Section 9 光波

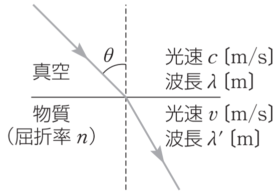
公式のまとめ

(1) 物質中での光速と波長

$$v=\frac{c}{n} \qquad \lambda'=\frac{\lambda}{n}$$

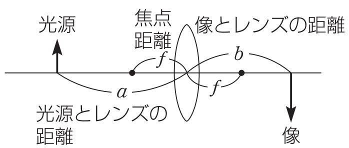
(2) 光の屈折

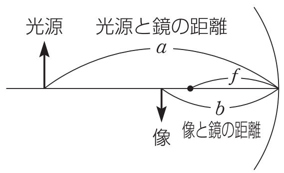
$n\cdot\sin\theta=$(屈折前後で一定)



(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)

強め合う条件:光路差 $=m\lambda$

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

($m=0$, 1, 2, …)

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° として考えればよい。

(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。

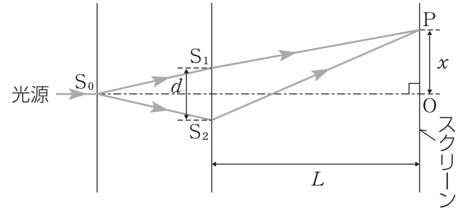
(4) 代表的な実験の光路差は導けるようにしておこう。

・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 $|S_1P-S_2P|=$ [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] $\boldsymbol{m\lambda}$

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

ただし,$|y|\ll1$ のときに成り立つ近似式 $(1+y)^n\fallingdotseq1+ny$ を用いた。

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

したがって,$|S_1P-S_2P|=\boldsymbol{\frac{dx}{L}}$

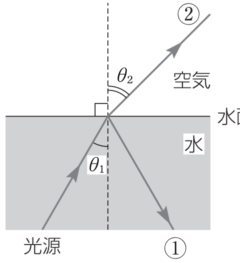
別解 他の導き方については,**147** の解説を参照のこと。

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

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，$\dfrac{4}{3}$ とする。

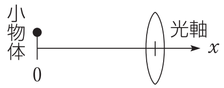


(1)　入射角 θ_1，屈折角 θ_2 の間に成り立つ関係式を書け。
(2)　入射角 θ_1 を大きくすると屈折角 θ_2 も大きくなり，入射角がある角度 θ_0 を超えると，光はすべて反射して屈折光がなくなった。$\sin\theta_0$ の値を求めよ。
(3)　空気中の光の速さを c とするとき，水中における光の速さを求めよ。

2014 年 宮崎大 改

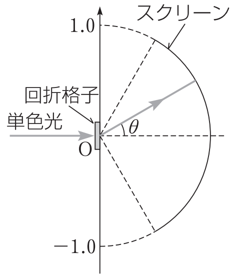
141. 凸レンズ　図に示すように，焦点距離 f の凸レンズの光軸上に x 軸をとり，小物体を $x=0$ の位置に光軸に対して垂直に置いた。レンズの位置が $x=x_0$ のとき，実像ができた。このとき，倍率を求めよ。

2014 年 法政大 改

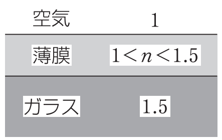


142. 回折格子　図のように，半径 1.0 m の円筒状のスクリーンを設置し，スリット間隔 1.2×10^{-6} m の回折格子に波長 6.0×10^{-7} m の単色光を垂直に入射させる。入射光と回折光のなす角度を θ とする。スクリーン上 $(-60°<\theta<60°)$ に現れる明線の数はいくつか求めよ。ただし，必要であれば $\sin60°\fallingdotseq0.87$ を用いてもよい。

2012 年 センター試験 改

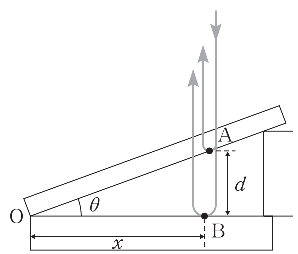


143. 薄膜　屈折率 1.5 のガラス上に屈折率 n $(1<n<1.5)$，厚さ d の薄膜が蒸着している。空気中で波長 λ の光を，ガラス面に垂直に入射させた。



(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。

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。

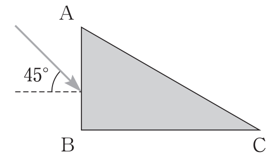


(1)　d を x，θ を用いて表せ。
(2)　明線が観測される条件を x，θ，λ，および 0 以上の整数 m を用いて表せ。
(3)　明線の間隔を θ，λ を用いて表せ。
(4)　空気層を屈折率 n の液体で満たすと，明線の間隔は何倍になるか求めよ。

2013 年 弘前大 改

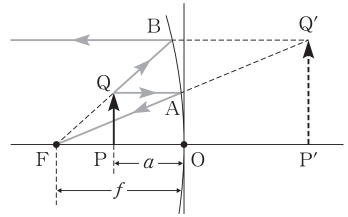
標準問題 Approach

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

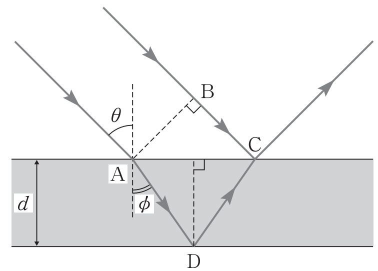
146. 凹面鏡　図のように焦点距離 f の凹面鏡とその焦点との間に物体 PQ があり，虚像 P′Q′ ができている。凹面鏡と光軸との交点を O，焦点を F とし，OP の長さを a とする。OP′ の長さはいくらか。ただし，物体 PQ は凹面鏡に対して十分に小さく，点 A と点 B は点 O を通り光軸に垂直な直線上にあると近似してよい。



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。

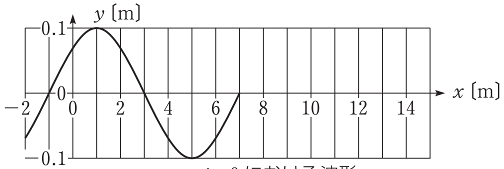


(1)　2 つの光の光路差 $n(\overline{AD}+\overline{DC})-\overline{BC}$ を，d，n，θ を用いて表せ。
(2)　$\theta=45°$ のときに反射光が強め合った。$d=\dfrac{\sqrt{6}}{2}\times10^{-7}$ [m]，$n=\sqrt{2}$ のとき，λ はいくらか。ただし，可視光の波長領域を 3.5×10^{-7} m ～ 7.0×10^{-7} m とする。

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。



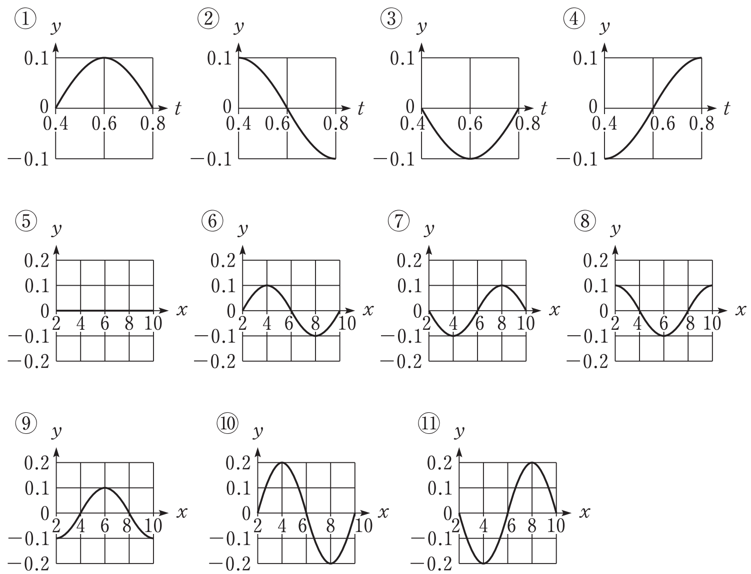
$t=0$ における波形

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 $x=7$〔m〕の位置に達したときの時刻を $t=0$〔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，$x=10$〔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。

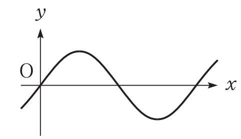
図の $x=3$〔m〕の位置で，時刻 t が 0.4 s から 0.8 s まで変化する間の時刻 t〔s〕と変位 y〔m〕の関係を表したグラフは エ である。$t=0.3$〔s〕に入射波が固定端に達すると，反射波が生まれる。その後の $t=1.1$〔s〕における反射波の波形を表したグラフは オ である。この波形を x の式で表すと，

$y=0.1\sin 2\pi\left(\dfrac{x-\boxed{カ}}{\boxed{ア}}\right)$（ただし，$2\leqq x\leqq 10$）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。



2014 年　関西大

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，$y=A\sin\dfrac{2\pi}{\lambda}x$ 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。



(1) 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。

(2) 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。

(3) (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_s 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，$\sin\alpha+\sin\beta=2\sin\dfrac{\alpha+\beta}{2}\cos\dfrac{\alpha-\beta}{2}$ である。

$$y_s=2A\sin\boxed{ア}\cos\boxed{イ}$$

(4) 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 $1\,\mathrm{ms}=10^{-3}\,\mathrm{s}$ である。

(1) 図 1 より f_1 を求めよ。

(2) 図 2 より 1 s あたりのうなりの回数 n を求めよ。

(3) 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。

(4) $C(t)$ 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。

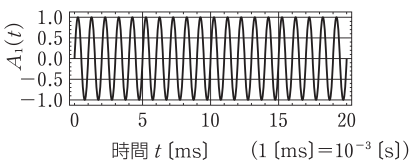


図 1

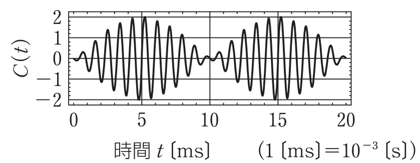


図 2

2009 年　お茶の水女子大