自然科学実験　光

<理論>

１，偏光板

偏光板には非常に狭い間隔で線が引かれていて、その線に平行な光だけが偏光板を通過する。その平行軸を通過容易軸といい、その方向に振動している電場の光しか通さない性質を持っている。この性質によって一定方向に振動している光を取り出すことができる。

光強度とは、単位面積、単位時間あたり通過する光のエネルギーであり、*I*を光強度、Eを電場の振幅とすると、光強度は

*I∝*　　（１）

となることが知られている。

この実験では、半導体レーザーを使って実験をするため、直接光であることより、偏光を平行（φ＝０°）から垂直（φ＝９０°）まで１０°づつ回転させることによって、光強度がどうなるかを測定できる。ここで、*V=V0・I*　（*V*：電圧値、*V0*：比例定数、*I*:光強度）であるから、光強度を電圧値として測定することで、電圧値で光強度を表すことができる。

偏光板を回転させた時、偏光板の縞模様に平行な方向成分、すなわち*Ecosφ*は通過することができるが、垂直な方向の成分、すなわち*Esinφ*は通過することができない。よって、偏向角φのときの光の強度は（１）を考慮すると

*I∝*（２）

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

　　　（３）

となる。

２,反射率

図１のように屈折率をn１、n２とすると屈折率の法則より

が成り立つ。

θ１＋θ2＝９０°のとき、完全偏光（偏光の度合いが最大）となるため、上記は

＝＝

となり

となる。このがブルースターの角と呼ばれるものでガラスに入射した屈折光とガラス表面で反射された反射光が９０度の直角をなしている時に起こる。

θ１

θ１

θ２

図１

１,反射の所よりV=V0・I　（V：電圧値、V0：比例定数、I:光強度）であるから次の二式が言える。

*V（θ）=V0・I（θ）*

*V max＝V0・Imax*

よって二式を用いて

また（１）式にも同様の操作を行って、

よって上記二式をまとめて

故に（振幅反射率）２＝（光強度の反射率）という関係が得られた。

３，レーザーの波長

まず、ヘリウム・ネオンレーザーの波長の理論値はである。この実験ではレーザーを金尺の目盛りのついた部分に、入射角が９０°に近くなるように当て、５０ｃｍ以上先のスクリーンに映る輝点の位置を観測して、一番明るい点をそれより外側を*,,*…し、次の式で計算することによって波長を求めることができる。



*（６）*

*ｄ*は目盛りの間隔、*L*は反射点からスクリーンまでの距離とする。

ここで上式の導出方法を示す。

入射光と反射光が反射面の金尺とそれぞれα、βの角をなすとき、隣り合う２つの光路差は*ｄ＝（cosα－cosβ）*となる。ｘが十分に小さいとき

というTaylorの近似式を用いると、αとβが共に小さいときの光路差は

*(α＋β)(α－β)*

近似できる。光路差が波長λの整数倍に等しい時、反射光の各要素は干渉によって互いに強め合い、スクリーン上に輝点が現れる。よって、ｍ次の回折光のβｍは

*ｍλ ＝（βｍ＋α）（βｍ－α）*  　　 （５）

を満足する。

*α＋βｍ ≈*

であり、特に0次光についてはβ０＝αであるから

となる。上二式より、

となり、これを（５）式に代入して、目的の式が得られる。

＜実験結果＞

1. 偏光

表１．偏光板の角度と透過光強度の関係

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 実験値 | | 理論値 |
| 角度(度) | 電圧(V) | 透過光強度 | 透過光強度 |
| 0 | 1.43 | 1.0 | 1.0 |
| 10 | 1.39 | 0.97 | 0.96 |
| 20 | 1.20 | 0.84 | 0.88 |
| 30 | 0.89 | 0.62 | 0.75 |
| 40 | 0.62 | 0.43 | 0.58 |
| 50 | 0.40 | 0.28 | 0.41 |
| 60 | 0.25 | 0.17 | 0.25 |
| 70 | 0.09 | 0.06 | 0.11 |
| 80 | 0.009 | 0.006 | 0.030 |
| 90 | 0.000 | 0.000 | 0 |

図１

２,反射率

表２．入射角と光強度の反射率の関係

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 垂直 | | 水平 | |
| 角度(度) | 電圧(V) | 光強度の反射率 | 電圧(V) | 光強度の反射率 |
| 0 | 測定不可 | | | |
| 10 |
| 20 | 0.03 | 0.01 | 0.081 | 0.031 |
| 30 | 0.09 | 0.03 | 0.061 | 0.023 |
| 40 | 0.11 | 0.04 | 0.039 | 0.015 |
| 50 | 0.20 | 0.08 | 0.006 | 0.0023 |
| 60 | 0.29 | 0.11 | 0.002 | 0.0008 |
| 70 | 0.59 | 0.22 | 0.082 | 0.031 |
| 80 | 1.21 | 0.46 | 0.41 | 0.16 |
| 90 | 2.65 | 1 | 2.65 | 1 |

図２

表3.入射角と振幅反射率の関係

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 垂直 | 水平 |
| 角度(度) | 振幅反射率 | 振幅反射率 |
| 0 | 測定不可 | |
| 10 |
| 20 | 0.1 | 0.18 |
| 30 | 0.17 | 0.15 |
| 40 | 0.2 | 0.12 |
| 50 | 0.28 | 0.048 |
| 60 | 0.33 | 0.028 |
| 70 | 0.47 | 0.18 |
| 80 | 0.68 | 0.39 |
| 90 | 1 | 1 |

　図３

３．レーザーの波長

(1)

表４,波長

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | d=1mm | | d=0.5mm | |
| *m* | (cm) | λ(nm) | (cm) | λ(nm) |
| 0 | 2.65 |  | 3.40 |  |
| 1 | 3.90 | 634.1 | 5.30 | 676.6 |
| 2 | 4.75 | 648.7 | 6.40 | 645.0 |
| 3 | 5.35 | 626.3 | 7.40 | 663.0 |
| 4 | 5.94 | 635.5 | 8.15 | 650.2 |
| 5 | 6.45 | 637.6 | 8.95 | 667.5 |
| 6 | 6.91 | 638.2 | 9.56 | 659.4 |
| 7 | 7.31 | 633.0 | 10.23 | 670.6 |

波長の平均は、d=1mmの時636.2nm

d=0.5mmの時661.744nm

(2) 輝点の間隔が狭まる。

＜考察＞

１,偏光

実験結果より、偏光板の角度を大きくしていくと透過光強度は小さくなっていくことが分かる。これは、最初偏光板を透過光強度が最大(通過容易軸に平行)な角度に設定しそこを0°としたためである。グラフ,表５から理論より実験値のほうが高い値になっているものが多い。また理論(3)式より透過光強度のグラフはφのグラフになるが、実験で得たグラフは多少誤差が見られる。これらの要因として

偏光板の角度調整が正確でなかったこと

偏光板を透過したレーザー光がちゃんと検出器の中央に当たっていなかったこと

偏光板の表面が汚れていてすべてのレーザー光が透過しなかったこと

があげられる

表５,理論値との誤差

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 角度(度) | 実験値 | 理論値 | (実験値-理論値)/理論値×100 （%） |
| 0 | 1 | 1 | 0 |
| 10 | 0.97 | 0.96 | -1.0 |
| 20 | 0.84 | 0.88 | 4.5 |
| 30 | 0.62 | 0.75 | 17.3 |
| 40 | 0.43 | 0.58 | 25.8 |
| 50 | 0.28 | 0.41 | 31.75 |
| 60 | 0.17 | 0.25 | 32 |
| 70 | 0.06 | 0.11 | 45.5 |
| 80 | 0.0060 | 0.030 | 80 |
| 90 | 0 | 0 |  |

２,反射率

入射角と光強度の反射率の関係のグラフより、入射角が50～60度で反射率が0となっていることがわかる。これは、ガラスに入射した屈折光とガラス表面で反射された反射光が９０度の直角をなして、反射光がガラス面に平行な方向に完全に平面偏光を起こしているため、と考えられる。これが理論でも示したブルースターの角と呼ばれるものである。

ガラスの屈折率を1.5とすると、ブルースター角θは

となり、実験は成功したと言える。

グラフを見ると曲線が滑らかでなかった。これは誤差があったものと考えられるが、この要因として、

反射板が入射してきたレーザー光に対して垂直でなかった

反射光を回転させる時、手で10度づつ回したので正確な角度にで測定できなった

角度が変わると検出器をそのときに応じて動かさなければならないが、その際反射板との距離が変わってしまうので、検出器に入射する反射光の高さが変わり、検出器の高さの調整が不十分であった

３,レーザーの波長

表６,波長の理論値と実験値の誤差

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1mm | | 0.5mm | |
| m | λ(nm) | 誤差(%) | λ(nm) | 誤差(%) |
| 0 |  |  |  |  |
| 1 | 634.1 | 0.20 | 676.6 | 6.92 |
| 2 | 648.7 | 2.51 | 645.0 | 1.93 |
| 3 | 626.3 | -1.03 | 662.9 | 4.76 |
| 4 | 635.5 | 0.43 | 650.2 | 2.76 |
| 5 | 637.6 | 0.76 | 667.5 | 5.48 |
| 6 | 638.2 | 0.85 | 659.4 | 4.21 |
| 7 | 633.0 | 0.03 | 670.6 | 5.98 |

d=1.0mmの時の平均の波長が636.2nmなので理論値よりも0.54%大きくなった。

d=0.5mmの時の平均の波長が661.7nmなので理論値よりも4.58%大きくなった。

この要因として

金尺が水平になっていなく、輝点がぼやけていたため、正確に点の位置をプロットできなかったこと

波長を求める式に　　のような近似を用いているため、この実験のようなnm単位の値を求めるときは誤差が大きく出てしまうこと

d=1mmの時の方がd=0.5mmの時の方より輝点間隔が狭かったことについて簡単に考察する。

まず波長を求める式（４）は

だったので、これをについて解くと

となり、ｄの値を1mmから0.5mmにするとの値は小さくなるので、輝点間隔が狭まることがわかる。

参考文献

「理工学部1年　自然科学実験　物理学編　2009」　　　慶応義塾大学理工学部，2009

「丸善　実験物理学講座９　レーザー測定」，櫛田孝司，丸善，　　　2000