

光の回折と偏光

Y. Kondo

Department of Physics, Kinki University, Kowakae 3-4-1, Higashi Osaka, Japan

(Dated: April 15, 2009)

光の回折・干渉実験ならびに偏光現象の観察を通して、光が波動であることを検証する。回折格子にレーザー光を照射し、得られる回折像からレーザー光の波長を求める。また、複数の偏光子の相対角度を変えて、透過光の強度変化を観察する。

この実験で使うレーザーを直接見ると、危険である。注意して実験を行うこと。

I. 理論

光の伝搬についての基本を簡単に解説する。

A. ホイヘンス (Huygens) の原理

一つの波面上のすべての点が2次波を出すと考え、次の時刻における波面はこれらの2次波の波面の包絡面によって与えられる。図1を参照。

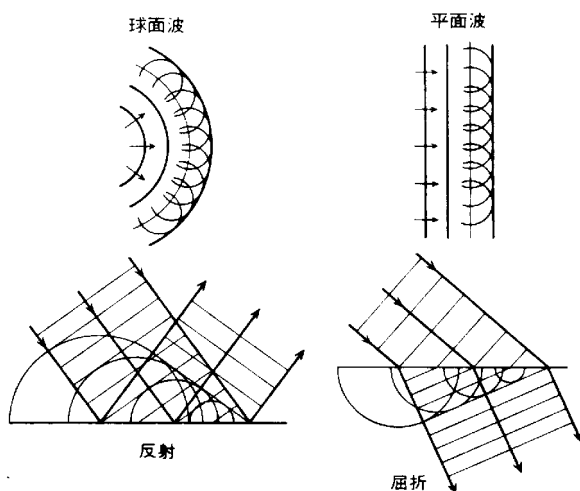


FIG. 1: ホイヘンスの原理

B. 波の干渉：ヤングの実験

図2のように2のスリットを光が透過する場合を考える。ホイヘンスの原理より2つのスリット S_1 と S_2 (間隔は d) が2つの光源のように働く。

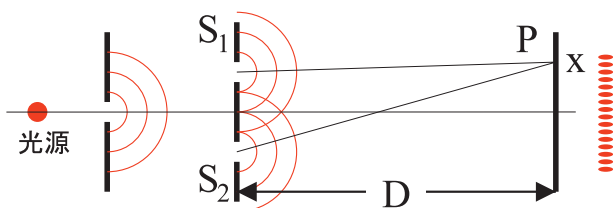


FIG. 2: ヤングの2重スリットの実験

$$\overline{S_1P} = \sqrt{D^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2} \approx D \left\{ 1 + \frac{\left(x - \frac{d}{2}\right)^2}{2D^2} \right\}$$

$$\overline{S_2P} = \sqrt{D^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2} \approx D \left\{ 1 + \frac{\left(x + \frac{d}{2}\right)^2}{2D^2} \right\}$$

光路差 $\overline{S_1P} - \overline{S_2P} = \frac{d}{D}x$ が波長 λ の n 倍の場合明るくなり (波の山と山、谷と谷が強め合う)、 $n + \frac{1}{2}$ 倍の場合暗くなる (波の山と谷が打ち消しあう)。

C. 波の干渉：回折格子

図3のように多数のスリットを光が透過する場合を考える。ヤングの実験と同様に多数のスリットからの光路差を考えるれば良い。

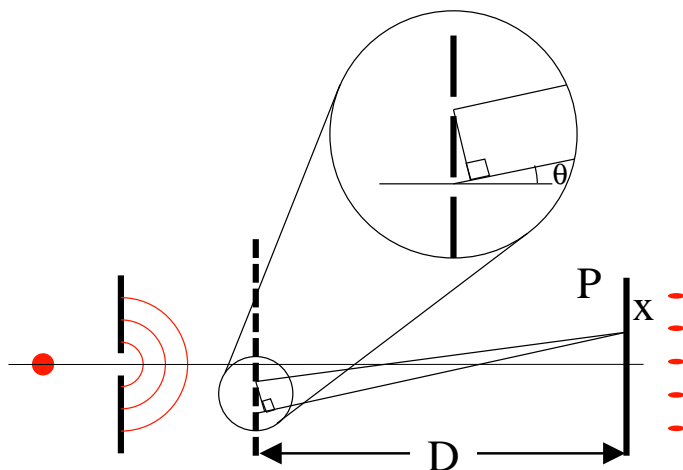


FIG. 3: 回折格子による光の干渉。

スリット間隔 (格子定数) が d ならば、

$$d \sin \theta = n\lambda$$

のときに、明るくなる (波の山と山、谷と谷が強め合う)。

D. 偏光：光の場合

光は電場と磁場の振動の方向が波の進行方向と垂直、すなわち横波である。図4を参照のこと。

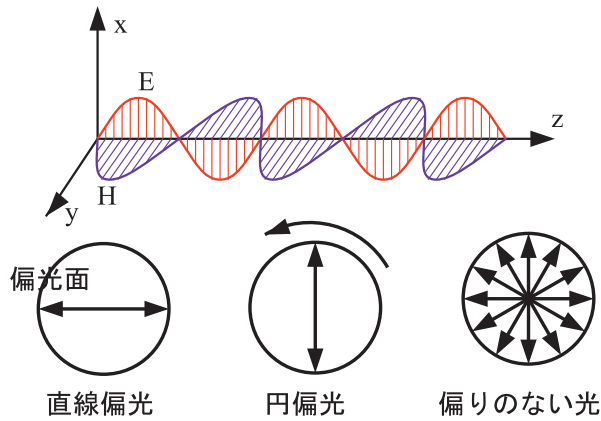


FIG. 4: 偏光について。

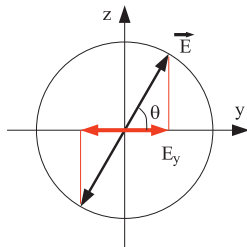


FIG. 5: 偏光方向と射影。

図 5 は偏光子によって電場が y 方向に振動する成分のみを通す場合を図示している。

II. 実験

実験 I では、格子定数 $2.0 \times 10^{-6} \text{ m}$ の回折格子（横に線が 2 本入っている）を用いて、レーザー光の波長を決定する。

実験 II では、その波長を用いてもうひとつの回折格子（線が 1 本のもの）の格子定数を求める。レーザー光を直接見ると危険である。十分注意するように。

実験 III では、偏光子を透過する光の強さがどのように変化するか予想し（仮説を立てる）、実験によってその予想を検証する。

A. 装置

実験を行うために必要なものが図 6 のように箱の中にまとめている。確認すること。足りないものは別途配布する。箱の中のもののリストは通りである。偏光子は特定の方向に振動する直線偏光成分のみを通す。図 5 も参照のこと。

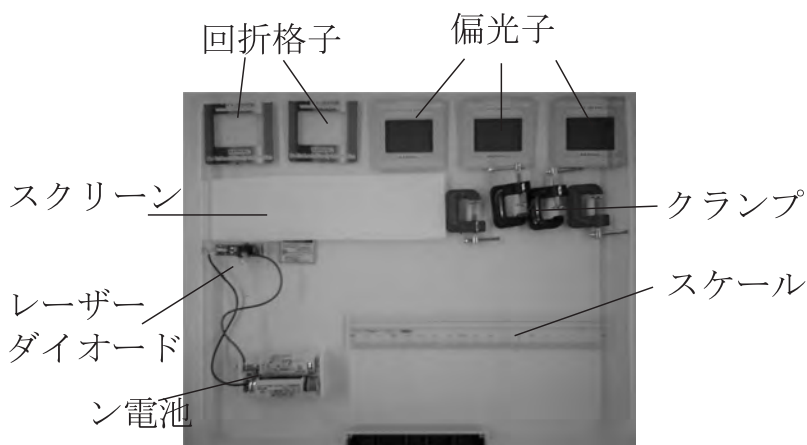


FIG. 6: 実験装置。

回折格子	2 枚
偏光子	3 枚
クラмп	4 個
スクリーン	1 個
レーザーダイオード	1 個
電池	2 個
スケール	1 本

B. 実験 I

1. 準備

図 7 のように装置をセットする。

1. スクリーンをクラмпで箱の縁に取り付ける。

2. 輝点の位置を測定しやすいように、スクリーンには方眼紙を一緒に固定する。

3. 2 本線が横に入った回折格子をクラмпで立てる。



FIG. 7: 準備

2. 測定

レーザーダイオードのスイッチをオンにすると、輝点がいっくつかスクリーンに現れる [1]。これは、レーザーダイオードから出た光が回折格子によって回折した結果である。回折格子とスクリーン間の距離を変えて（異なった5距離）輝点の位置を測定せよ。



FIG. 8: 測定

測定結果を表にまとめる。Table I 参照。このとき、測定誤差を見積もって、表に書き入れること。誤差をどのように見積もれば良いか、考えること。回折格子とスクリーンの間の距離測定の誤差はどの程度だろうか？また、輝点には大きさがあるので、その位置を誤差なしには決定できない。

回折格子とスクリーンの距離	中央の輝点の位置	左側輝点の位置		右側輝点の位置	
		1 番目	2 番目	1 番目	2 番目

TABLE I: 測定データ

3. データ整理

測定結果を“スクリーンと回折格子の間の距離”を横軸に、“輝点の位置”を縦軸にプロットしよう [2]。このとき、誤差を誤差棒でもってグラフ上に表現することが大切である。

このグラフから使用した回折格子の格子定数 $d = 2.0 \times 10^{-3} \text{ m}$ を用いて、レーザー光の波長を求めることができる。計算せよ。

ヒント：直線の傾きを最小 2 乗法によって求める。この直線の傾きは $d \sin \theta = n\lambda$ の $\sin \theta$ に関係している。

C. 実験 II

実験 I と同様な測定とデータ整理を未知の格子定数を持った回折格子（1 本線）に対して行う。実験 I で得られたレーザー光の波長を用いて格子定数を求めよ。

D. 実験 III

ここでは、偏光子を透過する光の強度について以下の順番で考えよう。

1. 偏光子を 1 枚とり、それを通して天井の蛍光灯を見る。偏光子の向きを様々に変化させて、透過する光の強度をチェックする。必ず、ノートに記録すること。
2. 偏光子を 2 枚重ね、それを通して天井の蛍光灯を見る。偏光子の相対的な向きを様々に変化させて、透過する光の強度をチェックする。必ず、ノートに記録すること。
3. 以上の実験を説明するモデルを考える。考えがまとまったならば、ノートに簡潔に整理して記述すること。
4. 次に、3 枚の偏光子を透過する光の強度について考えよう。実験を行う前に、予想を立てることにする。（仮説を立てる。）必ず、ノートに記録すること。
透過する光が最小になる向きに 2 枚の偏光子を重ね、その間に 3 枚目の偏光子を挟む。3 枚目の偏光子の向きを変えた時の透過する光の強さを予想せよ。
5. 実際に 3 枚の偏光子を重ねて光を透過させ、先の予想と比較せよ。実験結果を説明するモデルを考え、簡潔にノートにまとめるよ。

図 9 は以上の考察をする場合のヒントで、偏光子が 3 枚ある場合を示している。

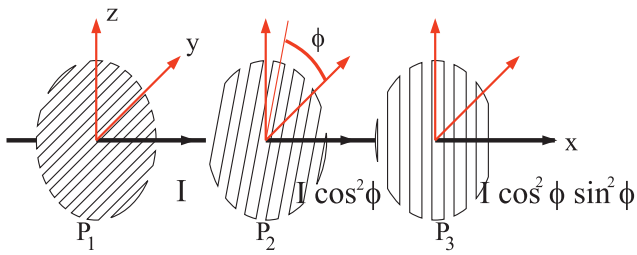


FIG. 9: 偏光子を3枚重ねた場合の振舞。

E. 実験終了後の後かたづけ

実験装置がすべてあるかどうか確認すること。その後、装置を箱にしまうこと。

III. レポート

実験が時間内に終了した場合は、実験時間中（ここでは4時20分まで）は返却されたレポートの修正、本実験の

レポートの作成を行うこと。原則4時20分まで解散はしない。

レポートに必要な構成要素は以下の通りである。読む人を意識して、読む人に分かり易いレポートを書くように心がけること。

1. レポートのタイトル
2. 目的
3. 理論または原理
4. 実験装置
5. 実験方法
6. 測定データ
7. データ解析
8. 結果
9. 考察

[1] 注意：図8では、中央の回折していない光しか明瞭には見えないが、暗い部屋ならば5こぐらいの輝点が見られる。明るい部屋でも中央の最も明るい輝点とその横の2つの輝点が見える。

[2] 必要ならば、“輝点の位置”の代わりに中央の輝点からの各輝点の距離をプロットすること。