

IV. 光の屈折と波長の測定

1. 目的

顕微鏡用対物マイクロメーターを回折格子として利用すると、格子の構造を反映した個性的回折パターンが得られ、これから波の回折・干渉についての理解を深めることができる。また、回折を空気中と水中で行わせてそれぞれの中では長を求め、それらの比から屈折率についての理解を深めることができる。本実験では（その1）で光の波動的性格を明らかにし。その立場から屈折率を理解し、（その2）で水の屈折率を幾何光学的立場から理論的に求める。この簡単な一次元格子による理解は、X線や電子線などの結晶による三次元的回折を理解する助けとなろう。

2. 理論

～理論～

3. 装置

（その1）

- ・ He-Ne レーザー(光源)
- ・ 顕微鏡用対物マイクロメーター（回折格子）
- ・ 透明樹脂性円筒容器（仕切版の片面は容器の中心を通る）
- ・ 投影用スクリーン（アクリル製ついたて、測定用に A4 方眼紙を貼り付ける）
- ・ 巻尺、ビーカー、セロテープ

（その2）

- ・ He-Ne レーザー(光源)
- ・ 透明樹脂性円筒容器（仕切版の片面は容器の中心を通る）
- ・ 円筒容器を載せる台(円形グラフ用紙共)

4. 実験手順

（その1）

A. 空気中での波長測定

①円筒容器の仕切版およびスクリーンは光軸に垂直に置く。(図 1 参照)

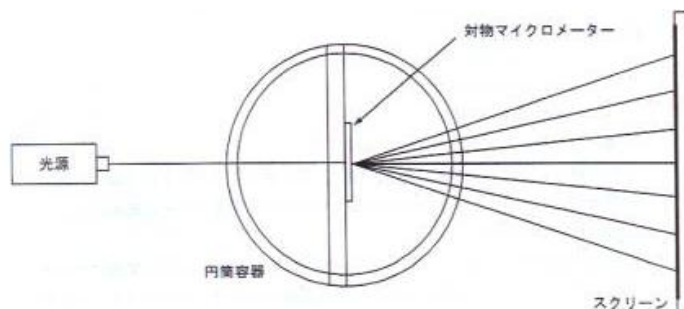


図 1

② 対物マイクロメーターを容器の仕切り版の中心を通る側の面に固定する。このとき、メモリの刻みである面がスクリーン側に向くようにする。刻みはガラス板の中央に描かれた円の中心部分 1mm 程度の範囲に限られているので、光をそこに当てるように注意する。

③ 光をうまく刻みに当て、スクリーン上に格子を通り抜けた回折光の干渉によって生じた斑点（スポット）を出現させる。このとき、スクリーンの位置を前後に調節し、スポットがグラフ用紙の読み取りやすい場所に来るようにする。そして 5 次までのスポットの位置をグラフ用紙上に印す。

④ $\pm m$ 次の強いスポット間の距離 ($2l_m$) と、格子とスクリーン間の距離 (L) とを測定し、

$\tan(\theta_m) = (l_m / L)$ を求める。 $\lambda = d \cdot \sin(\theta_m) / m$ の関係を用い、各次数についてレーザー光の波長を求めよ。

⑤ 以上の波長 λ の評価法では $(l_m / L) = \tan(\theta_m) = \theta_m = \sin(\theta_m)$ という関係を用いている。これは、

$\lambda = d \cdot (l_m / L) / m$ と近似したことと同等であるから、その誤差 $\Delta\lambda$ は、

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \sqrt{\left(\frac{\Delta l_m}{l_m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2}$$

から求められる。

⑥ $\sin \theta_m - m$ グラフをグラフ用紙に書き、比例関係を確認する。次にグラフ上の各点にできるだけ近くなるように一本の線を引き、その傾きを $\bar{\lambda} / d$ とし、 $\bar{\lambda}$ を求める。これを実際の実験結果による $\bar{\lambda}$ と比較し考察する。

B. 水中での波長測定

- ① 容器のスクリーン側の半分に水を入れる。そして、水を入れる前と同じ手順で、光の波長 $\overline{\lambda}$ と $\Delta\lambda$ を求める。

- ② 空気中での波長 $\overline{\lambda}_a$ と得られた水中での波長 $\overline{\lambda}_w$ との比 $(\overline{\lambda}_a / \overline{\lambda}_w)$ を求める。これが水の屈折率 n となる。

さらに誤差 Δn を、
$$\frac{\Delta n}{n} = \sqrt{\left(\frac{\Delta \overline{\lambda}_a}{\overline{\lambda}_a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \overline{\lambda}_w}{\overline{\lambda}_w}\right)^2}$$
により評価する。

(その2)

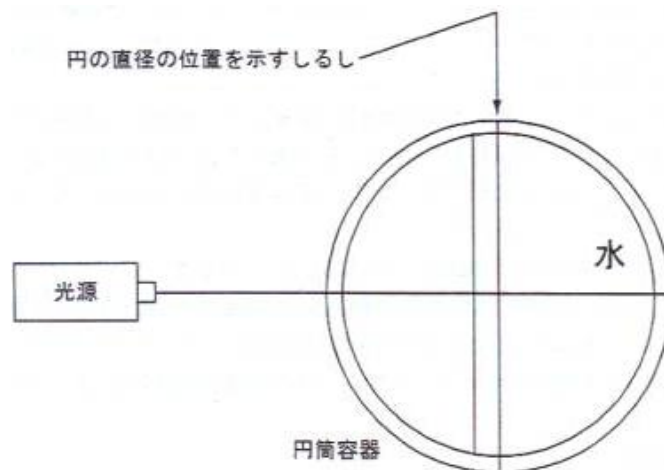


図 2

A. 屈折の法則の確認と屈折率

- ① 円筒容器を、その仕切り版が円形グラフの一つの基準線に平行になるように、かつ、その中心がグラフの中心と一致するように置く。
- ② グラフ用紙に書かれたもう一本の基準線（二本の基準線は互いに直交している）が、入射光と平行になるように台を設置する。光路は空気中では見えないが、容器に当たったところは輝いているのでこれを用いればよい。
- ③ 円筒容器の光源と反対側の半分に水を入れる。水中の光路が眼で見えるように、また、円形グラフの読み取りもできるように、電気スタンドによる照明を加減する。

④ 円筒容器を円形グラフの中心のまわりに回転させ、仕切り版が初めの方向（＝入射光と直交する基準線）と、例えば 60° , 50° , 40° , 30° , 20° , 10° の順に置いたとき（この角度が入射角 i に等しい）、屈折光が容器の赤線となす角 r を読み取る。この時、必要に応じて、容器を載せてある台を入射光に対し垂直方向に移動させて調節せよ。

⑤ 入射角 i と反射角 r の関係を調べて、 r の関数として i をグラフに書き、また、 $\sin r$ の関数として $\sin i$ をグラフに書く。

⑥ グラフが直線状に乗るなら、

$$n = \sin(i) / \sin(r)$$

という値が入射角によらない一定値となることが確かめられたことになり、これが空気に対する水の屈折率と呼ばれる量である。（その 1）で得られた数値と比較してみる。

B. 全反射と臨界角

① A の実験に続き、水の入った部分を光源側に置き、円筒容器を円形グラフの中心のまわりに回転させ、屈折光の進む方向の変化を観察し、屈折光が仕切り版に平行になるときの光の入射角を円形グラフ用紙によって読み取る。これが臨界角 i_c となる。この値よりも大きい角度で入射した光は屈折光として出ることができず、すべて境界面で反射される。これが全反射である。

② 数式を用いて扱うと、A の実験に比べ入射角と反射角が逆になっているので、 $n = \sin(r) / \sin(i)$ になりたつ。また、全反射時、 $r = 90^\circ$ となり、臨界角を波長を用いた式で表すと、

$$i_c = \sin^{-1}(1/n)$$

となる。この式と実際に観測した臨界角が一致しているかを確かめる。

5. 結果

実験結果記入用紙を次項に載せ結果とする。

6. 考察

今回の実験で使われたレーザーの波長は $6328\text{\AA}$ と既知であった。しかし実験結果は誤差を考慮してもこの値より大きくなってしまった。原因としては、対物マイクロメーターのガラスの厚みを考慮に入れなかったことが考えられる。あとこれは屈折率についても言えることだが、レーザーがスクリーンに対して完全に垂直に置かれていなかったのではないだろうか。これらを修正すればより正確な実験結果が得られるはずである。