実験目的

* 光の性質である反射と偏光について学ぶ。
* レーザーの波長を測定する

実験原理

　光は電磁波の一種で、電場ベクトルと磁場ベクトルを伴いながら、進行する。ちなみに電場ベクトルの方向をX軸方向、磁場ベクトルの方向をY軸方向とすると、光の進行方向はZ軸方向となる。

　光が物質に入ったり、反射されたりする段階において光は、光自身の電場により物質内の電子を強制振動させるために、つまり、光の電磁場と物質の分極との相互作用によって、偏りが生じる。その光の偏りのことを偏光という。

　偏光の中でも進行方向に垂直に振動し、その上、振動方向が進行方向を含む一平面上に限られている光を平面偏光（直線偏光）という。平面偏光を作り出すときは偏光器が使われる。これは過ヨウ化キニーネなどの針状結晶の主軸（偏光器に固有な光振動の方向を指す。）をお互いに直角になるように重ねると、ほぼ完全に光は吸収されてしまう。これは、光が縦波ではなく、横波であるからである。反射の現象も波の性質から説明できる。ホイヘンスの原理によって、入射角＝反射角という反射の法則も説明することができる。このことからも、光が波であることがわかる。回折は波特有の現象である。ホイヘンスの原理によって、説明され、障害物の背後にも波が回りこめるという現象である。

実験方法

①偏光

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を変えて透過光強度を測定する。まず、偏光板を枠ごと回転させて、透過容易軸と選考方向とを正確に平行（φ＝０°）とする。次に偏光板だけを１０°ずつ回転させて検出器でその変化を読み取る。測定では10°ごとで行った。

＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

図１（偏光の実験図）

半導体レーザー

偏光板

検出器

＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

②反射率

半導体レーザー、ガラス板、検出器（増幅器も兼ねる）、電圧計を図２のように配置する。半導体レーザーの偏光板で偏光したレーザー光をガラス版で反射させる。反射光の強度を10°ごと（10°～90°）に測定する。偏光板の向きを90°かえ、同様の実験を行う。そのことにより、偏光と反射率の関係を調べる。

＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

図２（反射の実験図）

半導体レーザー

検出器

ガラス版

電圧計

＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

③レーザーの波長

(a)図３の様にヘリウム・ネオンレーザー光を金尺の目盛のついた部分に、入射角が９０°に近くなるように当て、Lcm先のスクリーンに映る輝点の位置を測定する。金尺が無いときのレーザー光のあたる点を原点として、一番明るい点をそれより外側の点の位置を順次,…とする。



によって波長λを計算する。ここで、dは金尺の目盛の間隔、Lは反射角からスクリーンまでの距離である。

　(b)金尺をさかさまにしてレーザー光があたる部分を1mm間隔から0.5mm間隔へと変化させて観測する。

　(c)いちばん明るい点より内側に点が現れるか観察する。

＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

図３（波長測定の実験図）







ヘリウム・ネオンレーザー

Ｌ

実験結果

1. 偏光

表１：偏光角と透過率

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 偏光角θ（度） | 出力V０ | 透過率 | Cos２θ |
| 0 | 1.58 | 1 | 1 |
| 10 | 1.49 | 0.94304 | 0.9698 |
| 20 | 1.37 | 0.86709 | 0.883 |
| 30 | 1.16 | 0.73418 | 0.75 |
| 40 | 0.85 | 0.53797 | 0.5868 |
| 50 | 0.68 | 0.43038 | 0.4131 |
| 60 | 0.38 | 0.24051 | 0.25 |
| 70 | 0.19 | 0.12025 | 0.1179 |
| 80 | 0.078 | 0.04937 | 0.0301 |
| 90 | 0 | 0 | 0 |

これをグラフ化すると、

図 ４　偏光角と透過率

まず実験①偏光について考えたい。偏光とは、光の振動する方向がひとつに決まっていることをいう。偏光板は、光の特定方向の成分だけを透過する性質をもつ板のことで、その方向のことを、透過容易軸と呼ぶ。偏光板に透過容易軸に対して傾いた偏光をもつ光が入ると、透過容易軸と平行な成分のみが偏光板を通過し、そうでない部分は遮断される。よって、光の振動方向と、偏光板がなす角度をθとすると、透過光の振幅は、(透過前の振幅)×cosθであらわされる。また、光の強さは振幅の２乗に比例するので、

(透過エネルギー)＝ｋ×{(透過前の振幅)cosθ}2　(ｋ：定数)

とあらわせる。今回の実験では、θ＝０のときの強度を１とすることにより、ｋ＝１と定めた。よって理論値はcos2θとなる。しかし実際のcosθとが異なる。

では誤差の原因を考えてみたい。

1. 偏光板を手で動かしたために不正確であった
2. 検出器は蛍光灯の光のエネルギーも測定してしまうため
3. 初めから偏光板とレーザー光が垂直にならない

などがあげられる。

①は偏光板の目盛も読み取りにくく、ある程度までの精度でしか測れなかった。②はレーザー光を当てていないときも蛍光灯のエネルギーが観察していた。従って実験①の角度が９０に近いところではほとんど蛍光灯のエネルギーを測定していたことになる。

1. 反射率

　　　　表２：反射角と反射率（偏光板が縦の場合）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 反射角θ(度) | 出力V | 反射率 |
| 90 | 2.78 | 1 |
| 80 | 1.42 | 0.510791 |
| 70 | 0.74 | 0.266187 |
| 60 | 0.34 | 0.122302 |
| 50 | 0.08 | 0.028777 |
| 40 | 0.2 | 0.071942 |
| 30 | 0.14 | 0.05036 |
| 20 | 0.07 | 0.02518 |
| 10 | 0.06 | 0.021583 |
| 0 |  |  |

　　　　　　　　　図５　反射角と反射率（偏光版がたての場合）

表３：反射角と反射率（偏光板が横の場合）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 反射角θ(度) | 出力V０ | 反射率 |
| 90 | 2.7 | 1.00000 |
| 80 | 0.475 | 0.17593 |
| 70 | 0.08 | 0.02963 |
| 60 | 0 | 0.00000 |
| 50 | 0.008 | 0.00296 |
| 40 | 0.032 | 0.01185 |
| 30 | 0.052 | 0.01926 |
| 20 | 0.072 | 0.02667 |
| 10 | 0.07 | 0.02593 |
| 0 |  |  |

　　　　図６　反射角と反射率（偏光板がよこの場合）

偏光方向が反射板に垂直の時は角度が増すと光の強度が増加していることがわかる。一方平行だった場合は50°くらいの時に最も光の強度が弱まり、その後は増加する傾向がグラフから読みとれる。

ガラスなどに反射した光は振動方向が入射面に垂直な偏光になる。この時、反射光の中の偏光の割合はその入射角によって決まる。この角度をブリュースター角という。ブリュースター角は屈折率ｎの物体で、tanθ=ｎで与えられる角度である。θは物質の屈折率ｎによって決まっている。この時反射光と透過光は垂直の関係にある。

この実験では、反射板と測定器の間に距離があり、角度ごとでレーザー光の測定点に違いがあったため正しい結果が得られたかは疑問である。測定器の形状をもって測定しやすいものにすればより正しい結果が得られると思う。

1. レーザーの波長

表４：ｍ（次）とｌｍ(ｌ－ｌ０)[0.5mm間隔]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| M（次） | ｌｍ[cm] | ｌｍ(lｍ-l０)[cm] |
| 0 | 8.25 | 0 | 7 | 11.4 | 35.91 |
| 1 | 8.8 | 4.84 | 8 | 11.6 | 38.86 |
| 2 | 9.15 | 8.235 | 9 | 11.95 | 44.215 |
| 3 | 9.45 | 11.34 |
| 4 | 9.9 | 16.335 |
| 5 | 10.5 | 23.625 |
| 6 | 11.05 | 30.94 |

図７　d=0.5[mm]におけるlm(lm-l0)とｍの関係

図７より、a=0.00486である。



表５：ｍ[次]とlm(lm-l0)[cm]の関係[d=1mmのとき]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| m | l[cm] | l(l-l)[cm] |
| 0 | 3.15 | 0 |
| 1 | 3.75 | 2.25 |
| 2 | 4.25 | 4.675 |
| 3 | 4.6 | 6.67 |
| 4 | 5 | 9.25 |
| 5 | 5.3 | 11.395 |
| 6 | 5.65 | 14.125 |
| 7 | 5.9 | 16.225 |
| 8 | 6.15 | 18.45 |
| 9 | 6.4 | 20.8 |

　　　　　　図８　ｍ[次]とlm(lm-l0)[m]の関係[d=1mmのとき]

同様に計算すると、



実験の測定値から求めたレーザーの波長と理論値を比較してみる。

理科年表で調べたところ、He－Neレーザーの波長は0.633μmであった。

誤差＝[d=0.5mmのとき]

誤差＝

両者の値を比較してもほぼ正確な値であるということができると思うが、やはり多少の誤差は生じてしまった。その理由として考えられることとしては、まずスクリーンに映し出した輝点が一定の大きさを有するため、正確な距離lmが測定しづらかった。また、金尺の角度が大きかったとも考えられる。

金尺のメモリの0.5mmの部分ではなく、1mmの部分を使用したら、スクリーン上の輝点の間隔が狭まった。金尺のある目盛と、その隣の目盛にあたって反射している光の行路差は、

ｄ(cosα－cosβ)

である。また、ｘが十分に小さいときは、

cosｘ＝１－(1/2)ｘ2

と近似できるから、光路差は、

d/2(β2－α2)＝d/2(β＋α)(β－α)　……①

といえる。ここで、光路差が波長の整数倍に等しいとき、波は互いに干渉し、その強度を増すので、ｍ次回折光の角βmは、

ｍλ＝d/2(βm＋α)(βm－α)

といえる。また、図３にあるとおり、Ｌが十分大きければ、

α＋βm＝ｌm/Ｌ

と近似できる。特に、０次式については、α＝β0だから、

２α＝ｌ0/Ｌ

といえるので、①式に代入すると、

λ＝ｄｌm(ｌm－ｌ0)/２ｍＬ2

よってｄの値が増加すると、ｌｍのあたいは小さくなることが数式より証明された。

今回の実験で、金尺が回折格子として使えるのは、目盛の部分で光が乱反射するからである。

最も明るい点の内側に輝点が現れたこれなぜか

２つの光の光行差が±d(cosα－cosβ)と２通りあらわれるからである。入射角が90°付近（＝αが微小なときはα＜βとしかならないが、入射角が90°から減少していくとα＞βとなる場合がでてきて、そのときに光路差が２とうりできて最も明るい輝点の内側にも輝点が生じる。

感想

　今回の実験で光に対する理解が深まったのでよかったと思う。レーザーの波長が比較的良い値が出たので良かったと思う。