

ガラスと水の中の光速

□ 目的

遊動顕微鏡を使って、ガラスと水の屈折率を測定し、物質中の光速を求める。

□ 実験用具

遊動顕微鏡、ガラス板、シャーレ（ガラス皿）、リコポジウム

□ 解説

光は、干渉、回折などの現象を示すことから波の性質をもつと考えられる。

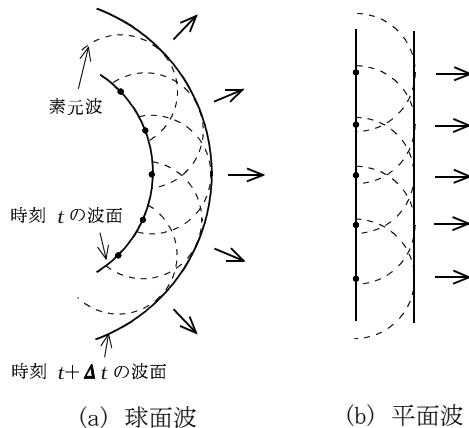


図 1 波の進行

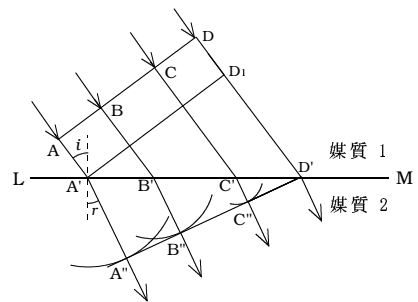


図 2 波の屈折

(1) 波の伝わり方

ある時刻において、波の山の部分や谷の部分など同一位相の点を連ねた線（立体的には面）を、波面という。水面の 1 点でおきた波は、図 1 (a) のように同心円状の波面を描いて進行する。このような波を球面波といい、波面が平面の波を平面波という（図 1 (b)）。

『ある時刻 t にできた波面上の各点はそれぞれ新しい波源となり、素元波（球面状の小波）を送り出す。 Δt 時間後にできる波面はこれらの素元波に共通に接する面（包絡面）である。』これをホイヘンス（Huygens）の原理という（図 1）。

進行する波の振動数、波長は同一媒質中では一定である。異なった媒質中に入ると、振動数は変化しないが波長は変わり、このため波の速度が変わる（速度 = 振動数 \times 波長）。

光も波の性質をもつから同様の伝わり方をする。

(2) 波の屈折

図 2 のように、平面波の波面 AD が媒質 1 の中を進んできて入射角 i で媒質 2 に入る場合について、ホイヘンスの原理を用いて考える。

一端 A が媒質の境界面 LM に達したときの波面を $A'D_1$ とする。この瞬間に点 A' から出た素元波が媒質 2 を進む速度と、点 D_1 から出た素元波が媒質 1 を進む速度とは異なるので、素元波の半径 $A'A''$ と D_1D' の長さは同じではない。つまり、他端 D が媒質の境界面に達したときの波面は $A''D'$ のようになり、波は境界面 LM において屈折角 r で、図 2 のように屈折する。媒質 1、媒質 2 での波の速度をそれぞれ c_1 、 c_2 とすると、これらの間には、

$$\frac{D_1D'}{c_1} = \frac{A'A''}{c_2} \tag{1}$$

の関係がある。入射角 i と屈折角 r を使って表すと $D_1D' = A'D' \sin i$ 、 $A'A'' = A'D' \sin r$ であるから、これを (1) 式に代入すると

$$\frac{D_1D'}{A'A''} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{c_1}{c_2} \tag{2}$$

が導かれる。この c_1/c_2 の値を n_{12} とおく。 n_{12} は入射角 i に関係なく一定であり、これを媒質 1 に対する媒質 2 の相対屈折率という。

(3) 透明な物質中の光速

図 3 のように、媒質 2 の点 A からの光が APQ、AOC、AP'Q' のような経路を通して媒質 1 に出るとき、C の方向から見ると、この光は媒質の境界面での屈折のために、QP、CO、Q'P' の延長上の交点 B からの光のように見える (B に A の虚像を結ぶという)。

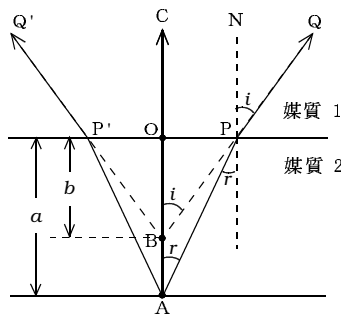


図 3

$\sin \angle NPQ$ と $\sin \angle OAP$ の間には (2) 式の関係が成り立つので

$$\frac{\sin \angle NPQ}{\sin \angle OAP} = \frac{\sin \angle OBP}{\sin \angle OAP} = \frac{c_1}{c_2} = n_{12} \tag{3}$$

となる。

ここで $\angle OAP$ が非常に小さいとすると $AP \cong AO$ 、 $BP \cong BO$ となり、次の近似式が得られる。

$$\frac{\sin \angle OBP}{\sin \angle OAP} = \frac{\frac{OP}{BP}}{\frac{OP}{AP}} \cong \frac{\frac{OP}{BO}}{\frac{OP}{AO}} = \frac{AO}{BO}$$

$AO = a$ (物質の厚さ)、 $BO = b$ (虚像 B から境界面までの距離) とすると

$$n_{12} = \frac{a}{b} \quad (4)$$

となる。

光は真空中も伝わる。真空に対するある媒質の屈折率を、その媒質の絶対屈折率という。媒質 1、媒質 2 の絶対屈折率を n_1 、 n_2 とすると $n_{12} = n_2/n_1$ の関係がある。空気の絶対屈折率 n_A は 1.0003 で、ほとんど 1 に近いので、実用上は真空の代わりに空気に対する屈折率を使う。

この実験では、光が透明な物質中 (媒質 2) から空气中 (媒質 1) に出る場合について考える。(4) 式から a 、 b を遊動顕微鏡で測定することによって、この物質の空気に対する屈折率 n_{A2} が求められる。

また、空気中の光の速度 c_A は真空中の光速とほとんどおなじであって

$$c_A = 3.00 \times 10^8 \text{ [m/s]}$$

としてよい。(3) 式から

$$n_{A2} = \frac{c_A}{c_2} \quad (5)$$

であるから、その物質中での光速が求められる。

□ 実験方法

遊動顕微鏡の使い方は、付録の解説を参照。ここでは遊動顕微鏡を垂直方向に移動して、主尺の目盛 S' と、副尺の目盛 V' を使って、顕微鏡 M の移動距離を読み取る。

注意 顕微鏡の筒が台に垂直になっていること、接眼レンズが奥まで差し込まれていることを確認してから使用する。また、顕微鏡を上下に移動させる場合には、レンズが接触して破損するといけないので、のぞきながら下げてはいけない。必ず上げながら、のぞくことにする。

(1) ガラスの屈折率

遊動顕微鏡の水平台 P の表面 A に焦点を合わせたときの目盛 z_A を主尺 S' と副尺

V' を使って読む。続いて一度顕微鏡 M を下げ、次に上げながらふたたび A に焦点を合わせ z_A を読む。これを 5 回くりかえす。次に A の上にガラス板を置き、 A の虚像 B に焦点を合わせたとき、すなわちガラス板を通して A を見たときの目盛 z_B を読む。 z_A を読んだときと同様に、毎回焦点を合わせ直して z_B を 5 回読む。さらにガラス板の厚さを測るために、ガラス板についているキズ (\times) を上にして置き、このキズに焦点を合わせたときの目盛 z_O を読む。 z_O も毎回焦点を合わせ直して、5 回読み取る。これらの値の平均値 \bar{z}_A 、 \bar{z}_B 、 \bar{z}_O から、ガラスの屈折率 n_G は、

$$n_G = \frac{a}{b} = \frac{|\bar{z}_A - \bar{z}_O|}{|\bar{z}_B - \bar{z}_O|}$$

で求められる。

(2) 水の屈折率

シャーレの底についているキズ A に焦点を合わせたときの目盛の読みを z_A とし、シャーレに水を入れて、キズ A の虚像 B に焦点を合わせたときの目盛の読みを z_B とする。次に水面の高さの目印としてリコポジウムをごく少量浮かせて、これに焦点を合わせたときの目盛の読みを z_O とする。それぞれの値を、焦点を合わせ直して 5 回読み取る。それらの値の平均値から、ガラスの場合と同じようにして水の屈折率 n_W を求める。

$$n_W = \frac{|\bar{z}_A - \bar{z}_O|}{|\bar{z}_B - \bar{z}_O|}$$

注意 水は多めに入れ、水面に撒くりコポジウムはごく少量にする。

(3) 上の (1) と (2) で求めた屈折率を使って (5) 式、すなわち $c_G = c_A/n_G$ 、 $c_W = c_A/n_W$ から、ガラスと水の中での光速度 c_G と c_W を求める。

□ 実験例

ガラスの場合

回	z_A [mm]	z_B [mm]	z_O [mm]
1	57.22	62.20	71.53
2	57.15	62.13	71.68
3	57.17	62.28	71.73
4	57.12	62.38	71.63
5	57.05	62.01	71.84
平均	57.14	62.20	71.68

ガラスの屈折率

$$n_G = \frac{|\bar{z}_A - \bar{z}_O|}{|\bar{z}_B - \bar{z}_O|} = \frac{71.68 - 57.14}{71.68 - 62.20} = 1.53$$

ガラスの中の光速

$$c_G = \frac{3.00 \times 10^8}{1.53} = 1.96 \times 10^8 \text{ [m/s]}$$

□ 参考

この実験で使うガラスの屈折率の正しい値は 1.52 であり、水の屈折率は常温で 1.33 である。