

Section 9 光波

●公式のまとめ

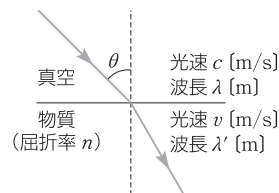
(1) 物質中での光速と波長

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

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

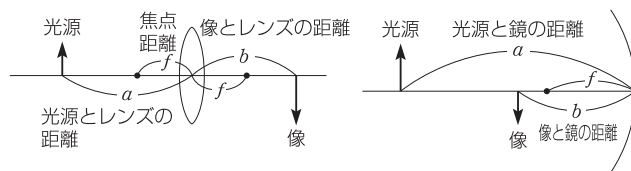
(2) 光の屈折

$$n \cdot \sin \theta = (\text{屈折前後で一定})$$



(3) レンズ・球面鏡の式

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



(4) 干渉条件(反射がないとき)

$$\text{強め合う条件: 光路差} = m\lambda$$

$$\text{弱め合う条件: 光路差} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

$$(m=0, 1, 2, \dots)$$

●問題を解くために

(1) 全反射の臨界角は屈折の法則から導こう。

- ・屈折角を 90° とし考えればよい。

(2) 組み合わせレンズの問題では、1枚目のレンズの像を2枚目のレンズの光源とみなして考えよう。

- ・像がレンズ前方のとき $b < 0$ 、凹レンズや凹面鏡のとき $f < 0$ 、光源がレンズ後方のとき $a < 0$ 、像が鏡の後方のとき $b < 0$

(3) 反射があるか？

- ・屈折率が小さい物質から大きい物質に向かう光の反射があると、 π だけ位相がずれる。この反射が1回起こるたびに干渉条件が入れかわる。

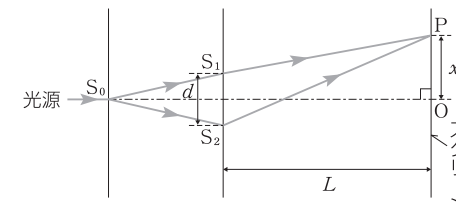
(4) 代表的な実験の光路差は導けるようにしておこう。

- ・ヤングの実験、回折格子、薄膜、くさび形空気層、ニュートンリングなど。

▶▶ Approach

技法練習 10 ヤングの実験

光源から出た波長 λ の単色光をスリット S_0 に通すと、光は **ア** を起こし、 S_0 から広がって進む。その後、 S_0 と平行に置かれたスリット S_1 と S_2 を通って **ア** した光が **イ** して、スクリーン上に明暗の縞模様ができる。スクリーン上の点 P で強め



合う条件は、0 以上の整数 m を用いて $|S_1P - S_2P| = \text{ウ}$ と表される。

S_1 と S_2 との間隔を d 、 S_1 と S_2 からスクリーンまでの距離を L 、 S_0 からスクリーンに下ろした垂線とスクリーンとの交点を O、OP 間の距離を x とし、 d や x は L に比べて十分に小さく、 S_1 と S_2 は S_0 から等距離にあるものとする。

- (1) 文中の **ア** ~ **ウ** に当てはまる最も適当な語句、式を答えよ。
- (2) $|S_1P - S_2P|$ を d 、 x 、 L を用いて表せ。
- (3) 隣り合う明線どうしの間隔を d 、 λ 、 L を用いて表せ。

2014 年 宮崎大 改

問題のとらえ方

- ・強め合う条件は、光路差 $= m\lambda$
- ・ヤングの実験の場合、代表的な光路差の導き方が2通りある。いずれの方法でも導けるようにしておこう。そうすると応用も利くようになる。

解答

- (1) **ア** 回折 **イ** 干渉 **ウ** $m\lambda$

(2) 三平方の定理より、 $S_1P = \sqrt{L^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2} = L \sqrt{1 + \left(\frac{x - \frac{d}{2}}{L}\right)^2} \doteq L \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{x - \frac{d}{2}}{L}\right)^2 \right\}$

ただし、 $|y| \ll 1$ のときに成り立つ近似式 $(1+y)^n \doteq 1 + ny$ を用いた。

同様に、 $S_2P = \sqrt{L^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2} \doteq L \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{x + \frac{d}{2}}{L}\right)^2 \right\}$

したがって、 $|S_1P - S_2P| = \frac{dx}{L}$

別解 他の導き方については、**147** の解説を参照のこと。

(3) $\frac{dx}{L} = m\lambda$ より、 $x = \frac{mL\lambda}{d}$

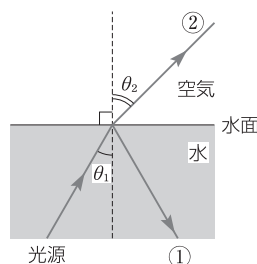
したがって、隣り合う明線どうしの間隔を Δx とすると、 $\Delta x = \frac{(m+1)L\lambda}{d} - \frac{mL\lambda}{d} = \frac{L\lambda}{d}$

基本問題

Approach

- 140. 光の屈折** 水中にある光源から出た光が、水面で一部は反射して水中を①のように進み、残りは屈折して空気中を②のように進んだ。ただし、空気、水の屈折率をそれぞれ 1 , $\frac{4}{3}$ とする。

- (1) 入射角 θ_1 , 屈折角 θ_2 の間に成り立つ関係式を書け。
- (2) 入射角 θ_1 を大きくすると屈折角 θ_2 も大きくなり、入射角がある角度 θ_0 を超えると、光はすべて反射して屈折光がなくなった。 $\sin \theta_0$ の値を求めよ。
- (3) 空気中の光の速さを c とするとき、水中における光の速さを求めよ。



2014年 宮崎大 改

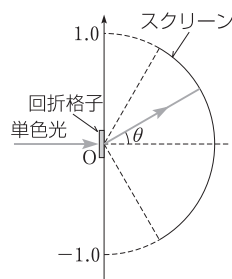
- 141. 凸レンズ** 図に示すように、焦点距離 f の凸レンズの光軸上に x 軸を取り、小物体を $x=0$ の位置に光軸に対して垂直に置いた。レンズの位置が $x=x_0$ のとき、実像ができた。このとき、倍率を求めよ。

2014年 法政大 改



- 142. 回折格子** 図のように、半径 1.0 m の円筒状のスクリーンを設置し、スリット間隔 $1.2 \times 10^{-6}\text{ m}$ の回折格子に波長 $6.0 \times 10^{-7}\text{ m}$ の単色光を垂直に入射させる。入射光と回折光のなす角度を θ とする。スクリーン上 ($-60^\circ < \theta < 60^\circ$) に現れる明線の数はいくつか求めよ。ただし、必要であれば $\sin 60^\circ \approx 0.87$ を用いてもよい。

2012年 センター試験 改



- 143. 薄膜** 屈折率 1.5 のガラス上に屈折率 n ($1 < n < 1.5$)、厚さ d の薄膜が蒸着している。空気中で波長 λ の光を、ガラス面に垂直に入射させた。

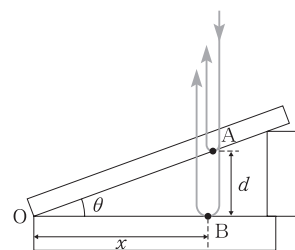
- (1) 薄膜の上面、および下面での反射において、位相変化はそれぞれ何 rad か求めよ。
- (2) 反射光が弱め合うための最小の膜の厚さを求めよ。

空気	1
薄膜	$1 < n < 1.5$
ガラス	1.5

- 144. くさび形空気層** 平面ガラスを用いてくさび形空気層をつくる。真上から波長 λ の単色光を当てて上方から観察したところ、明暗の縞模様が見えた。平面ガラスの接点 O から距離 x だけ離れたところの空気層の厚さを d 、くさび形のなす角を θ とする。

- (1) d を x , θ を用いて表せ。
- (2) 明線が観測される条件を x , θ , λ , および 0 以上の整数 m を用いて表せ。
- (3) 明線の間隔を θ , λ を用いて表せ。
- (4) 空気層を屈折率 n の液体で満たすと、明線の間隔は何倍になるか求めよ。

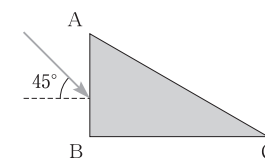
2013年 弘前大 改



標準問題

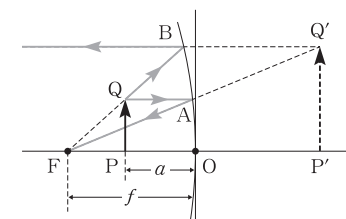
Approach

- 145. 光の屈折** 屈折率 $\sqrt{3}$ の直角プリズムを屈折率 n の液体の中に入れ、光を矢印で示すように面 AB 上の点に入射角 45° で当てた。この光がプリズムに入り、プリズム内で反射せずに、面 BC から BC と 60° の角をなして液体中に出ていったとする。 n はいくらか。



2014年 新潟大 改

- 146. 凹面鏡** 図のように焦点距離 f の凹面鏡とその焦点との間に物体 PQ があり、虚像 $P'Q'$ ができている。凹面鏡と光軸との交点を O 、焦点を F とし、 OP の長さを a とする。 OP' の長さはいくらか。ただし、物体 PQ は凹面鏡に対して十分に小さく、点 A と点 B は点 O を通り光軸に垂直な直線上にあると近似してよい。

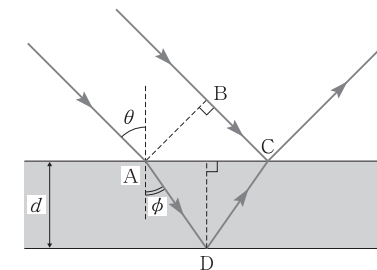


2015年 早稲田大 改

- 147. ヤングの実験** 技法練習 10 のヤングの実験について、以下の問いに答えよ。

- (1) 次の操作を行うと、明線の間隔はどのように変化するかを簡単に説明せよ。
 - ① S_1 と S_2 からスクリーンまでの距離 L を小さくする。
 - ② 実験装置全体を屈折率 n の液体中に浸す。
- (2) 単色光の代わりに白色光を用いたとすると、0 次の明線および1次の明線の色はどのようになるかを簡単に説明せよ。
- (3) 次の操作を行うと、0 次の明線はスクリーン上をどちらにいくら動くか求めよ。ただし、 S_1 と S_2 のある板から S_0 のある板までの距離を ℓ とする。
 - ① スリット S_0 を、上に距離 a_1 だけ動かす。
 - ② スリット S_1 , S_2 を開けた板を、上に距離 a_2 だけ動かす。
 - ③ スリット S_2 の手前に、屈折率 n (>1)、厚さ a_3 の薄膜を入れる。

- 148. 薄膜** 厚さ d 、屈折率 n の薄膜が空気中にある。図のように、入射角 θ で波長 λ の可視光線が入射する。以下の問いに答えよ。屈折角を ϕ 、空気の屈折率を 1 とする。
- (1) 2つの光の光路差 $n(AD+DC) - BC$ を、 d , n , θ を用いて表せ。
 - (2) $\theta=45^\circ$ のときに反射光が強め合った。 $d = \frac{\sqrt{6}}{2} \times 10^{-7}\text{ m}$, $n = \sqrt{2}$ のとき、 λ はいくらか。ただし、可視光の波長領域を $3.5 \times 10^{-7}\text{ m} \sim 7.0 \times 10^{-7}\text{ m}$ とする。



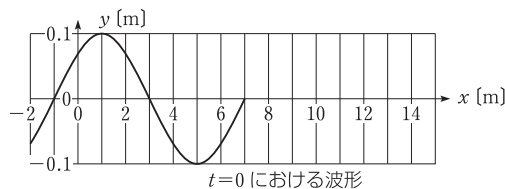
2014年 愛媛大 改

▶▶ 分析練習

Toitemi

149. 次の文の [ア] ~

[ウ], [カ] に入れるのに最も適当な数を答えよ。また, [エ], [オ], [キ] に入れるのに最も適当なグラフを下の①~⑪から選べ。



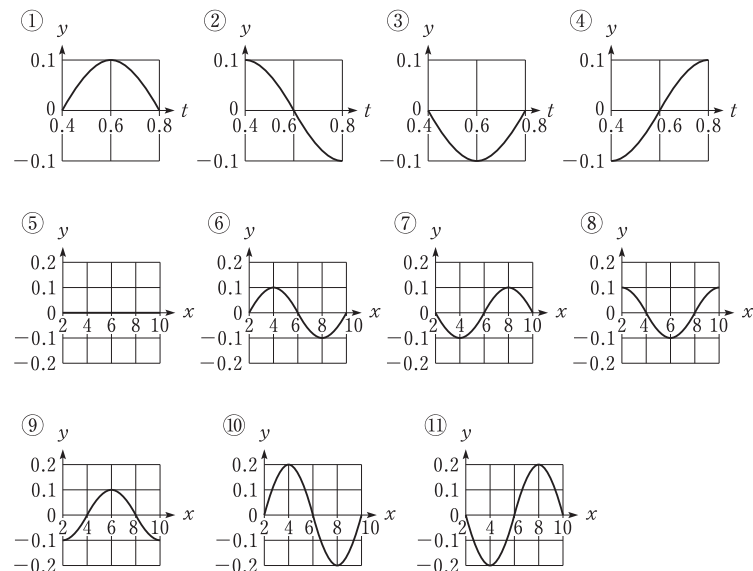
静止した媒質の中を, 縦波

が x 軸の正の向きに進んでいる。周期 0.8 s の正弦波の先端部分が $x=7 \text{ [m]}$ の位置に達したときの時刻を $t=0 \text{ [s]}$ とする(図)。 y は x 軸の正の向きを正として変位を表している。この波がしばらく進むと, $x=10 \text{ [m]}$ の位置にある固定端により波は x 軸の負の向きに反射される。

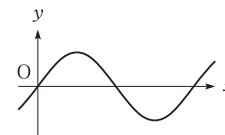
図から, この波の波長は [ア] [m] と読み取ることができ, 波の伝わる速さは [イ] [m/s] と求められる。また, 媒質の密度が最も密になっているのは, 図に描かれた波形の範囲内では, $x=$ [ウ] [m] の位置である。

図の $x=3 \text{ [m]}$ の位置で, 時刻 t が 0.4 s から 0.8 s まで変化する間の時刻 $t \text{ [s]}$ と変位 $y \text{ [m]}$ の関係を表したグラフは [エ] である。 $t=0.3 \text{ [s]}$ に入射波が固定端に達すると, 反射波が生まれる。その後の $t=1.1 \text{ [s]}$ における反射波の波形を表したグラフは [オ] である。この波形を x の式で表すと,

$y=0.1 \sin 2\pi \left(\frac{x - \text{[カ]}}{\text{[ア]}} \right)$ (ただし, $2 \leq x \leq 10$) となる。また, この時刻における入射波と反射波の合成波形を表したグラフは [キ] である。



150. 図は, x 軸に沿って伝わる正弦波の時刻 0 における波形を表している。この波で, 任意の x における変位 y は, 波の振幅を A , 波長を λ とすると, $y=A \sin \frac{2\pi}{\lambda} x$ と表される。このとき, 以下の問いに答えよ。ただし, 正弦波の周期を T とする。



- 図の正弦波が x 軸の正の向きに速さ v で伝わった。この波で, 任意の x における時刻 t の変位 y_1 を A, λ, x, T, t を用いて表せ。
- 図の正弦波が x 軸の負の向きに速さ v で伝わった。この波で, 任意の x における時刻 t の変位 y_2 を A, λ, x, T, t を用いて表せ。
- (1), (2) の2つの正弦波が重なり合って定常波が形成された。この波で, 任意の x における変位 y_3 は, 以下のように表される。[ア], [イ] に当てはまる適切な式を, λ, x, T, t のうち必要なものを用いて記せ。なお,

$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2} \text{ である。}$$

$$y_3 = 2A \sin \text{[ア]} \cos \text{[イ]}$$

- 定常波において, 節の位置の間隔は, λ を用いてどのように表されるか。

2012年 鳥取大 改

151. 振動数 f_1 のおんさ A と振動数 f_2 のおんさ B を同時に鳴らしたとき, それぞれの音の波形が, 時間を t として $A_1(t) = \sin(2\pi f_1 t)$, $A_2(t) = \sin(2\pi f_2 t + \pi)$ と表される場合について考える。これらの重ね合わせの波形は,

$$C(t) = A_1(t) + A_2(t) = 2 \cos \left(2\pi \frac{f_1 + f_2}{2} t \right) \sin \left(2\pi \frac{f_1 - f_2}{2} t \right)$$

と表すことができる。 f_1 と f_2 が近い値をとる場合にはうなりが生じる。おんさ A の波形 $A_1(t)$, 重ね合わせた波形 $C(t)$ がそれぞれ図 1, 2 のように表されたとき, 以下の問いに答えよ。ただし, 図 1, 2 ともに横軸の単位は $1 \text{ ms} = 10^{-3} \text{ s}$ である。

- 図 1 より f_1 を求めよ。
- 図 2 より 1 s あたりのうなりの回数 n を求めよ。
- 以上のことから f_2 を求めよ。ただし, おんさ A よりもおんさ B のほうが音が高いとする。
- $C(t)$ における余弦関数および正弦関数は, それぞれ図 2 の波形のどのような特徴を表しているか説明せよ。

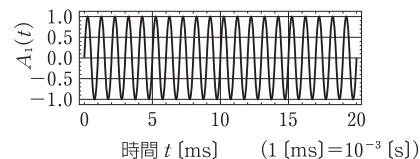


図 1

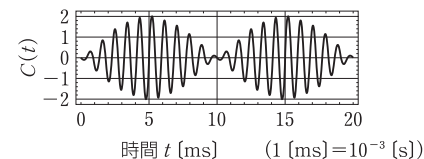


図 2

2009年 お茶の水女子大