

偏振光实验

胡湔崴 核 21 2022011139

摘要

光波作为一种横波，具有偏振特性，偏振特性可以被分解到与传播方向垂直的两个正交方向上。这两个分量在光在介质表面发生反射时有着不同的反射率，p 分量会在布儒斯特角处消失，而布儒斯特角仅与介质折射率有关，因此可以通过测量布儒斯特角测量介质折射率。调节起偏器和检偏器透射轴之间的夹角，可以验证马吕斯定律。通过确定薄片的快慢轴方向，还可以测量薄片的相延和方位角，并以此验证椭圆偏振光强的特性。

1. 实验仪器

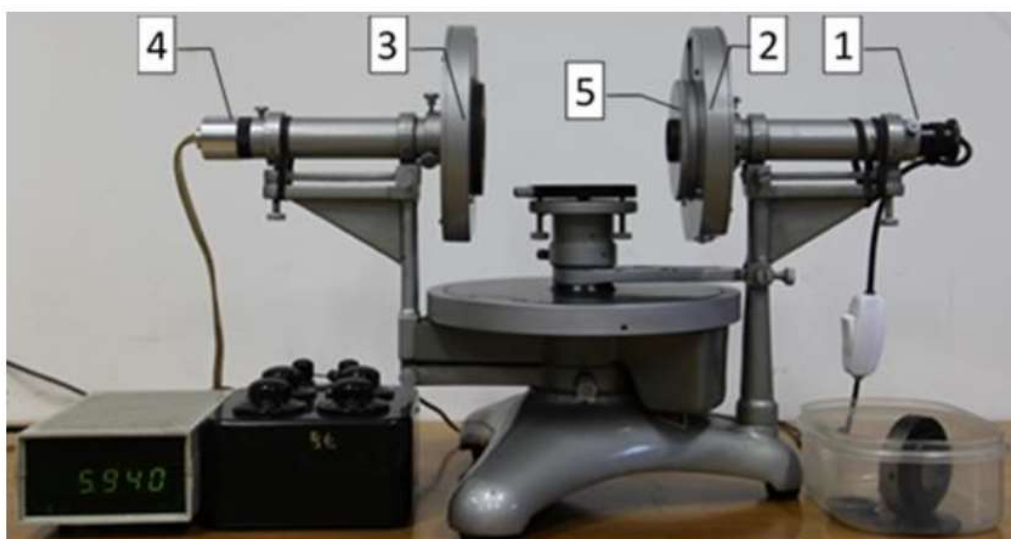


图11 实验装置

- 1—半导体激光器 2—椭偏盘（含起偏器P）
3—椭偏盘（含检偏器A） 4—硅光电池
5—与椭偏盘内圈联动的扣盘

（1）半导体激光器，650nm

（2）起偏器 P 和检偏器 A，分别固定到 2 与 3 的盘中央，带有刻度的游标盘，游标分度为 0.1°

（3）两个 $1/4$ 波片 C_0 、 C_x 。

（4）光强探测器由硅光电池、数字电压表和电阻箱组成。量程 20mV、分辨率 0.001mV。

2. 实验原理

（1）布儒斯特角与折射率

平面电磁波以入射角 θ_i 由空气中投射到折射率为 n 的无吸收介质表面，将发生反射和折射。将入射波分解为电矢量分别平行或垂直于入射面的两个分量 P 和 S ，根据电磁场理论在一定的边界条件下解麦克斯韦方程组，可以得出 P 分量、 S 分量的振幅反射率、透射率与入射角 θ_i 、折射角 θ_t 之间的关系表达式，这些表达式叫菲涅耳公式。由这些公式可以推出，当 $\theta_i + \theta_t = \pi/2$ ，即：

$$\theta_i = \arctan(n) = \theta_B$$

在这个条件下，光强的 P 分量反射率为 0，即只存在 s 分量，所以，如果初始状态只有 p 分量，当出射光强最小时，就是布儒斯特角处。

(2) 马吕斯定律

偏振片有一个透射轴和一个与之垂直的消光轴，对于理想的偏振片，只有电矢量振动方向与透射轴方向平行的光波分量才能通过偏振片。因此光波通过偏振片后，将变成电矢量沿透射轴方向振动的线偏振光，当线偏振光经过偏振片后，只有平行与透光轴的分量才能通过，因此，光强会减小，遵从规律：

$$T_{\theta} = (T_1 - T_2)\cos^2\theta + T_2$$

这就是马吕斯定律的表达式，描述了经过两个偏振偏后的光强属性。

(3) 延迟器和波片

波片是特殊的延迟器，相位延迟量(以下简称相延) $\delta_r = 2N\pi \pm \pi/2$ 的延迟器叫 1/4 波片， δ_r 为 π 的奇数倍的叫半波片或 1/2 波片， δ_r 为 2π 整数倍的叫全波片。设延迟器厚度为 d ，快、慢轴方向振动的线偏振光折射率分别为 n_y 和 n_x ，电矢量在延迟器两轴向的分量如图 9，则相延 δ_r 为：

$$\delta_r = 2\pi(n_y - n_x)d/\lambda_0 = \omega(n_y - n_x)d/c_0$$

A) 线偏振光入射

设入射的线偏振光振动方向的方位角为 β ，延迟器快轴在 y_r 方向，慢轴在 x_r 方向。先把入射光分解为分沿 x_r 和 y_r 方向振动的一对正交线偏振光分量，两个分量同频同相位，振幅比 $a_2/a_1 = \tan\beta$ 。出射光 x_r 方向分量的相位于 y_r 方向分量延迟了 δ_r ，一般情况下出射光为椭圆偏振光

B) 定波片快慢轴的确定

将待测 1/4 波片的轴和另一 1/4 波片的已知快轴方向平行，如果合成了半波片，说明原 1/4 薄片的轴是快轴，如果合成了全薄片，说明是慢轴。

C) 椭圆偏振光长轴方位角 ψ 和波片相延 δ_r 通过光强的测量方法

入射一束方位角为 β 的线偏振光，经过相延为 δ_r 的波片后，可由光强探测器测得透射光强极值比 I_{\min}/I_{\max} ，由几何分析可得，

$$|\sin\delta_r| = \frac{2\sqrt{I_{\min}/I_{\max}}}{\sin(2\beta)(1 + \frac{I_{\min}}{I_{\max}})}$$

$$\psi = \frac{1}{2}\arctan(\tan 2\beta \cdot \cos\delta)$$

这就可以与设置的方位角度比较，来验证这一特性。

3. 实验内容

(1) 准备实验仪器

调小平台与分光计主轴基本垂直。使光路在一条直线上。

(2) 观测布儒斯特角

把起偏器旋转到近似的 p 偏振光方向，较大范围旋转小平台改变入射角，此时应观察到反射光有很明显的强弱变化。此时透射轴一定位于水平方向，记录度盘读数 $p \leftrightarrow$ ，重复测量 3 次。用小纸片扎一小孔放在激光器出射光束处，通过调整，使棱镜表面反射光束在纸屏上的亮点与激光器出射光束重合，这时入射角为 0° ，记下方位角 $\alpha_{i=0}$ 。布儒斯特角 $\theta_B = \alpha_B - \alpha_{i=0}$ 。

(3) 定偏振器透射轴方向

置 P 盘于平均值位置。移去反射元件，转动检偏器 A 使它和 P 正交消光（利用

光强探测器确定光强极小)，这时 A 的透射轴已与 P 的透射轴正交，在垂直方向，记下 A 盘的度盘读数 a_{\uparrow} 。

(4) 验证马吕斯定律

在两偏振器透射轴夹角 $\theta=0, 15, 30, 45, 60, 75, 80, 84, 87$ 和 90 度时分别测量透射光强。

(5) 测定待测波片 C_x 的轴方向

令 C_0 的快轴和 C_x 的某一个轴平行，观测线偏振光经过这两个 $1/4$ 波片后偏振态的改变，由测量数据判断它们近似组成了 $1/2$ 波片还是全波片，并由此判断出待测波片 C_x 的快轴方向。

(6) 线偏振光经过 $1/4$ 波片

观测线偏振光经过 $1/4$ 波片 C_0 后的偏振态的改变，置波片 C_0 的慢轴于水平方向，在起偏器的透射轴和慢轴夹角 $\beta=22.5, 45, 67.5$ 度时，分别测出透射光的长轴方位角 ψ 相关的数据、光强最大值 I_{\max} 和最小值 I_{\min} 。

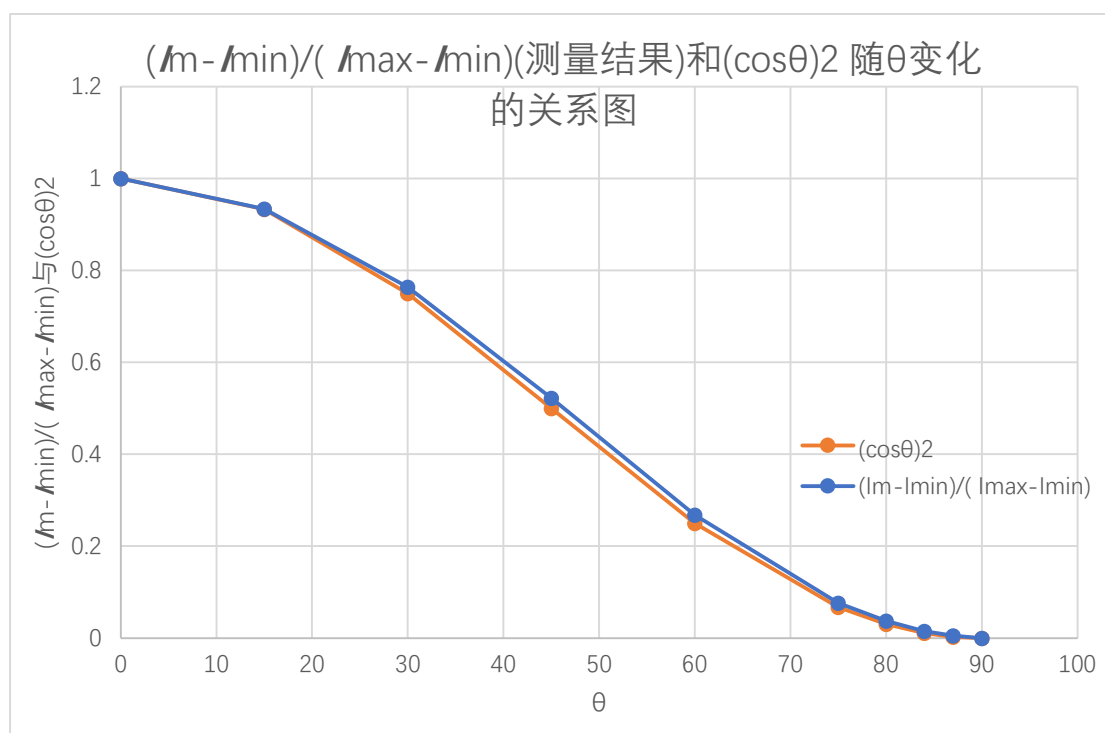
4. 数据分析

(1) 本实验元件玻璃的布鲁斯特角和折射率如下：

$\theta_B=$	56.09'20"	$n=\arctan(\theta_B)=$	1.49
-------------	-----------	------------------------	------

(2) 验证马吕斯定律：

根据原始数据，画出 $(I_m - I_{\min}) / (I_{\max} - I_{\min})$ (测量结果) 和 $(\cos \theta)^2$ 随 θ 变化的关系图。



可以看出两者有较好的一致性，这也证明了马吕斯定律的正确性，即如果 P 盘为理想偏振片， $I_m = (I_{\max} - I_{\min})(\cos \theta)^2 + I_{\min}$ 。而两个曲线之间较小的误差可能与光强测量时电压表度数不够准确有关。

(3) 观测偏振光通过 $1/2$ 波片或全波片的现象

根据原始数据，经过几何分析可知，在图 9 中，存在反向旋转，所以是半波片。在图 10 中，旋转正向，所以是全波片。

(4) 线偏振光经过 1/4 波片

$\beta = p - p_{\text{水平}}$	22.5	45	67.5
p	286.1666667	308.6667	331.1667
A盘透射轴在长轴方向的			
a _i	451.5	322.3333	358.5
I _{max} (mV)	5.951	3.861	4.76
I _{min} (mV)	1.117	3.289	0.703
a = a _i - a _{垂直}	93	-36.1667	0
利用a计算长轴方位角 ψ	-3	-53.8333	90
I _{min} /I _{max}	0.188	0.852	0.1477
sin δ	1.03	0.997	0.947
δ	90	85.4	71.28
利用光强计算 ψ	0	45	85.55

在 22.5 度和 67.5 度的两种方法得到的结果误差较小，而 45 度接近圆偏振光，任何地方都是长轴，角度可以取任意值，所以实验和理论计算得到的两个角度相差很大。

5. 思考讨论

在最后利用光强计算 ψ 的时候，需要考虑 \arctan 的象限转换，不然可能会得到奇怪的结论，因此，在这里需要对所计算的角度做考察。

6. 原始数据

偏振

姓名: 胡沃威 学号: 2022011139 班号: 核21 座位号: 14 日期: 2023.11.16

提示: 1本实验“灰色标记”数据, 让教师检查后再进行后面的实验; 2本实验涉及原始数据处理的部分, 除需要教师检查的, 在课后完成。3. a: 检偏器A(盘)的方位角; p: 起偏器P(盘)的方位角。

4观测布儒斯特角、起偏器P的透射轴在水平方向的方位角

光束正入射棱镜表面时平台方位角 $\alpha_{10} = 353^{\circ}50'$; 入射角为布氏角时平台方位角 $\alpha_{B1} = 297^{\circ}30'$ ($\alpha_{B1} - \alpha_{10} = 56^{\circ}20'$), $P_{\leftrightarrow 1} = 263.5^{\circ}$; $\alpha_{B2} = 298^{\circ}0'$; $P_{\leftrightarrow 2} = 264^{\circ}$; $\alpha_{B3} = 297^{\circ}30'$ ($\alpha_{B3} - \alpha_{10} = 56^{\circ}20'$), $P_{\leftrightarrow 3} = 263.5^{\circ}$ 。平均值 $\alpha_B = 297^{\circ}40'$ 布氏角的测量值 $\theta_B = 56^{\circ}20'$ 折射率 $n = 1.49$ 。

5偏振器透射轴方向

表4的3次平均值

起偏器P的透射轴在水平方向的方位角 p_{\leftrightarrow} (度)

263°40'

检偏器A和P正交时, A的方位角 a_{\uparrow}

177.5°

6透射光强 I_m 与两偏振器夹角 θ 的关系 $R = 100 \Omega$; $p = p_{\leftrightarrow}$ (平均值) = 263°40'; $a_{\uparrow} = 177.5^{\circ}$;

夹角 θ (度)	0.0	15.0	30.0	45.0	60.0	75.0	80.0	84.0	87.0	90.0
$a = a_{\uparrow} + 90^{\circ} + \theta$ (度)	268.5	283.5	298.5	313.5	328.5	343.5	358.5	373.5	388.5	403.5
I_{\leftrightarrow} (mV) 测量值	7.909	7.385	6.043	4.127	2.122	0.606	0.299	0.122	0.042	0.002

7定波片 C_0 的快轴的方向(度) $R = 100 \Omega$; $p = p_{\leftrightarrow}$ (平均值) = 263°40'; $a_{\uparrow} = 177.5^{\circ}$; $a = a_{\uparrow} = 177.5^{\circ}$; 358.5° ;波片 C_0 快轴在竖直方向时, 度盘示值 $C_0 = 172.1^{\circ}$ 。8定波片 C_0 的轴的方向(度) $R = 100 \Omega$; $p = p_{\leftrightarrow}$ (平均值) = 263°40'; $a_{\uparrow} = 177.5^{\circ}$; 358.5° ;波片 C_0 的1个轴在竖直方向时, 度盘示值 $C_0 = 208^{\circ}$ 。

9&10线偏振光通过1/2波片或全波片

9) C_x 某轴在竖直方向, 度盘示值 $C_x = 208^{\circ}$ 。 C_0 快轴在竖直方向。

$\beta = p - p_{\leftrightarrow}$ (度)	15.0	30.0	45.0
p	278°40'	293°40'	308°40'
消光时A盘度盘读数 a_1 (度)	12°	26°40'	42°30'
$\alpha = a_1 - a_{\uparrow}$ (度)	13.5°	28°10'	44°0'

10) C_x 方位不变, C_0 快轴在水平方向, $C_0 = 262.1^{\circ}$ 。

	15.0	30.0	45.0
p	278°40'	293°40'	308°40'
a_1	24°30'	32°40'	311°
α	-14°20'	-30°50'	-47°30'

全波片, 零A

建议: 每个 β 角测量前: A盘方位角初始化到 a_{\uparrow} 。

11线偏振光经过1/4波片

 $C_0 = 208^{\circ}$; $R = 100 \Omega$

$\beta = p - p_{\leftrightarrow}$ (度)	22.5	45.0	67.5
p (度)	286°10'	308°40'	331°10'
A盘透射轴在长轴方向时的 a_1 (度)	274°40'	322°0'	368°30'
I_{max} (mV) (最大光强)	6.951	3.861	4.760
I_{min} (mV) (最小光强)	1.117	3.289	0.703

$\alpha = a_1 - a_{\uparrow}$ (度)	-3°	-53°50'	90°
-----------------------------------	-----	---------	-----

利用 α 计算长轴方位角 θ (度)	-3°	-53°50'	90°
----------------------------------	-----	---------	-----

$b^2/a^2 \approx I_{\text{min}}/I_{\text{max}}$	0.188	0.852	0.1477
---	-------	-------	--------

利用(13)式计算 δ_r (度)	31°40'	85.4°	71.28°
--------------------------	--------	-------	--------

利用(2)式计算 ψ (度)	20.5°	45°	-8.4°
---------------------	-------	-----	-------

0° 85.55°

建议: 每个 β 测量前: A盘方位角初始化到 a_{\uparrow} 。 ψ : 转换到 $[-90^{\circ}, 90^{\circ}]$ 区间 I_0 : 反应背景光、光电池暗电流、噪声、寄生电势和电表零点漂移等的综合影响。

11.16