



大学物理综合实验——偏振光的研究

刘元彻 PB21020505 21 级物理学院 1 班

2022 年 9 月 26 日

摘要：偏振光实验的主要目的是了解偏振光的有关性质，并定量研究偏振光在经过不同偏振器件（偏振片，1/4 波片等）时的行为；本实验通过起偏-检偏光路，利用硅光电探头和数字检流计测量偏振光强度的方法，验证了马吕斯定律，并利用布儒斯特定律测定了介质表面的折射率。最后，利用偏振片和 1/4 波片，定性判断了不同光源发光的偏振情况。

1 实验目的

偏振光实验 [1, 2] 的主要内容包括：

1. 观察半导体激光器发光的偏振现象，定量测量其偏振度
2. 通过测定起偏-检偏夹角不同的光强，验证马吕斯定律
3. 测量一样品的布儒斯特角，并计算其折射率
4. 利用定性方法判断液晶屏和手机屏所发出光线的偏振态

2 实验仪器与材料

半导体红色激光器（光强可调节）、偏振片 2 片、硅光电探头和数字检流计、样品旋转台和光学调整支架、待测样品、1/4 波片

3 实验原理与方案设计

3.1 激光器偏振度的测量

光线的偏振度被定义为：

$$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

据此，将偏振片置于激光器和光电探头之间，旋转偏振片主轴直至获得检流计的最大示数 I_{max} 和最小示数 I_{min} 。考虑到在线性区范围内，将数值代入即可求得偏振度。

3.2 马吕斯定律的验证

马吕斯定律表明，一束光强为 I_0 的完全线偏振光通过检偏器后光强 I 满足：

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

其中 θ 是检偏器透振方向和完全线偏振光的偏振方向的夹角。

据此，设计实验方案如下：

1. 调整实验器材和光路。将第一块偏振片置于激光器和硅光电探头之间，作为起偏器。
2. 将第二块偏振片置于起偏器和硅光电探头之间，调整其透振方向，找到光强示数最小（几乎为 0 或完全为 0）时的角度 θ_s 和光强 I 。
3. 从 θ_s 开始，即为起偏-检偏夹角为 $\theta = 90^\circ$ 的情形。接下来调整检偏器透振方向，每 6° 测定一次光强，记录夹角 θ 和对应的光强 I 。
4. 当达到光强极大时，继续测定，直到达到第二次光强极小。将记录的数据进行处理。

3.3 测量样品折射率

反射光中的垂直于入射面的光振动（称 s 分量）多于平行于入射面的光振动（称 p 分量）；而透射光则正好相反。在改变入射角的时候，会出现一个特殊的现象，即入射角为某一特定值时，反射光成为完全线偏振光（s 分量），折射光为部分偏振光，而且此时的反射光线和折射光线垂直，这种现象称之为布儒斯特定律，这一特定的入射角称为布儒斯特角 i_b 。

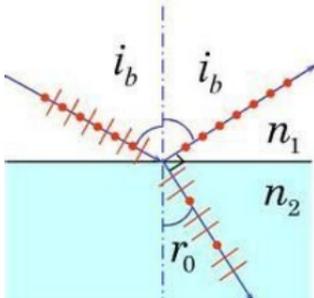


图 1: 偏振光反射与布儒斯特角

此时, 根据几何关系: $i_1 + i_2 = \frac{\pi}{2}$ 。认为空气中折射率 $n_1 \approx 1$, 可得到:

$$n_2 = n_1 \tan i_1$$

所以只要测定了布儒斯特角就可以计算出介质的折射率。为了测定布儒斯特角, 我们设计如下的实验方案:

1. 调节仪器共轴, 利用调整至 90° 的偏振片作为起偏器, 获得一束几乎全为 p 分量的偏振光。
2. 调节旋转载物台, 使得偏振光首先垂直照射在样品的光学面上, 记录此时载物平台读出角度 θ_1
3. 小心地旋转载物平台, 每 6° 测定一次反射光的光强并记录。在旋转过程中, 持续观察光强示数变化; 当光强极小值出现时, 记录最后一次示数
4. 在最后两次测定所对应的角度之间, 缩小测量间隔为 1° , 仿照上面的流程进行测量, 直至找到光强取极小值时的角度 θ_2
5. 将 $i_b = \theta_2 - \theta_1$ 作为布儒斯特角的测量值, 计算折射率

3.4 鉴别不同光源的偏振态

利用偏振片和 $1/4$ 波片可以鉴别不同光源的偏振态:

- 首先令入射光通过偏振片, 并旋转偏振片, 观察光源。如果出现两次完全消光, 则是线偏振光; 如果投射强度不随着旋转变化的, 则是自然光或者圆偏振光; 如果强度随着旋转变化的, 则是椭圆偏振光或部分偏振光
- 对于自然光和圆偏振光的区分, 则可令入射光先后通过 $1/4$ 波片和偏振片。旋转偏振片, 如果旋

转过程中出现消光, 则是圆偏振光, 否则是自然光。

- 对于椭圆偏振光和部分偏振光的区分, 先将入射光通过 $1/4$ 波片, 并保证 $1/4$ 波片的光轴方向与第一步中极大光强出现的透振方向重合; 接着通过偏振片并旋转偏振片。旋转过程中若发生消光, 则是椭圆偏振光; 若不发生消光, 则是部分偏振光。

4 实验数据处理和误差分析

4.1 激光器偏振度的测量

表 1: 半导体激光器偏振度测量

光强极大值	偏振片角度	光强极小值	偏振片角度
928	21°	279	111°
930	201°	280	291°

根据公式计算:

$$I_{max} = \frac{928 + 930}{2} = 929, I_{min} = \frac{279 + 280}{2} = 279.5$$

于是偏振度

$$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \approx 53.7\%$$

为测得的偏振度。

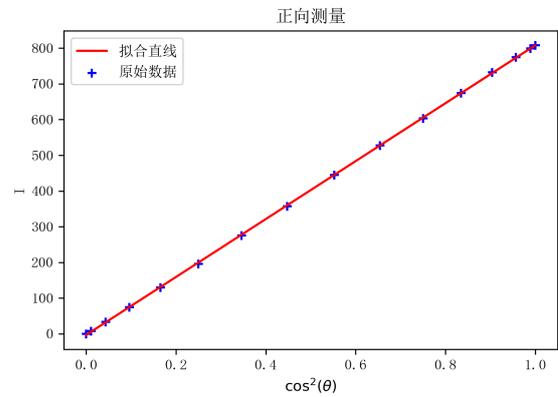
4.2 马吕斯定律的验证

以下规定: 记 θ 为起偏器和检偏器透振方向的夹角; I 为测得的光强。实验中测得的原始角度数据已经被转化为了标准夹角 θ



表 2: 反向测量和正向测量的结果记录

$\theta/(^{\circ})$	I	$\theta/(^{\circ})$	I
90	0	0	808
84	8	6	799
78	32	12	775
72	75	18	732
66	130	24	674
60	194	30	603
54	274	36	528
48	356	42	445
42	443	48	357
36	527	54	276
30	605	60	196
24	673	66	130
18	732	72	75
12	774	78	33
6	800	84	8
0	808	90	0



线性回归的结果: 斜率 $k = 810.7$, 截距 $m = -2.935$, 标准差 $s = 1.32962$, 相关系数 $r^2 = 0.999962$

这里的结果显示, 两个线性拟合的效果都非常好, I_0 与斜率 k 的符合相当好, 截距 m 相对于 k 可以忽略不计, 并且相关系数非常高, 说明 $I \sim \cos^2(\theta)$ 线性是可以满足的, 这就验证了马吕斯定律。

4.3 测量样品折射率

然后, 将这些数据拟合成图像:

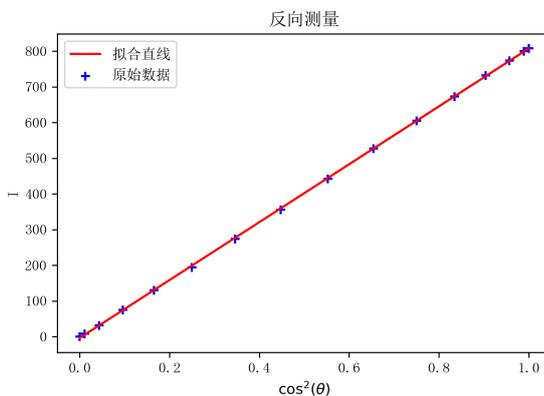


表 3: 第一次粗测

$\theta/(^{\circ})$	I
193	—
199	144
205	139
211	129
217	113
223	98
229	73
235	45
241	19
247	14
253	3

线性回归的结果: 斜率 $k = 811.3$, 截距 $m = -3.731$, 标准差 $s = 1.62996$, 相关系数 $r^2 = 0.999943$

注意到在 247° 到 259° 之间发现了极小值, 缩小测量范围:



表 4: 精细测量-角度与光强关系 ($\theta_1 = 193^\circ$)

247°	248°	249°	250°	251°	252°
14	11	8	1	2	3

然后进行了两次重复测量。当然，两次重复测量的起始角度也不相同，所以我们可以作出如下表格：

表 5: 精细测量-角度与光强关系 ($\theta_1 = 201^\circ, 203^\circ$)

256°	257°	258°	259°	260°
14	8	1	3	4
258°	259°	260°	261°	262°
12	7	0	2	3

标红的部分就是我们取得的布儒斯特角测量值。现在列表：

表 6: 布儒斯特角的三次测量

测量次数	$\theta_1/(\circ)$	$\theta_2/(\circ)$
1	193	250
2	201	258
3	203	260

这给出

$$\bar{i}_b = \frac{(250 - 193) + (258 - 201) + (260 - 203)}{3} = 57^\circ$$

折射率测量值 $\bar{n} = \tan \bar{i}_b = 1.54$

误差分析：首先计算和查表得出

$$\sigma_{i_b} = 0^\circ, N = 3, \Delta_B = 1^\circ, C = 3$$

利用 $t_{0.95} = 4.30, k_{0.95} = 1.96$, 计算展伸不确定度：

$$U_{i_b} = \sqrt{(t_{0.95} \frac{\sigma_{i_b}}{\sqrt{n}})^2 + (k_{0.95} \frac{\Delta_B}{C})^2}$$

$$= 0.01 (P = 0.95)$$

$$U_n = \frac{U_{i_b}}{\cos^2 i_b} = 0.04 (P = 0.95)$$

所以折射率的最终结果是：

$$n = 1.54 \pm 0.04 (P = 0.95)$$

4.4 鉴别不同光源的偏振态

方法已经在上面给出，这里给出结果：

液晶屏：用偏振片观察完全消光两次，所以判定为**线偏振光**

手机屏：用偏振片观察有明显极值，但不完全消光；进一步加入 1/4 波片后，转动偏振片，仍未完全消光，故为**部分偏振光**。

5 思考题

5.1 如何鉴别部分偏振光和椭圆偏振光

在实验原理部分已经做出了阐述。这里摘录如下：

- 首先令入射光通过偏振片，并旋转偏振片，观察光源。如果出现两次完全消光，则是线偏振光；如果投射强度不随着旋转变化的，则是自然光或者圆偏振光；如果强度随着旋转变化的，则是椭圆偏振光或部分偏振光
- 对于自然光和圆偏振光的区分，则可令入射光先后通过 1/4 波片和偏振片。旋转偏振片，如果旋转过程中出现消光，则是圆偏振光，否则是自然光。
- 对于椭圆偏振光和部分偏振光的区分，先将入射光通过 1/4 波片，并保证 1/4 波片的光轴方向与第一步中极大光强出现的透振方向重合；接着通过偏振片并旋转偏振片。旋转过程中若发生消光，则是椭圆偏振光；若不发生消光，则是部分偏振光。

5.2 如何在摄影中利用偏振光的原理消除表面反射光的影响

摄影中使用的偏振镜是两块偏振片复合而成；一片与支架胶合不动，另一片可以旋转；

对于常见的非金属表面反光，例如湖面的倒影，天空中的漫反射光，属于完全线偏振光或者近似线偏振光，可以通过旋转偏振镜前镜片，过滤掉部分反射光。直观



的拍摄感受是天空蓝色更深，云更白；水面观感更加清澈见底。

但对于金属表面反光，其不属于线偏振光（金属表面反光是不能形成完全的线偏振光的，即金属材料不存在布儒斯特角的概念），所以偏振镜是无法滤除的 [3]。

6 实验讨论

在进行布儒斯特角测定实验时，我们并没有要求测得的光强完全为 0；这是因为，偏振片的光轴不一定和所标识的完全一致，加上背景光的影响，不能保证示数完全为 0。所以只需要找到示数的极小值即可。

参考文献

- [1] 物理实验教学中心. “偏振光的研究”. In: (2022), pp. 1–12.
- [2] 赵凯华. 新概念物理教程. 光学. 新概念物理教程. 光学, 2004.
- [3] 马科斯·玻恩 and 埃米尔·沃耳夫. 光学原理. 光学原理, 2009.