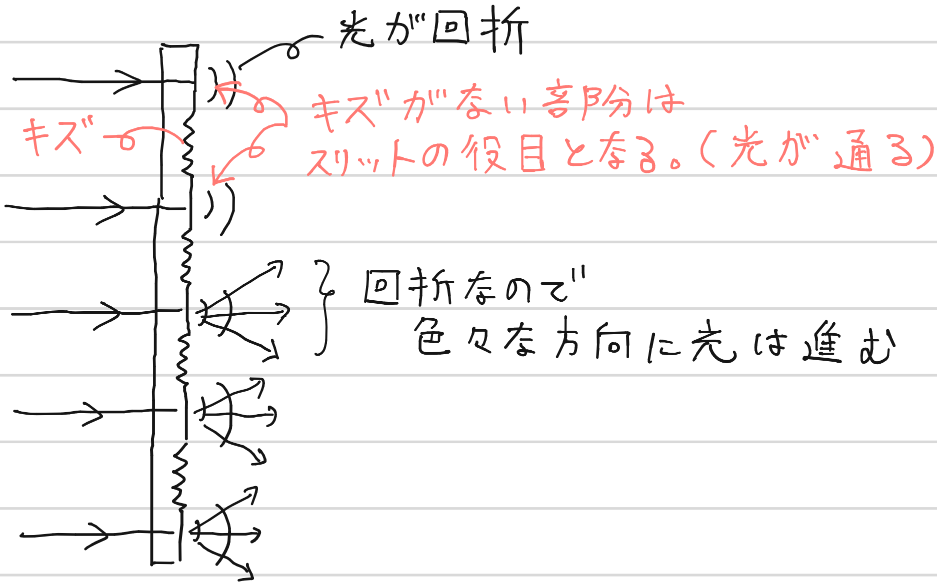
(経路差) $= m\lambda'$ としているのである

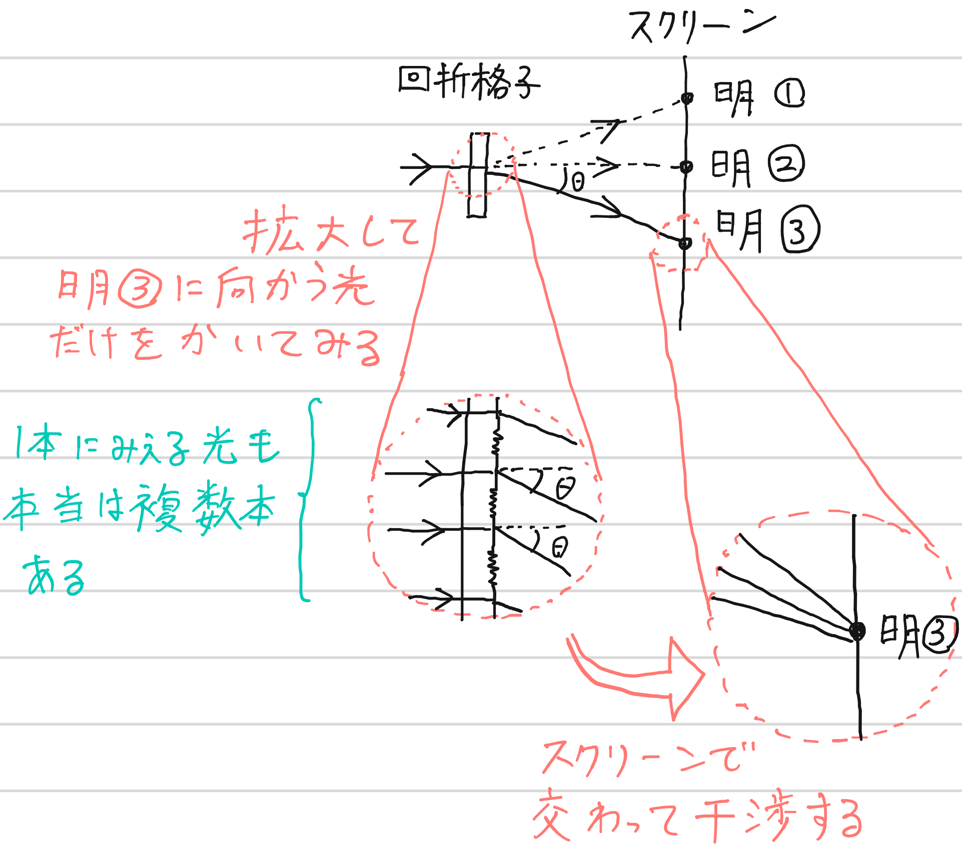
このノートのように
(光路差) $= m\lambda$ としてもよい。好みの問題である

(オ) 下から眺めると2回位相のπずれがおこるので明暗の条件がいつも通りになる。よって $\underline{逆になる}_{/\!/}$。



224 回折格子の原理



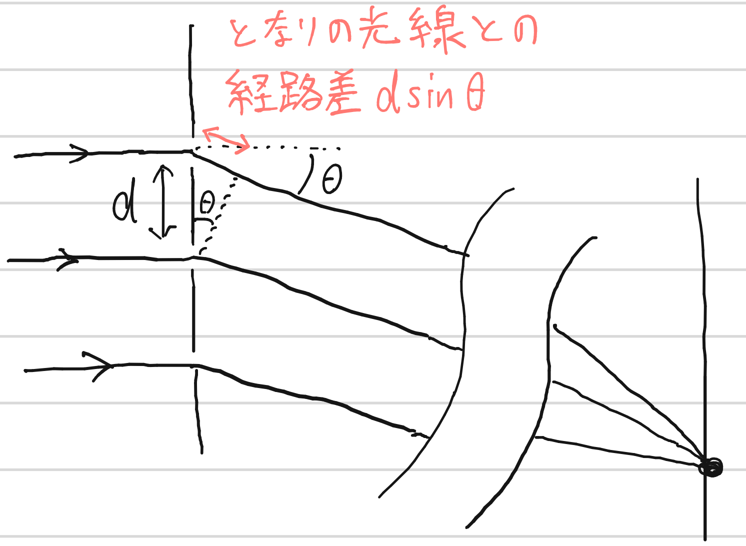


問題では拡大された図のみが与えられることが多いので
全体像を意識せずに解いてしまう人が多い。
どのような現象なのかきちんと追跡して理解しておこう。

$\boxed{224}$ 続き

(1)

(拡大してる図)

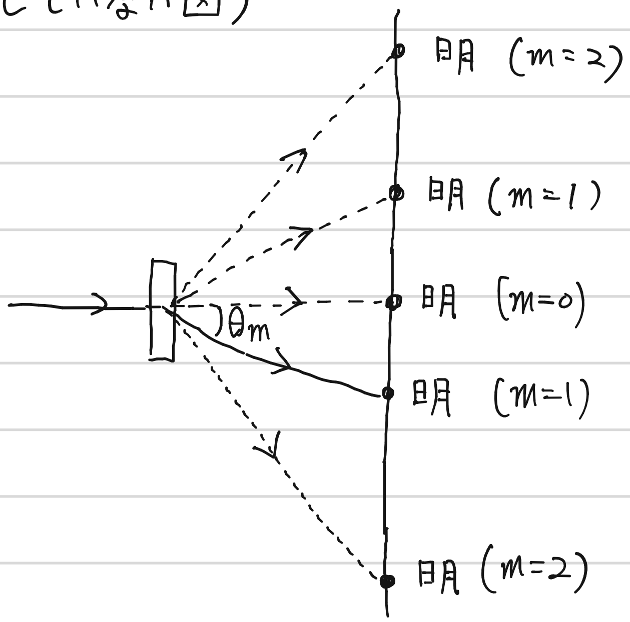


明線の条件式は

$d\sin\theta = m\lambda$ //

(2)

(拡大していない図)



θ_mが大きくなると経路差が大きくなっていき、
差がλ大きくなるごとに明点が表れる。それを示した式が

$d\sin\theta_m = m\lambda$ である。

ここでθ_mは最大でも$90°$であり、とれる経路差には上限がある。⇒ 経路差の上限は$\theta_m = 90°$でdといえる

$\boxed{224}$ (2) 続き

中央に1番近い明線($m=1$)の干渉に必要な経路差は λ であり、
この λ が、経路差の最大値 d よりも小さい場合、明線を観測できる。
よって条件は

$$\underline{\lambda < d}_{//}$$

※数式的にこれを導くと模範解答のようになる。

$m=1$ の明線の関係式は

$$d\sin\theta = \lambda$$

$$\therefore \sin\theta = \frac{\lambda}{d}$$

$\sin\theta$ の上限は1なので

$$\sin\theta < 1$$

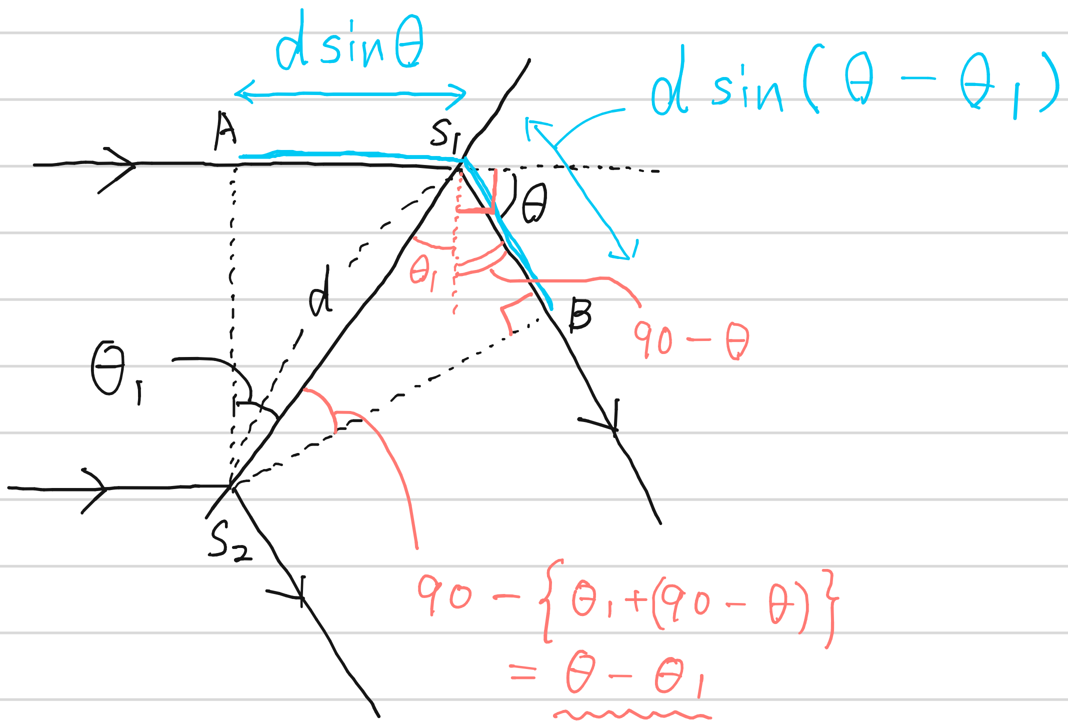
$$\Rightarrow \frac{\lambda}{d} < 1$$

$$\therefore \underline{\lambda < d}_{//}$$

干渉では、数式の形で追跡するのではなく、文章で追跡、
言語化してみると理解が深まる。
同級生に解説するとしたらどうやる?ということを考えてみよう。

$\boxed{224}$ 続き

(3) 経路差を追跡する。



物理での角度追跡のコツ

① 平行光線の利用
② 90°の利用
③ 内角の和が180°の利用

この3つでほとんど対応できる。
※ごくまれに正弦定理を使う

⇒ 90°がどこかにないかな? と考えると上図の赤色の補助線に容易にたどりつける。

0から考えて「思いつかなかった」とならないように①〜③の角度追跡の方針を頭に入れて考えよう

経路差は青色部分なので $d\sin\theta_1 + d\sin(\theta - \theta_1)$

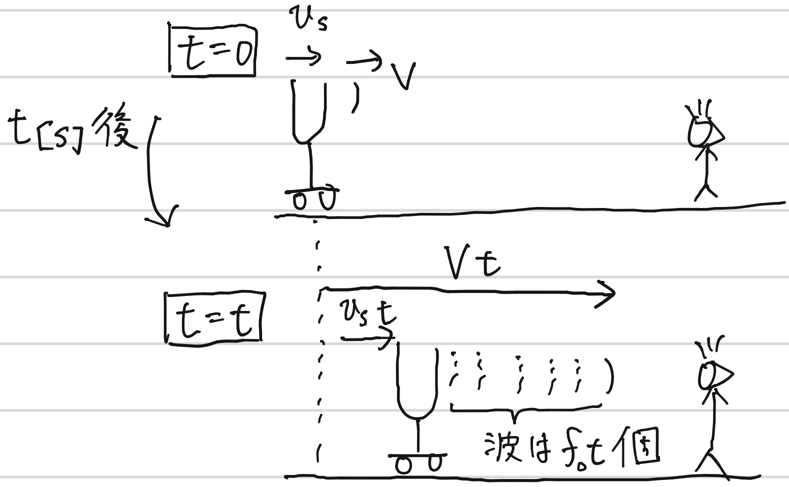
よって $m = 1$ の干渉の条件式をたてると

$$d\sin\theta_1 + d\sin(\theta - \theta_1) = \lambda$$

$$\therefore \quad \lambda = \underline{d\{\sin\theta_1 + \sin(\theta - \theta_1)\}}$$ //

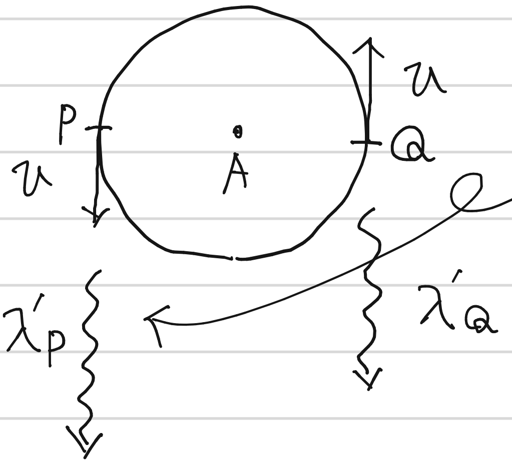
$\boxed{225}$ 音のドップラー効果と同等に扱う.

音波でλ'を求めたときを思いだす。



$$\lambda' = \frac{Vt - v_s t}{f_0 t}$$

$$\therefore \lambda' = \frac{V - v_s}{f_0}$$



光源が近づく際、波長は短くなる。

ここで

短くなった量を$\Delta\lambda$とおくと

$$\Delta\lambda = \lambda_0 - \lambda'_P \quad \cdots ①$$

といえることを覚えておく.

$$\lambda'_P = \frac{V - v_s}{f_0} = \frac{c - v}{f_0}$$

ここで元々の光で$v = f\lambda$の式をたてると

$$f_0 = \frac{c}{\lambda_0}$$

これを代入して

$$\lambda'_P = \frac{c - v}{\frac{c}{\lambda_0}} = \frac{c - v}{c}\lambda_0 \quad \cdots ②$$

$\boxed{225}$ 続き

②をひについて解くと

$$\lambda_p' = \frac{c-v}{c}\lambda_0$$

$$\Rightarrow v = \frac{c(\lambda_0 - \lambda_p')}{\lambda_0}$$

①でやったように $\lambda_0 - \lambda_p' = \Delta\lambda$ なのでこの式は

$$v = \frac{c\Delta\lambda}{\lambda_0}$$

とかける。

また、問題文より、$c = 3.0\times10^8$, $\Delta\lambda = 0.10\times10^{-10}$, $\lambda_0 = 5000\times10^{-10}$

なので、これを代入して

$$v = \frac{3.0\times10^8 \cdot 0.10\times10^{-10}}{5000\times10^{-10}}$$

$$= \underline{6.0\times10^3 \text{ m/s}}$$