

実験物理学セミナーの手引き③

2005/05/23

表面物理研究室 星野

今日やることは、「スリットによる平面波の干渉縞(回折パターン)の観察」です。入射平面波としては、レーザー光(赤と緑)を用います。今回使うレーザーは、出力が 5mW で非常に高輝度ですので、目に直接入ると角膜を傷めてしまい、視力が落ちたり、場合によっては失明したりことになります。また、どこかに反射した光が目に入っても同様です。たまに大学の学生実験などで、目にレーザーが入って怪我をしたというニュースを見かけますので、取り扱いには十分に注意しましょう。

まず、やることはレーザーの波長を 1 次元単スリットを使って決定することです。あらかじめ顕微鏡を用いて、スリット間隔が測定された単スリットを 3 つ用意しました。スリット幅は、それぞれ 0.12 mm, 0.20 mm, 0.41 mm です。スリットから $L=5$ m の距離に置かれたスクリーン上での干渉縞(回折パターン)の間隔と回折条件を用いて、レーザーの波長を決定します。しかし、1 回の測定では測り方による誤差などが生じやすいので、何度か測って(測定する人を変えたり・・・)、その平均を採るのがよいと思います。回折パターンを方眼紙に写し取った後、各自のノートに以下に示すような表を作ってまとめるとわかりやすいでしょう。また、スリット幅の違うスリットでも同様に調べてみましょう。

単スリット($a=$ mm)による干渉縞の間隔 (原点と暗線の間隔 mm)

測定回数	$n=-3$	$n=-2$	$n=-1$	$n=1$	$n=2$	$n=3$
1						
2						
3						
...						
平均値						

ここで n は、回折次数。

では回折条件から、レーザー光の波長を求めましょう。それっぽい値になりますか？

先々週に、パソコンを使って単スリットに対する回折強度分布を描いたと思います。それらの図と実験で得られた回折パターンを対応させて考えると、より一層分かりやすくなります。たしかに、強度の強めあう点と弱めあう点が現れており、その間隔もそれっぽいものになっていると思います。

図1は、間隔 $a=0.2\text{ mm}$ の1次元単スリットに対して、赤色レーザーを入射し、 $L=5\text{ m}$ の距離のスクリーン上で得られる回折強度のグラフです(シミュレーション値)。皆さんの計算結果もきっとこのようになったと思います。

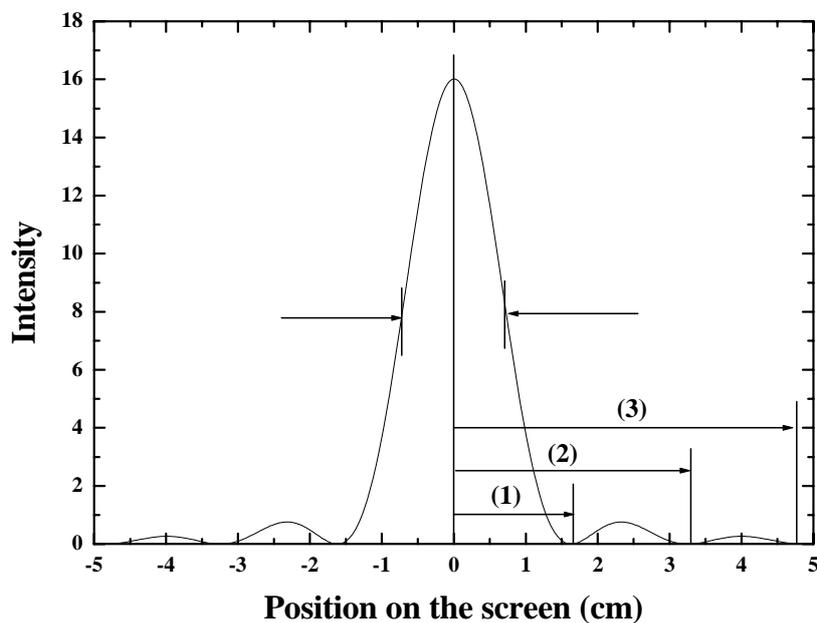


図1：単スリット($a=0.2\text{mm}$)に対して単色光を入射して得られたスクリーン上での回折強度のシミュレーション値
(スクリーンまでの距離は 500cm とした)

このように平面波をスリットを通すことによって、自分の思ったサイズに局在させることができました。この場合ですと、約 $\pm 1\text{ cm}$ の範囲に局在できたことになります。もっともっと局在させるにはどうしたらよいか？この問いに対しては、皆さんはこのように答えなければなりません。『波を局在させるためには、位相の異なるたくさんの平面波を重ね合わせなければならないので、スリットの間隔を広くする！』

では図1に示したように、第一暗線までの間隔は式ではどのように表されるのでしょうか？式で表せば、スリット間隔と干渉縞間隔の関係がより明瞭になります。この波の局在性は、波の不確定性と大きな関係があります。スリットサイズの異なるものに対する回折スポット間隔を比較することによって、波の不確定性関係を確認してください[課題]。

では、まったく同じスリット幅 $a=0.2\text{mm}$ のスリットが距離 $D=1\text{mm}$ 離れて 2 つあるとします。つまり複スリットですね。このときの強度分布は、どのようになりましたか？ 実験で得られた干渉縞とよく比較してみてください[課題]。

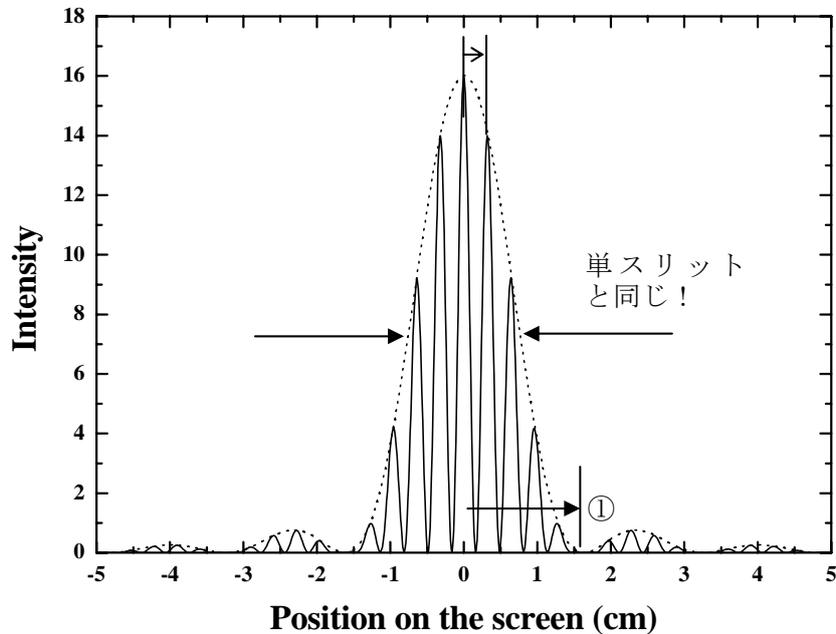


図 2：複スリット($a=0.2\text{mm}$, $D=1.0\text{mm}$)に対して単色光を入射して得られたスクリーン上での回折強度のシミュレーション値
(スクリーンまでの距離は 500cm とした)

こんなグラフになると思います。単スリットのものと比べるとちょっと似ていますよねえ。薄い点線で示した包絡線は、単スリットのものと同じです。複スリットの場合でも、図 2 に示す①の間隔を表す式の中にも複スリット間隔 D という数は出てきません。

では、複スリットの間隔 D はどこに出てくるのか？それは、細かく振動しているピークの間隔に現れます。細かく振動するピークの間隔はどんな式で表されますか？[課題]

では、僕たちが今まで習ってきたいいわゆる『回折格子』というものは、 a の値が限りなくゼロに近い場合(結晶原子による散乱ではほぼ点から回折波が出るイメージ)として考えることができます。つまり、開口の大きさ a が十分に小さければ、図 2 に点線で示した包絡線が無限に広がります。すると、回折条件として、

$$D \sin \theta = n\lambda$$

と言う式が出てくるのです(開口の大きさ a は出てきません)。

図2のグラフは、 $1/D$ の間隔で激しく振動する波(←Bragg条件)が $1/a$ 周期でゆつくりと振動する波で押さえつけられている感じです。

ここまで来ると、もう皆さんは『波の回折』に関してベテランになりました。つまり、いろいろな形のスリットや回折格子があったときに、その回折パターンを予測できることでしょう！

例えば、

- (1) 円形の単スリット
- (2) 正方形の単スリット
- (3) 長方形の単スリット
- (4) 十字型のスリット
- (5) 正方格子の回折格子(等間隔(正方形)の無数の円孔が開いたようなもの)
- (6) 三角形格子の回折格子(正三角形に無数の円孔が開いたようなもの)
- (7) などなど。

すると、逆に結晶の回折パターンを見ると、結晶の情報を得ることができることになります。(←慣れてくると…) ただ、忘れてはいけないことは、スクリーン上に現れる回折スポットは、現実の回折格子や結晶の間隔 D と逆数の関係で結ばれている点です。今後、物理学実験の多くの場面で回折パターンに出会うことになります。

これで、実験物理学セミナーの半分が終了です。このセミナーでは、各研究室を回りながら、ある一つのテーマを頭と体を使ってとことん追求して理解していくことを目的にやっています。その点では、他の講義科目とは違って単に聴くだけではなく、いろいろなアプローチ方法で主題に迫ることができたと思います。

表面物理研究室でいままでやってきたことは、

『波の性質を理解する』ということから、①平面波や球面波の性質、②平面波の重ね合わせ⇒うなりの形成(群速度と位相速度)、③多数の波の重ね合わせ⇒波の局在、④波の局在と不確定性関係 といった内容でセミナーを進めてきました。内容も、理論的内容から始め、コンピュータシミュレーションによる波の形成、レーザーを用いた波の干渉・回折実験へと進みました。最終のレポートでは、以上のようなストーリーを踏まえてまとめたらよいと思います。