Ⅰ.目的

　　　レーザーを使った実験によって、光の反射と偏光についての性質を学ぶと同時に、　レーザーの波長を調べる。

Ⅱ.原理

　① 偏光

光は電磁波であり、電場や磁場を発生しながら進む。進み方は図１のとおりである。

図１．光と電磁波の進み方

偏光とは、一定方向にだけ振動する光波のことをいう。偏光板は特定の方向の電場を持った光のみを透過する。偏光板が透過することができる方向に対して傾いた偏光の光が入った場合、透過することができる成分のみが偏光板を透過することができ、最初の電界の大きさをとすると、透過後の電界の大きさは

　…（１）

となる。光の強度は電界の大きさの２乗に比例するため、角度をθ傾けたとき、偏光板を透過した後の光の強度は

　…（２）

となる。偏光板を透過前の光の強度を、透過後の光の強度をとすると、

　…（３）

となり、透過前と透過後の光の強度の比である透過率は

　…（４）

と表すことができる。

　② 反射率

　　　光の反射において、入射面に対して垂直に振動する平面偏光をＳ波、それに対して入射面内で振動する平面偏光をＰ波という。入射角と偏光の向きによって反射率は異なる。

図２．Ｐ偏光　　　　　　　　　　　　　　　　　　　図３．Ｓ偏光

　　　入射角を、屈折角をとすると、P波の強度の反射率は

　…（５）

　　　と表され、入射角をθ、屈折率をnとすると

　…（６）

S波の強度の反射率は

　…（７）

　　　と表され、入射角をθ、屈折率をnとすると

　…（８）

と表される。

＋＝９０°のときをブリュースター角といい、このときtan（＋）→∞になり、→０となる。

ブリュースター角とは、屈折率の異なる物質の境界面で反射される光が完全に偏光となる入射角度のこと、つまり、光線が屈折率nの透明な物質に入射角θで入射したときに

　tanθ＝n　…（９）

を満たす角のことである。

　③ 光の回折

図４．面における入射光と反射光

図５．ヘリウムネオンレーザーによる金尺への照射とスクリーンの輝点の関係

　　　図４のように入射光と反射光が反射面となす角をそれぞれα、β（α、βはラジアン）とし、反射する位置の間隔をメートルとすると、２つの光の光路の光路差は

　…（１０）

　　　となる。このとき、θ（θはラジアン）が十分に小さい値のとき、

　…（１１）

　　　となるので、αとβの値が十分に小さいとき、光路差は

　…（１２）

　　　と近似できる。光路差が波長メートルの整数倍に等しいとき、反射光のそれぞれの要素はお互いに強めあうように干渉して、スクリーン上に輝点を生じる。

よって、次の回折光の角(はラジアン)は

　…（１３）

を満たす。

図５のように、金尺にレーザーが当たる位置からスクリーンまでの距離をメートル、原点から次の輝点までの距離をメートルとすると

　…（１４）

となる。また、０次光において、より

　…（１５）

となる。（１４）式と（１５）式より

　…（１６）

となる。（１３）式、（１４）式、（１６）式より

　…（１７）　より

　…（１８）

と表すことができる。

Ⅲ.実験方法

　① 偏光

　　　半導体レーザーと測光器の間に偏光板を１枚置き、偏光板の回転角θを１０°ずつ０°から９０°まで変化させた。このとき、それぞれの透過光強度を測光器に接続した電圧計によって測定した。

そして、回転角がθのときの強度をとし、透過率を

　透過率＝　…（１９）

によって求めた。

　② 反射率

図６．反射率の測定のための実験装置

図６のように、半導体レーザーから出た光を回転台の上に乗せたガラス板で反射させ、１０°ずつ０°から９０°まで変化させたときの反射光の強度を測光器に接続した電圧計によって測定した。このとき、Ｐ波とＳ波のそれぞれの場合について測定した。また、０°のときは測定できず、９０°のときはそのままの強度を測光器で測定した。

そして、そして、回転角がθのときの強度をとし、反射率を

　反射率＝　…（２０）

によって求めた。

　③ レーザーの波長

　　　(a)　図５のようにヘリウムネオンレーザーの光を金尺の目盛りのついた部分に、入射角度が９０°に近くなるように当て、スクリーンに映る輝点の位置をプロットした。このとき、一番明るい点をとし、それより外側の点を順に、、…とした。

そして、までをプロットした。また、金尺がないときの点（原点）もプロットした。

の長さをものさしで測り、金尺のメモリの間隔mm と（１６）式より波長メートルの実験値を求めた。

(b)　金尺の目盛りの幅を変え、間隔が狭い場合と広い場合におけるスクリーン上の輝点の間隔の違いを調べた。

(c)　一番明るい点よりも内側にも点が現れるかどうかを調べた。

Ⅳ.実験結果

　① 偏光

　　偏光板の回転角θを１０°ずつ０°から９０°まで変化させたときの透過光強度の測定結果と透過率の計算結果は表１のようになった。

　　また、表１の結果をプロットするとグラフ①のようになった。

表１．透過光強度と透過率の測定結果

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **θ（°）** | **透過光強度** | **透過率** |
| ０° | 1.520 | 1.0000 |
| １０° | 1.500 | 0.9868 |
| ２０° | 1.392 | 0.9158 |
| ３０° | 1.201 | 0.7901 |
| ４０° | 0.953 | 0.6270 |
| ５０° | 0.697 | 0.4586 |
| ６０° | 0.411 | 0.2704 |
| ７０° | 0.210 | 0.1382 |
| ８０° | 0.0610 | 0.0401 |
| ９０° | 0.0100 | 0.0066 |

　　理論値は表２のようになった。

表２．透過率の理論値

|  |  |
| --- | --- |
| **θ（°）** |  |
| ０° | 1.0000 |
| １０° | 0.9698 |
| ２０° | 0.8830 |
| ３０° | 0.7500 |
| ４０° | 0.5868 |
| ５０° | 0.4132 |
| ６０° | 0.2500 |
| ７０° | 0.1170 |
| ８０° | 0.00301 |
| ９０° | 0 |

　② 反射率

　　Ｐ波とＳ波のそれぞれの場合において、回転台の上のガラス板の角度を１０°ずつ０°から９０°まで変化させたときの反射光の強度の測定結果と反射率の計算結果は表３，４のようになった。

　　また、表３，４の結果をプロットするとグラフ②のようになった。

　　　表３．Ｐ波における反射光の強度と反射率の測定結果

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **θ（°）** | **反射光の強度** | **反射率** |
| ０° |  |  |
| １０° | 0.1000 | 0.0369 |
| ２０° | 0.0892 | 0.0329 |
| ３０° | 0.0689 | 0.0254 |
| ４０° | 0.0493 | 0.0182 |
| ５０° | 0.0221 | 0.0082 |
| ６０° | 0.0110 | 0.0041 |
| ７０° | 0.1000 | 0.0369 |
| ８０° | 0.4620 | 0.1705 |
| ９０° | 2.7100 | 1.0000 |

表４．Ｓ波における反射光の強度と反射率の測定結果

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **θ（°）** | **反射光の強度** | **反射率** |
| ０° |  |  |
| １０° | 0.0950 | 0.0353 |
| ２０° | 0.102 | 0.0379 |
| ３０° | 0.141 | 0.0524 |
| ４０° | 0.169 | 0.0628 |
| ５０° | 0.245 | 0.0911 |
| ６０° | 0.411 | 0.1528 |
| ７０° | 0.747 | 0.2777 |
| ８０° | 1.360 | 0.5056 |
| ９０° | 2.690 | 1.0000 |

　③ レーザーの波長

　　(a)　レーザーの光がないときにスクリーンに当たる点を原点とし、一番明るい点を、それより外側の点を順に、、…としてまでの測定結果とそれぞれにおける波長の計算結果は表５のようになった。また、ものさしで測ったの長さは

=59.8 cm

となった。

　　　　　　　　　　　　　表５．の距離と波長の測定結果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **距離（㎝）** | **波長（nm）** | **標準偏差（nm）** | **標準偏差の２乗(nm)** |
|  | 7.65 |  |  |  |
|  | 8.20 | 630.59 | 4.023 | 16.184529 |
|  | 8.70 | 638.63 | 12.063 | 145.515969 |
|  | 9.13 | 629.77 | 3.203 | 10.259209 |
|  | 9.53 | 626.27 | -0.297 | 0.088209 |
|  | 9.89 | 619.50 | -7.067 | 49.942489 |
|  | 10.25 | 621.03 | -5.537 | 30.658369 |
|  | 10.59 | 621.89 | -4.677 | 21.874329 |
|  | 10.89 | 616.67 | -9.897 | 97.950609 |
|  | 11.26 | 631.50 | 4.933 | 24.334489 |
|  | 11.55 | 629.82 | 3.253 | 10.582009 |

よって、=626.567±2.128 nmとなった。

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. 一番明るい輝点より内側にも点は現れた。

Ⅴ.考察

　① 偏光

　　・ 透過率とθの関係

　　　実験値の結果より、偏光板の回転角θが大きくなるにつれて透過率は小さくなると考えられる。このことは原理で



　　　という式と理論値からも考えられる。

　　　このことにより、光は横波であると考えられる。

　② 反射率

　　・ 屈折率の値

　　　グラフ②と（９）式より

　　　　　n=tan56.2°=1.49

屈折率n＝1.49と見積もると、それぞれの角における反射率は表６、７のようになった。

表６．P波における反射率 表７．S波における反射率

|  |  |
| --- | --- |
| **θ（°）** | **反射率** |
| ０° |  |
| １０° | 0.0371 |
| ２０° | 0.0323 |
| ３０° | 0.0244 |
| ４０° | 0.0137 |
| ５０° | 0.0030 |
| ６０° | 0.0194 |
| ７０° | 0.0429 |
| ８０° | 0.2374 |
| ９０° | 1.0000 |

|  |  |
| --- | --- |
| **θ（°）** | **反射率** |
| ０° |  |
| １０° | 0.0403 |
| ２０° | 0.0456 |
| ３０° | 0.0561 |
| ４０° | 0.0751 |
| ５０° | 0.1093 |
| ６０° | 0.1731 |
| ７０° | 0.2954 |
| ８０° | 0.5346 |
| ９０° | 1.0000 |

　　　よって、実験値に近い値をとるので屈折率は1.49ほどであると考えられる。

　③ レーザーの波長

　　　実験結果より波長の実験値は

=626.567±2.128 nm

である。理論値は

=632.8 nm

である。よって相対誤差は



0.9850 ％

　　　となった。

　　　平均値とその標準偏差の値に理論値は含まれていないが、相対誤差が１％以内に収まっているため、信頼することのできる値といえる。

　　・ P偏光とS偏光のどちらが良いか

　　　P偏光ではブリュースター角が存在するため反射率の値が０°となる点が存在してしまうので、S偏光で実験をするべきであると考えられる。

　　(b)の理由

　　　dを0.5 mmから1.0 mmに変化させるとdは2倍になる。d＝0.5mmのとき、（１８）式より波長が



　　　とすると、d=1.0mmのとき



となる。よって、d=0.5mmでm番目の輝点であったものはd=1.0mmになると2m番目の輝点となるので、輝点の幅は狭くなる。

　　(c)の理由

　　　　図４でα＜βのときは光路差が（１０）式より



　　　　だけであるが、α＞βのとき、光路差が



　　　　だけでなく、



　　　　の二通りとなるので、内側にも輝点ができる。

　④ その他の考察

　　最小自乗法

　　グラフ③において、最小自乗法を用いる。

　　（１８）式より



　　よって



　　とし



　　とすると、最小自乗法により



　　とすると

　

　　となる。よって



　　である。

　　よって



　　となる。

　　また、



　　である。　　これにより、

nm

となる。

Ⅵ.結論

　① 偏光

　　偏光板の回転角θが大きくなるにつれて透過率は小さくなる。よって、光は横波である。

　② 反射率

　　P波にはブリュースター角があるのに対し、S波にはブリュースター角がない。

　　ブリュースター角では反射率は０になる。

　　ガラス板の反射率は1.49ぐらいであるといえる。

　③ レーザーの波長

　　ヘリウム・ネオンレーザーの波長は

=626.567±2.128 nm

　　である。

　　この実験ではS偏光のほうが良い。

　　ｄを大きくすると輝点の幅は狭くなる。

　　一番明るい輝点よりも内側に輝く点は現れる。これは、光路差が二通り出るためである。

Ⅶ.参考文献

　　・ 株式会社ルケオ　　<http://www.luceo.co.jp/>　　2006.06.18

　　・ 河合塾　　物理のエッセンス　-力学・波動-