

光路にキュベットを挿入



光路にガラス板を挿入

目的

マイケルソン干渉計の動作を学び、空気の屈折率の圧力依存性やガラスの屈折率を測定すること。

実験の手順

- ・レーザー光の波長を測定します。
- ・ガラスの屈折率を測定します。
- ・空気の屈折率の圧力依存性を測定します。

まとめ

マイケルソン干渉計では光路にハーフミラーを置くことで、光をそれぞれ別の方向へ進む2本の光に分割します。分かれた光はそれぞれ光路の端で鏡により反射され、もとの光路を戻り再び結合されます。この時に2本の光路にわずかでも差があると、スクリーンの干渉縞が変化するため分かります。

必要機器

品番	品名	数量
U10350	干渉計	1
U10351	干渉計用アクセサリ	1
U10146	シリコンチューブ・内径 6mm	1
U21840	He-Ne レーザー	1
別途ご用意ください 真空・圧入ポンプ、圧力計（ゲージ圧であれば正負両用）		各1

基本原理

マイケルソン干渉計は、かつて光の媒質として考えられていたエーテルに対する地球の運動を検出するために、マイケルソンによって発明されました。この干渉計は光路の微小な差異を感度良く検出します。

装置に入射した光がハーフミラーで2つに分割され別の光路を通り、それぞれの終端におかれた鏡で反射され再度ハーフミラーで結合されます。この為、スクリーンに干渉縞が現れます。(図1)

干渉縞は光路の差異に敏感に反応するので、干渉計を構成している部品の熱膨張さえも検出します。

i). レーザー光源波長測定

片側の光路が長くなったり短くなったりすると干渉縞の数が増えたり減ったりします。光路の変化長 Δs と暗線干渉条件は光の波長 λ を使い次のようになります。

$$(1) \quad 2\Delta s = m\lambda$$

ここで m は増減した干渉縞の数を表す正負の整数です。この関係を用い、可動鏡(写真右側)を微小距離 Δx だけ移動させて光の波長を測定します。微小な移動距離 Δx は可動鏡に接続されたマイクロメーターネジにより正確に読み取れます。またこの時は空気の屈折率を $n=1$ としても十分です。

それゆえ(1)式の Δs は Δx と等しく、波長 λ は実験結果から次のように計算されます。

$$(2) \quad \lambda = \frac{2\Delta x}{m}$$

基礎実験

- 仕様は予告なく変更されることがあります。
- 品番・製品名をクリックすると製品仕様ページ(外部サイト)が開きます。

ii). ガラスの屈折率測定
(計算詳細等は実験例ページ「ガラスの屈折率の計算」(PDF)を参照)

この実験では屈折率を測定する光学ガラス板を光線に対し垂直に入れた状態からガラス板を傾けていき、その時の波数の変化から屈折率を求めます。そのため、初期状態(ガラス板が光線に対し垂直な状態)からの光路の変化は、最初にハーフミラーで反射され分割された光の光路差を考えるだけで十分です。

ミラーを回転させることで変化する光路差を考えるために、ガラス中の光路差を ΔS_1 、空気中の光路差を ΔS_2 とします。

$$(3) \quad \Delta S_1 = a - d = d \left(\frac{1}{\cos \beta} - 1 \right)$$

$$(4) \quad \Delta S_2 = d \left\{ \left(1 - \frac{1}{\cos \alpha} \right) + (\tan \alpha - \tan \beta) \sin \alpha \right\}$$

光はミラーにより反射するため、同じ経路を2回通ります。よって、この変化による波数の差 Δk は次のとおりです。

$$(5) \quad \Delta k = \frac{2}{\lambda} (n_G \Delta S_1 + \Delta S_2)$$

Δk が整数のとき、リングの中心で(明→)暗→明(→暗)の繰り返し整数回となるので、その値を m とすれば

$$(6) \quad m = \frac{2}{\lambda} (n_G \Delta S_1 + \Delta S_2)$$

となります。

n_G について整理すれば、 n_G の三次方程式になり、解の公式に測定で得られる係数を代入して具体的な屈折率を計算します。

ミラーの角度が小さいときには初期角度 ϕ_0 の影響が大きく、少しの読み取り誤差で影響が出るので、 $m > 30$ で屈折率を求めます。

実験では $n_G = 1.63$ となりました。

iii). 空気の屈折率の圧力依存性
(計算詳細等は実験例ページ「空気の屈折率測定」(PDF)を参照)

空気の屈折率は近似的に圧力に比例します。そのため空気の屈折率を次の式で求めます。

$$(7) \quad n(p) = 1 + \frac{\Delta n}{\Delta p} \Delta p$$

屈折率の変化を干渉計で測定可能な光路差に置き換えれば、屈折率の圧力依存係数は次の形となります。

$$(8) \quad \frac{\Delta n}{\Delta p} = \frac{\lambda_0}{2L_z} \frac{\Delta m}{\Delta p}$$

ここで L_z は空気セルの光軸方向の内寸で、 λ_0 は光源の真空中の波長、 Δm は干渉縞数の変化となります。

このように干渉縞の変化数と圧力の変化から、屈折率の圧力依存係数を求めることができます。

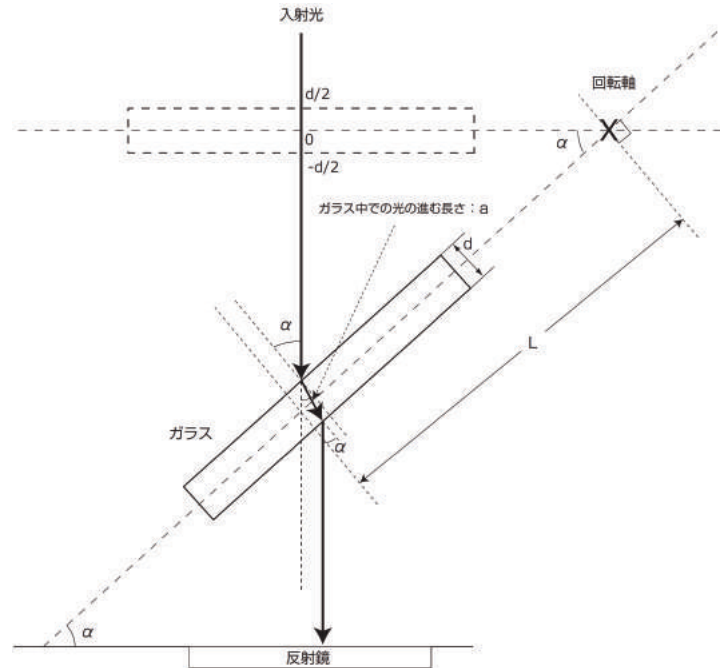


図 2：ガラスの屈折率測定時の光線

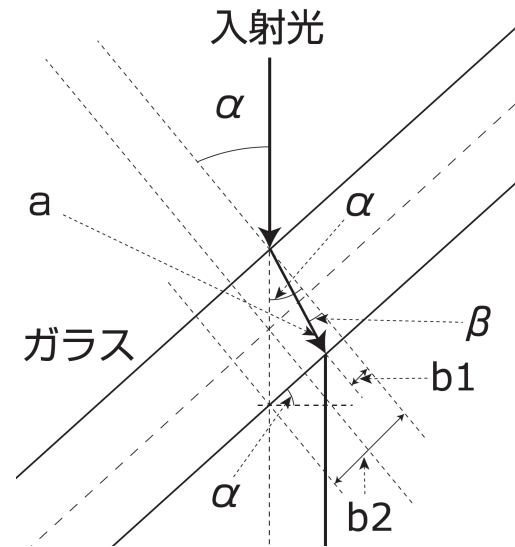


図 3：ガラスの屈折率測定時の光線 (拡大図)

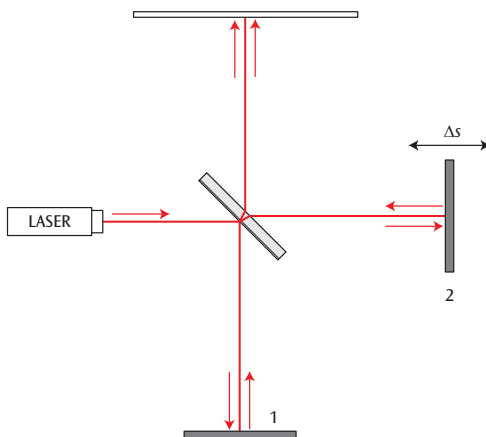


図 1：マイケルソン干渉計の動作図

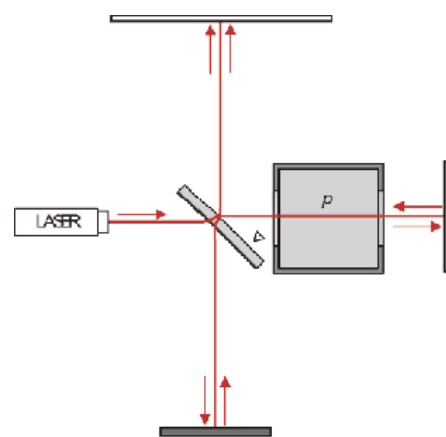


図 4：空気の屈折率の圧力依存性

評価

i), レーザー光源波長

実測では初期状態($m=0$)と $m=+30$ でそれぞれマイクロメータの読みが19.98mm, 10.10mmでした。マイクロメータの読みと可動鏡の実際の移動距離は1mm:970nm(メーカー値)なので、これより光源波長 λ は次のように計算できます。

$$(9) \quad 2 \frac{\Delta x}{m} = \frac{2 \times (19.98 - 10.10) \times 970}{30} = 639\text{nm}$$

使用光源はHe-Neレーザーで $\lambda=633\text{nm}$ なので測定結果は約1%大きくなっています。

ii), ガラスの屈折率

ガラスの屈折率を測定する時は最初に光路に入れるガラスとハーフミラーが正確に 45° をなしていることが必要です。この精度を機器加工で出すことは難しいため、 45° となるようにガラスの初期角度を微調整します。

以降、測定するガラスの角度と干渉縞変化数は、この初期角度の補正をした後に屈折率を計算します。

測定結果は図5のように n_G は約1.63~1.64でした。

iii), 空気の屈折率の圧力依存性

キュベットを大気圧から徐々に減圧し、干渉縞数の変化を測定しました。大気圧 $p_0 = 1000[\text{hPa}]$ を取りました。また、 $\Delta p = |p_0 - p|$, p : キュベット内圧力 $[\text{hPa}]$ です。同様に Δm も絶対値を取っています。また、測定結果と最小二乗法でフィッティングした近似直線のグラフを図6に示しました。

図6 から $\Delta m / \Delta p = 0.037$ で、キュベットの光線方向の内寸は41mmです。よって $\Delta n / \Delta p$ は(8)式より次のようになります。

$$\begin{aligned} \frac{\Delta n}{\Delta p} &= \frac{\lambda_0}{2L_z} \times 0.037 \\ &= 0.29 \times 10^{-6} \text{ hPa}^{-1} \end{aligned}$$

理科年表では $T = 15^\circ\text{C}$, $p = 1013.25 \text{ hPa}$ の乾燥空気では $n \sim 1.000277$ となっているので、(7)式に $p = 1013.25 \text{ hPa}$ を代入した値 1.000294 が良く空気の屈折率を表していることが分かります。

p [hPa]	Δp [hPa]	Δm
780	220	10
580	420	16.5
450	550	21.5
350	650	25
280	720	28
220	780	30
200	800	31
180	820	32
160	840	33

表1：キュベット内圧力と干渉縞の本数変化

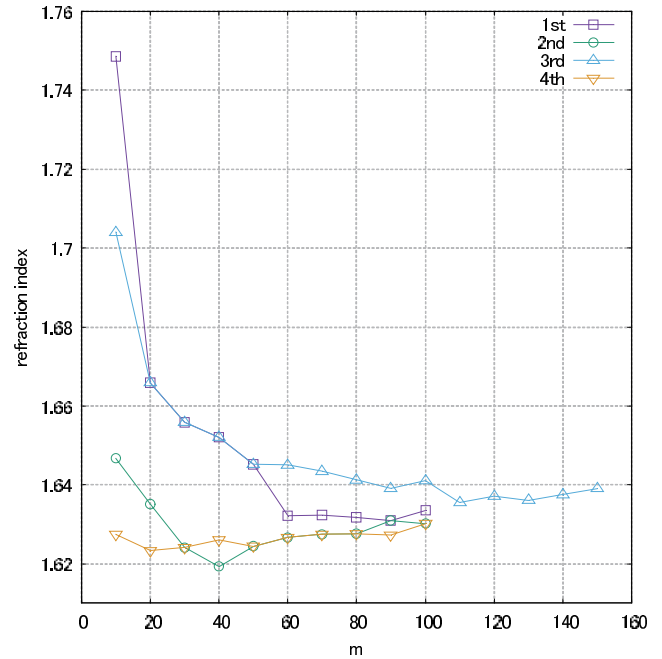


図5：ガラスの屈折率

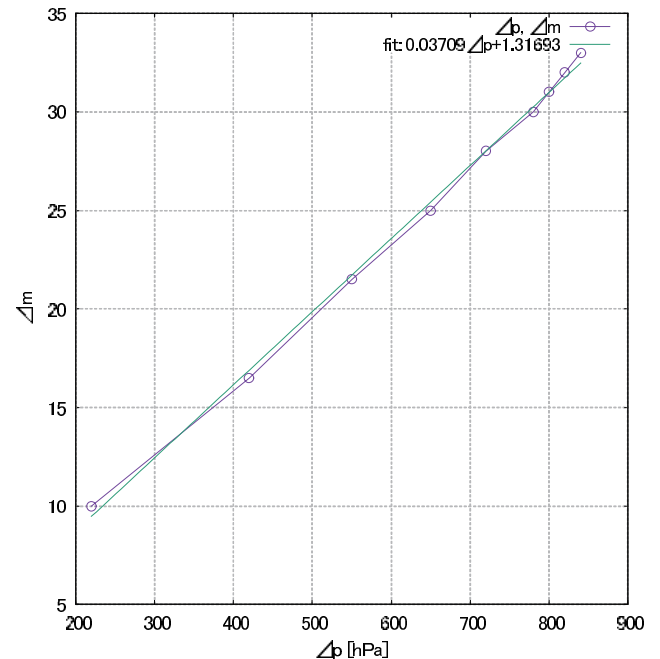


図6：大気圧との圧力差 Δp と Δm のグラフ (fit: は最小二乗法による近似直線)