

### 【实验目的】

1. 设计出一种测量不透明物体折射率的方法
2. 设计研究光电流和入射光强的关系
3. 设计实验, 线偏振光入射黑色平板时, 测量其反射率

### 【实验原理】 (电学、光学画出原理图)

光是一种电磁横波, 电场与磁场振动矢量的叉积  $\vec{E} \times \vec{H}$  方向为光的传播方向,  $\vec{E}$  称为光矢量。  $E^2$  正比于光的强度。

利用电磁波理论的边值条件, 可以得到光在介质界面反射时反射光与入射光场强之比:

1. 对于  $\vec{E}$  垂直于入射面的分量 (图1), 有

$$\frac{E_1}{E_0} = -\frac{\sin(\theta_0 - \theta_2)}{\sin(\theta_0 + \theta_2)} \quad (1)$$

2. 对于  $\vec{E}$  平行于入射面的分量 (图2), 有

$$\frac{E_1}{E_0} = \frac{\tan(\theta_0 - \theta_2)}{\tan(\theta_0 + \theta_2)} \quad (2)$$

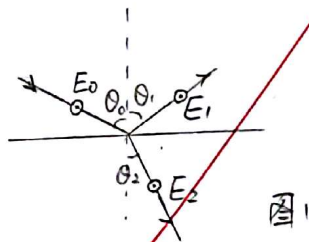


图1

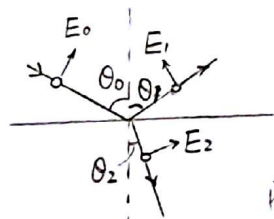


图2

式(1)(2)称为菲涅耳公式。由(2)知, 当  $\theta_0 + \theta_2 = 90^\circ$  的特殊情形下,  $\vec{E}$  平行于入射面的分量没有反射, 反射光变为垂直于入射面偏振的线偏振光。对应的入射角称为布儒斯特角。

偏振片: 一种能使自然光变为线偏振光的人造薄片, 对不同方向的光矢量具有选择性的吸收。允许通过的光矢量振动方向称为该偏振片的偏振化方向。

当线偏振光垂直入射偏振片时, 光强满足马吕斯定律:

$$I = I_0 \cos^2 \alpha \quad (3)$$

$\alpha$  为入射光的光矢量方向与偏振片偏振化方向的夹角。

【实验内容】（重点说明）

1. 测量黑色平板的折射率

如图4, 调节准直后, 在任一角度 $\theta$ 处调节激光使光强较小; 调节载物平台并同时转动旋臂使反射光射入光电池, 从万用表读取其光强的对应值, 直至找到极小值点。此时在平台上读出旋臂对应的角度 $\theta$ , 在左、右侧分别找到该角度 $\theta_1$ 和 $\theta_2$ , 则  $\alpha_1 = \frac{1}{2}|\theta_1 - 180^\circ|$ ,  $\alpha_2 = \frac{1}{2}|\theta_2 - 180^\circ|$  即为布儒斯特角。取平均, 即

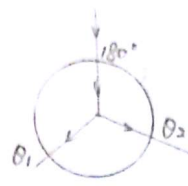


图3

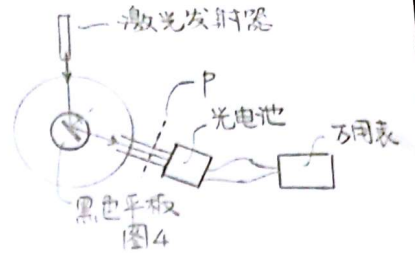


图4

则在平台上读出旋臂对应的角度 $\theta$ , 在左、右侧分别找到该角度 $\theta_1$ 和 $\theta_2$ , 则  $\alpha_1 = \frac{1}{2}|\theta_1 - 180^\circ|$ ,  $\alpha_2 = \frac{1}{2}|\theta_2 - 180^\circ|$  即为布儒斯特角。取平均, 即

$$\alpha_0 = \frac{1}{4}|\theta_2 - \theta_1| \quad (5)$$

(5)

则折射率

$$n = \tan \alpha_0 \quad (6)$$

(6)

2. (1) 测量偏振片的偏振化方向与偏振片指针的夹角

在图4中P的位置放一偏振片。在激光以布儒斯特角 $\alpha_0$ 入射黑色平板的情况下, 转动激光器使光强较强。旋转偏振片, 观测光电流信号大小, 记录光电流达到极值时偏振片指针的角坐标

(2) 判定光电流与入射光强的关系

在之前的基础上, 旋转偏振片改变 $\varphi$ , 测量光电流 $i(\varphi)$ , 作图研究 $i$ 与 $\cos^2 \varphi$ 的关系。

【实验器材及注意事项】

实验器材:

1. 带角坐标的光学工作台, 固定有光电池探头和光学三维调节支架
2. 带开关的半导体激光器、可转动偏振片、万用表、待测黑色镜面平板
3. 连接线、内六角小扳手、手电筒等

注意事项:

1. 不可用眼镜直视激光器
2. 黑色平板和偏振片表面均为光学表面, 不可用手直接接触

接【实验原理】:

1. 自然光以布儒斯特角入射介质表面时, 反射光为垂直入射面偏振的线偏振光。找到光强最小的位置, 即得对应入射角为布儒斯特角 $\alpha_0$ 。折射率  $n = \tan \alpha_0$ 。 (4)

2. 在反射光路上放一偏振片, 转动之找到光强极值对应的角度, 即得偏振化方向

3. 旋转偏振片, 研究光电流 $i$ 与转角 $\cos^2 \varphi$ 的关系。

【数据处理与结果】

1. 测量黑色平板的折射率

左侧角坐标 $\theta_1$	右侧角坐标 $\theta_2$
$75.0^\circ$	$296.0^\circ$

因此布儒斯特角

$$\alpha_0 = \frac{1}{2}(\theta_2 - \theta_1) = 55.3^\circ \quad (7)$$

折射率

$$n = \tan \alpha_0 = 1.44 \quad (8)$$

2. (1) 测量偏振片的偏振化方向与偏振片指针的夹角

光电流	极大	极小	极大	极小
光电流极值处角坐标 $\beta$	$74.2^\circ$	$163.0^\circ$	$254.2^\circ$	$343.1^\circ$

这里, 我们认为偏振片的偏振化方向与偏振片指针夹角

$$\Delta\beta = 74.2^\circ \quad (9)$$

(2) 判定光电流与入射光强的关系

偏振片指针示数 $\beta$	$74.2^\circ$	$79.2^\circ$	$84.2^\circ$	$89.2^\circ$	$94.2^\circ$	$99.2^\circ$	$104.2^\circ$	$109.2^\circ$
旋转角度 $\varphi = \beta - \Delta\beta$	$0.0^\circ$	$5.0^\circ$	$10.0^\circ$	$15.0^\circ$	$20.0^\circ$	$25.0^\circ$	$30.0^\circ$	$35.0^\circ$
光电流 $i/\mu A$	137.0	135.3	132.3	127.8	121.0	113.4	103.0	91.7

本底光电流  $i' = 0.1 \mu A$ .

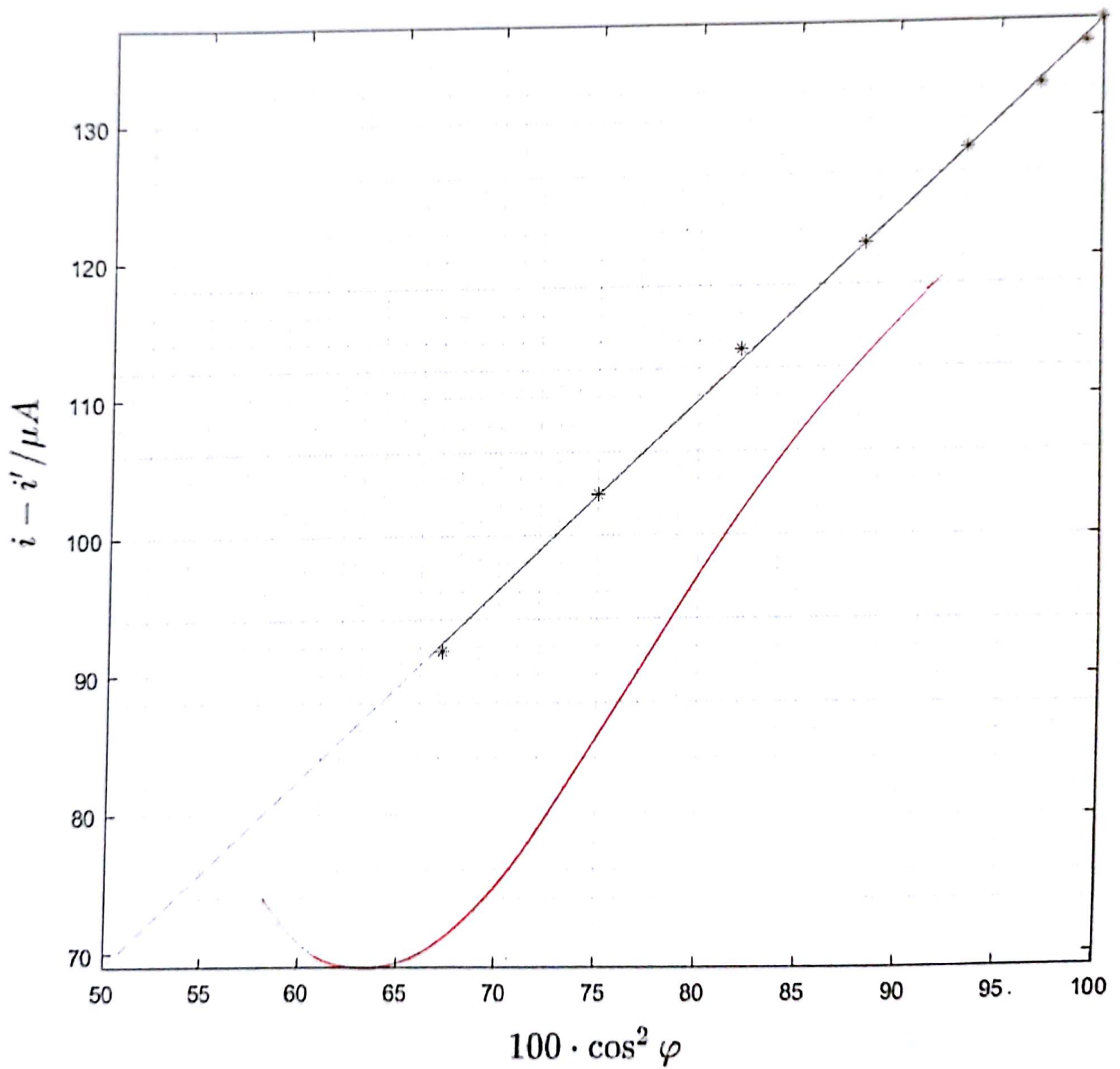
作  $(i - i')$  与  $100 \cdot \cos^2 \varphi$  关系图 (见附图 5)

可见,  $i - i'$  与  $100 \cdot \cos^2 \varphi$  在误差允许范围内成线性关系。

结合马吕斯定律  $\cos^2 \varphi \propto \frac{I}{I_0}$ , 又  $I_0$  是定值, 我们得出结论:

光电流  $i - i'$  与入射光强  $I$  成线性关系。 (10)

图 5 -  $i - i'$  与  $100 \cdot \cos^2 \varphi$  关系图



### 【误差分析】

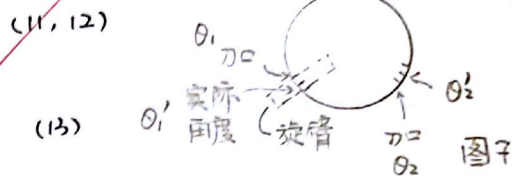
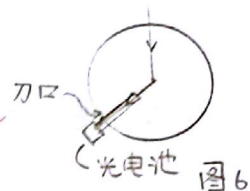
1. 在测量布儒斯特角的实验中, 读取角度  $\theta_1$  和  $\theta_2$  是由旋臂一段的刀口读出 (如图6), 由于旋臂有宽度, 因此刀口处读数与实际的角  $\theta'_1$ 、 $\theta'_2$  相差一个固定的角度 (宽度固定)  $\Delta\theta$ .

如图7,  $\Delta\theta = \theta'_1 - \theta_1$ , 而  $\Delta\theta = \theta'_2 - \theta_2$ .

$$\begin{aligned} \text{我们计算的 } \alpha_0 &= \frac{1}{2} |\theta_2 - \theta_1| = \frac{1}{2} |(\theta'_2 - \Delta\theta) - (\theta'_1 - \Delta\theta)| \\ &= \frac{1}{2} |\theta'_2 - \theta'_1| \end{aligned}$$

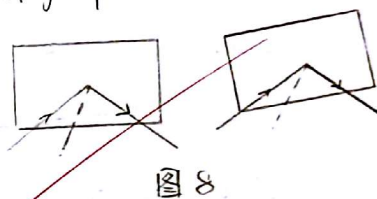
可见, 我们取平均值时可以消除这一误差.

2. 由于环境光强在变化, 因此角度和光电流的测量都可能存在偏差.
3. 在实验(2)中, 有时我们将偏振片指订在一定范围 (约  $3.0^\circ$ ) 间转动时, 光电流示数不变, 这是因为精度不够, 如万用表有三位数太小等. 这会使  $\Delta\beta$  的测量存在误差.



### 【实验心得及思考题】

思考题 1. 没有影响。由于实验中的激光器、黑色镜面平板、偏振片、光电池均固定在实验台上, 当实验台不水平时, 则黑色镜面平板不水平 (如图8)。但不水平并不影响黑色镜面平板的法线方向, 因此不影响光路。



思考题 2. 没有影响。只要保证反射光可以正常通过偏振片, 由于所用激光为偏振性良好的一部分偏振光, 且在布儒斯特角反射后为线偏振光, 则偏振片只要不遮挡光路就不会影响实验结果。但应当保证整个实验过程中其位置不变。

思考题 3. 首先通过激光器后的旋钮调节使得激光打到中心轴; 如果考虑不调节的情况, 考虑在实验台两侧分别测量并取平均。这一想法类似分光计实验中在左右两窗分别读数取平均以消除偏心差。

实验心得. 本次实验的思路十分巧妙, 我们通过光的偏振特性, 用其反射光线的强度找到布儒斯特角从而算出黑色平板的折射率; 另外, 测量光强时我们利用光电池将光信号转化为电信号进行测量, 并通过实验验证了其对应关系。本次实验让我对知识的融合贯通有了更加深刻的理解。