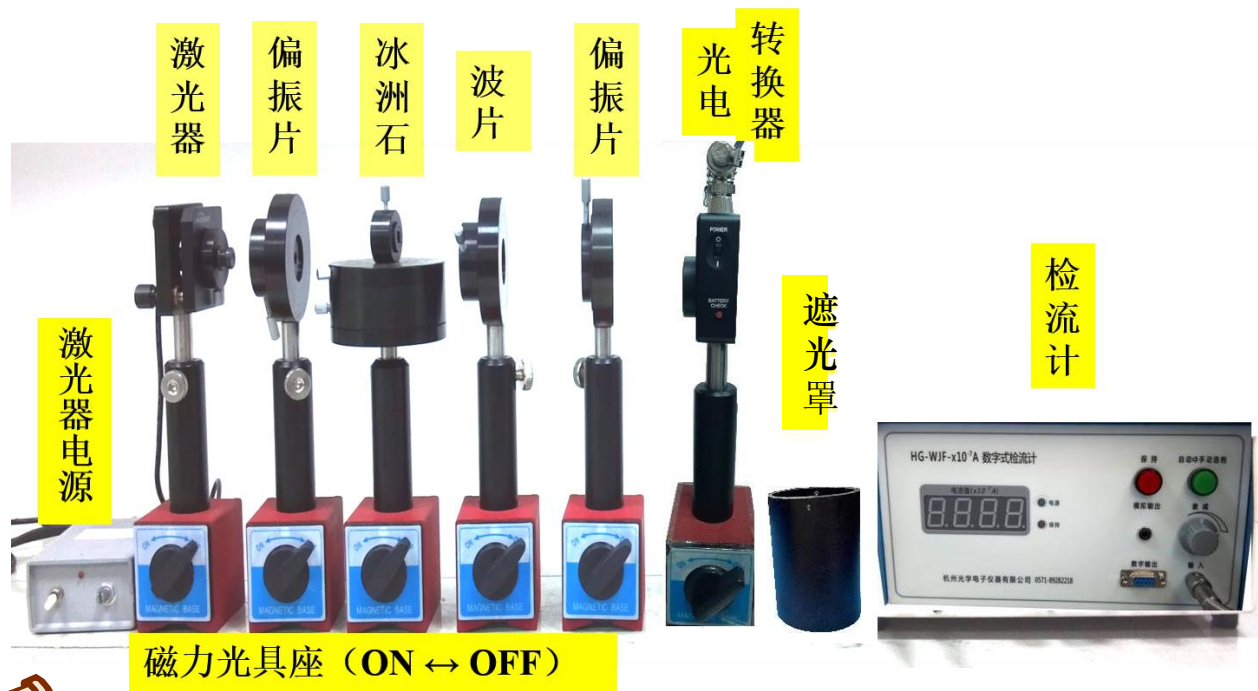


# 偏振与双折射



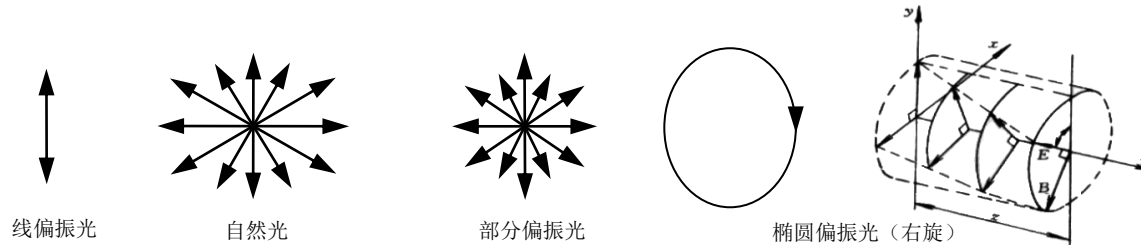
华中科技大学物理实验中心

# 一、实验目的

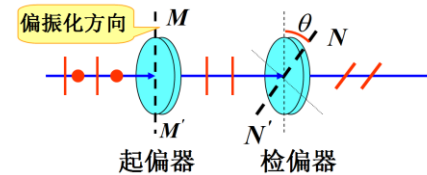
- 1、观察和了解双折射现象和规律
- 2、观察和掌握光偏振现象的基本规律  
(马吕斯定律、圆/椭圆偏振光等的光强分布)
- 3、了解波晶片的性质 ( $\lambda/4$ 波片、 $\lambda/2$ 波片)

## 二、实验原理

### 1、光的5种偏振态

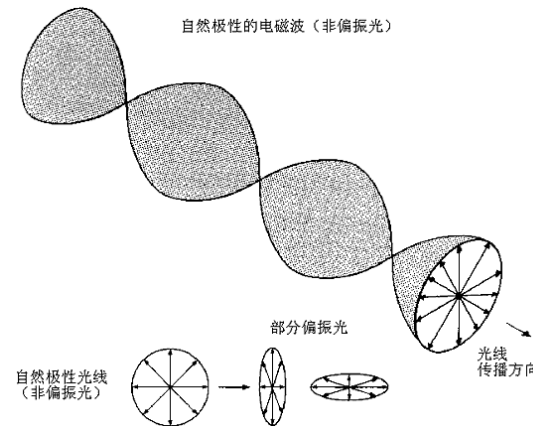


**线偏振光：** $E$  方向始终在一个平面内,用检偏器检验有**消光**现象,通过检偏器的光强满足**马吕斯定律**： $I = I_0 \cos^2 \theta$ 。



**自然光：** $E$  的方向随机变化,用检偏器检验各个方向光强相同。

**部分线偏振光：** $E$  的方向随机变化,用检偏器检验光强有变化,但没有消光现象。



**椭圆偏振光：**  $E$  随时间作有规律的改变：从迎着光的传播方向看， $E$  矢量末端形成顺时针或者逆时针的椭圆，用检偏器检验光强有变化。

**圆偏振光：**  $E$  随时间作有规律的改变：从迎着光的传播方向看， $E$  矢量末端形成顺时针或者逆时针的圆，用检偏器检验各个方向光强相同。

## 椭圆、圆、以及线偏振光的合成：

线偏  
振光

$$X = A \cos(\omega t + \varphi)$$

线偏  
振光

$$Y = B \cos(\omega t + \varphi + \underline{\Delta\varphi})$$



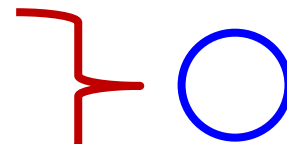
$$X = A \cos(\omega t + \varphi)$$

$$Y = B \cos(\omega t + \varphi + \underline{n\pi})$$



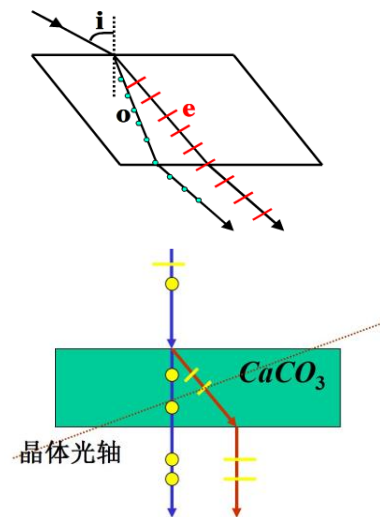
$$X = \textcircled{A} \cos(\omega t + \varphi)$$

$$Y = \textcircled{A} \cos(\omega t + \varphi + \underline{n\pi \pm \pi / 2})$$



## 2、双折射

光入射到光学各向异性的介质时，折射光往往有两束（**o光和e光**），它们均为线偏振光，振动方向一般近乎垂直。介质中有一些特殊的方向，当光沿这些方向传播时不发生双折射，或者说o光和e光不发生分离，这些特殊的方向我们称之为**光轴**。只有一个光轴的晶体称为单轴晶体，如冰洲石、石英、红宝石、冰等；有一些晶体有两个光轴方向，此种晶体称为双轴晶体，双轴晶体有云母、蓝宝石、橄榄石、硫磺等。



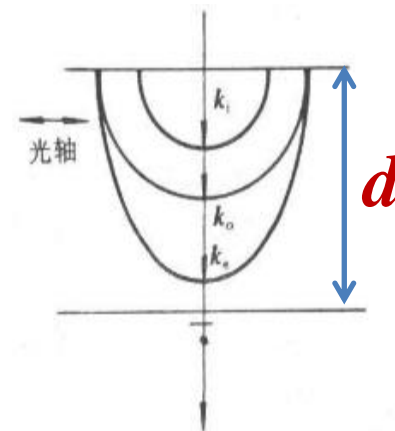
## 3、偏振器（偏振片）

只允许光矢量某个方向分量通过的光学器件，叫偏振器或者偏振片。

## 4、波片（波晶片）

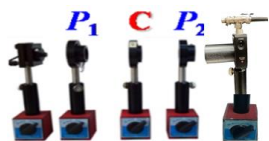
波片是从单轴晶体中切割下来的薄片，晶片表面平行于光轴。光**垂直**入射时，**o光和e光**振动方向相互垂直，但传播方向相同。由于**o光**

和e光传播速度不同，因此通过波片后两者会产生附加光程差  $\Delta x = (n_o - n_e)d$ ，从而导致附加位相差  $\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)d$ 。



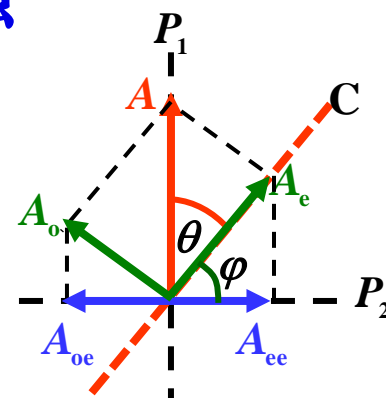
若某一波长的光通过波片后其o光和e光产生的附加光程差为 $\lambda/4$ ，则该波片称为该波长光波的 $\lambda/4$ 波片，与之对应的附加位相差为 $\pi/2$ 。同理有 $\lambda/2$ 波片、全波片等。

## 5、线偏振光通过波片C和检偏器后的光强



$$\begin{aligned}
 I &= A_2^2 = A_{ee}^2 + A_{oe}^2 + 2A_{ee}A_{oe} \cos \delta' \\
 &= A^2 (\cos^2 \theta \cos^2 \varphi + \sin^2 \theta \sin^2 \varphi \\
 &\quad + 2\cos \theta \sin \theta \cos \varphi \sin \varphi \cos \delta')
 \end{aligned}$$

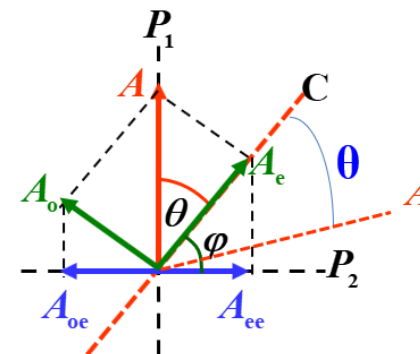
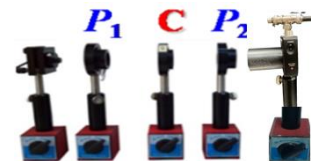
$\delta'$ 是相位差



(其中 $\theta$ 为某固定值， $\varphi$ 可从 $0^\circ$ 到 $360^\circ$ 之间变化)

当C是 $\lambda/2$ 波片时,  $\delta' = \pi + \pi = 2\pi$

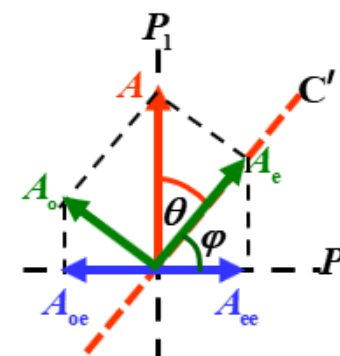
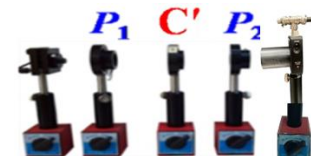
从波片C出来的一般是线偏振光。



$$\begin{aligned} I &= A_2^2 = A_{ee}^2 + A_{oe}^2 + 2A_{ee}A_{oe} \cos 2\pi \\ &= A^2 (\cos^2 \theta \cos^2 \varphi + \sin^2 \theta \sin^2 \varphi \\ &\quad + 2\cos \theta \sin \theta \cos \varphi \sin \varphi \cos 2\pi) \\ &= A^2 \cos^2 (\varphi - \theta) \quad (\text{马吕斯定律}) \end{aligned}$$

当C为  $\lambda/4$  波片时,  $\delta' = \pi/2 + \pi = 3\pi/2$ ,

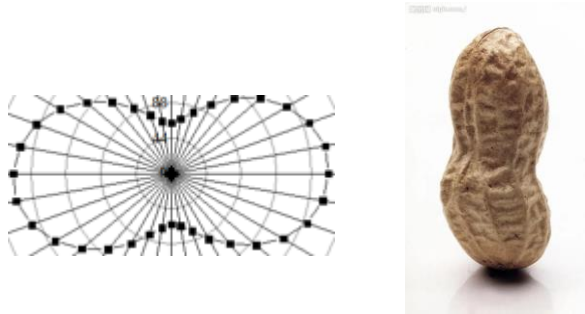
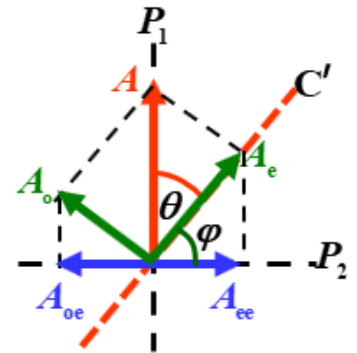
从波片C出来的一般是椭圆偏振光。



$$\begin{aligned} I &= A_2^2 = A_{ee}^2 + A_{oe}^2 + 2A_{ee}A_{oe} \cos 3\pi/2 \\ &= A^2 (\cos^2 \theta \cos^2 \varphi + \sin^2 \theta \sin^2 \varphi \\ &\quad + 2\cos \theta \sin \theta \cos \varphi \sin \varphi \cos 3\pi/2) \\ &= A^2 (\cos^2 \theta \cos^2 \varphi + \sin^2 \theta \sin^2 \varphi) \end{aligned}$$

特别地, 当 $\theta=0$ 、 $\pi/2$ 等时如何? 当 $\theta=\pi/4$ 、 $3\pi/4$ 等时如何?

$$\begin{aligned}
 I &= A_2^2 = A_{ee}^2 + A_{oe}^2 + 2A_{ee}A_{oe} \cos 3\pi / 2 \\
 &= A^2 (\cos^2 \theta \cos^2 \varphi + \sin^2 \theta \sin^2 \varphi \\
 &\quad + 2\cos \theta \sin \theta \cos \varphi \sin \varphi \cos 3\pi / 2) \\
 &= A^2 (\cos^2 \theta \cos^2 \varphi + \sin^2 \theta \sin^2 \varphi)
 \end{aligned}$$



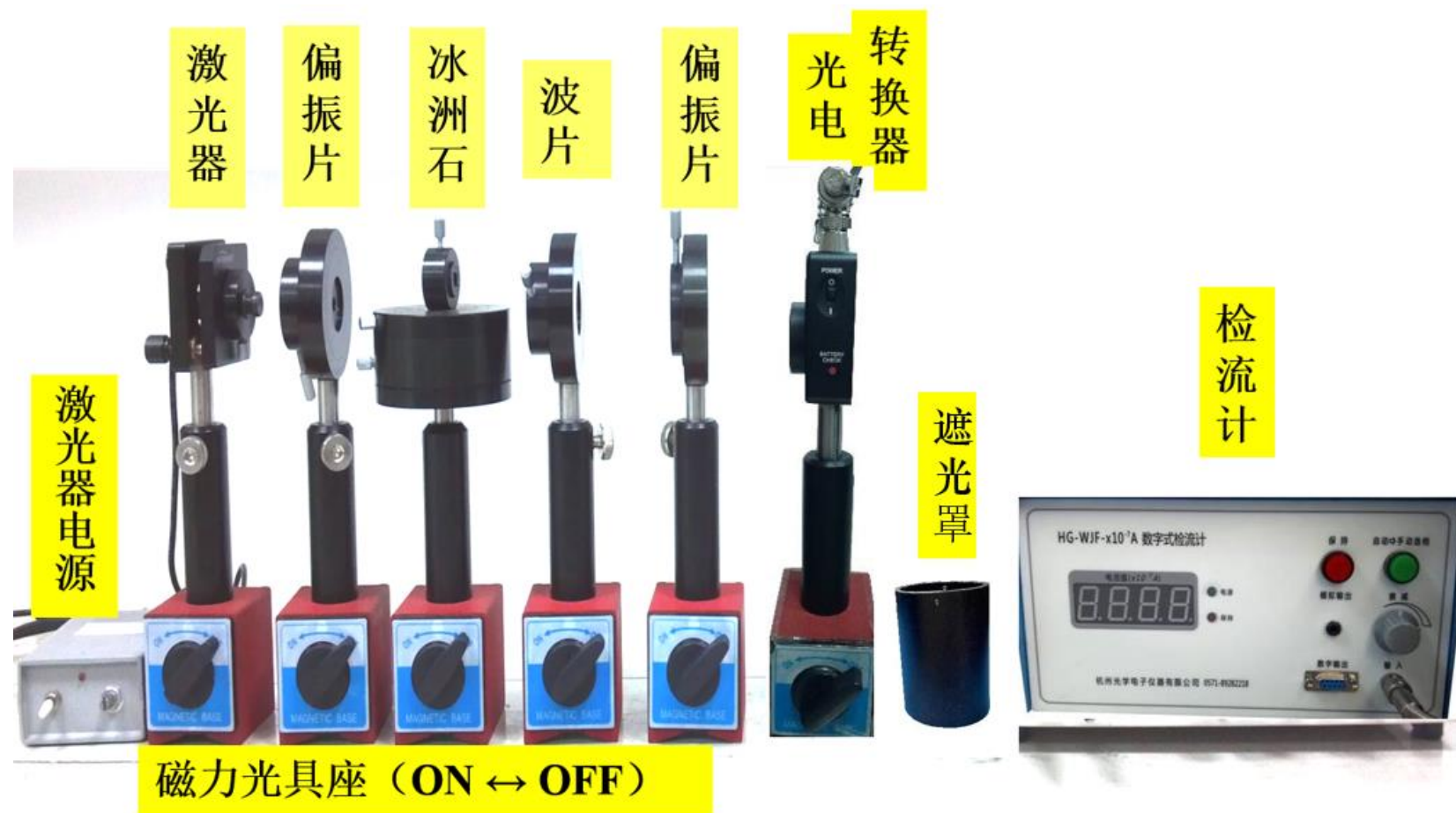
本实验中椭圆偏振  
光光强分布示意图

椭圆偏振光的光强分布极坐标图为什么是花生壳形状而不是椭圆形状？参考下述关于椭圆的离心角（参数方程中的 $\varphi$ ，也即本实验相关理论中的 $\varphi$ ）和极角之间关系的资料，以及实验预约系统中的参考文献。

<https://blog.csdn.net/u014090257/article/details/89010589>



# 三、实验装置





光电检流计

开机为自动量程模式，调过一次后转入手动选档模式



激光器及其电源

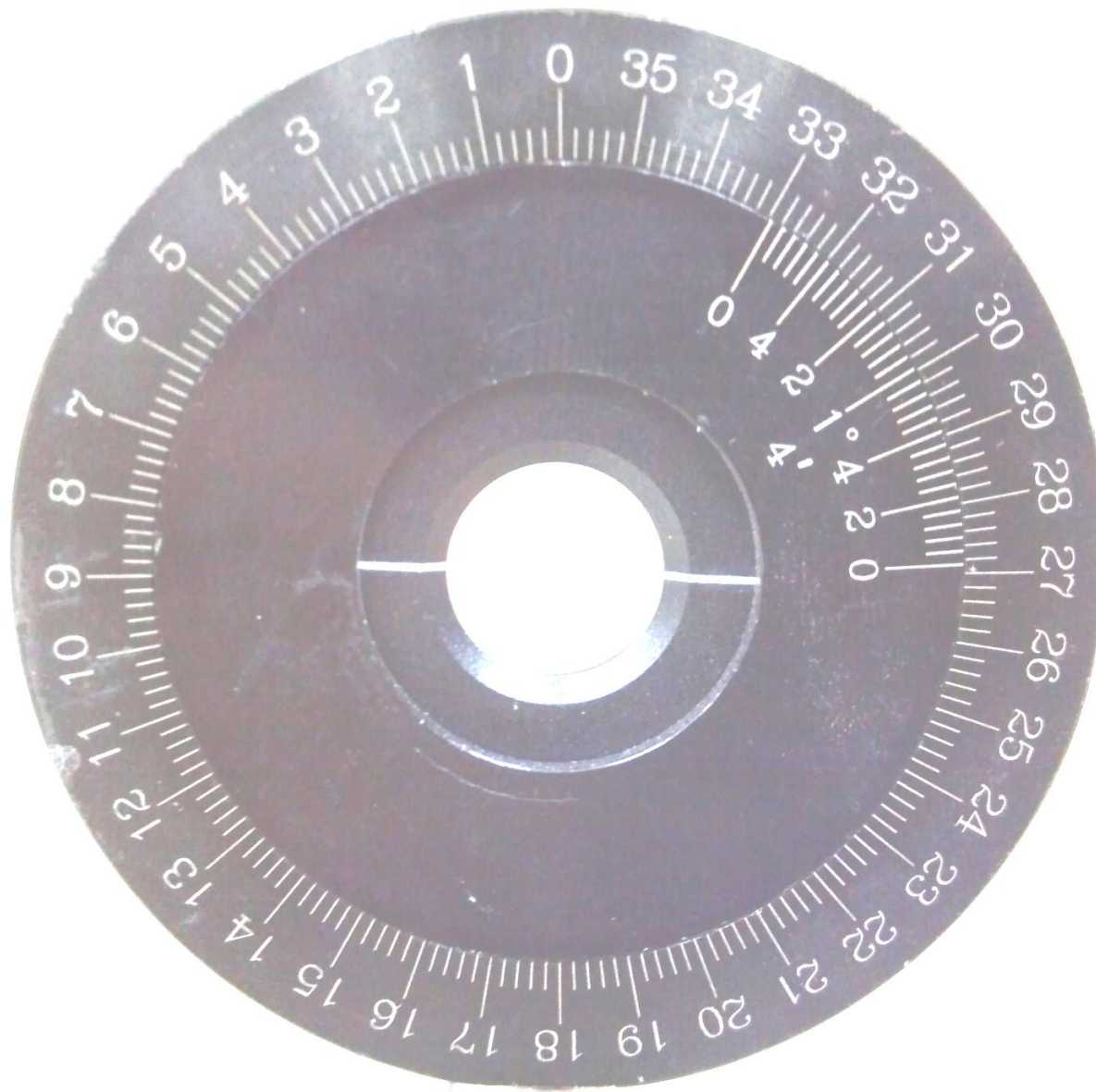


偏振片、波片

旋转手柄

波片刻度盘上贴有“ $\lambda/2$ ”、“ $\lambda/4$ ”字样的标签，没有标签的是偏振片。

磁力开关



$271^{\circ}20'$

刻度盘上的读数不代表偏振片透光轴或者波片光轴的方向，但是偏振片透光轴或者波片光轴转过的角度可由自身刻度盘读数的差值获得。但不同偏振片或者波片的刻度盘读数之差值是没有意义的。

偏振片和波片上的刻度盘



遮光罩（可以减小背景光强的影响）



## 光电转换器



圆孔中的方形区域为光电二极管的受光区





# 四、实验内容

## 1、研究透过两偏振器后的光强 $I$ 与两透光轴夹角 $\theta$ 的关系

1) 检查并调节激光光源，使其发出的光沿水平方向，然后将其固定（磁力开关旋向“ON”）。

2) 将起偏器 $P_1$ 放入光路，调节同轴等高（即，使光线通过起偏器晶片的中心，且为垂直入射。判断是否垂直入射的办法：用一张小纸片挡接反射光，看它是否和入射光重合。）后固定。

3) 加入光电转换器，确保光束垂直射在转换器的光电二极管上（即圆孔中的长方形区域），并将其固定。**轻轻地将遮光罩套到光电转换器上。**将光电转换器侧面的开关拨到“—”的状态，同时将检流计的“衰减”旋钮逆时针旋到底。调整起偏器 $P_1$ 的透光方向，使检流计读数为180.0左右。（注意检流计的量程，不同量程小数点的位置不同。若显示屏上显示“H”字样，表明检流计超量程了，处于“爆表”状态。）

4) 加入检偏器 $P_2$ ，调节同轴等高后固定，旋转 $P_2$ ，找到消光位置（即光强最小，如果背景光强显示为负值，则绝对值最大处为消光，最好也用纸片在光电转换器前挡接光试试，看光是否真的消失了），此光强记录于表格中和 $\theta = 90^\circ$ 相对应的位置，然后将 $P_2$ 依次同方向（左旋）改变 $10^\circ$ ，并一一记录光强（如下表）。



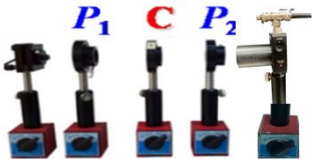
测完后，再将 $P_2$ 从原消光位置开始沿相反方向（右旋）依次改变 $10^\circ$ ，记录光强（注意，确定消光位置时，要用尽可能小的量程，而连续测量光强时为避免量程切换带来的误差，本实验中统一采用第二大的量程，检流计读数中将有一位小数）。

透过两偏振器后的光强 $I$ 与两透光轴间夹角 $\theta$ 的关系测量数据

$\theta(P_1^{\wedge}P_2)/^\circ$	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
$\cos^2\theta$	0.00	0.03	0.12	0.25	0.41	0.59	0.75	0.88	0.97	1.00
I (左旋)										
I (右旋)										

## 2、验证线偏振光经过 $\lambda/2$ 波片后偏振方向的变化规律

- 1) 在上一内容的光路图中，加入 $\lambda/2$ 波片C，调节同轴等高。
- 2) 验证线偏振光通过 $\lambda/2$ 波片后依然为线偏振光的特性。



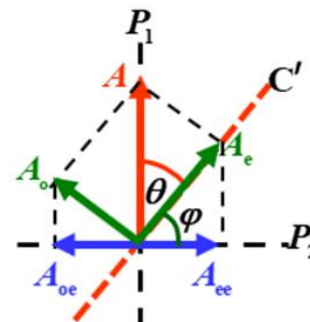
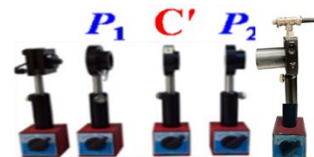
- 3) 测量线偏振光通过 $\lambda/2$ 波片后偏振方向的变化规律：将 $P_2$ 转到消光位置，记下此时C的位置 $\varphi_{C_0}$ 及  $P_2$ 的位置，此后依次将C旋转 $10^\circ$ ，然后将 $P_2$ 转到再次消光的位置并记录之。（注意，在此过程中， $P_2$ 的旋转方向要和C保持一致）。

线偏振光通过 $\lambda/2$ 波片后偏振方向变化规律的测量数据

C位置/ $^\circ$	$\varphi_{C_0}$	$\varphi_{C_0} + 10$	$\varphi_{C_0} + 20$	$\varphi_{C_0} + 30$	$\varphi_{C_0} + 40$	$\varphi_{C_0} + 50$
$P_2$ 消光位置/ $^\circ$						

### 3、观测椭圆偏振光通过检偏器后的光强

- 1) 将上一实验内容光路图中的 $\lambda/2$ 波片C移走，调节 $P_2$ 的透光方向，使消光，记下此时 $P_2$ 的角度读数。
- 2) 在 $P_1$ 和 $P_2$ 之间放置 $\lambda/4$ 波片 $C'$ ，并转动 $C'$ （保持 $P_2$ 不动）使再次消光，记下此时 $C'$ 的角度读数。
- 3) 将 $C'$ 转动 $30^\circ$ ，得相应的椭圆偏振光。
- 4) 记下此时光电检流计上的读数于数据表格 $\varphi = 60^\circ$ 的位置，此后将 $P_2$ 依次沿同一方向转动 $10^\circ$ ，并记录相应的光强于数据表格中（注意，若一开始光强是减小的，则按正序记数，即第二个数记在 $70^\circ$ 的位置， $350^\circ$ 测完后接 $0^\circ$ ；若一开始光强是增大的，则按倒序记数， $0^\circ$ 测完后接 $350^\circ$ ）。



椭圆偏振光光强测量数据  $P_2$ 消光的角度：\_\_\_\_， $C'$ 消光的角度：\_\_\_\_

$P_2$ 位置 $\varphi / ^\circ$	0	10	20	30	40	50	60	70	80
光强/ $10^{-7}\text{A}$									
$P_2$ 位置 $\varphi / ^\circ$	90	100	110	120	130	140	150	160	170
光强/ $10^{-7}\text{A}$									
$P_2$ 位置 $\varphi / ^\circ$	180	190	200	210	220	230	240	250	260
光强/ $10^{-7}\text{A}$									
$P_2$ 位置 $\varphi / ^\circ$	270	280	290	300	310	320	330	340	350
光强/ $10^{-7}\text{A}$									

- 4、观察光学各向异性晶体中的双折射现象（选做）
- 5、判别 $\lambda/4$ 波片和 $\lambda/2$ 波片（选做）
- 6、测量圆偏振光的光强分布（选做）

## 五、数据处理

- 1、对实验内容1，用直角坐标作 $I-\cos^2\theta$  曲线，验证马吕斯定律，给出结论并分析。
- 2、对实验内容2，给出结论并分析。
- 3、对实验内容3，用极坐标作 $I-\varphi$  曲线，另作 $I-\varphi$  理论图（理论公式见讲义（9）式，其中 $\theta$ 为 $30^\circ$ ，参数值 $A$ 可用如下方式求出：先由（9）式推得 $I_{\max}$ 或者 $I_{\min}$ 的表达式，再将它和实验数据中的最大或者最小值比较，从而得到 $A$ 值）；此外，求出光强最大值（ $I_{\max}$ ）与光强最小值（ $I_{\min}$ ）之比值，并和理论比值进行比较。对上述各项实验和理论结果进行分析。
- 4、对选做内容，给出结论并分析。

## 六、注意事项

- 1、严防激光伤害眼睛
- 2、严禁用手触摸光学晶片
- 3、仪器操作要轻柔，不要硬扳
- 4、画图须用坐标纸或绘图软件；标明坐标、物理量、标度及图的名称（图名信息要完整）。
- 5、一周之内交报告
- 6、1-4号同学打扫教室