

浙江大学

物理实验报告

实验名称: 光的偏振应用研究

实验桌号: 6

指导教师: 姚星星

班级: 计科 2404

姓名: 李宇晗

学号: 3240106155

实验日期: 2025 年 12 月 29 日 星期 二 上午

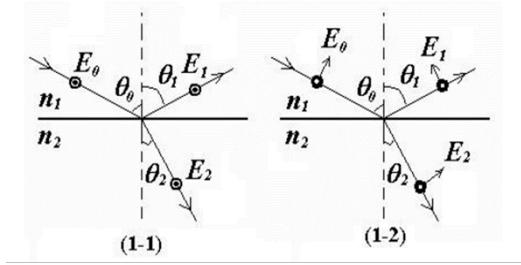
一、预习报告

1. 实验综述

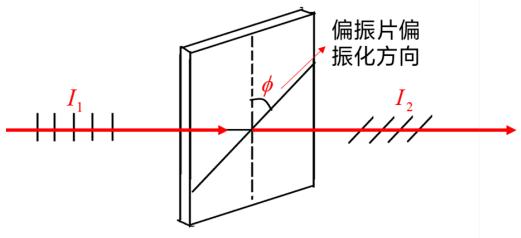
本实验主要研究光的偏振现象及其在测量不透明物体折射率、光电流与光强关系、反射率测量等方面的应用。实验利用布儒斯特角现象，通过测量反射光强最小位置对应的角坐标，计算黑色平板的折射率。实验中使用偏振片、光电池、万用表等仪器，结合马吕斯定律研究光电流与光强的关系。

1. 实验原理：

- 当自然光以布儒斯特角入射时，反射光为线偏振光，其振动方向垂直于入射面。
- 布儒斯特角满足 $\tan \alpha_0 = n$ ，其中 n 为介质折射率。
- 马吕斯定律： $I = I_0 \cos^2 \varphi$ ，其中 φ 为光矢量与偏振片偏振化方向的夹角。



— p光，偏振方向平行于入射面
● s光，偏振方向垂直于入射面



$$\text{马吕斯定律} \quad I_2 = I_1 \cos^2 \phi$$

2. 实验方法：

- 测量黑色平板折射率：通过转动平台测量左右两侧布儒斯特角位置 θ_1 和 θ_2 ，计算 $\alpha_0 = \frac{|\theta_2 - \theta_1|}{4}$ 。
- 研究光电流与光强关系：旋转偏振片改变角度，测量光电流与 $\cos^2 \varphi$ 的关系。

2. 实验重点

掌握布儒斯特角的测量方法，理解偏振光的产生与检测原理，熟练运用马吕斯定律分析光强与光电流的关系。

3. 实验难点

精确确定布儒斯特角位置，避免本底光电流干扰，调节激光与转台中心轴垂直以确保光路准直。

二、原始数据

实验一:	左侧 θ_1	右侧 θ_2	备注
1	74.9	297.8	3240106155
2	74.6	297.3	李宇晗
3	73.9	297.5	
4	75.0	297.3	
5	74.5	296.9	
6	74.6	297.1	

实验二: 编号 49
光路
↑ ↓ ↑ ↓
雨伞杯
73.0 161.5 252.4 342.3
↑ ↓ ↑ ↓
73.5 162.2 253.8 341.3
侧面图 72.4
实验三:
B 70.0 80.0 90.0 100.0 110.0 120.0
153.4 151.0 141.4 122.9 98.2 70.7
130.0 140.0
43.7 23.6
日期 2021/12/29

三、结果与分析 (60 分)

1. 数据处理与结果 (30 分)

1.1 实验一: 测量黑色板折射率

数据记录:

实验次数	左侧角度	右侧角度
1	74.9	297.8
2	74.6	297.3
3	73.9	297.5
4	75.0	297.3
5	74.5	296.9
6	74.6	297.1

1) 计算每次测量的布儒斯特角 ($\alpha_{\{0\}}$):

- 第1次: $|\theta_{\{2\}} - \theta_{\{1\}}| = |297.8 - 74.9| = 222.9$, $\alpha_{\{0\}} = \frac{222.9}{4} = 55.725^\circ$
 第2次: $|\theta_{\{2\}} - \theta_{\{1\}}| = |297.3 - 74.6| = 222.7$, $\alpha_{\{0\}} = \frac{222.7}{4} = 55.675^\circ$
 第3次: $|\theta_{\{2\}} - \theta_{\{1\}}| = |297.5 - 73.9| = 223.6$, $\alpha_{\{0\}} = \frac{223.6}{4} = 55.900^\circ$
 第4次: $|\theta_{\{2\}} - \theta_{\{1\}}| = |297.3 - 75.0| = 222.3$, $\alpha_{\{0\}} = \frac{222.3}{4} = 55.575^\circ$
 第5次: $|\theta_{\{2\}} - \theta_{\{1\}}| = |296.9 - 74.5| = 222.4$, $\alpha_{\{0\}} = \frac{222.4}{4} = 55.600^\circ$
 第6次: $|\theta_{\{2\}} - \theta_{\{1\}}| = |297.1 - 74.6| = 222.5$, $\alpha_{\{0\}} = \frac{222.5}{4} = 55.625^\circ$

2) 计算折射率 $n = \tan \alpha_{\{0\}}$:

- 第1次: $n = \tan(55.725^\circ) \approx 1.466$
 第2次: $n = \tan(55.675^\circ) \approx 1.465$
 第3次: $n = \tan(55.900^\circ) \approx 1.472$
 第4次: $n = \tan(55.575^\circ) \approx 1.463$
 第5次: $n = \tan(55.600^\circ) \approx 1.464$
 第6次: $n = \tan(55.625^\circ) \approx 1.465$

3) 平均布儒斯特角:

$$\bar{\alpha}_0 = \frac{55.725 + 55.675 + 55.900 + 55.575 + 55.600 + 55.625}{6} \approx 55.683^\circ$$

4) 平均折射率:

$$\bar{n} = \frac{1.466 + 1.465 + 1.472 + 1.463 + 1.464 + 1.465}{6} \approx 1.466$$

5) A类不确定度计算:

$$u_A(\alpha_0) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (\alpha_{\{0,i\}} - \bar{\alpha}_0)^2}{6 \times (6-1)}}$$

因此:

$$u_A(\alpha_0) = \sqrt{\frac{0.070834}{30}} = \sqrt{0.002361} \approx 0.0486^\circ$$

6) B类不确定度计算:

仪器误差: $\Delta = 0.5^\circ$ 。每个 α_0 由两个角度 (θ_1, θ_2) 计算得到: $\alpha_0 = |\theta_2 - \theta_1|$ 。每个角度误差为均匀分布, 标准不确定度: $u_B(\theta) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} \approx 0.2887^\circ$ 。则 α_0 的 B 类不确定度:

$$u_B(\alpha_0) = \frac{1}{4} \sqrt{2 \cdot u_B^2(\theta)} = \frac{1}{4} \sqrt{2 \cdot (0.2887)^2} \approx \frac{1}{4} \cdot 0.4082 \approx 0.1021^\circ$$

7) 合成不确定度:

$$u(\alpha_0) = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{(0.0486)^2 + (0.1021)^2} \approx \sqrt{0.00236 + 0.01042} \approx \sqrt{0.01278} \approx 0.12^\circ$$

折射率 ($n = \tan \alpha_0$) 的不确定度传递:

$$U(n) = |\sec^2 \alpha_0 \cdot \frac{\pi}{180}| \cdot U(\alpha_0)$$

计算得到:

$$U(n) = 3.139 \times 0.017453 \times 0.1131 \approx 0.007$$

8) 因此: 布儒斯特角: $\alpha_0 = 55.68^\circ \pm 0.12^\circ$ 折射率: $n = 1.466 \pm 0.007$

1.2 实验二: 测量偏振化方向角度

数据记录:

光电流	极大	极小	极大	极小
角坐标	73.0	161.5	252.4	342.3
等效夹角	73.0	71.5	72.4	72.3

光电流	极大	极小	极大	极小
角坐标	73.5	162.2	253.0	341.3
等效夹角	73.0	73.5	72.2	71.3

不确定度分析:

平均值:

$$\overline{\Delta\beta} = \frac{73.0 + 71.5 + 72.4 + 72.3 + 73.5 + 72.2 + 73.0 + 71.3}{8} = 72.4^\circ$$

A类不确定度:

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{\{i=1\}}^8 (\Delta\beta_i - \overline{\Delta\beta})^2}{8 \times 7}} = 0.27^\circ$$

B类不确定度:

$$u_B = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} \approx 0.289^\circ$$

合成不确定度:

$$U = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{(0.267)^2 + (0.289)^2} = \sqrt{0.0713 + 0.0835} \approx 0.4^\circ$$

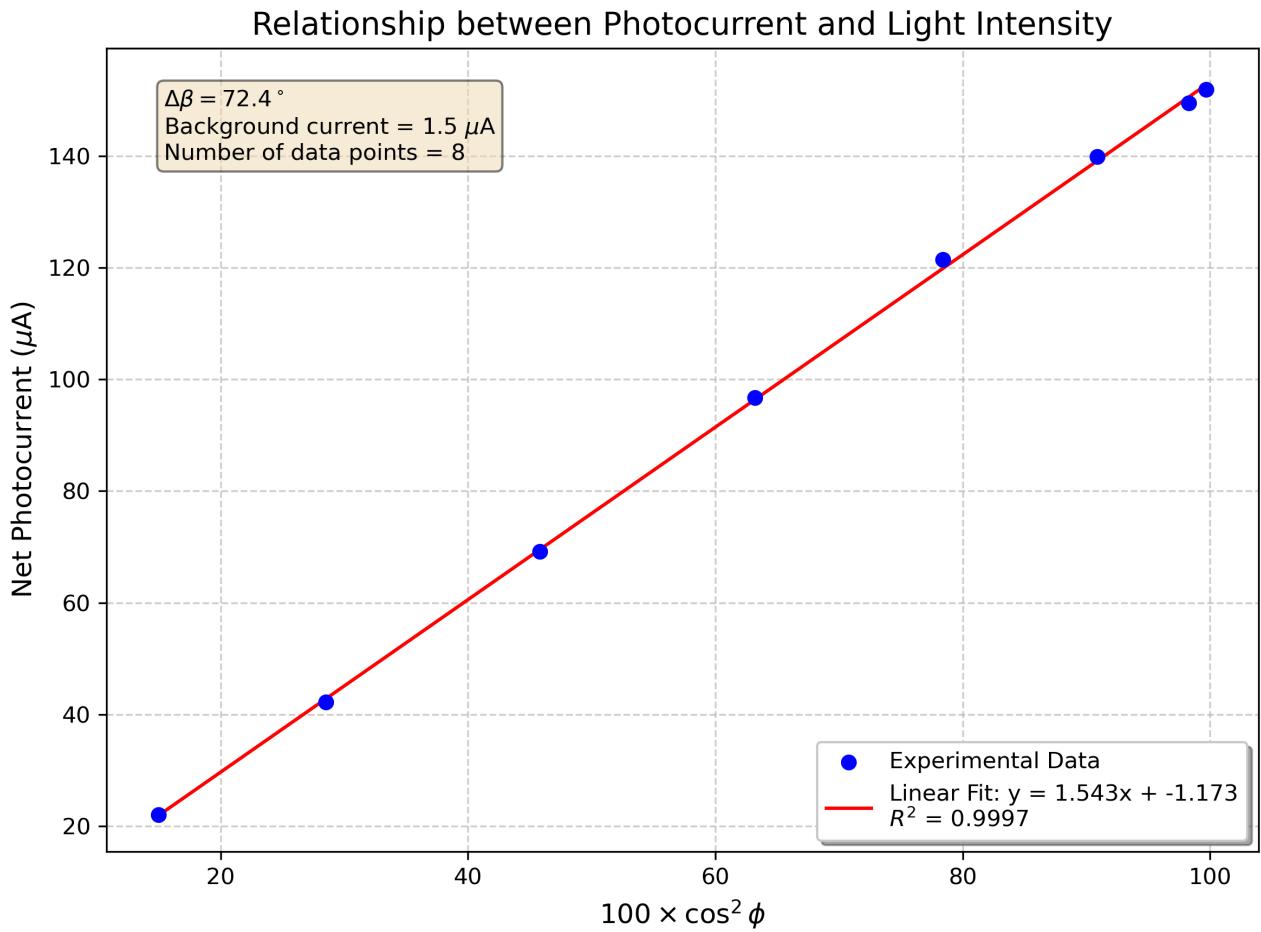
因此: $\Delta\beta = 72.4^\circ \pm 0.4^\circ$

1.3 实验三: 光电流与光强的关系

数据记录: 无激光时, 电表示数为 $1.5 \mu A$ 。

β	70.0	80.0	90.0	100.0	110.0	120.0	130.0	140.0
光电流	153.4	151.0	141.4	122.9	98.2	70.7	43.7	23.6
$\varphi = \beta - \Delta\beta$	-2.4	7.6	17.6	27.6	37.6	47.6	57.6	67.6
$100 \cos^2 \varphi$	99.7	98.3	90.9	78.4	63.2	45.8	28.5	15.0
去底光电流	151.9	149.5	139.9	121.4	96.7	69.2	42.2	22.1

绘制拟合图像如下:



根据图像可知: I 与 $\cos^2 \varphi$ 在误差允许范围内呈线性关系。

2. 误差分析 (20 分)

1) 系统误差 光路调节不完善导致入射角测量偏差。激光器、转台、光电池未严格等高共轴，且黑色平板表面与光轴不垂直，这些几何偏差会系统性地影响布儒斯特角的测量精度。仪器固有误差包括转台刻度盘的零点误差和偏振片刻度偏差。转台的最小分度为 0.5° ，且存在回程误差；偏振片的透光轴方向与刻度指示存在约 0.4° 的系统偏差。

2) 测量误差 布儒斯特角判定存在主观误差。在反射光强最小值附近，光电流变化平缓，人眼对微安表读数变化的敏感度有限，导致角度定位存在约 $0.1\text{--}0.2^\circ$ 的随机误差。环境干扰显著影响测量精度。特别是在弱光测量时，背景噪声会干扰极小值的准确判断，导致角度读数偏差。

3) 器件特性误差 硅光电池的非线性响应和万用表内阻的影响。光电池在不同光强下的响应并非完全线性，而万用表的有限内阻会分压，导致光电流读数略小于真实值。激光器功率波动带来随机误差。激光器输出功率的时间不稳定性直接转化为光电流读数的波动，影响测量的一致性和重复性。

4) 总结 通过 6 次重复测量取平均值，随机误差得到有效控制，相对误差 0.48% ，表明在现有实验条件下获得了较好的测量精度。

3. 实验探讨 (10 分)

在本实验中，我们通过精确测量布儒斯特角，成功计算出黑色平板的折射率为 1.466 ± 0.007 。当入射角达到布儒斯特角时，反射光强达到最小，此时反射光呈现出完全线偏振的特性。通过旋转偏振片改变透光方向，我们观察到光电流随角度变化呈现规律性波动，实验数据清晰验证了马吕斯定律中光强与 $\cos^2 \theta$ 的线性关系。整个实验过程不仅让我们掌握了偏振光的产生和检测方法，更深化了对光的偏振现象及其应用的理解。

四、思考题 (10 分)

1. 请简述减小实验误差的方法 1) 调节光路严格等高共轴，确保激光、转台与光电池中心对齐，减少系统误差； 2) 对布儒斯特角等关键角度进行多次测量并取平均值，降低随机误差； 3) 在暗室中操作或使用遮光装置，屏蔽环境杂散光，避免干扰光电流读数； 4) 校准仪器零点，尤其是偏振片和转台的角度刻度，减小仪器固有误差。
2. 举 3 个生活中光的偏振的例子 1) 偏振太阳镜：利用偏振片过滤水面、路面反射的眩光，提升视觉清晰度； 2) 3D 电影眼镜：通过左右镜片对应不同偏振方向，使双眼接收不同图像，形成立体视觉效果； 3) 摄影用 CPL 偏振镜：减少非金属表面反光，增强色彩饱和度，改善拍摄画质。
3. 在探究光电流与光照强度关系时背景光照的影响是怎样的？背景光照会引入本底光电流，导致测量结果产生系统误差。具体表现为： 1) 使光电流与光强的线性关系曲线不通过坐标原点，产生截距； 2) 若背景光不稳定，会引入随机波动，降低数据的线性拟合度； 3) 在弱光条件下，背景光的干扰尤为显著，影响布儒斯特角附近极小值的准确判断。