1. 実験目的

・ レーザーを使った簡単な実験によって、光の反射と偏光について考察する。

・ レーザーの波長を測定する。

1. 実験原理

〈実験装置〉

1. 半導体レーザー：約1mWの赤い光（波長約670nm）を出す。
2. ヘリウム・ネオンレーザー：0.5ないし３mWの赤色、橙色、黄色、緑色のいずれかの光を出す。
3. 偏光板：特定の方向（透過容易軸）の光の成分だけを透過する。
4. 測光器：入射光強度に比例した電流を発生する検出器と、電流を電圧に変換する演算増幅器からなる。電圧は電圧計を接続して読む。
5. 電圧計と接続コード・金尺・竹尺・回転台
6. ガラス板：裏面からの反射をなくすために裏面を黒く塗ってある。

〈レーザーの波長〉

原理

金尺の目盛りがスリットの役目をし、金尺に反射されたレーザー光は干渉を起こし、同位相の点が輝点としてスクリーン上に現れる。次の図のように各長さを定めると、波長λは

（ｄ：目盛りの間隔 lm：原点からｍ番目の輝点までの距離）

の式により近似される。

1. 実験方法

〈偏光〉

1. 半導体レーザーと検出器の間に1枚の偏光板を置き、偏光板の回転角φを変えることによって透過光強度を測定した。
2. 偏光板を枠ごと回転させて、透過容易軸を偏光方向と正確に直角（φ＝90°）にした。次に、偏光板だけφ＝０°からφ＝９０°まで５°ずつできるだけ正確に回転し、その強度を測定した。φ＝１のときの強度を１として、φと強度の関係をグラフに表した。

〈反射率〉

1. 半導体レーザー、ガラス板、スクリーン（ノート）を図１のように配置した。まず、レーザーの偏光方向が実験台の面に垂直の場合に、反射光の明るさが入射角θ（0°＜θ＜90°）によってどのように変化するか大まかに観察した。次に、偏光方向を実験台の面に平行にして同様の観察をした。
2. スクリーンを取り除き、測光器を用いて入射光と反射光の強度を測定した｡このとき、ガラス板は５°ずつ回転させた。θ＝90°のときの強度を1としてθと反射率の関係をグラフに表した。

図 1

＜レーザーの波長＞

1. ヘリウム・ネオンレーザー光を金尺の目盛りのついた部分（図２のＡ）に、入射角が90°に近くなるように当て、0.50ｍ先のスクリーンに映る輝点（原点からの距離）の位置を測定した（原点は金尺のないときにレーザー光の当たる点）。
2. 金尺を上下にずらして、レーザー光の当たる部分が下図のＡからＢに変わるとき、スクリーン上の輝点がどのように変化するか観察した。

図 2

1. 1番明るい輝点より内側にも輝点は現れるか金尺の角度を変えることで観察した。

〈実験中に注意したこと〉

* レーザーが目に入らないように注意した。
* 偏光板・ガラス板の角度をできるだけ正確に変化させて、慎重に測定をした。
* 反射光がすべて測光器の中へ入るように注意した。

1. 実験結果

〈偏光〉

偏光板回転角と透過光強度の関係を表1と図３にまとめる。

表 1 偏光板回転角と透過光強度のグラフ

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **φ（度）** | **強度（V）** | **相対比** |
| 0 | 2.80 | 1.00 |
| 10 | 2.60 | 0.93 |
| 20 | 2.05 | 0.73 |
| 30 | 1.63 | 0.58 |
| 40 | 1.30 | 0.46 |
| 50 | 0.97 | 0.35 |
| 60 | 0.63 | 0.23 |
| 70 | 0.32 | 0.11 |
| 80 | 0.10 | 0.04 |
| 90 | 0.02 | 0.01 |

〈反射率〉

入射角θと反射率の関係を以下にまとめる。

表２ 偏光方向が面に対し垂直の場合

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| θ（度） | 強度（V） | 反射率（％） | θ（度） | 強度（V） | 反射率（％） |
| 10 | 0.11 | 3.73 | 50 | 0.33 | 11.19 |
| 15 | 0.12 | 3.90 | 55 | 0.44 | 14.92 |
| 20 | 0.12 | 4.07 | 60 | 0.56 | 18.98 |
| 25 | 0.14 | 4.75 | 65 | 0.66 | 22.37 |
| 30 | 0.16 | 5.42 | 70 | 0.84 | 28.47 |
| 35 | 0.17 | 5.76 | 75 | 1.40 | 47.46 |
| 40 | 0.25 | 8.31 | 80 | 1.90 | 64.41 |
| 45 | 0.26 | 8.81 | 85 | 2.62 | 88.81 |

（ⅰ） θは入射角。

（ⅱ）反射率の基準値はθが90°のときの値で、2．95とした。ただし、実際はガラス板を用いないで直接測定したので表には載せなかった｡

表3 偏光方向が面に対し平行な場合

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| θ（度） | 強度（V） | 反射率（％） | θ（度） | 強度（V） | 反射率（％） |
| 10 | 0.09 | 2.88 | 50 | 0.01 | 0.34 |
| 15 | 0.09 | 2.88 | 55 | 0.00 | 0.00 |
| 20 | 0.08 | 2.71 | 60 | 0.02 | 0.68 |
| 25 | 0.07 | 2.44 | 65 | 0.04 | 1.29 |
| 30 | 0.06 | 2.14 | 70 | 0.15 | 5.19 |
| 35 | 0.05 | 1.69 | 75 | 0.35 | 11.69 |
| 40 | 0.04 | 1.29 | 80 | 0.84 | 28.51 |
| 45 | 0.02 | 0.68 | 85 | 1.64 | 55.59 |

〈レーザーの波長〉

1. 原点からの輝点の距離を表3にまとめる。

実験結果より、ヘリウム・ネオンレーザーの波長λは

と求められた。

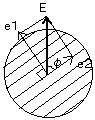
1. 金尺を上下にずらすことで、レーザーの当たる部分をAからBへと変化させると、輝点の間隔は狭くなった。
2. 一番明るい輝点の内側にもうっすらとだが点が現れていた。
3. 検討および考察

〈偏光板に関する考察〉

光は多数の原子、分子から発せられる光波の集まりである。こういった集団では各々の光波の振動方向はまちまちであって、平均としては光の進行方向と垂直な面内においてあらゆる向きに均等に分布しているとみなしてよい。このような光の束を偏りのない光という。これに対して物体の面で反射した光は多少振動の方向が揃っている。この現象を偏光と呼ぶ。とくに振動が一方向に定まっている光を直線偏光または平面偏光という。

図 ３から明らかなように、φ＝０°からφ＝９０°へと偏光板を回転していくと徐々に光を通す量が減っていき、φ＝９０°では完全に光を通さなくなってしまう。偏光板とはある特定の方向の光の成分しか通さないものなのでこれは当たり前の結果である。そこで、なぜ偏光板がある特定の方向の光しか通さないのか詳しく検討してみる。

いま、レーザーから実験台に垂直な成分の光Eが出ている場合を考える。偏光板は、偏光板の縞模様に平行な成分の光だけ通すことができるものとする。下図のように偏光板の縞模様に平行な方向e１の成分、すなわちE･e１cosφは明らかに偏光板を通過することができるが、垂直な方向e２の成分、すなわちE･e２sinφは偏光板を通過することができない。したがって、偏光板は特定な方向の光しか通すことができない。

言い換えれば､Ｅの式は



とおけるが、偏光板は右辺の第2項を除いてしまい、第1項だけを通すのである。

ところで、光は波動性を持っているので、光の強度は光という波のエネルギーとして考えることができる。このエネルギーをI、光の振動の振幅をEとすると

という関係が成り立つことが分かっている。これより

θ＝０のときの強度を*I*０とすると、



が成り立つ。透過光の振幅は入射光のそれのcosθ倍になっているので、振幅の2条に比例する光の強度はcos２θ倍に減少する。透過光の強度*I*はこれをマリュスの法則という。

以上より、透過容易軸に平行な方向をeとすると偏向角φのときの光の強度は

となり、φ＝０°のときの光の強度をI０とすると、光の相対強度は

となる。

図３のグラフは（ⅰ）のようなグラフであり、理論と実験の結果がほぼ一致することが確認できた。

〈光の反射についての考察〉

図４のグラフから明らかなように、レーザーの偏光方向が実験台に垂直なときは入射角が９０°に近づくに連れて反射率は上がっていっている。しかし、偏光方向が実験台に平行なときは入射角が５５°までは徐々に反射率が下がっていくが、５５°からは急激にが上がっていっている。光の偏光方向によってどうしてこのような違いが出てくるのか詳しく検討してみる。

　光は透明体の表面で発射されるとき一部偏光が起こり、特定の角度では完全な偏光となる。Ⅰの媒質を進む光がⅡの媒質との境界面で反射および屈折するとする。入射光および反射光に対する電場に振幅をそれぞれ*Ａ*，*Ｒ*とする。これらの振幅を入射面に垂直な成分ｓ(縦波)と、面内の振動成分ｐ(横波)とに分けると、比*Ｒ*ｐ/*Ａ*ｐおよび比*Ｒ*ｓ/*Ａ*ｓは入射角***ｉ***によって違ったように変化する。入射角と反射率との関係を表すグラフからも明らかなように、横波ではある角度のとき反射がまったくなくなる。したがって、この角度で入射した光の反射光は垂直成分だけをもった直線偏光となる。反射光が完全に偏光する角度を偏光角と呼ぶ。偏光角は

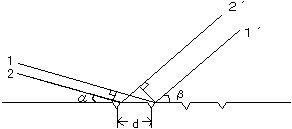


を満たす角度である。偏光角を定める上記の関係式をブリュスターの法則という。のガラスでは偏光角は約55．4°である。今回の実験では光を反射させたガラスの屈折率がわからないので、この値をある程度理論値として採用することにする。では実際に、θに55°を代入してみると



となり、理論値との誤差は 0.015 となる。これより、今回のこの実験は正確に行なえたことがわかった｡

〈レーザーの波長の導出式について〉



（α、βはラジアン）

上図を用いて波長の導出式について考える。

1－1´、2－2´の光路差は、d(cosα－cosβ)、α、βは1に比べて十分に小さいので

を用いて

よって mλ= d / 2 (β＋α) （ m = 1，2，3，…） が成り立つ。

Lは十分に長いので βm + α ≒ lm / L

特にm = 0のときは β0＝α より β0 ＋α ＝ 2α＝ l0 / L

よって βm ― α＝ ( lm ― l0 ) / L

以上より

となり、波長を求める式が導き出される。

実験結果を上式に代入して波長λを求めると λ＝698nm となった。実際のヘリウム･ネオンレーザーの波長は λ＝670nm であり、精度（相対誤差）は

(698 – 670)(nm)÷670 (nm)=0.041

となった。

誤差の要因

* 輝点がぼやけていて正確に輝点と輝点の幅が分からなかったこと。
* Lを金尺を用いて測ったため、正確な長さが分からなかったこと。
* スクリーンがよれていた。

特にLは２乗するので計算結果に大きく関係したと思う。

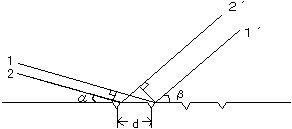
〈輝点と輝点の幅が変化する理由〉

dを0.5 (mm)から1.0 (mm)に変化させることは、dを2倍することである。d＝1.0 (mm)のときの波長の導出式を

として

を固定する。つまり中心から同じ位置の輝点について考えると

つまり、d=0.5 (mm)でm番目の輝点であったものはd=1.0 (mm)に変えると2m番目の輝点となってしまうため輝点の幅は狭くなる。

〈1番明るい輝点よりも内側に輝点が現れる理由〉

内側に点ができるのは上図でα＞βとなるときである。入射角が90°に近いときは、α＞βとならないから外側にしか輝点はできない。しかし、入射角が90°より小さくなっていくとα＞βとなる場合ができ、そうなると光路差がd ( cosα－cosβ)とd ( cosβ－cosα)の2通りができ、内側にも輝点が現れた。