

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: 8

指导教师: 姚星星老师

班级: -

姓名: -

学号: -

实验日期: 2025年12月8日 星期二 上午

(此处填实验选课系统内日期)

浙江大学物理实验教学中心

如有实验补做, 补做日期:

情况说明:

一、预习报告 (10 分)

(注: 将已经写好的“物理实验预习报告”内容拷贝过来)

1. 实验综述 (5 分)

(自述实验现象、实验原理和实验方法, 包括必要的光路图、电路图、公式等。不超过 500 字。)

光的偏振及其应用研究实验旨在通过观测光在介质界面的反射特性, 深入理解光的横波性质。本次实验的核心在于利用布儒斯特角原理测定介质的折射率, 并验证线偏振光遵循马吕斯定律。

实验原理:

1. 菲涅尔公式与偏振光的反射特性

光波作为电磁波, 在两种介质界面 (如空气与玻璃) 反射时, 其反射特性强烈依赖于光的偏振态。如图 1 所示, 将入射光矢量分解为两个正交分量:

- **S 分量 (图 1-1):** 光矢量垂直于入射面 (垂直纸面, 用圆点表示)。
- **P 分量 (图 1-2):** 光矢量平行于入射面 (在纸面内, 用箭头表示)。

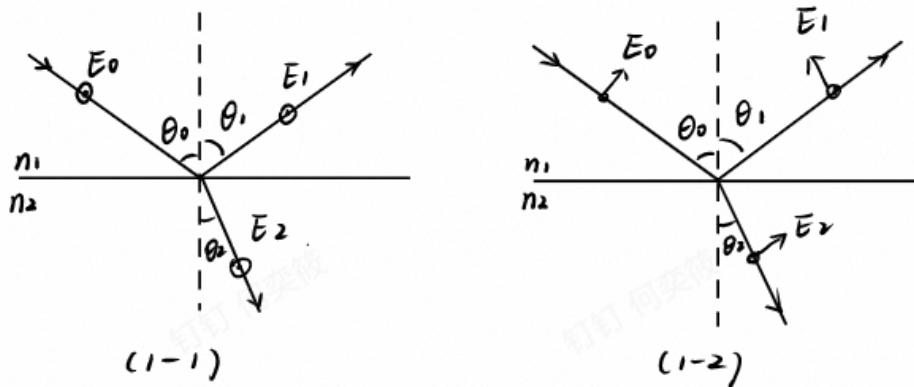


图 1: 菲涅尔公式原理图

根据菲涅尔公式, P 分量的反射振幅比为:

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

其中 θ_0 为入射角, θ_2 为折射角。

当入射角满足 $\theta_0 + \theta_2 = 90^\circ$ 时, 公式分母趋于无穷大, 反射系数为零。这意味着此时反射光中不包含 P 分量, 只有 S 分量, 反射光变为完全线偏振光。

该特定入射角称为布儒斯特角 (Brewster's Angle, θ_B), 此时满足:

$$\tan \theta_B = \frac{n_2}{n_1} = n \quad (\text{空气中 } n_1 \approx 1) \quad (2)$$

实验通过测量使反射光中 P 分量消失的入射角 θ_B , 即可求得折射率 n 。

2. 马吕斯定律 (Malus's Law)

当线偏振光 (光强为 I_0) 透过检偏器时, 若线偏振光的振动方向与检偏器透光轴的夹角为 ϕ , 则透射光强 I 满足:

$$I = I_0 \cos^2 \phi$$

实验中利用硅光电池测量光电流 i 。由于在一定范围内光电流与入射光强成正比 ($i \propto I$), 通过测量光电流 i 随转角 ϕ 的变化, 即可验证该线性关系。

实验方法:

1. 测量黑色平板的折射率 (逐渐逼近法)

- 调节激光器、转盘中心、黑色平板及光探测器等高共轴。
- 旋转激光器 (或加起偏器), 使入射光为平行于入射面的线偏振光 (P 光)。
- 转动载物台改变入射角, 观察反射光强。当反射光强达到最弱 (消光) 时, 记录刻度盘读数。
- 为消除偏心差, 在转台左右两侧分别测量布儒斯特角对应的位置读数 θ_L 和 θ_R , 则布儒斯特角 θ_B 可由相关几何关系 (如 $|\theta_L - \theta_R|/2$ 或根据具体仪器零点公式) 计算得出, 进而求出 $n = \tan \theta_B$ 。

2. 验证光电流与光强的关系

- 固定入射角为布儒斯特角, 此时反射光为垂直于入射面振动的线偏振光 (S 光)。
- 在反射光路中加入偏振片。旋转偏振片, 测量并记录光电流出现极大值 i_{\max} 和极小值 i_{\min} 的角度, 确定偏振片的透光轴方向; 随后改变偏振片角度 ϕ (如每隔 10°), 记录对应的光电流 i 。同时测量遮挡光路时的本底电流 i' 。
- 绘制 $(i - i') \sim \cos^2 \phi$ 曲线, 通过观察曲线是否拟合为通过原点的直线来验证马吕斯定律。

2. 实验重点 (3 分)

(简述本实验的学习重点, 不超过 100 字。)

1. 深刻理解光的偏振态 (线偏振、自然光), 以及布儒斯特角产生线偏振光 (p 分量反射为 0) 的物理机制。
2. 掌握光学实验中的共轴调节技术, 以及利用“逐渐逼近法”准确寻找反射光强极小值位置的方法。
3. 学会处理实验数据, 通过扣除本底电流和作图分析, 验证光电流与偏振角余弦平方的线性关系 (马吕斯定律)。

3. 实验难点 (2 分)

(简述本实验的实现难点, 不超过 100 字。)

1. 极小值的精确判断: 在布儒斯特角附近反射光强变化平缓, 肉眼或仪器难以直接锁定唯一的最小值点, 需通过测量光强对称点来辅助定位, 操作要求高。
2. 系统误差控制: 激光器、转台与检测器的共轴等高调节直接影响角度测量的准确性; 此外, 环境背景光会引入本底电流, 若不进行有效遮蔽或修正, 将导致马吕斯定律验证曲线偏离原点。

二、原始数据 (20 分)

(将有老师签名的“自备数据记录草稿纸”的扫描或手机拍摄图粘贴在下方, 完整保留姓名, 学号, 教师签字和日期。)

实验一. 测量黑色平板折射率.

次	测量次数	左侧角坐标 θ_1 (度)	右侧角坐标 θ_2 (度)
1		75.3°	293.8 294.4°
2		77.2°	294.5°
3		76.3°	293.4°
4		75.8°	293.6°
5		75.9°	293.5°
6		76.1°	293.6°

实验二. 分析光电流与入射光强之间的关系

1. 偏振片的偏号: 53.

光电流	极大	极小	极大	极小
光电流极值处角坐标 θ (度)	66.0°	158.6°	246.1°	338.1°
偏振化方向与指针的夹角 α	~	~	~	~
~	极大	极小	极大	极小
~	68.1°	158.8°	246.4 249.2°	338.4°
~	70.0			

2. 本底光电流 $i' = 0.3 \mu A$, $\Delta \theta =$

θ(度)	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°
光电流 i (μA)	275	268	244	208	164.0	114.8	69.3	31.2

图 2: original data

三、结果与分析 (60 分)

1. 数据处理与结果 (30 分)

(列出数据表格、选择适合的数据处理方法、写出测量或计算结果。)

实验一：测量黑色平板折射率

表 1: 测量黑色平板折射率数据

测量次数	左侧角坐标 θ_1 (度)	右侧角坐标 θ_2 (度)	$\theta_b = \theta_1 - \theta_2 /4$
1	75.3°	294.4°	54.8°
2	77.2°	294.5°	54.3°
3	76.3°	293.4°	54.3°
4	75.8°	293.6°	54.5°
5	75.9°	293.5°	54.4°
6	76.1°	293.6°	54.4°

布儒斯特角的平均值为:

$$\overline{\theta_B} = \frac{\sum_1^6 \theta_{bi}}{6} = 54.45^\circ$$

由此就可以求得折射率的平均值为: $\bar{n} = \tan(54.45^\circ) \approx 1.3992$
接下来进行不确定度的计算。

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum(\theta_{bi} - \overline{\theta_B})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{0.175}{30}} \approx 0.0764^\circ \quad u_B = \frac{1}{4} \sqrt{u(\theta)^2 + u(\theta)^2} = \frac{1}{4} \sqrt{2 \times \left(\frac{0.5}{\sqrt{3}}\right)^2} \approx 0.1021^\circ$$

$$u_c(\theta_B) = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \approx 0.1275^\circ$$

因为 n 和 θ_B 的关系为 $n = \tan\theta_B$, 所以根据不确定度传递规则:

$$u(n) = \frac{1}{\cos^2\theta_B} u_c(\theta_B) \approx 0.00658$$

故折射率的修正结果为: $n = 1.399 \pm 0.007$

实验二: 偏振片的偏振化方向角度测量

偏振片编号: 53

表 2: 偏振片的偏振化方向角度测量实验数据

光电流	极大	极小	极大	极小
光电流极值处角坐标 β (度)	66.0°	158.6°	246.1°	338.1°
等效夹角 $\Delta\beta$ (度)	66.0°	68.6°	66.1°	68.1°
光电流	极大	极小	极大	极小
光电流极值处角坐标 β (度)	68.1°	158.8°	249.2°	338.4°
等效夹角 $\Delta\beta$ (度)	68.1°	68.8°	69.2°	68.4°

因此, 我们可以得到夹角的平均值为: $\overline{\Delta\beta} = \frac{\sum \Delta\beta_i}{8} = 67.9^\circ$

接下来进行不确定度的计算:

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum(\Delta\beta_i - \overline{\Delta\beta})^2}{n(n-1)}} \approx 0.426^\circ \quad u_B = \frac{\Delta\beta}{\sqrt{3}} \approx 0.289^\circ$$

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \approx 0.515^\circ$$

故夹角的修正结果为: $\Delta\beta = 67.9^\circ \pm 0.6^\circ$

实验三: 光电流和光强的关系

本底光电流 $i' = 0.3\mu A$

根据实验二的测量结果可知, $\Delta\beta = 67.9^\circ$

表 3: 光电流随光强变化结果

β (度)	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°
光电流 $i(\mu A)$	275	268	244	208	164.0	114.8	69.3	31.2
$\Phi = \beta - \Delta\beta$ (度)	2.1	12.1	22.1	32.1	42.1	52.1	62.1	72.1
$100 \times \cos^2(\Phi)$	99.9	95.6	85.8	71.8	55.0	37.8	21.9	9.5
去本底光电流 $i - i'(\mu A)$	274.7	267.7	243.7	207.7	163.7	114.5	69.0	30.9

做 $i - i'$ 与 $100 \cdot \cos^2 \Phi$ 的关系图如下:

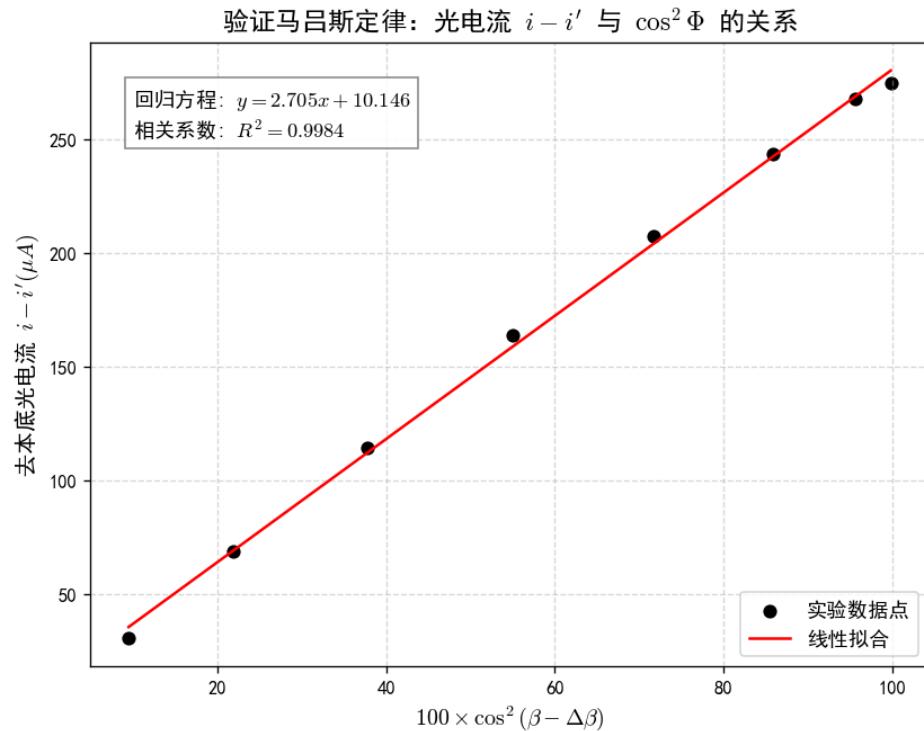


图 3: 拟合曲线图

根据拟合结果我们可以看到决定系数 $R^2 = 0.9984$, 说明 $i - i'$ 与 $100 \cdot \cos^2 \Phi$ 之间存在线性关系, 结合马吕斯定律 $I = I_0 \cos^2 \phi$, 我们可以得出结论: 光电流 $i - i'$ 与入射光强 I 成线性关系。

2. 误差分析 (20 分)

(运用测量误差、相对误差或不确定度等分析实验结果, 写出完整的结果表达式, 并分析误差原因。)

不确定度的分析在前一部分已经完成，这部分直接分析实验的误差来源。

测量黑色平板折射率：

1. 激光束、转台中心轴与探测器可能未严格处于同一平面或未严格共轴，导致转动转台时入射点会发生微小位移，反射光斑偏离探测器中心，引入系统误差。

2. 消光点判断的主观误差：寻找光强最小的角坐标的时候，在一定的范围内光电流大小均未发生变化，这导致我们无法准确地判断光强最小的角坐标，也会对测量结果产生一定的误差。

测量偏振片方向：

1. 极值位置定位困难：与第一个实验类似，光电流在极大值和极小值附近随角度变化非常缓慢，我们难以精确锁定极值对应的角度，因此我们的读数具有较大的主观性，会引入一定的误差。

光电流与光强关系

根据拟合结果曲线我们可以发现，拟合直线的截距大约为 10 微安，这与理论情况存在一点偏差，主要原因可能如下：

1. 第二个实验测得的 $\Delta\beta$ 值可能存在一定的误差，这会导致在第三个实验中也引入一定的系统性偏移，导致拟合结果截距不为 0。

2. 激光功率的不稳定性。激光器的输出功率可能会在测量的过程中发生漂移，导致测量结果产生一定的误差。此外，环境中的杂散光强度也可能发生变化，会引入一定的误差。

3. 实验探讨（10 分）

（对实验内容、现象和过程的小结，不超过 100 字。）

在本次实验中，我深入研究了光的偏振特性及其应用。首先，我利用渐进逼近法测得黑色平板的布儒斯特角约为 54.45° ，计算得出其折射率 $n = 1.399 \pm 0.007$ 。随后，我通过极值法确定了偏振片透光轴的等效夹角 $\Delta\beta \approx 67.9^\circ$ 。在验证马吕斯定律时，尽管拟合曲线存在约 $10.15\mu A$ 的截距偏差，但去除本底电流后的光电流与 $\cos^2\Phi$ 呈现出极佳的线性关系 ($R^2 \approx 0.998$)。实验结果直观有力地验证了线偏振光强度随角度变化的物理规律。

四、思考题（10 分）

（解答教材或讲义或老师布置的思考题，请先写题干，再作答。）

1. 请简述减小实验误差的方法

在本次实验中，减小误差的方法主要包括以下几点：首先是双侧测量法，即在转台左右两侧分别测量消光角，取平均值以消除转台偏心差带来的系统误差。其次是采用逐渐逼近法来确定布儒斯特角，因为极小值附近光强变化平缓，通过反复微调寻找“最暗点”比单次读取更加准确。此外，在验证马吕斯定律时，扣除了本底电流的影响，以消除环境杂散光对线性关系的干扰。最后，实验前需仔细调节激光器、转台和探测器，确保它们严格等高共轴。

2. 如何调节激光通过转台的中心转轴

打开激光器，调节黑色平板正对激光器，调节激光器的位置，使得光束大致打在黑色平板的中心转轴位置，接着将黑色平板旋转一定角度，如果光点的位置基本不变，说明激光已经通过转台的中心转轴了；如果光点发生了偏移，则再调节激光器的位置与方向；重复转动黑色平板和调节激光器的过程，直至光点的位置基本不发生改变。

3. 如何调节激光与转台转轴中心轴垂直

打开激光器，调节黑色平板正对激光器，通过判断经过黑色平板反射回去的光束沿原路返回（即激光器上出现的光点的位置是否是光束出射的位置），来判断激光器与转台转轴中心轴是否垂直。调节激光器后方的螺

丝，直至二者重合，此时激光器与转台转轴中心轴垂直。

4. 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

背景光照主要来源于实验室的照明灯或窗外射入的自然光，它会以本底电流的形式叠加在测量值上。在验证马吕斯定律时，理论公式为 $I = I_0 \cos^2 \Phi$ ，是一条过原点的直线。如果存在背景光照且未被扣除，实验测得的电流变为 $I = I_0 \cos^2 \Phi + i$ 。这在数学上表现为拟合直线的截距不为零，导致直线整体向上平移，不再经过原点。虽然这不影响对线性规律的判断，但会带来明显的系统误差，使得实验结果无法精确吻合理论模型。

注意事项：

1. 用 PDF 格式上传“实验报告”，文件名：学生姓名 + 学号 + 实验名称 + 周次。
2. “实验报告”必须递交在“学在浙大”本课程内对应实验项目的“作业”模块内。
3. “实验报告”成绩必须在“浙江大学物理实验教学中心网站” - “选课系统”内查询。
4. 教学评价必须在“浙江大学物理实验教学中心网站” - “选课系统”内进行，学生必须进行教学评价，才能看到实验报告成绩，教学评价须在本次实验结束后 3 天内进行。

浙江大学物理实验教学中心制