

课程编号 1800440001

得分	教师签名	批改日期

深圳大学实验报告

课程名称：大学物理实验（一）

实验名称：偏振光的观察与研究

学 院：计算机与软件学院

指导教师：郭树青

报告人：叶茂林 组号：20

学号 2021155015 实验地点 家中

实验时间：2022 年 4 月 14 日

提交时间：2022 年 4 月 19 日

一、实验目的

1. 了解光的横波性。
2. 了解光的几种偏振态。
3. 掌握起偏检偏的方法，验证马吕斯定律。
4. 研究 $1/4$ 和 $1/2$ 波片对偏振光的影响。

二、实验原理

3.1 光的偏振性

光是电磁波，电磁波是横波，横波具有一个纵波没有的特性—偏振。

3.2 光的偏振状态

1、自然光：

在与光传播方向垂直的平面内，光矢量沿各个方向的平均值相等。

普通光源发的是自然光。

自然光可以分解成没有恒定相位差的互相垂直的两个光振动的传播。

2、偏振光：

自然光经过反射、吸收、折射后，可能会只保留某一方向的光振动或振动在某一方向较强，即偏振光。

(1) 线偏振光：振动只在某一方向上。

(2) 部分偏振光：振动在某一方向上比其他方向较强。

部分偏振光可分解为两束振动方向相互垂直的、不等幅的、不相干的线偏振光。

3.3 偏振片 起偏与检偏

1、偏振片：

有些有机晶体，如硫酸碘奎宁、电气石或聚乙烯醇薄膜在碘溶液中浸泡后，在高温下拉伸、烘干，然后粘在两个玻璃片之间就形成了偏振片。

偏振片有一个特定的方向（偏振化方向），只让平行与该方向的振动通过。

2、起偏：

光通过偏振片后变成偏振光。

自然光经过偏振片后光强变为原来的一半，振动方向和偏振片的偏振化方向无关。

3、检偏：

完全偏振光经过偏振片后，光强随偏振化方向不同而变化。

部分偏振光经过偏振片后，光强随偏振化方向不同而变化，但不会有全暗。

马吕斯定律：

$$E_1 = E_0 \cos \alpha \cdots \cdots \cdots (1)$$

$$I_1 = I_0 \cos^2 \alpha \cdots \cdots \cdots (2)$$

布儒斯特定律：自然光在电介质界面上反射和折射时，一般情况下反射光和折射光都是部分偏振光，当入射角为某特定角时，反射光是线偏振光，其振动方向与入射面垂直，此特定角称为布儒斯特角或起偏角，用 i_b 表示。

光以布儒斯特角入射时，反射光与折射光互相垂直。

$$\operatorname{tg} i_b = \frac{n_2}{n_1} \cdots \cdots \cdots (3)$$

3.4 波片

将一束平面偏振光垂直入射到具有双折射的晶片上，光波被分成两束振动方向互相垂直的平面偏振光，其中一束比另一束较快地通过晶体，当射出晶片时，两束光波产生一个相位差。

波片：能使相互垂直的两振动分量间产生附加光程差（相位差）的光学元件。

相位差是利用不同偏振方向的光在晶体中的传播速度不同来实现的。

传播速度较大(v_{vee})的振动方向成为快轴，传播速度较小(v_{voo})的振动方向称为慢轴（o 光和 e 光取决于晶体类型）。

设快轴和慢轴对应的折射率分别为 n_{nee} 和 n_{noo} ，波片的厚度为 d ，则光束通过波片后的光程差为：

$$s = (n_o - n_e)d \cdots \cdots \cdots (4)$$

相位差为：

$$\Delta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot s \cdots \cdots \cdots (5)$$

- 若 $s = m\lambda \pm \lambda/4$ ，即 $\Delta = 2m\pi \pm \pi/2$ ，该波片称为 $\lambda/4$ 波片。
- 若 $s = m\lambda \pm \lambda/2$ ，即 $\Delta = 2m\pi \pm \pi$ ，该波片称为 $\lambda/2$ 波片。

3.5 光学元件简介

产生偏振光的常用方式：

1. 光在界面的反射和透射：根据布儒斯特定律，入射角为一特定值时，反射光为完全线偏振光，折射光为部分偏振光。
2. 光学棱镜：利用晶体的双折射原理得到的 o 光和 e 光是完全偏振光。
3. 采用偏振片作为起偏器产生偏振光。本实验中采用偏振片作为起偏器和检偏器。

三、实验仪器：

光源、偏振片、 $1/4$ 波片、 $1/2$ 波片、光屏。

四、实验内容：

4.1 马吕斯定律的验证

1. 移去实验台上的波片，保留两个偏振片，并使两偏振片的角度都设为 0；
2. 打开光源，选择自然光；双击屏幕，记下此时的光强的值；
3. 改变偏振片 B 的角度 ϕ ，每间隔 15 度读取一次光强的值，记入表 1。同时换算角度 ϕ 对应的 $\cos(\phi)$ 、 $\cos(\phi)^2$ 。

4.2 研究 $\lambda/4$ 波片对偏振光的影响

1. 实验内容选“研究 $\lambda/4$ 波片对偏振光的影响”，试验台上从左至右依次为光源、偏振片、 $\lambda/4$ 波片、偏振片和光屏。使偏振片和波片的角度都调节至 0；
2. 打开光源，选择自然光；
3. 使 $\lambda/4$ 波片的角度 $\theta_{1/4}$ 分别设为 0、15 和 30 度，测量光强随偏振片 B 的角度，记入表 2。

4.3 研究 $\lambda/2$ 波片对偏振光的影响

实验内容选“研究 $\lambda/2$ 波片对偏振光的影响”，重复“研究 $\lambda/4$ 波片对偏振光的影响”的步骤，记入表 3。

五、数据记录:

组号: 20 ; 姓名 叶茂林

1. 马吕斯定律的验证

表 1:

φ	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
$\cos(\varphi)$													
$\cos(\varphi)^2$													
光强 I	49.98	46.64	37.49	24.99	12.5	3.35	0	3.35	12.5	24.99	37.49	46.64	49.98
φ	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	
$\cos(\varphi)$													
$\cos(\varphi)^2$													
光强 I	46.64	37.49	24.99	12.5	3.35	0	3.35	12.5	24.99	37.49	46.64	49.98	

2. 研究 $\lambda/4$ 波片对偏振光的影响

表 2:

偏振片 B	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
$\theta_{1/4}=0$	49.98	46.64	37.49	24.99	12.5	3.35	0	3.35	12.5	24.99	37.49	46.64	49.98
$\theta_{1/4}=15$	43.74	46.64	43.74	35.81	24.99	14.17	6.25	3.35	6.25	14.17	24.99	35.81	43.74
$\theta_{1/4}=30$	31.24	35.81	37.49	35.81	31.24	24.99	18.74	14.17	12.5	14.17	18.74	24.99	31.24
偏振片 B	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	
$\theta_{1/4}=0$	46.64	37.49	24.99	12.5	3.35	0	3.35	12.5	24.99	37.49	46.64	49.98	
$\theta_{1/4}=15$	46.64	43.74	35.81	24.99	14.17	6.25	3.35	6.25	14.17	24.99	35.81	43.74	
$\theta_{1/4}=30$	35.81	37.49	35.81	31.24	24.99	18.74	14.17	12.5	14.17	18.74	24.99	31.24	

3. 研究 $\lambda/2$ 波片对偏振光的影响

表 3:

偏振片 B	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
$\theta_{1/2}=0$	49.98	46.64	37.49	24.99	12.5	3.35	0	3.35	12.5	24.99	37.49	46.64	49.98
$\theta_{1/2}=15$	37.49	46.64	49.98	46.64	37.49	24.99	12.5	3.35	0	3.35	12.5	24.99	37.49
$\theta_{1/2}=30$	12.5	24.99	37.49	46.64	49.98	46.64	37.49	24.99	12.5	3.35	0	3.35	12.5
偏振片 B	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	
$\theta_{1/2}=0$	46.64	37.49	24.99	12.5	3.35	0	3.35	12.5	24.99	37.49	46.64	49.98	
$\theta_{1/2}=15$	46.64	49.98	46.64	37.49	24.99	12.5	3.35	0	3.35	12.5	24.99	37.49	
$\theta_{1/2}=30$	24.99	37.49	46.64	49.98	46.64	37.49	24.99	12.5	3.35	0	3.35	12.5	

六、数据处理

1. 马吕斯定律的验证

表 4:

φ	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	
$\cos(\varphi)$	1.00	0.966	0.866	0.707	0.50	0.259	0.00	-0.26	-0.50	-0.71	-0.87	-0.97	
$\cos(\varphi)^2$	1.00	0.933	0.75	0.50	0.25	0.067	0.00	0.067	0.25	0.50	0.75	0.933	
光强 I	49.98	46.64	37.49	24.99	12.5	3.35	0	3.35	12.5	24.99	37.49	46.64	
φ	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	
$\cos(\varphi)$	-0.97	-0.87	-0.71	-0.50	-0.26	0.00	0.259	0.50	0.707	0.866	0.966	1.00	
$\cos(\varphi)^2$	0.933	0.75	0.50	0.25	0.067	0.00	0.067	0.25	0.50	0.75	0.933	1.00	
光强 I	46.64	37.49	24.99	12.5	3.35	0	3.35	12.5	24.99	37.49	46.64	49.98	

分别以 ϕ 、 $\cos(\phi)$ 和 $\cos(\phi)^2$ 为横轴，光强为纵轴画图如图 1、图 2、图 3 所示：

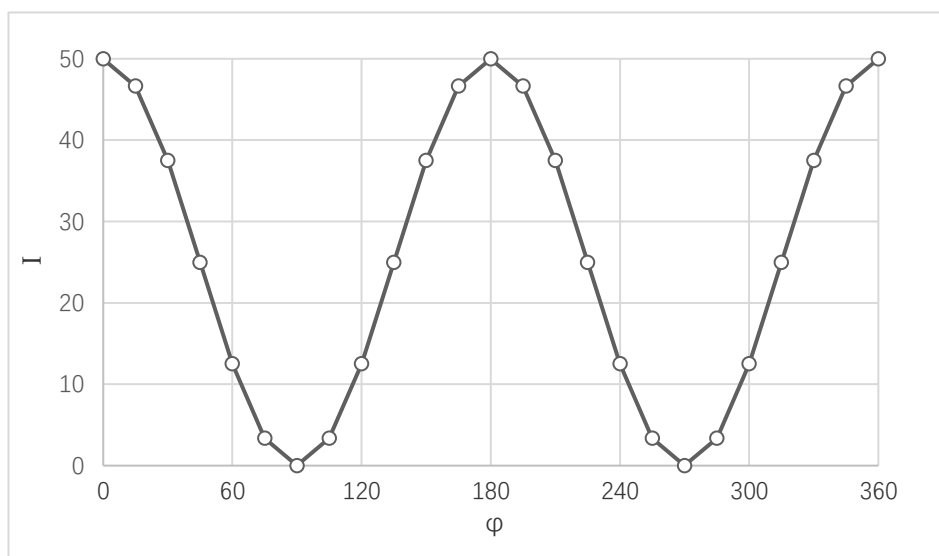


图 1：光强 I 与 ϕ 的关系

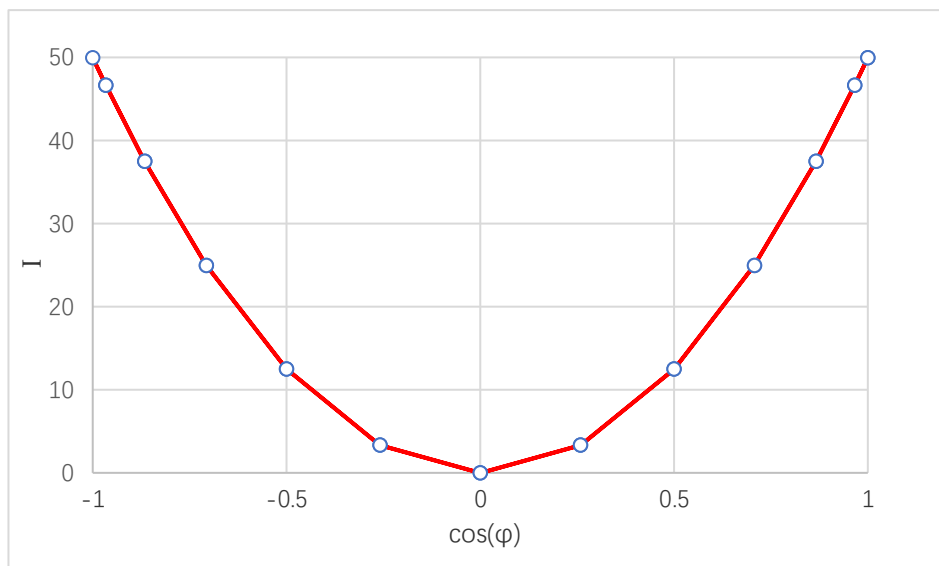


图 2：光强 I 与 $\cos(\phi)$ 的关系

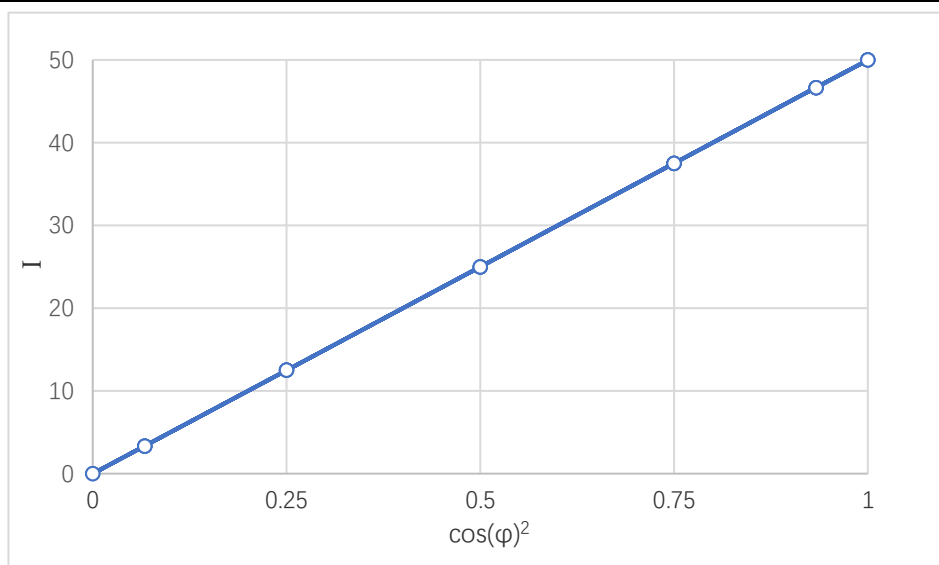


图 3: 光强 I 与 $\cos(\varphi)^2$ 的关系

2. 研究 $\lambda/4$ 波片对偏振光的影响

以偏振片 B 的角度为横坐标，光强为纵坐标，画图如图 4 所示：

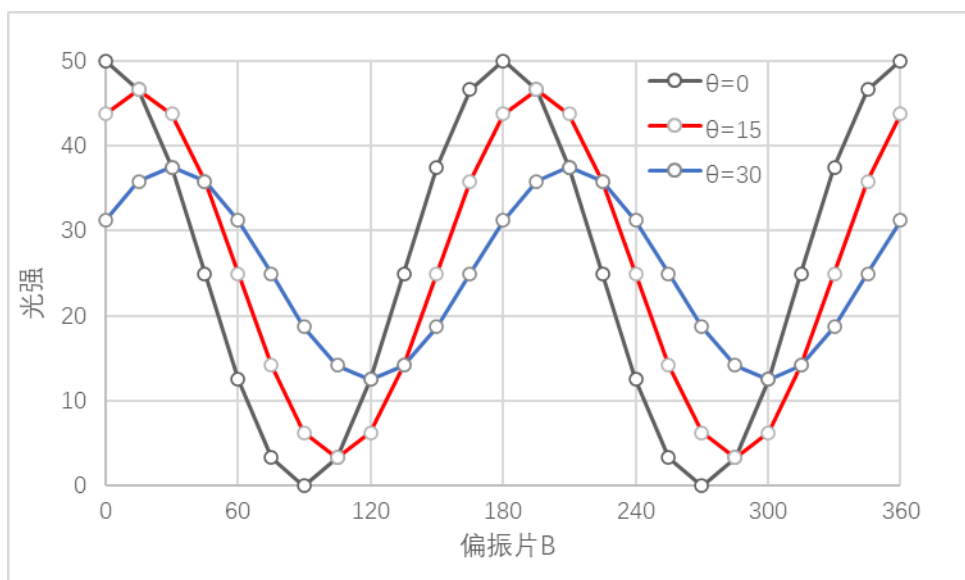


图 4: 线偏振光经 $\lambda/4$ 波片后的影响

3. 研究 $\lambda/2$ 波片对偏振光的影响

以偏振片 B 的角度为横坐标，光强为纵坐标，画图如图 5 所示：

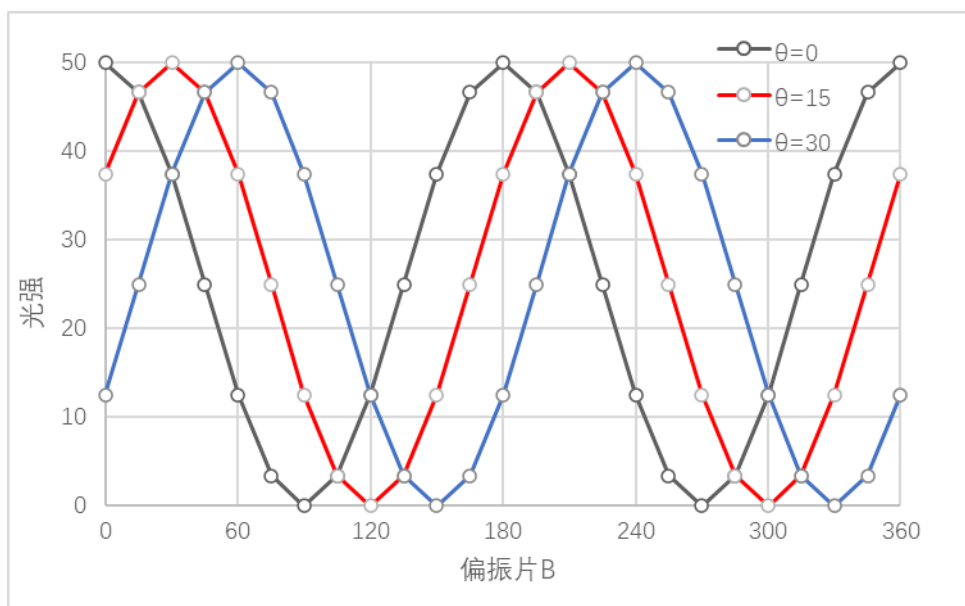


图 5：线偏振光经 $\lambda/2$ 波片后的影响

七、结果陈述：

1. 马吕斯定律的验证

由图 2 和图 3 可知，以 $\cos(\varphi)$ 和 $\cos(\varphi)^2$ 为横轴，以光强为纵轴所作出的图，分别呈现出抛物线和直线关系。因此，进一步验证了线偏振光经过检偏器后的光强遵循的关系（2）式，即验证了马吕斯定律。

2. 研究 $\lambda/4$ 波片和 $\lambda/2$ 波片对偏振光的影响

由图 4 可知，线偏振光经过 $\lambda/4$ 波片后的情况与波片的角度有关。如果波片的角度为 0，则通过 $\lambda/4$ 波片的光为线偏振光；如果 $\lambda/4$ 波片的角度不为 0，经过波片后的光不再是线偏振光，因为经检偏器旋转一周过程中的光强最小值不为 0。

由图 5 可知，线偏振光经过 $\lambda/2$ 波片后还是线偏振光。当 $\lambda/2$ 波片转动 θ 角时，线偏振光的偏振方向转动 2θ 。

如图 6 所示，坐标轴表示波片的 o 轴和 e 轴，红色箭头表示入射线偏振光的振动方向，实验中起偏器的设置不变。

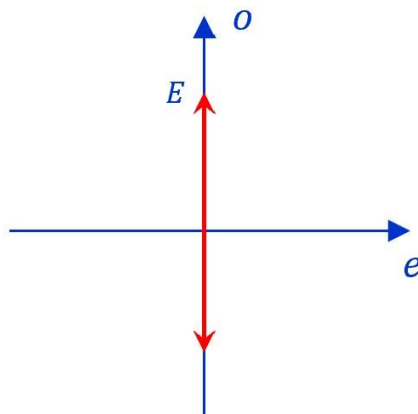


图 6：波片的 o 轴与偏振方向平行

如图 7 和图 8 所示，绿色箭头表示偏振光经过波片后的偏振状态。当波片的快轴平行于偏振方向时（如图 5 所示），由于偏振方向在 e 轴的投影为零，光没有分量被延迟，因此经过检偏器后的光强分布保持不变，此情况与不放波片结果一样。波片旋转 θ 角后，入射光的光矢量方向在 o 轴和 e 轴的投影的大小分别为 $E_o = E \cos(\theta)$ ， $E_e = E \sin(\theta)$ 。

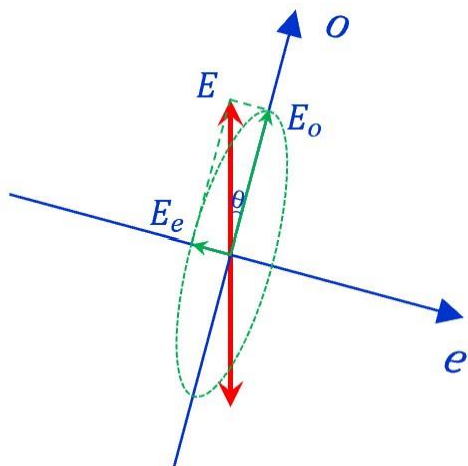


图 7: $\lambda/4$ 波片旋转 θ 角

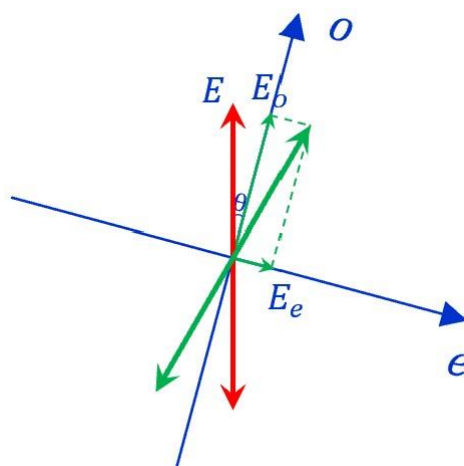


图 8: $\lambda/2$ 波片旋转 θ 角

$\lambda/4$ 波片: E_o 和 E_e 的相位差等于 $\frac{\pi}{2}$ ，则经波片光矢量端点描出的是一个椭圆，透过波片后为椭圆偏振光。

当 $\theta < \frac{\pi}{4}$ 时，椭圆的长轴和短轴分别为 E_o 和 E_e 。当 $\theta = \frac{\pi}{4}$ 时， $E_o = E_e$ ，此时为圆偏振光。

$\lambda/2$ 波片: E_o 和 E_e 的相位差等于 π ，光矢量端点方向始终在一条直线上，透过波片后仍然是线偏振光。

由于相位差 π 的存在（相当于 E_o 的方向不变， E_e 的方向反向），偏振方向相当于原偏振方向旋转 2θ 角。

八、实验总结与思考题

思考题

1、什么是左旋光和右旋光？

电矢量绕着传输方向匀速旋转，且电矢量大小保持不变，矢量端点轨迹为圆，就是圆偏振光，如果相位差为 $-\pi/2$ ，即电矢量作逆时针转动，则称为左旋光，若相位差为 $\pi/2$ ，即电矢量作顺时针转动，则称为右旋光。

2、查阅资料，简述正晶体波片和负晶体波片的区别。

光在晶体中传播时，再不平行于光轴方向上，由于 e 光和 o 光传播速度不同，而出现两个不同折射率的光的像，这种现象叫做双折射现象。

以石英为代表， $v_e < v_o$ ，即 e 光的波面是长椭球，这类晶体波片叫做正晶体波片；

以冰洲石为代表， $v_e > v_o$ ，即 e 光的波面是扁椭球，这类晶体波片叫做负晶体波片。

指导教师批阅意见：

成绩评定：

预习 (20分)	操作及记录 (40分)	数据处理与结果陈述 30分	思考题 10分	报告整体 印象	总分

原始数据

组号：20

学号：2021155015

姓名：叶茂林

姓名：叶茂林 组号：20 日期：2022.4.14													
表1 线偏光的光强随偏振片B角度的变化关系													
φ	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
$\cos(\varphi)$													
$\cos(\varphi)^2$													
光强I	49.98	46.64	37.49	24.99	12.5	3.35	0	3.35	12.5	24.99	37.49	46.64	49.98
φ	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	
$\cos(\varphi)$													
$\cos(\varphi)^2$													
光强I	46.64	37.49	24.99	12.5	3.35	0	3.35	12.5	24.99	37.49	46.64	49.98	
表2 线偏振光经波片 $\lambda/4$ 后随偏振片B角度的变化关系													
偏振片B	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
$\theta_{1/4}=0$	49.98	46.64	37.49	24.99	12.5	3.35	0	3.35	12.5	24.99	37.49	46.64	49.98
$\theta_{1/4}=15$	43.74	46.64	43.74	35.81	24.99	14.17	6.25	3.35	6.25	14.17	24.99	35.81	43.74
$\theta_{1/4}=30$	31.24	35.81	37.49	35.81	31.24	24.99	18.74	14.17	12.5	14.17	18.74	24.99	31.24
偏振片B	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	
$\theta_{1/4}=0$	46.64	37.49	24.99	12.5	3.35	0	3.35	12.5	24.99	37.49	46.64	49.98	
$\theta_{1/4}=15$	46.64	43.74	35.81	24.99	14.17	6.25	3.35	6.25	14.17	24.99	35.81	43.74	
$\theta_{1/4}=30$	35.81	37.49	35.81	31.24	24.99	18.74	14.17	12.5	14.17	18.74	24.99	31.24	
表3 线偏振光经波片 $\lambda/2$ 后随偏振片B角度的变化关系													
偏振片B	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
$\theta_{1/2}=0$	49.98	46.64	37.49	24.99	12.5	3.35	0	3.35	12.5	24.99	37.49	46.64	49.98
$\theta_{1/2}=15$	37.49	46.64	49.98	46.64	37.49	24.99	12.5	3.35	0	3.35	12.5	24.99	37.49
$\theta_{1/2}=30$	12.5	24.99	37.49	46.64	49.98	46.64	37.49	24.99	12.5	3.35	0	3.35	12.5
偏振片B	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	
$\theta_{1/2}=0$	46.64	37.49	24.99	12.5	3.35	0	3.35	12.5	24.99	37.49	46.64	49.98	
$\theta_{1/2}=15$	46.64	49.98	46.64	37.49	24.99	12.5	3.35	0	3.35	12.5	24.99	37.49	
$\theta_{1/2}=30$	24.99	37.49	46.64	49.98	46.64	37.49	24.99	12.5	3.35	0	3.35	12.5	