

光の回折

Y. Kondo

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

(Dated: June 7, 2011)

光の回折・干渉実験の観察を通して、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や回折格子の格子定数を求める。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。最初に実験の概略についての説明を受けた後、実験を行う。

I. 波の干渉：回折格子

今回の実験で使う透過型の回折格子は図1のように多数のスリットが開いたものと考えれば良い。

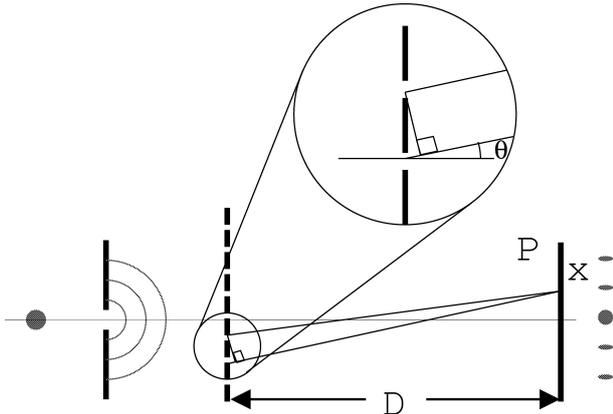


FIG. 1: 回折格子による光の干渉。

干渉の条件を導くためには、多数のスリットの内隣り合うスリットから出る光の光路差を図のように考慮すれば良い。スリットが完全でその間隔（格子定数）が d ならば、以下の式を満たす角度 θ の時に異なったスリットを通過した波の山と山、谷と谷が強め合う。

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

ただし、 λ, n はそれぞれ光の波長、整数である。

II. 原点を通る直線の最小 2 乗法

測定点を (x_i, y_i) とする。ここで、 x_i には誤差はなく y_i にはのみ誤差があると仮定する [1]。これらのデータを **原点を通る直線** $y = ax$ でフィットするとは $\sum_i (y_i - ax_i)^2$ が最小となる傾き a を求めることである。これを a で微分（偏微分）してゼロと置くことにより、 a の満たすべき条件が得られる。また、傾きの誤差 Δ_a は次のように評価する。

$$a = \frac{\sum_i x_i y_i}{\sum_i x_i^2}, \quad \Delta_a = \frac{\Delta_y}{\sqrt{\sum_i x_i^2}}$$

各 y の測定に同じ大きさの誤差があると仮定し、その誤差の大きさを Δ_y とした。誤差の伝搬法則による評価

$$\Delta'_a = \frac{\sum_i |x_i| \Delta_i}{\sum_i x_i^2}$$

に従うと誤差を過大に評価してしまうので、ここでは使わない。ここで Δ_i は各測定点での y の誤差である。

III. 実験

赤色レーザと格子定数が 1.0×10^{-3} mm（**有効桁に注意**）の回折格子を用いて、もうひとつの回折格子の格子定数を求める。実験はグループではなく、個人で行う。

実験者一人一人に以下の機材を配付する。

- A4 ファイルボックス内に納められたレーザをセットしたアクリル製の台
- ノギス
- 2個のアクリル・ブロック（Kとマークされているものは、格子定数 1.0×10^{-3} mm の回折格子が貼り付けられている。）

回折格子の部分には触れないように注意すること。

A. 赤色レーザの波長の測定

アクリル・ブロックは回折格子を貼り付けた面をスクリーン側にして、図2のように装置をセットする。アクリル・ブロックを置くとき、その側面が常に奥の定規に接しているようにすること。スクリーンと回折格子間の長さは、30.0 mm とする。

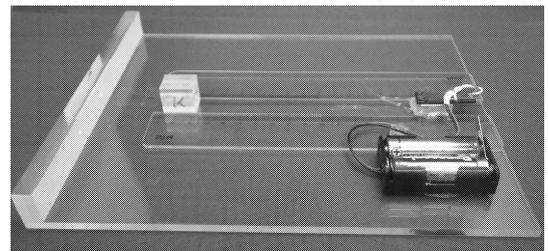


FIG. 2: セットアップ

中心および左右の輝点の大きさ、中心の輝点から左右の輝点までの長さをノギスを用いて測定する。

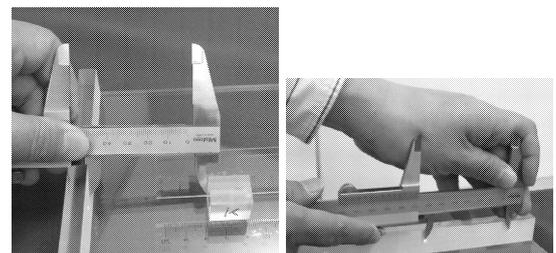


FIG. 3: スクリーンと回折格子の間の長さの測定（左）と輝点間の長さの測定（右）。

次に回折格子とスクリーンの長さを 50.0, 70.0, 90.0 mm にして測定する。データは表 I をノートに作製して整理すること。

スクリーンまでの長さ (mm)	30.0	50.0	70.0	90.0
中心の輝点の大きさ (mm)				
右の輝点の大きさ (mm)				
左の輝点の大きさ (mm)				
中心と右の輝点の長さ (mm)				
中心と左の輝点の長さ (mm)				

TABLE I: このような表をノートに作って、データを記録すること。

図 4 のようなグラフを描く。このグラフの傾きから $d \sin \theta = \lambda$ となる θ の値が求まる。既知の d よりレーザ光の波長を求めよ [2]。

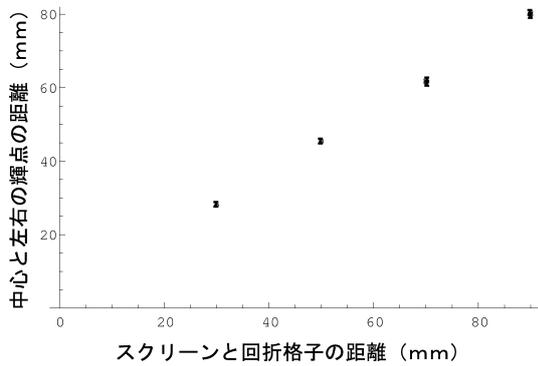


FIG. 4: 輝点間長さとしてスクリーン-回折格子間長さの関係の測定例。灰色は右の輝点、朱色は左の輝点のデータである。データ点には誤差棒をつけること。その大きさは中心の輝点の半径と左右の輝点の半径の和とする。注意：輝点の大きさ以外に、誤差の原因に気がついたらノートに記録すること。レポートの考察で議論せよ。

B. 未知の格子定数の測定

同様の測定を未知の格子定数の回折格子に行う。ここでは、既知量は波長で、未知量は格子定数となる。5 とマークされた回折格子の格子定数を求めよ。

輝点の現れる角度が回折格子 K とは異なっているため、誤差を減らせるようにスクリーンと回折格子の長さを設定せよ。

C. 二つの回折格子を同時に使った実験

二つの回折格子を K とマークされたものをスクリーン側から 30.0 mm 離れたところに置き、5 とマークされたものを K とマークされたものとレーザの間に置く。二つの回折格子で回折された輝点が一致するように、5 とマークされた回折格子の位置を調整する。その時のそれぞれの回

折格子と輝点 ($n = \pm 1$) の間の長さ (L_K, L_5) を測定する。このような測定を K とマークされた回折格子の位置を変化させ、光の波長を求めずに 5 とマークされた回折格子の格子定数を求めよ。

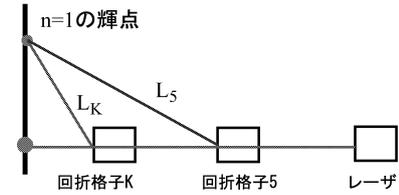


FIG. 5: 二つの回折格子を同時に使った測定。

D. 実験終了後の後かたづけ

教員に結果を報告し、許可を得てから実験終了すること。実験装置がすべてあるかどうか確認し、装置を箱にしまう。

IV. レポート

レポートは目的を

5 とマークされた回折格子の格子定数を求める。

と設定する。その目的に対応した結論を出せるように構成すること。実験を総合的に考慮して結論を出すこと [3]。

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。

レポート作成に関しては、過去の講義などを参考のこと。重要なことは他者の目を意識して、読む人に分かりやすいレポートを書くことである。

A. 考察

以下のことを議論せよ。

- 格子定数が 1.0×10^{-3} mm の回折格子では回折した輝点は左右に一つずつしか観測されない。 $d \sin \theta = n\lambda$ によれば、 $n = \pm 2, \pm 3, \dots$ に対応した輝点が見られるはずである。これらの輝点が観測できない理由を考察せよ。
- 未知の格子定数の回折格子では左右に 2 個ずつ輝点が観測可能であり、それは $n = \pm 1, \pm 2$ に対応している。何故 $n = \pm 2$ に対応した輝点が観測できるのか議論せよ。
- 誤差の要因としては、輝点の大きさを考慮した。その他の誤差の要因を検討し、その誤差を減らす方法を考察せよ。

[1] この実験ではあまり適切な仮定ではないが、計算を簡単にするために用いた。

[2] 実験中は、直線を目分量で引いてその傾きから計算する。レポート提出時には最小 2 乗法によって傾きを計算すること。

[3] 使っている 5 とマークされた回折格子は一つなので複数の数値を結果とすることはできない。