

大学物理实验报告

实验名称：

偏振光实验

学院：理学院 专业：应用物理学 班级：应物 1601

学号：20161413 姓名：谢尘竹 电话：18640451671

实验日期： 2019 年 7 月 19 日

第 二十 周 星期 五 第 三 节

实验室房间号：313

实验组号：3

成绩

指导教师

批阅日期

程显中

2019 年 7 月 19 日

1. 实验目的:

①.了解光的偏振特性,学会如何区分自然光、部分偏振光和线偏振光;

②.掌握线偏振光及椭圆偏振光的获取方法;

③.验证马吕斯定律;

④.对 $1/4$ 波片、 $1/2$ 波片的原理及其特性加深理解。

2. 实验器材:

名称	编号	型号	精度
晶体电光效应实验仪	14011	DHE0-1	
光功率计		DH8503A	0.001mW
偏振片(起偏器、检偏器)			
激光器			
光具座、导轨			

3. 实验原理（请用自己的语音简明扼要地叙述，注意原理图需要画出，测试公式需要写明）

光的偏振有 5 种可能的状态：自然光、部分偏振光、线偏振光、圆偏振光、椭圆偏振光。——自然界的大多数光源发出的光为自然光。自然光是轴对称分布、无固定相位关系的大量线偏振光集合而成的。

如果有一种光学元件，能以某种方式选择自然光中的一束线偏振光，而摒弃其余或者另一束线偏振光，则称为起偏器。线偏振光可以用相位相同，振动相互垂直的两列光波的叠加来描述。

二向色性指的是有些晶体对振动方向不同的电矢量具有选择性吸收的性质。最早使用的是天然具有二向色性的晶体，如电气石，它能强烈地吸收与晶体光轴垂直的电矢量，对于光轴平行的电矢量吸收得较少。

广泛使用的二向色性片是一种人造偏振片。它是由小晶体或分子在透明的薄膜上整齐地排列起来形成的。它会吸收一个方向的电矢量，而让上该方向的电矢量几乎完全通过。能透过电矢量振动的方向就是人造偏振片的透振方向。

偏振片 P_1 用来产生线偏振光，叫做起偏器；偏振片 P_2 用来检验线偏振光，叫做检偏器，它俩的透振方向互成 θ 角。

若通过 P_1 的电矢量振幅为 A ，则沿着 P_2 的透振方向的振幅分量为 $A\cos\theta$ 。于是透射光强为 $I(\theta)=A^2\cos^2\theta=I\cdot\cos^2\theta$ ，线偏振光透过检偏器后的透射光强度随 θ 角变化的这种规律，称为马吕斯定律。

4. 实验内容与步骤

- ①.将光功率计“量程”按键置于 2mW;
- ②.安放好各光具座于导轨上,调节至等高、共轴。
- ③.取下检偏器,旋转起偏器,使透射光强达到最大值,最大值不能小于 0.4mW;
- ④.放上检偏器,旋转检偏器,使透射光光强达到最小值 0;
- ⑤.以 $\theta=90^\circ$ 为测量起点,转动检偏器, θ 角每变化 5° ,测量一次透射光强,一直测到 $\theta=0^\circ$ 为止,反复测量三遍。

5. 实验记录（注意：单位、有效数字、列表）

一. 原始数据

实验1601
谢红红
2016.4.13

No. _____
Date. _____

$\theta(^{\circ})$		90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25
透射光强	第1次	0	0.029	0.105	0.213	0.345	0.482	0.568	0.648	0.690	0.712	0.690			
	第2次														
	第3次														
	平均值														
		20	15	10	5	0									

$\theta(^{\circ})$		90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20
透射光强	第1次	0	0.003	0.017	0.043	0.081	0.128	0.184	0.246	0.308	0.372	0.437	0.486	0.541	0.590	0.628
	第2次	0	0.003	0.018	0.044	0.079	0.128	0.182	0.245	0.309	0.378	0.443	0.496	0.549	0.596	0.632
	第3次	0	0.003	0.018	0.043	0.081	0.129	0.185	0.246	0.311	0.383	0.443	0.498	0.548	0.595	0.633
	平均值															
		15	10	5	0											
		0.652	0.670	0.686	0.700	0.691										
		0.659	0.679	0.693	0.707											
		0.659	0.677	0.692	0.711											

2019.7.14
最多4分!

误差来源：能定量尽量定量，能定性尽量定性！

6. 数据处理及误差分析

一.经计算后的数据

$\cos^2\theta$		4E-33	0.008	0.03	0.067	0.117	0.179	0.25	0.329	0.413	0.5	0.587	0.671	0.75	0.821	0.883	0.933	0.97	0.992	1
$\cos\theta$		6E-17	0.087	0.174	0.259	0.342	0.423	0.5	0.574	0.643	0.707	0.766	0.819	0.866	0.906	0.94	0.966	0.985	0.996	1
$\theta(^{\circ})$		90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
透射 光强 $I(\text{mW})$	第1次	0	0.003	0.017	0.043	0.081	0.128	0.184	0.246	0.308	0.372	0.437	0.486	0.541	0.59	0.628	0.652	0.67	0.686	0.7
	第2次	0	0.003	0.018	0.044	0.079	0.128	0.182	0.245	0.309	0.378	0.443	0.496	0.549	0.596	0.632	0.659	0.679	0.693	0.707
	第3次	0	0.003	0.018	0.043	0.081	0.129	0.185	0.246	0.311	0.383	0.443	0.498	0.548	0.595	0.633	0.659	0.677	0.692	0.711
	平均值	0	0.003	0.018	0.043	0.08	0.128	0.184	0.246	0.309	0.378	0.441	0.493	0.546	0.594	0.631	0.657	0.675	0.69	0.706

表 1. 透射光强 I 与 $\cos^2\theta$ 关系表 (全表)

$\cos^2\theta$		4E-33	0.008	0.03	0.067	0.117	0.179	0.25	0.329
$\cos\theta$		6E-17	0.087	0.174	0.259	0.342	0.423	0.5	0.574
$\theta(^{\circ})$		90	85	80	75	70	65	60	55
透 射 光 强 I(mW)	第1次	0	0.003	0.017	0.043	0.081	0.128	0.184	0.246
	第2次	0	0.003	0.018	0.044	0.079	0.128	0.182	0.245
	第3次	0	0.003	0.018	0.043	0.081	0.129	0.185	0.246
	平均值	0	0.003	0.018	0.043	0.08	0.128	0.184	0.246

表 2. 透射光强 I 与 $\cos^2\theta$ 关系表 (半表 1)

0.413	0.5	0.587	0.671	0.75	0.821	0.883	0.933	0.97	0.992	1
0.643	0.707	0.766	0.819	0.866	0.906	0.94	0.966	0.985	0.996	1
50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
0.308	0.372	0.437	0.486	0.541	0.59	0.628	0.652	0.67	0.686	0.7
0.309	0.378	0.443	0.496	0.549	0.596	0.632	0.659	0.679	0.693	0.707
0.311	0.383	0.443	0.498	0.548	0.595	0.633	0.659	0.677	0.692	0.711
0.309	0.378	0.441	0.493	0.546	0.594	0.631	0.657	0.675	0.69	0.706

表 3. 透射光强 I 与 $\cos^2\theta$ 关系表 (半表 2)

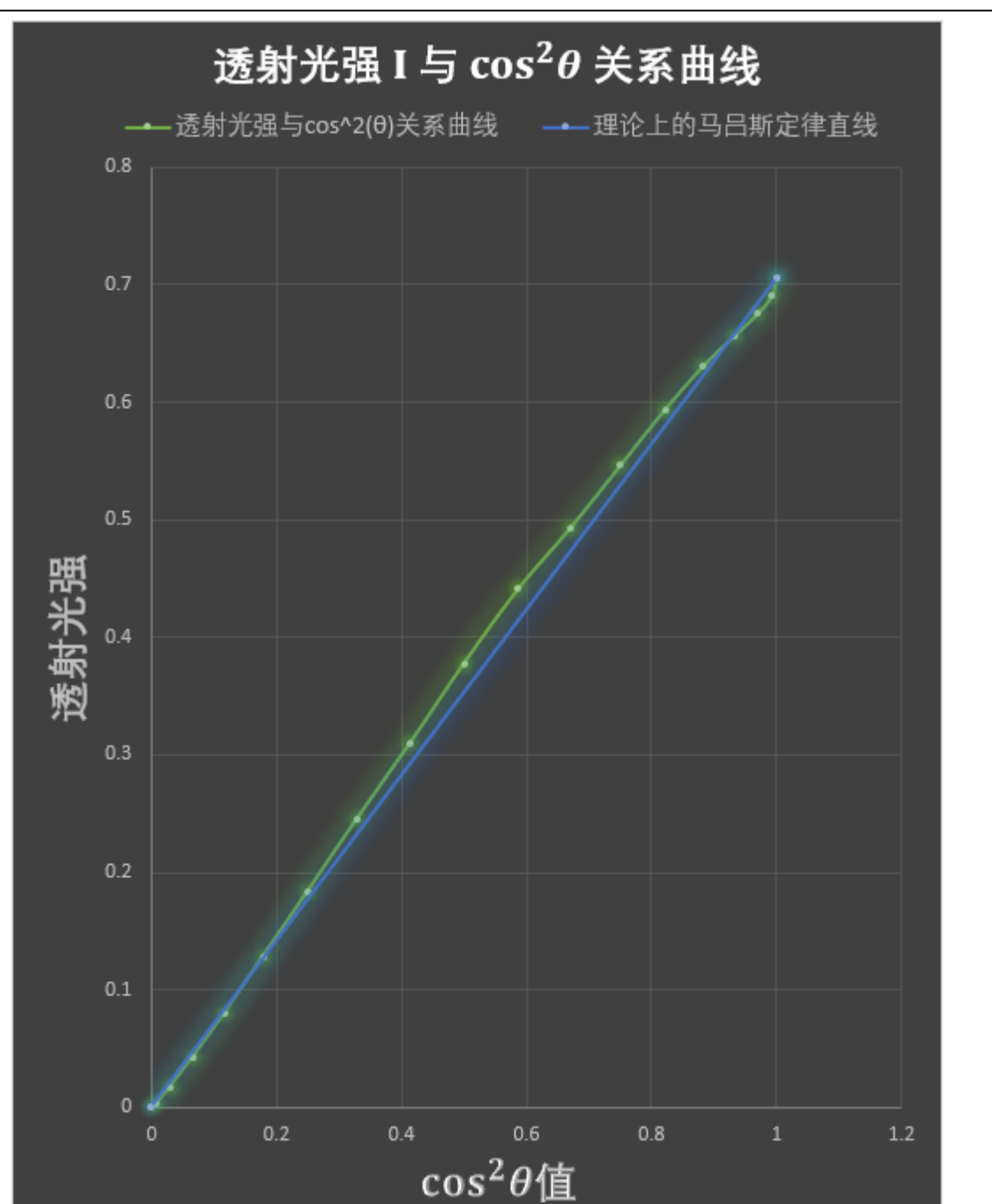


图 1. 透射光强 I 与 $\cos^2\theta$ 关系曲线

二.实验结果

由图 1 可看出，两偏振片透振方向夹角较大时(比如 $\theta \rightarrow$

90°、 $\cos \rightarrow 0$ 时), 测量结果和理论值比较吻合; 但夹角较小时, 测量结果和理论值差别很大。

三.对所得曲线偏离直线的理论解释

在翻阅了大量参考书籍以后, 分析出现差错的原因:

1.定性的影响因素:

- ①.激光器输出激光不稳定。
- ②.同一实验室的多台激光器相互干扰。
- ③.实际偏振片不是理想偏振片, 偏振度小于 1。
- ④.在激光长时间照射下, 偏振片发生退偏振现象。
- ⑤.两块偏振片之间的夹角的计量不准确。

——其中, 最主要的两个影响因素为⑤.④., 次要的是③., 可以忽略不计的是②.①.。

2.两个主要影响因素的定量计算:

④.退偏振程度理论计算:

马吕斯定律是以所使用的偏振片为理想偏振片作为假设推导出来的, 而实际使用的偏振片却是非理想的, 误差主要来源于退偏振所引起的有关效应。

设有两个存在一定退偏振的偏振片 A 和 B, 假设偏振片

在光振动方向与透振方向平行时能够使光完全透过，而在光振动方向与透振方向垂直时不能完全吸收，即与 A、B 的透振方向垂直的入射光的电场分量通过偏振片后分别变为原来的 $\sqrt{k_1}$ 与 $\sqrt{k_2}$ 倍。

当自然光从左侧依次通过 A 和 B 时，由于各振动方向的光没有相位关联，所以采用光偏振的正交模型较为方便，即将光的电场分量分别分解到与透振方向平行和垂直的方向。

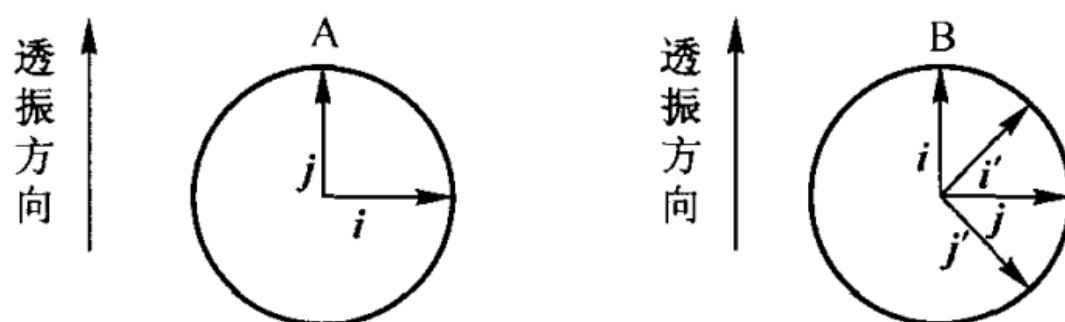


图 1 光通过非理想偏振片的正交模型

光通过偏振片 A 之后，沿与透振方向平行和垂直方向的电场分量分别为：

$$\begin{aligned} E_{//} &= E_0 \\ E_{\perp} &= \sqrt{k_1} E_0 \end{aligned} \quad (1)$$

相应的光强为：

$$I_0 = (1 + k_1) E_0^2 \quad (2)$$

然后光通过偏振片 B，沿与透振方向平行和垂直的方向

的电场分量分别为：

$$\begin{aligned}E'_{//} &= E_{//} \cos \theta + E_{\perp} \sin \theta \\E'_{\perp} &= \sqrt{k_2} (E_{//} \sin \theta + E_{\perp} \cos \theta)\end{aligned}\quad (3)$$

式中， θ 为两偏振片透振方向之间的夹角。

通过 B 之后的光强为：

$$I = E'^2_{//} + E'^2_{\perp} \quad (4)$$

将(1)~(3)代入(4)，得到：

$$\begin{aligned}I = \frac{I_0}{1+k_1} [& (k_1+k_2) \sin^2 \theta + (1+k_1 k_2) \cos^2 \theta + \\ & 2\sqrt{k_1} (1+k_2) \sin \theta \cos \theta]\end{aligned}\quad (5)$$

当 θ 取 0° 、 45° 、 90° 时，可以算得相应光强为：

$$\begin{aligned}I(0^\circ) &= \frac{I_0}{1+k_1} (1+k_1 k_2) \\ I(45^\circ) &= \frac{1}{2} \frac{I_0}{1+k_1} [(k_1+k_2) + (1+k_1 k_2) + \\ & 2\sqrt{k_1} (1+k_2)]\end{aligned}\quad (6)$$

$$I(90^\circ) = \frac{I_0}{1+k_1} (k_1+k_2)$$

将式(6)代入式(5)，通过 B 之后的光强表达式可改写为

$$I = I(90^\circ) \sin^2 \theta + I(0^\circ) \cos^2 \theta + [2I(45^\circ) - I(90^\circ) - I(0^\circ)] \sin \theta \cos \theta \quad (7)$$

根据上面的公式，如果分别测出两偏振片透振方向之间的夹角为 0° 、 45° 和 90° 时的光强 $I(0^\circ)$ 、 $I(45^\circ)$ 和 $I(90^\circ)$ ，就可以计算出任意角度的光强。式(7)反映了自然光通过两个非理想偏振片时透射光强度的变化规律，这便是在考虑了偏振片存在退偏振的情况下对马吕斯定律进行推广的物理模型。由此可以应用存在退偏振的偏振片来研究、验证偏振光性质。

当 θ 很小时，(7)式退化为马吕斯定律。这与在光振动方向与透振方向平行时能够使光完全透过偏振片的假设是一致的。

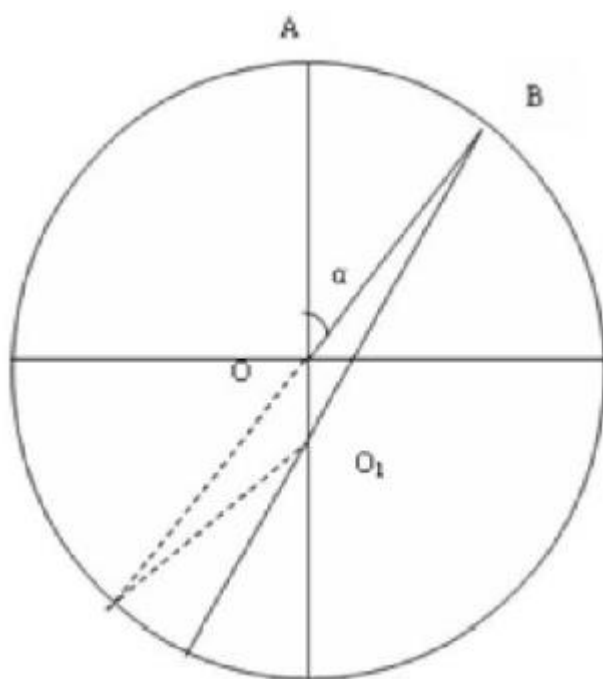
但是 θ 很小时，实验发现仍然有所偏离，因此我们还需考虑另一个主要影响因素在小 θ 时带来的巨大影响。

⑤.偏振片旋转中心不在刻度盘圆心：

由于激光输出不稳定等偶然因素的存在，我们如果要确定 $\theta=0$ ，即透射光强最大时的位置是比较困难的。但是我们可以方便的确定消光状态的位置。因此，为了计量的方便，我们取 $\alpha=90^\circ - \theta$ 。即在消光状态时， $\theta=90^\circ$ 、 $\alpha=0$ 。则马

吕斯定律相应的变成： $I(\alpha) = A^2 \cos^2 \theta = I \cdot \sin^2 \alpha$ 。

造成两块偏振片之间的夹角的计量不准确的最主要原因是：偏振片不是围绕旋转轴转动，而是在旋转框内转动，因此存在角度偏心误差的问题，即偏振片的圆心和转动轴心不重合。如图所示：



O 为偏振片的圆心， O_1 为偏振片的旋转轴心。偏振片上的刻度是根据圆心 O 所制成的，因此我们按照刻度盘读出的数值 α 只是相对于圆心的角度。而偏振片实际转过的角度是相对于旋转轴心的角度，其值小于 α ，具体为： $\frac{R}{R+L} \alpha$ (R 为偏振片半径， L 为 OO_1 的长度)，此时的透射光强为：

$$I_m = I_1 \sin^2 \left(\frac{R}{R+L} \alpha \right) \quad (1)$$

如果我们在弧 AB 关于圆心对称的位置按照刻度盘读出数值 α , 那么偏振片实际转过的角度应该大于 α , 具体为 $\frac{R}{R-L}\alpha$ 。

此时的透射光强为:

$$I_n = I_1 \sin^2 \left(\frac{R}{R-L} \alpha \right) \quad (2)$$

因 $L \ll R$, 所以可取以下近似:

$$\frac{R}{R+L} \alpha = \alpha - \frac{L}{R+L} \alpha \approx \alpha - \frac{L}{R} \alpha$$

$$\frac{R}{R-L} \alpha = \alpha + \frac{L}{R-L} \alpha \approx \alpha + \frac{L}{R} \alpha$$

可见, I_m 小于马吕斯定律理论值, I_n 大于马吕斯定律理论值, 且 α 越大, 即 θ 越小, 偏差就越大。

通过计算, 可以得出角度为 α 时的光强真实值。具体计算公式推导如下:

令 $\beta = \frac{L}{R} \alpha$, 则式①.②.变为:

$$I_m = I_1 \sin^2 (\alpha - \beta) \quad (3)$$

$$I_n = I_1 \sin^2 (\alpha + \beta) \quad (4)$$

再由③.④.可得:

$$\sin^2 (\alpha - \beta) = \frac{I_m}{I_1}$$

$$\sin^2 (\alpha + \beta) = \frac{I_n}{I_1}$$

根据三角函数积化和差，分别用 $\sqrt{\text{上式}} + \sqrt{\text{下式}}$ 、以及用 $\sqrt{\text{下式}} - \sqrt{\text{上式}}$ ，可得：

$$2 \sin \alpha * \cos \beta = \sqrt{\frac{I_m}{I_1}} + \sqrt{\frac{I_n}{I_1}};$$

$$2 \cos \alpha * \sin \beta = \sqrt{\frac{I_n}{I_1}} - \sqrt{\frac{I_m}{I_1}};$$

经进一步的三角函数运算可得：

$$\sin^2 \alpha = \frac{1}{2} \left[1 + \sqrt{\frac{I_m}{I_1}} * \sqrt{\frac{I_n}{I_1}} - \sqrt{\left(\sqrt{\frac{I_m}{I_1}} + 1\right) * \left(\sqrt{\frac{I_n}{I_1}} + 1\right) * \left(\sqrt{\frac{I_m}{I_1}} - 1\right) * \left(\sqrt{\frac{I_n}{I_1}} - 1\right)} \right]$$

因此，偏离完全消光的角度为 α 时，透射光强的真实值为：

$$I = \frac{I_1}{2} \left[1 + \sqrt{\frac{I_m}{I_1}} * \sqrt{\frac{I_n}{I_1}} - \sqrt{\left(\sqrt{\frac{I_m}{I_1}} + 1\right) * \left(\sqrt{\frac{I_n}{I_1}} + 1\right) * \left(\sqrt{\frac{I_m}{I_1}} - 1\right) * \left(\sqrt{\frac{I_n}{I_1}} - 1\right)} \right]。$$

7. 思考题及实验小结

1. 思考题一

①.在实验步骤 3 中，若透射光强最小值不为零，对实验结果有影响吗？

答：没有影响。

不为零可能有两种原因，一种是两个偏振片在消光方向并非完全消光；另一种是由自然光的存在导致的，在整个过程中影响都存在。

这二者均相当于改变了截距，但并不影响曲线形状，对马吕斯定律的判定依然可以进行，将曲线往下移至与原点相交即可。

②.为什么在实验步骤 3 中，要旋转起偏器使透射光斑比较明亮？

答：因为 He-Ne 激光器发出的光具有一定的偏振性，但又具有一定的自然光成分，不是完全的线偏振光，因此首先需要起偏器将其中的偏振光部分在比例上大幅度增加；

其次为了让曲线斜率更大，现象更明显，数据区分度更大，实验更科学，所以需要先旋转起偏器使得透射光斑比较明亮。

以下内容为报告保留内容，请勿填写或删除，否则影响实验成绩

上课时间：

上课地点：

任课教师：

报告得分：

教师留言：

操作得分：

教师留言：

预习得分：

预习情况：