

光の回折と干渉

§1 実験の目的

複スリットにレーザー光をあて、レーザー光の回折・干渉像を観測することにより、光が波動的性質を持つことを検証し、同時に光源のレーザー光の波長を求める。

§2 実験の原理

レーザー光源は極めて位相のそろった(光の波の山・谷がどれも一致している)、単一の波長の光を発生する光源である。レーザーのビーム(光束)を、そのスポット幅(光束の直径)よりも狭い間隔に切られた2つのスリットに照射する。光が粒子的性質しか持たないならば、スリットの反対側に置かれたスクリーンには近接した2つの光のスポットができるだけのはずである。

もし、光が波動的性質を持つならば、2つのスリットを通過した光は(そのまま直進するだけでなく)回折し、かつ互いに干渉し合うはずである。スリット間隔を b 、入射光とスリットから干渉像(スクリーン上の光スポット)を見た角度(即ち、回折した角度)を θ 、レーザー光の波長を λ とおくと、

$$b \sin \theta = n \lambda, \quad (n=0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (1)$$

で決定される θ 方向では2つのスリットから出る光波の位相が揃うので、強め合い、スクリーン上に明点が現れる。これを複スリットによる干渉と呼ぼう。

さらに、スリットの同じ隙間を通過した光同士が回折し干渉し合うため、上述の明暗パターンにさらに各単スリットによる明暗パターンが重ね合わされる。隣り合うスリットのスリット幅が同じであるとして、その値を a とすると、

$$a \sin \theta = m \lambda, \quad (m=0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (2)$$

で与えられる θ 方向ではスクリーン上に暗い部分が現れる。これを単スリットでの干渉と呼ぼう。

実験上は、各スリットの幅 a は隣り合うスリット同士の間隔 b より小さくする($a < b$)ので、複スリットによる干渉によって作られる明暗パターンの方が、狭い間隔で現われる。即ち、広い明暗パターン(各単スリットでの干渉)の中に、細かな明暗点が詰まった像(複スリットでの干渉)が現われるものと期待される。

本実験では特に、複スリットによる干渉パターン(細かい明暗点)からレーザー光の波長 λ を算出する。このとき、中央像(0次像)から n 番目の明点(n 次像)までの距離を Δx とし、スリットとスクリーン間の距離を l とすると、 $\Delta x \ll l$ ならば、 $\sin \theta \approx \tan \theta = \Delta x / l$ であるので、レーザー光の波長 λ は、

$$\lambda = b \Delta x / n l \quad (3)$$

と書かれる。

§3 実験方法

光源はHe-Neガスレーザー(発振波長 $0.6328\mu\text{m}$ 、ビームのスポット幅 $\approx 0.5\text{mm}$)を用いる。複スリットはアルミホイルにカッターで切り込みをいれて制作する。レーザー光をスリットに直接入射させ、その回折・干渉像をアクリルのスクリーン上で観察する。複スリットの間隔 b は読み取り顕微鏡を用いて精度 0.01mm まで測定する。スリット-スクリーン間距離 l は巻尺を用いて 0.1mm 程度の精度まで測定する。一方、干渉像の光点間距離はスクリーン上でノギスを用いて直接測定する。

[ここに装置図を挿入する]

§4. 実験結果

表1に回折・干渉像から求めた測定値を示す。スリット-スクリーン間距離、スリット間隔、像の位置は各5回の測定を行い、平均・標準偏差を算出した。

測定回数	スリット-スクリーン間距離 l [cm]	スリット間隔 b [mm]	像の幅 Δx [mm] 像の位置 $n = \square$
1	□□.□□	□.□□	□□.□□
2	□□.□□	□.□□	□□.□□
3	□□.□□	□.□□	□□.□□
4	□□.□□	□.□□	□□.□□
5	□□.□□	□.□□	□□.□□
平均値±標準偏差	□□.□□±□.□□	□.□□±□.□□	□□.□□±□.□□

表1. 複スリットによる回折干渉像での測定値

図1に実際の回折・干渉像のスケッチを示す。

[図1 ここに回折・干渉像のスケッチを挿入する。]

回折干渉像は左右対称に_____。また、光像の間隔は_____であった。

図2に作成した複スリットの顕微鏡像のスケッチを示す。

[図2 ここに複スリットの顕微鏡像のスケッチを示す。]

作成した複スリットの左右の切れ目の幅は_____であった。切れ目と切れ目の間のアルミ箔の幅と切れ目の幅を比較すると、_____になっている。

次に表1の測定値を用いてHe-Neレーザーの波長の計算を行う。(3)式を用いて波長 λ を算出すると次のようであった。

$$\lambda = \frac{b\Delta x}{nl} = \frac{\text{---} \times \text{---}}{\text{---} \times \text{---}} = 0. \text{---} \times 10^{-4} [\text{cm}]$$

次に、波長 λ の測定誤差 $\Delta\lambda$ を以下の関係式にもとづいて算出する。

$$\left| \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \right| = \left| \frac{\Delta b}{b} \right| + \left| \frac{\Delta l}{l} \right| + \left| \frac{\Delta(\Delta x)}{\Delta x} \right|$$

ここで、 λ は(3)で計算した値、
 $b, l, \Delta x$ は測定値の平均値、
 $\Delta b, \Delta l, \Delta(\Delta x)$ は測定値の標準偏差。

この結果、 λ の測定誤差 $\Delta\lambda$ は、

$$\Delta\lambda = 0. \square\square \times 10^{-4} [\text{cm}]$$

と求められた。以上から、レーザー光の波長は

$$\lambda = (0. \square\square \pm 0. \square\square) \times 10^{-4} [\text{cm}]$$

と求められた。

§5 考察

レーザー光が複スリットで回折干渉を起こしていることから、光は波動性を持つことが示された。

図1に示したように回折干渉像は左右対称であった(ではなかった)。その理由は、_____であると考えられる。

また回折干渉像の間隔は完全には一定ではないが、この理由は複スリットの切れ目の幅が_____であるためと思われる。複スリットの図2に示したように、スリットの幅と、スリット間隔の幅との差が_____であり、この影響はスクリーン上の回折干渉像に_____として現れている。

レーザーの波長の測定値と、一般に知られているHe-Neレーザーの波長 $\lambda = 0.6328 \times 10^{-4}$ [cm]とを比較すると、測定誤差の範囲での一致(不一致)を見た。この理由として考えられることは、_____。

なお、最も大きな測定誤差の原因は_____の測定である。

§6 結論

レーザー光の波動性に基づき、その回折干渉像からレーザー光の波長 λ を測定したところ、

$$\lambda = (0.\square\square \pm 0.\square\square) \times 10^{-4} \text{ [cm]}$$

と求められた。

参考

実験器具

He-Neレーザー、スライドマウント、マウント台、スクリーン、カッター、ノギス、読み取り顕微鏡、アルミホイル、トレーズ紙。

実験手順

①複スリット作成

うまくいかない例:
スリット幅が広すぎ・スリットの片側が閉じている・スリットの両方の幅のサイズが違う・切れ目がひどく捲れている(複雑な回折を起こす)。

②スリットを切ったらとにかく光を当て、干渉像が出るところが無いを探す。

できるだけレーザービームは実験台に並行に、スクリーンやスリットには垂直に入射するように。

③像が出たらデータをとる。

- まず何次像にするか決める。
- 中央の0次像からの距離 Δx をノギスで5回測り、平均値と標準偏差を計算する。データは $\Delta x = \text{平均値} \pm \text{標準偏差}$ という形式で表に書き込む。
- 次にスリット-スクリーン間距離 l を5回測定し、平均値・標準偏差を計算する。いずれも測定時の偶然誤差を見積もるためである。
- この後で、像をトレーシングペーパーに書き写す。トレーズ紙をスクリーンにそっとテープで張り付け、鉛筆などで光像をなぞって書き写す。これは後でデータを取り直すときにも使えるので、できるだけ正確に行う。

④スリット間隔の測定。

- まず、スリットの、レーザー光が当たっている位置付近にマジックペンなどで印を付ける。この場所のスリット間隔を測る。印を付けるときにスリットを變形させないように。
- スリットを読み取り顕微鏡のステージ上に置き、照明を動かしたりしながら、スリットの形状をよく確かめる。これはノートにスケッチして、レポートでもスリットの形状と光点の特徴を関連付けて考察しよう。スクリーン上に観察されるのは、実際には様々な干渉像の重ねあわせである。
- スリット間隔は3回以上測定して平均値・標準偏差を計算する。

⑤レーザー光の波長の計算

- (3)式を用いてレーザーの波長 λ を計算する。
- λ の測定誤差 $\Delta \lambda$ を以下の関係式を用いて計算する。

$$\left| \frac{\Delta \lambda}{\lambda} \right| = \left| \frac{\Delta b}{b} \right| + \left| \frac{\Delta l}{l} \right| + \left| \frac{\Delta(\Delta x)}{\Delta x} \right|$$

ここで、 λ は(3)で計算した値、
 $b, l, \Delta x$ は測定値の平均値、
 $\Delta b, \Delta l, \Delta(\Delta x)$ は測定値の標準偏差。

結論（うまくいったときの）

複スリットにレーザー光を入射したところ回折・干渉像が得られた。この像の光点間距離を実測したところ、レーザー光の波長は $\lambda = \text{---} \pm \text{---}$ (m) と計算された。これは測定誤差の範囲で正しい波長 $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$ と一致するものであった。以上のことから光の波動性が検証された。

[注意]

- ①ノギスの精度は0.05mm、読み取り顕微鏡は0.01mm。アルミホイルをカッターで切るとスリット幅は0.01~0.05mm程度。複スリットの間隔は0.5mm以下になるように何度も作ること。
- ②スリット-スクリーン間距離を十分長く取るため、向かい合った実験台2台の上で対角線上に光路をクロスさせて実験しよう。7.5mの巻尺もあるぞ。
- ③スリット-スクリーン間距離を巻尺で測るとき、巻尺先端の金具をスクリーンなどに引っかけて測らないこと。巻尺を伸ばして、2人で同時にスリットとスクリーンの位置を読み、その差を両者の距離とする。これを**最低5回繰り返して平均値・標準偏差を取る**。
- ④レーザービームを決して直視しないこと。また、ビームを出したままレーザーを動かさないこと。

作品例

1

[お品書きに戻る](#)