

厚膜における光の干渉について

Light interference caused by thick film

上田 恵輔 柴田 泰成 白塚 大智 仲橋 亮平
Ueda Keisuke Shibata Taisei Shiratsuka Daichi Nakahashi Ryohei

Abstract

It is well known that light interference is caused by thin films such as soap bubbles. On the other hand, people do not commonly know about the interference caused by thick film such as glass or lenses. We observed interference caused by “thick film” by passing a laser through a glass plate and convex lens. Also, we considered the optical path.

要約

シャボン玉などの薄い膜における光の干渉についてはよく知られている。一方、ガラス板やレンズなどの「厚い膜」においても光の干渉が起こることは一般的にはあまり知られていない。干渉が観察されることを指摘する研究等もあるが、観察するためには何らかの工夫が必要だとその前提に立ったものが多い。私たちは板ガラスや凸レンズにレーザーを直接入射しても「厚膜」における光の干渉を観察できることを確かめ、その光路について検討した。

はじめに

1988年には石川らがレーザー光を「広げて」入射することでガラス板での干渉（膜の表面と裏面で反射した光が重なる時、光の波長と膜の厚さの関係によって、光が強めあったり弱めあったりして縞模様のように見えるというもの）が観察できることを示している¹⁾ほか、小杉らが1990年から1994年にかけて、ニュートンリングの装置のガラス板でも干渉縞が観察されることを示している²⁾⁻⁵⁾。

また最近では、秋池らが2014年に、紙面などに反射させたナトリウムランプの光をガラス板にあてて干渉が観察される場合があることを示している。

これらの研究では、ランプの光をピンホールに通したり、光を広げる工夫を加えたりしているが、谷（高志高校）はレーザー光の直接入射によっても明瞭な干渉縞が観察されることを指摘していた。

私たちは、板ガラスと凸レンズについて、レーザー光の直接入射で干渉縞が観察できることを確認した。凸レンズへのレーザー光直接入射

では、ニュートンリングに似たきれいな環状の干渉縞が見られた。私たちはこれらの干渉縞についての観察を行い、干渉縞の間隔等を測定して、干渉にいたる光路についての検討を試みた。

装置

- ・ヘリウムネオンレーザー（SHIMADZU GLG5014）
- ・スライドガラス ・干渉板（マリス 04-2907）
- ・凸レンズ（SHIMADZU 128-760）

実験1 板ガラスによる光の干渉

(1) 実験方法

板ガラスに、斜めからレーザー光を当て、反射した光を、スクリーン（白紙等）に投影する。

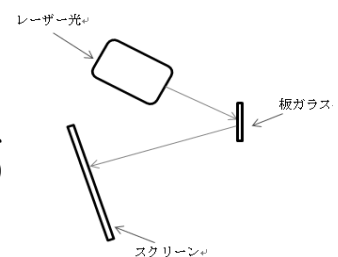


図1 板ガラスでの干渉

(2) 結果

写真1は、ガラス板として干渉板を用い、レーザー装置・ガラス板・スクリーンの距離をそれぞれ2 m程度とした場合の結果である。

はっきりした明暗の縞模様が見える。明暗の間隔は1 mm 程度である。

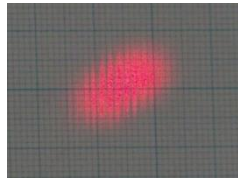


写真1

レーザー装置とガラス板とスクリーンが近い場合は、斜めに入射してもスクリーン上では数mm離れた2つの光点があるようにしか見えない。これらは、ガラスの表面と裏面で反射した光だが、光点の広がり小さく重ならないため干渉は見ることができない。しかし、装置間の距離を大きくしていくと、光点が広がって二つの反射光が重なるようになり干渉縞が見えるようになる。角度を変えて垂直入射に近づけると干渉縞の間隔が広がって見つけにくくなる。逆に入射角を大きくするほど干渉縞の間隔は狭くなる。

実験2 凸レンズによる光の干渉

(1) 実験方法

レンズ中心にほぼ垂直にレーザー光を入射し、反射光をスクリーンに投影する。(図2)

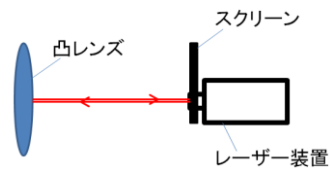


図2 凸レンズへの垂直入射

凸レンズとの距離

は2~4 m程度とする。スクリーンは、平らな板に方眼紙を貼り、レーザー光を通すために直径4 mm の穴を開けたものである。これにより、レンズに垂直入射した光の反射光を投影することができた。

(2) 結果

レーザー装置とレンズ・スクリーンの距離を2 m程度以上にとると、スクリーン上で直径数センチ以上となる円形の2つの反射光が見える。レンズの位置をわずかに動かすなどしたときの反射光の動きから、この2つはレンズ表面と裏面で反射した光によるものだと考えられた。反射光の直径は、レンズ裏面で反射した光の方が、表面で反射したものよりやや大きくなる。

レンズへの入射をレンズ中心に垂直になるように調整すると、スクリーン上にはこれらの反

射光が重なってニュートンリングと似たはっきりとした干渉縞が見える。縞の間隔は中心から遠いほど小さくなる。

装置間の距離が小さい場合、入射位置や角度を調整せずに入射すると、少し広がった2つの光点として見える。広がり小さいため、厳密に中心に垂直入射しないと2つの反射光は重ならず、干渉していることに気づきにくい。

レーザー装置とレンズ・スクリーン間の距離を4 mとしたときの干渉縞の例を以下(写真2~4)に示す。(使用した凸レンズの焦点距離は、上から順に200mm、250mm、300mm) 表は、各干渉縞の直径の測定結果の一部(中心付近の5つについての値)である。

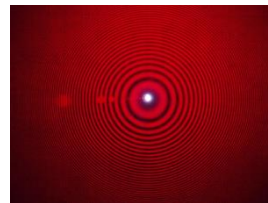


写真2

	暗環	明環
1	10.2 mm	18.7 mm
2	25.7 mm	30.3 mm
3	34.7 mm	40.0 mm
4	42.7 mm	46.0 mm
5	48.7 mm	52.7 mm



写真3

	暗環	明環
1	14.7 mm	20.0 mm
2	26.7 mm	26.7 mm
3	34.7 mm	37.3 mm
4	40.3 mm	42.0 mm
5	44.7 mm	46.7 mm

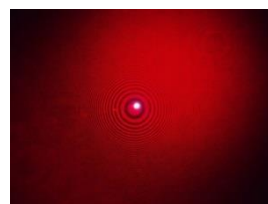


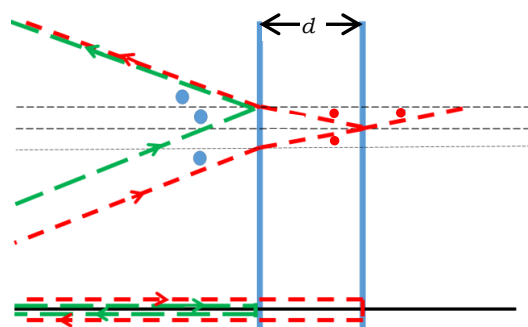
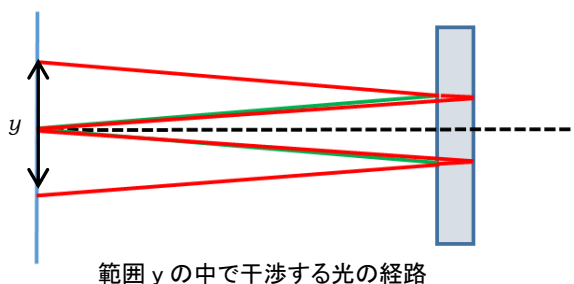
写真4

	暗環	明環
1	15.0 mm	20.0 mm
2	25.0 mm	28.7 mm
3	33.0 mm	35.8 mm
4	39.0 mm	41.7 mm
5	44.0 mm	47.0 mm

考察

上の様に干渉縞間隔は、数 mm 程度から急激に小さくなるため、間隔自体の高精度の測定が難しい。そこで、ある範囲 y (直径 50mm 等) の中にある縞の数について考えることとした。

まず、平らなガラス板での干渉について考える。



入射角 (図中●) を θ (rad) とする。 θ は、ガラス表面の反射角とレーザー光源から y の範囲の外縁に向かう角度と等しい。屈折角 (図中●) を r (rad)、ガラス板の厚さを d (m)、屈折率を n 、レーザー光の波長を λ (m) とおくと、干渉の条件から、明環については、

$$2nd\cos r = (m+1/2)\lambda \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

暗環については、

$$2nd\cos r = m\lambda \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

の関係を持つと考えられる。

スクリーンの中心点 O では、 $r=0$ であるから光路差は $2nd$ となる。 $2nd = M\lambda$ (M : 整数) の場合、中心点 O は暗点となる。 y の範囲の最も外側の暗環に対応する m を M' とおくと、 $M-M'$ が縞の数となる。

$$\begin{aligned} M-M' &= 2nd/\lambda - (2nd\cos r)/\lambda \\ &= 2nd/\lambda \cdot (1-\cos r) \end{aligned}$$

ここで、屈折の法則より、 $\sin r = (\sin \theta) / n$ によって、 $r \cong \theta / n$ となるので、

$$M-M' = 2nd/\lambda \cdot (1-\cos \theta / n)$$

$\cos \theta \cong (1-\theta^2)/2$ より、

$$M-M' = (\theta^2 \cdot d) / \lambda n$$

と近似することができる。

凸レンズの場合は、凸面での反射光と、「レンズ表面で屈折-裏面(凹面)で反射-レンズ表面で屈折して進む光」との干渉となるので、上記の結果をそのまま使うことはできないが、同様の計算を行うことで干渉縞の数について検討できると考えている。

今後の課題

凸レンズの場合の光路について検討し、干渉条件の式を整理することが課題である。その上で測定結果との比較も行いたい。

参考文献

- 1) 石川幸一. "厚い膜でも光は干渉". いきいき物理わくわく実験. 愛知・岐阜サークル. 新生出版. 1988. p.162-163.
- 2) 小杉武子. 凸レンズを膜とするニュートン・リング. パリティ. 1990. 5(3). p.66-67.
- 3) 小杉誠司, 小杉武子. 可視光による厚膜の干渉条件-なぜ厚膜による干渉縞は見えないのか?- . パリティ. 1990. 5(10). p.58-61.
- 4) 小杉誠司, 小杉武子. 見落とされたニュートン・リング. 応用物理教育. 1993. 17(1). P.15-23.
- 5) 小杉誠司, 小杉武子. ニュートン・リングにおけるコントラスト. 応用物理教育. 1994. 18(1). p.19-26.
- 6) 埼玉県立不動岡高等学校 SSC 物理干渉班(代表 秋池菜々子). ガラス板における光の干渉. 不動岡高等学校ホームページ. 2014. 6p. 第58回日本学生科学賞優秀賞作品 (http://www.fudooka-h.spec.ed.jp/?action=common_download_main&upload_id=4422).