

6. 光波の回折と干渉

スリットと回折格子によるフラウンホーファー回折

この実験では、単スリットや複数スリットおよび回折格子等の光学素子にレーザー光を当てて、光波の回折現象を観察する。

スリット等が観測点から充分離れているフラウンホーファー (Fraunhofer) 回折について調べ、回折像や干渉縞が[ホイヘンス-フレネルの原理](#) (Huygens-Fresnel) で説明できることを確認する。

回折像の観測に、書類読み取り用のフラットベッドスキャナーを用いている点が、この実験の特徴的な点である。画像としてコンピュータに簡単に記録できるため、きれいな回折像が得られるように実験条件を試行錯誤してみよう。

実験装置

He-Ne レーザー

レーザー光を直視しないこと！ 器具の配置をするときには、手をかざしてレーザー光の位置を確認すること。



1 のキーがスイッチになっているので回すと、2 の部分からレーザー光が出てくる。装置によって背面にスイッチがついているものもある。



レーザーが載せられている架台は矢印で示したハンドルで高さを調整できる。光を当てる位置を微調整するときには用いると便利である。

レーザー光の波長は、色によって以下のように 4 種類ある。自分たちが使う波長はレーザー光の色から判断すること。

光の色	波長
赤	632.8 nm

緑	543.5 nm
黄色	594 nm
オレンジ	612 nm

スリット, 回折格子およびフィルター



単スリット. マイクロメーターによりスリット幅を調節できる.



複数スリット. 単スリットから8本スリットまで8種類のスリットが刻まれている.



回折格子. 50 μm から 300 μm まで6種類用意されている.



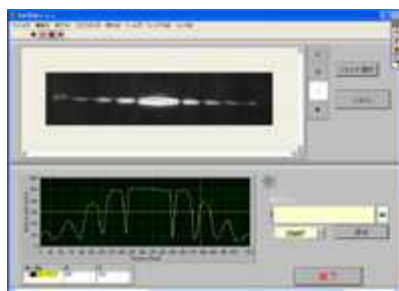
レーザー光の光量を制限するNDフィルター. 透過率が10%と3.2%の2種類のフィルターを用意してあるので, 必要に応じて使い分ける. 落として割らないよう取扱いに注意すること.

拡大投影機

実験室後方の出入り口付近に、写真のような拡大投影機が設置されている。単スリットの幅 b の測定にはこの装置を使用する。詳しい使用方法是[スリット幅の測定](#)の項を参照すること。



フラットベッドスキャナーおよびパソコン



スリットや回折格子を通過した回折パターンを写真のように立てかけたスキャナーに投影する。回折像は 100dpi の解像度で 8bit の深度 (256 段階) のグレースケールの画像として取り込まれる。

スキャナーのコントロールと画像の解析をパソコンによって行なう。上の画面は本実験で使用するソフトウェアの画面である。このソフトウェアの詳細と使用方法是[ソフトウェアの使い方](#)を参照すること。

ソフトウェアの使い方

プレビューとスキャン、および解析

スキャナに照射した回折像の観測には、パソコンのデスクトップにインストールしてある「光の回折.vi」という LabVIEW で作成したプログラムを使用する。

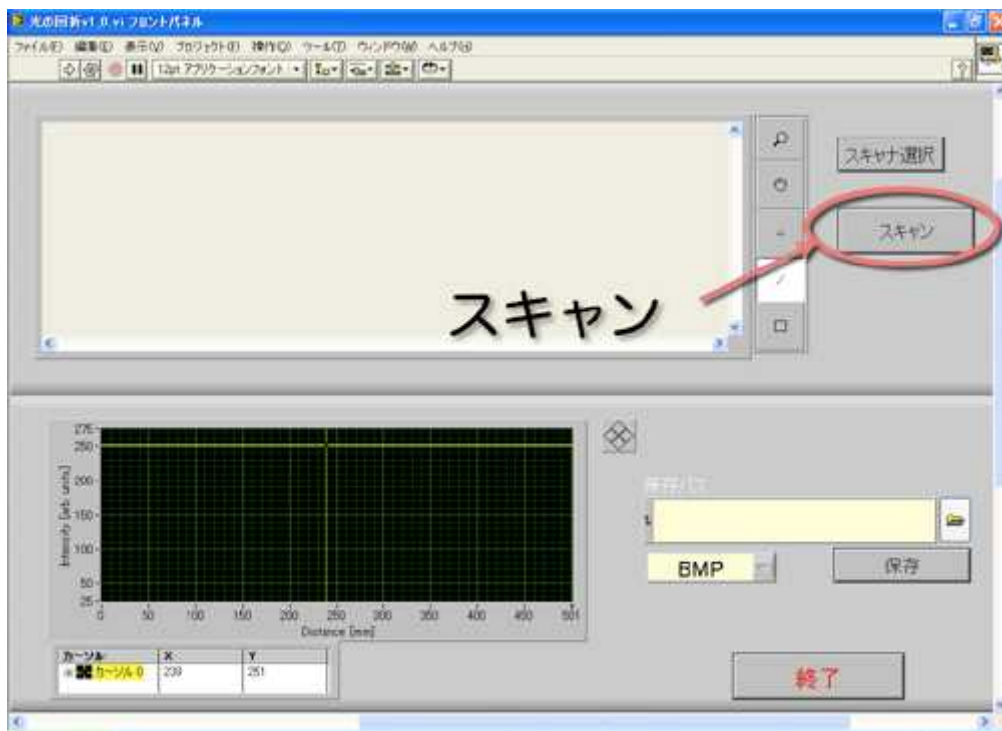


光の回折.vi

このプログラムは

- 画像のスキャン
- 任意の直線に沿った強度分布のグラフ描画

を同じウィンドウ上で行なうことができる。
ダブルクリックをして開くと、操作待ちの状態になっている (2008.05.27 変更)。



プレビューとスキャン

スキャンボタンをクリックすると、下のようなスキャナドライバの画面が現れる。
手順のように

1. プレビュー
2. 範囲の選択
3. スキャン

を行なう。レーザー光の光量の調節等は、プレビューの段階で行なっておく。



回折像の観察

スキャンした結果は、下の図のようにウィンドウ上半分のイメージ枠に表示される。

1. 回折像の強度を調べたい方向に沿って、line ツールで線を引くと
下半分のグラフに線に沿った強度の分布(ラインプロファイル)が描かれる。
2. 図のように十字カーソルを左右に動かすことで、
3. 回折像が極小値や極大値をとる座標を読み取る。

という流れで使用する。

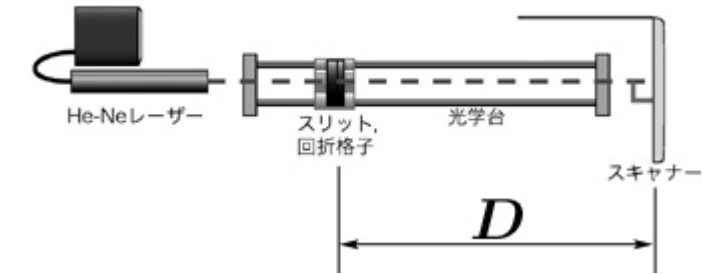
line ツールで線を引くところで、イメージ上でクリックをすると線の長さを読み取るルーチンがエラーを出してストップしてしまう。その場合は一旦停止して再度スキャンからやり直す必要がある。(修正します。ごめんなさい。)

装置の配置とスリット幅の調節

実験装置の配置は下の図のように行なう。

- レーザー光の光軸と光学台がなるべく平行になるように
- スキャナーの読み取り面が光軸に対してなるべく垂直になるように

配置する。



干渉縞の間隔があまりにも狭い(細かい)とスキャナーの分解能の制限から、暗線の間隔の測定に支障を来してしまう。スリット幅を調節して、中央の明線の幅が 20 から 30 mm となるように調整しよう。



回折像のラインプロファイル

「光の回折.vi」を使って、強度が極小となる暗線の X 座標を読み取って、記録する。
記録は以下のような表をノートに作成して、中央の明線から左右に 3 つ目までの暗線の位置について行なう。
原点の位置は、-1 と +1 の読み取った座標を平均することで求めれば良い。

n	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
読み取った座標 [mm]							
原点からの距離 [mm]							
$x = (n\lambda D) / b$ [mm]							

また、「[スリット幅の測定](#)」によりスリット幅 b を求めたら、表の一番下の行を計算して、実験条件から予測される暗線の位置を記入する。そして実験結果と比較を行なう。

スリット幅の測定

スリット幅の測定

まず、ノートと筆記用具を用意して、スリットを拡大投影機の方へ持って行く。写真のように台座から外し、スリット幅が変化しないよう静かに運ぶこと。



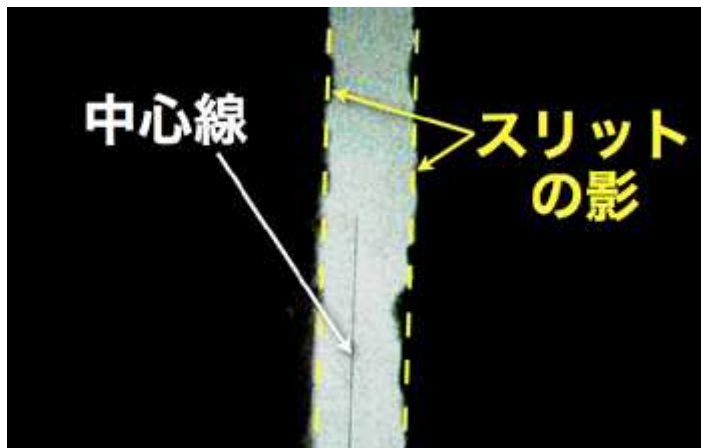
拡大投影機の試料台の上に、写真のように平らな面を下にして載せる。
装置の右下についている、ピント調節のハンドルを回してスクリーン上に投影されるスリットの陰が鮮明になるように調節する。勢い余ってレンズにスリットをぶつけないよう注意する。



ピントがあったら試料台のテーブル(上面のギザギザのエッジがついている部分)ごとスリットを回転して傾きを直す。

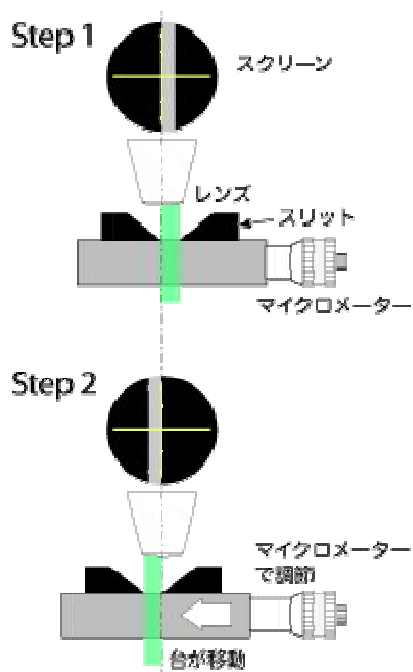


スリットの影とスクリーンに引いてある細い中心線が平行になるようにしよう。



スリット幅の測定は以下のように 3 つのステップにより行なう。

1. ステップ 1: スリットの片側のエッジ (図では左端) をスクリーン中央の細い線に合わせて、マイクロメーターの読み (b_1 [mm] とする) を記録
2. ステップ 2: マイクロメーターを動かしてステップ 1 とは反対側のエッジとスクリーンの線が合うところまで試料テーブルを移動させ、マイクロメーターの読み (b_2 [mm] とする) を記録
3. ステップ 3: b_1 と b_2 の差から b [mm] を計算



マイクロメーターの読み方

下の写真の矢印1は1mm単位で刻まれている。下の写真の場合、矢印の右端は13mmのところまで見えている(14mmまでは見えない)ので、台の位置はmm単位で13mmということが分かる。



次に、シンブル上に刻まれている目盛りを読む。このマイクロメーターの場合、1回転すると1mmだけ台が移動する。シンブルの目盛りは100等分されているので、1目盛りは0.01mmに該当する。

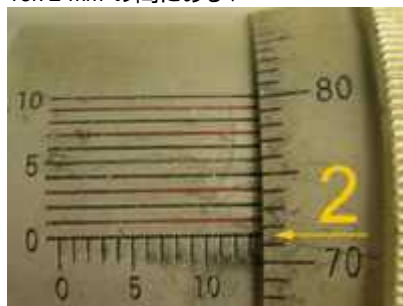
目盛りを読む場所は、左の写真の矢印の位置(横方向に引いてある線の0の位置)である。

左の写真の場合、71と72の間にあることが分かる。

したがって、上の結果と合わせると、台の位置は

13.71mmと

13.72mmの間にある。



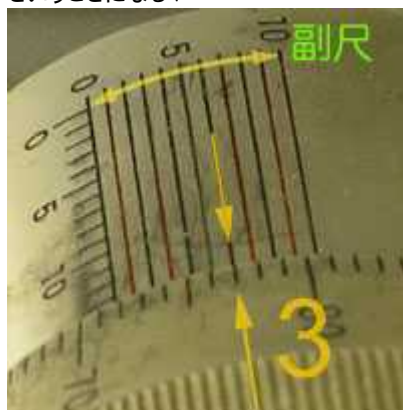
最後に、シンブル目盛りの副尺(バーニヤとも呼ばれる)を読む。(副尺についてはテキストp.10を参照)

読み方は、写真の奥から手前に引かれた10本の線のうち、もっとも主尺の目盛りと一致しているものを探すことで行う。左の写真では副尺の6がシンブル目盛りに最も一致しています。

このことから、写真の場合のマイクロメーターの読みは

13.716mm

ということになる。



例題

下の写真でのマイクロメーターの値は？

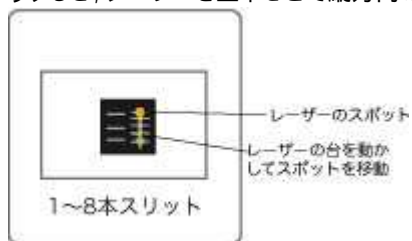


A. 12.583 mm

複数スリットによる回折

単スリットを等間隔で多数並べると回折格子になるが、数本だけ並べたときにはどうなるだろうか？
ここではスリット数を増加させていったときに、どのように回折パターンが変化するかを観察しよう。

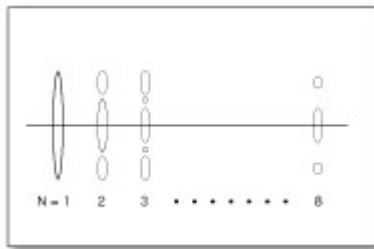
1～8本スリットを図の向き(スリットが横向き)になるようにスライドホルダーに取付けてレーザー光を照射する。こうすると、レーザーを上下させて縦方向の位置決めをするだけで次々と観察が出来るため効率的である。



レーザー光の高さの調節は下の写真のように、架台のハンドルを回すことによって行なう。



方眼紙あるいはコピー用紙をスキャナーに貼付けて、回折パターンを写し取る。一つのスリットについてスケッチが終わったら、スキャナーごと紙を少し横にずらして、次のスリットについて観察を行なう。



スケッチをするとともに、回折パターンに現れる主極大と副極大の位置と明るさを観察しよう。特に副極大の

- 個数
- 主極大に対する明るさ

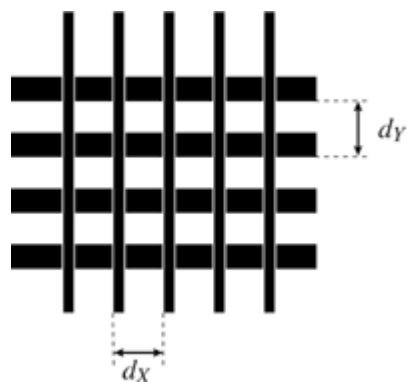
がスリットの本数の増加に対してどのように変化するかに注意すること。

2次元回折格子

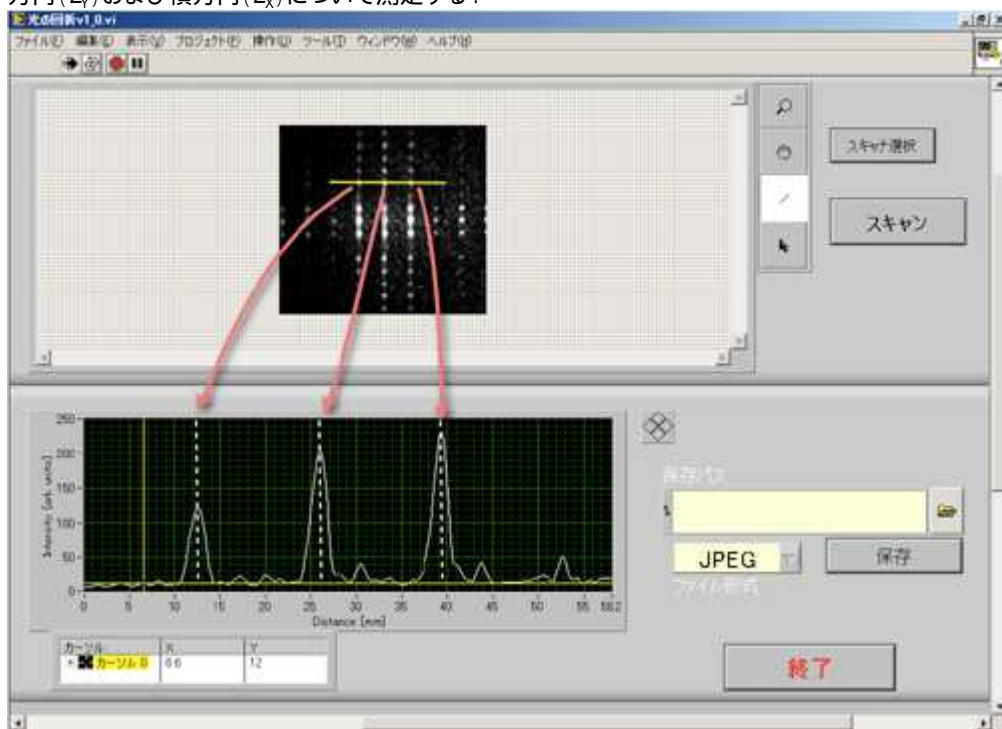
各実験台のスライドケースには $50\mu\text{m}$ から $300\mu\text{m}$ まで 6 種類の回折格子が入っている。



この中から 2 枚を選んで垂直に組み合わせ、下の写真のようにスライドホルダーに取付ける。このときの横方向の格子定数を d_x 、縦方向の格子定数を d_y とする。



これらについて、単スリットと同様にスキャナーで回折パターンをコンピュータに取り込み、スポットの間の間隔を縦方向(L_y)および横方向(L_x)について測定する。



上の作業を3通りの組み合わせについて行う。

それぞれの結果について

$d_x \cdot L_x / D$ および

$d_y \cdot L_y / D$ を計算しよう。

ただし、 D は回折格子からスクリーンまでの距離を表す。