**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学ぶ。また、レーザーの波長を測定する。

**実験原理**

光の実験でレーザー光を使用する意味

1. レーザー光は、出射光に対してビーム状に広がる。（拡散しない）
2. 光の色は波長νによって作用するがレーザー光は単色性なので一定である。（He-Neレーザーの場合、波長は670nmである。）
3. レーザー光は単色性なのですべての波において、波の波長は一定であり、波は、同じ位相を通過する。これを干渉性という。

これらの３つのレーザー光の性質を利用して、実験を行った。

**A：偏光実験**

　半導体レーザーから出射される偏光は光の振動する方向がひとつに決まっている。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である。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、偏光板が成す角度をθとすると、透過光の振幅は、(透過前の振幅)×cosθで表せる。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)**

**B：反射実験**

　光は物質に当たって跳ね返る。これを反射という。もし、反射する対象がガラス板の場合、屈折率約１の空気中から屈折率約1.4564のガラスにおいて入射角θ＝反射角θで反射するとき、反射光の電界の強さの透過率は地面に対して垂直な波の成分S波成分の反射率と、地面に対して平行な波の成分P波成分の反射率は、入射角＝反射角＝θ、屈折角＝θ‘とすると

　　　と表すことができる。　　（フレネルの公式という。）

S波と、P波の成分の反射係数が異なるために、反射光は部分偏光になっている。部分偏光とは、あらゆる方向の振動を含むがその分布が一様でない光のことをいう。そして、ある特定の角度θPの時には、P波成分の光は反射せず、反射光はｓ波成分のみの完全偏光となる。この時の角度θPをBrewster（ブルースター）角という。

**C：回折実験**

下図のような反射面で、反射面と入射光，反射光がそれぞれα，βの角をなすとき、隣り合う2つの光路差はd(cosα－cosβ)で表せる。ここで、xが十分に小さければ、

したがってα，βが十分に小さいとき、光路差は

で近似出来る。光路差が波長λの整数倍に等しいとき、反射光の各要素が互いに強め合うように干渉して、スクリーン上に輝点を生じる。したがってm次の回折光の角βmはを満足する。

また、

（図：金尺の反射面）

このとき、m＝0ならば、α＝β0なので



ここから、

となり、これらの式をまとめると、周波数を求める式、

　　が近似式として求まる。

実験方法

準備として･･･

実験前の準備として、半導体レーザー，光検出器の動作確認を行った。

半導体レーザーの端子を電圧計に接続した。このとき黒い方を１０Vで接続した。ここで半導体レーザーの電源を入れた時に、2.5V以上を示せば正常に動作していることを確認した。また、光検出器の端子を電圧計に接続した。このとき黒い方を１０Vで接続した。ここで光検出器の電源を下に入れた時つまり電池確認にした時に、8V以上を示せば正常に動作していることを確認した。

**A:偏光実験**

1. 半導体レーザーの偏光子を地面と垂直にして、スイッチを入れ、レーザー光が正面から当たように測光器の光センサーを合わせた。その時、電圧計が振れれることを確認した。
2. 図のように半導体レーザーと検出器の間に一枚の偏光板を置き、偏光板の回転角φを10°ずつずらしながら透過光強度を測った。
3. φ＝０°の時の強度を１として、φとの強度の関係をグラフに表した。

**B:反射実験**

①レーザー光を反射させたとき、光の強度がどのように変化するかを調べるために、半導体レーザー，ガラス板，検出器を次項のように配置した。

②レーザーの偏光方向が実験台の面に垂直の場合に、反射光の強度（電圧）が入射角θ（θ＝0,10,20,30,40,45,50,55,60,65,70,80,90を測定）によってどの湯に変化するかを調べた。

1. レーザーの偏光方向が実験台の面に平行の場合に、②と同様の作業をした。
2. 二つの偏光方向のそれぞれの場合についてθと反射率の関係をグラフに書いた。

**C:回折実験**

①He-Neレーザーをスクリーンに対して垂直に置いてスイッチを入れ、レーザーの当たっているところに印をつけて原点とした。

②下の図のようにHe-Ne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、L=530mm先の画用紙に写る輝点の位置を測定した

③原点に最も近い明るい点を0とし、原点までの距離をl0とした。ここで原点からm+1番目に近い輝点をmとして、lmを定規で測定した。mは１０まで取った。

1. 実験結果から波長λを次の式を使って求めた。



このときdは金尺の目盛の間隔を示していて、今回は0.5mmと1.0mmの二通りを行った。

**実験結果**

**A：偏光実験**

**表１：偏光角と透過率の関係**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| φ° | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| 電圧E[V] | 2.62 | 2.54 | 2.32 | 2.00 | 1.55 | 1.20 | 0.75 | 0.39 | 0.12 | 0.003 |
| 透過率T | 1.000 | 0.969 | 0.885 | 0.763 | 0.592 | 0.458 | 0.286 | 0.149 | 0.046 | 0.001 |
| φ | 1.000 | 0.970 | 0.883 | 0.750 | 0.587 | 0.413 | 0.250 | 0.117 | 0.030 | 0.000 |

φ°＝偏光角　　　　透過率＝とした。

**B：反射実験**

**表2：入射角と反射角、および、反射率の関係**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 入射角θ | 10 | 20 | 30 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 80 | 90 |
| S波電圧 | 0.190 | 0.230 | 0.281 | 0.380 | 0.410 | 0.530 | 0.620 | 0.880 | 0.930 | 1.420 | 2.500 | 4.400 |
| P波電圧 | 0.170 | 0.143 | 0.112 | 0.036 | 0.060 | 0.020 | 0.002 | 0.018 | 0.072 | 0.230 | 1.180 | 4.400 |
| S波反射率R | 0.043 | 0.052 | 0.064 | 0.086 | 0.093 | 0.120 | 0.141 | 0.200 | 0.211 | 0.323 | 0.568 | 1.000 |
| P波反射率R | 0.039 | 0.033 | 0.025 | 0.008 | 0.014 | 0.005 | 0.000 | 0.004 | 0.016 | 0.052 | 0.268 | 1.000 |

反射率Rは,とした。

**C:回折実験**

**表３－１：金尺目盛りd=0.5のときのスクリーンの点と波長の関係** ※

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ｍ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| [mm] | 4.35 | 5.35 | 6.12 | 6.81 | 7.45 | 8.00 | 8.52 | 9.01 | 9.41 |
| [mm] | 7.178 | 14.18 | 20.93 | 27.99 | 35.39 | 42.40 | 49.59 | 56.85 | 63.14 |
| λ[nm] | 663.600 | 655.395 | 645.044 | 646.937 | 654.355 | 653.353 | 654.934 | 657.049 | 648.639 |

**表３－２：金尺目盛りd=1.0のときのスクリーンの点と波長の関係**※

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ｍ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| [mm] | 3.85 | 4.55 | 5.05 | 5.55 | 5.95 | 6.30 | 6.70 | 7.01 | 7.32 |
| [mm] | 3.658 | 7.508 | 10.86 | 14.71 | 18.15 | 21.42 | 25.46 | 28.81 | 32.35 |
| λ[nm] | 676.313 | 694.111 | 669.224 | 679.895 | 671.135 | 660.133 | 672.549 | 665.937 | 664.744 |

とし、 Ｌ＝530[mm]とした。

ｍ－グラフとして、最小自乗法を行った。



より、

d=0.5のとき、A=7.06018833、B=－0.006919444

d=1.0のとき、A=3.57693166、B=0.217897222となった。

このとき、と近似できるので、

d=0.5のとき、λ＝628.354[nm]

d=1.0のとき、λ＝636.691[nm]となった。

実験考察

**A:偏光実験**

実験原理で述べたように、光の強度＝ｋ{(透過前の振幅)cosθ}2　(ｋ：定数)

と表せる。今回の実験では、θ＝０のときの強度を１と定めたので、て理論値はcos2θとなる。

グラフ１をみると、ほぼ、同じような概形が描かれているが、多少の誤差が生じている。そこで、誤差要因と解決方法を考察してみた。

①偏光板の角度調節による誤差

　　 実験における偏光板は古かったせいか、なかなかうまく角度調節が出来なかった。また角度目盛りが5度ずつだったので、検定誤差が生じていたことも考えられる。解決方法として、もっと、角度がしっかりとはかれる偏光板を使用すれば実験精度がよくなると思う。

②測光器で完全にレーザー光を拾えきれていない可能性

測光器がレーザー光に対してしっかり、平行に入っていないことが考えられる。実験では、測光器とレーザーは目分量で直線上にならべていた。目分量だったので当然のことながら誤差は生じるはずである。しっかりとした直線上で行うためには、レーザー、偏光板、測光器を一本のレールに固定して行えば、確実に一直線上になる。

③部屋の照明として使っていた蛍光灯の光も光検出器でわずかに取っていた

測光器を蛍光灯に向けたとき、少し、電圧計がふれた。表１からわかるように、φ°＝０のとき、V≠０だったので、おそらく、蛍光灯の光が測光器に入り込んだものと思われる。測光器に光が入り込まないようにするためには、暗室での実験をするのが望ましい。

**B:反射実験**

結果を見ると、地面に対して垂直なときのほうが、平行な場合よりも反射率が高いことがわかる。また、平行なとき、入射角が約５５度の時に反射率は限りなく０に近づいた。なぜ、このような現象がおきたかを考えてみる。

実験では、自然光ではなく偏光を使用したので、偏光方向を実験台に平行にしたとき、垂直方向の成分がなかったために、実験原理で述べたブルースター角＝になった時、反射光が観察されなかたのである。このブルースター角が実験で使われたガラスでは50度から60度の間にあったものと考えられ、それが原因でその区間で一度、反射率が0に近づいた。

一方で、ブルースター角の理論値は、反射光の電界の強さの透過率は地面に対して垂直な波の成分S波成分と、地面に対して平行な波の成分P波成分は、入射角＝反射角＝θ、屈折角＝θ‘とすると実験原理より、

　　　と表すことができる。

では、P波の反射率が０になるので、＝０でなくてはならない。この式を満たすためには、→∞のときである。よって、＝、入射角もとなる。よって、snellの法則に代入すると、

となり、ブルースター角はを満たすとなる。ここで、空気の屈折率を＝１とし、ガラスの屈折率を1.4564とすると、これを満たすは56.3°として計算される。

実験結果では、55°のとき限りなく0に近づいていることからかなり、精度の高い実験ができたと思う。しかし、理論値が＝56.3としているのは少々疑問が残る。というのは、空気中における屈折率は１より大きい値をとるはずである。だから＜56.3となるはずである。よって、実験値を満たすことが確認できる。

では、実験値で求めたブルースター角＝５５°の空気の屈折率を考えてみよう。

より、空気の屈折率は、1.01981となり、

空気の屈折率＞１　を満たしている。

　よって、以上より、理論値と実験値の誤差は、理論値の計算において、空気の屈折率＝１としていた事に問題があったと思われる。

**Ｃ：回折実験**

今回の実験はHe-Neレーザーの波長がわかっていない状況で、波長を測定するという作業だった。実験結果は最小自乗法を利用した所、d=0.5のときλ＝628.354[nm]、d=1.0のときλ＝636.691[nm]となってしまった。同じ光を使用したのにもかかわらず、このような違いが出てしまったことについて考察する。

1. スクリーンまでの距離が正確でない。

レーザー光と金尺が入射角がほぼ90°だったので、金尺の目盛りの数センチ分の所に光が当たってしまっていたのでスクリーンから正確な距離が測れなかった。特に、スクリーンまでの距離は波長を求める時に、2乗するので、誤差が生じやすい。

1. スクリーン上の輝点の形状

スクリーン上の輝いている点が横のびになってしまっていたので、スクリーン上の輝点間の距離幅の誤差が約１、２ミリほど出ている。また、外側に行けばいくほど、輝く点はぼやけていたので、測定が困難だった。

1. 金尺の設置方法のミス

金尺をｄ＝1.0から0.5にかえる時、金尺を固定する台を少し動かしてしまった。これによって、金尺に対して、入射角がｄ＝1.0とｄ＝0.5の時の入射角が微妙に異なってしまった。

1. 金尺やものさしの目盛りの正確性

　金尺やものさしは、剛体ではないので、温度によって、膨張や縮小といった現象を引き起こす。よって、温度や、気候、湿度によって、目盛に狂いが生じるかと思われる。しかし、これはとても微量なへんかなので、これが原因で誤差が生じるとは考えにくい。

よって、このような誤差が出てしまったのは、①から③が原因であると思われる。特に、①と③は「同じ条件の下での実験」ということができなくなってしまっているので、誤差の大半は①と③が原因かと思われる。