

实验 12. 光的偏振

1808 年法国物理学家马吕斯用冰洲石观察被玻璃反射的太阳光，发现了光在晶体中的双折射现象，因此提出了偏振的概念。在波动光学中，光的偏振性比光的衍射和干涉性质更为抽象，人眼和一般的光探测器若不借助于专门的仪器和方法，无法直接观察或识别光束的偏振状态，正因如此，偏振光技术的发展一直比较缓慢。自 20 世纪 60 年代起，特别是在激光技术、光纤通信技术问世以后，偏光技术作为整个应用光学领域的一个分支学科得到了飞速发展，已成为光学检测、计量和光学信息处理的一种专门化手段，在许多技术领域得到了广泛应用。

一、实验目的

- (1) 观察光的偏振现象，加深对光传播规律的理解；
- (2) 掌握线偏振光的产生和检验方法，验证马吕斯定律；
- (3) 掌握椭圆偏振光和圆偏振光的产生方法和波晶片的作用原理；
- (4) 观测线偏振光通过旋光物质的旋光现象。

二、实验仪器

半导体激光器，偏振片 2 片，四分之一波片，石英晶片，光功率计，光学导轨。

三、实验原理

1. 光的偏振态

根据麦克斯韦的电磁场理论，光是一种电磁波，光波的电振动矢量 \vec{E} 和磁振动矢量 \vec{H} 互相垂直，并且都垂直于光波的传播方向，如图 1 所示，因此光波是横波。由于引起

视觉和光化学反应的是光的电振动矢量 \vec{E} ，所以通常把电振动矢量 \vec{E} 的方向作为光振动的方向,称为电矢量或光矢量,并将电矢量 \vec{E} 与光波传播方向构成的平面称为光的振动面。按照光矢量振动状态的不同，可以把光分为五种偏振态，即自然光、部分偏振光、椭圆偏振光、圆偏振光和线偏振光。

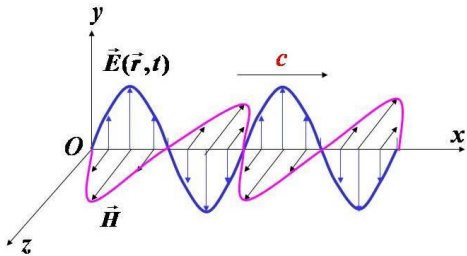


图 1 光波电矢量、磁矢量与光波传播方向的关系图

一般光源发出的光是由大量原子或分子辐射出的电磁波列组成，每个波列持续的时间约在 10^{-6}s ，虽然单个原子或分子辐射出的光波列是偏振的，但由于大量分子或原子的热运动和辐射的随机性，在垂直于光的传播方向的 2π 角度内看，它们发出的光的振动面并没有在哪个方向上占优势，光矢量在各个方向上出现的概率是相等的，从统计平均来看，一般在 10^{-6}s 内光矢量在各方向上的时间平均值是相等的，这样的光对外并不显现出偏振的性质，称为自然光。在光的传播过程中，在垂直于传播方向的平面内，若光矢量始终在某一确定的方向上振动，即光矢量振动时只是改变大小而不改变方位，则光矢量末端的轨迹是一直线，这种光称为线偏振光或平面偏振光。部分偏振光的偏振态介于线偏振光和自然光之间，在垂直于光传播方向的平面内，光矢量的振动方向具有各个方向，但在不同方向上的振幅大小不同，在某个方向上振幅占优势。部分偏振光可以看做是线偏振光和自然光的混合。自然光、部分偏振光和线偏振光的光矢量振动方向示意如图 2 所示。



图 2 自然光、部分偏振光和线偏振光的电矢量振动方向示意图

还有一种情况，光传播的时候，在垂直于光的传播方向的平面内，光矢量的大小和方向随时间有规律地变化，光矢量的末端轨迹描绘出一个椭圆或者圆，这种光称为椭圆偏振光或者圆偏振光。椭圆运动可以看成是两个互相垂直的简谐运动 \mathbf{E}_x 和 \mathbf{E}_y 的合成，如图 3 所示，所以椭圆偏振光退化为圆偏振光的条件是两个简谐运动的振幅 \mathbf{E}_x 和 \mathbf{E}_y 相等且相位差 $\delta = \pm \frac{\pi}{2}$ ，退化为线偏振光的条件是其中一个简谐振动的振幅为零，或者相位差 $\delta = 0$ 、 $\pm \pi$ ，因此圆偏振光和线偏振光都可以看做是椭圆偏振光的特例。

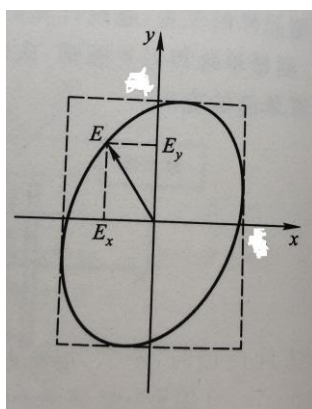


图3 椭圆偏振光的光矢量运动分解

2. 线偏振光的产生方法和检验

将自然光变为线偏振光的器件称为起偏器，用来检验线偏振光的器件称为检偏器。实际上起偏器和检偏器是相互通用的，能产生线偏振光的器件，同样也可以用来作为检偏器。下面介绍几种常用的产生线偏振光的方法，以及如何利用马吕斯定律检验线偏振光。

(1) 通过偏振片产生线偏振光，并利用马吕斯定律进行检验

某些晶体对于两个互相垂直的光矢量振动具有不同的吸收本领，如天然的电气石晶体和硫酸碘奎宁晶体等，当光矢量与晶体的光轴平行时，光被晶体吸收的较少，而当光矢量与光轴垂直时，光被吸收的较多，这种性质称为晶体的二向色性。利用这种性质可以制作偏振片，在透明薄膜上涂覆一层二向色性晶体（如硫酸碘奎宁），然后拉伸薄膜，晶体的光轴会沿拉伸方向定向排列，当自然光透过时，平行于晶轴方向的光矢量振动几乎完全通过，该方向称为偏振化方向，而垂直于晶轴方向的光矢量振动几乎全被吸收，透射光就基本成为了线偏振光，如图4所示。偏振片制作容易，价格便宜，而且可以获得截面积较大的偏振光束，应用比较广泛。但偏振片的透光率低，对于某些波长的光吸收不完全，不能得到完全纯的线偏振光。

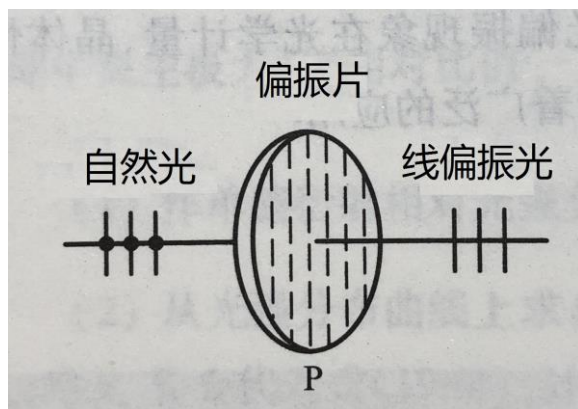


图4 用偏振片获得线偏振光

偏振片既可以作为起偏器产生线偏振光，也可以作为检偏器检验线偏振光。如图 5 所示，假设通过偏振片 P_1 后的线偏振光光强为 I_0 ，在偏振片 P_1 后面再放一偏振片 P_2 ，当偏振片 P_1 和偏振片 P_2 的偏振化方向夹角为 θ 时，则根据马吕斯定律，通过偏振片 P_2 后的光强为

$$I = I_0 \cos^2 \theta \quad (1)$$

当 $\theta = 0$ 时， $I = I_0$ ；当 $\theta = \frac{\pi}{2}$ 时， $I = 0$ ；当 $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ 时， $0 < I < I_0$ 。可见，

偏振片 P_2 起到了检偏器的作用，可以用来检验线偏振光，当旋转 P_2 时，对于线偏振光会出现光强为零的消光现象。

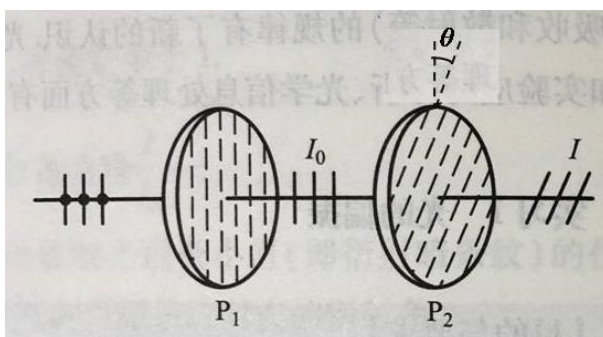


图 5 利用马吕斯定律检验线偏振光

如果让圆偏振光透过偏振片，旋转偏振片的偏振化方向，会发现透射光强不发生变化，与自然光的情形相同。如果让椭圆偏振光透过偏振片，旋转偏振片，会观察到每隔 $\frac{\pi}{2}$ 投射光强从极大变为极小，再由极小变为极大，但无消光位置，与部分偏振光的情形相同。

(2) 利用布儒斯特定律产生线偏振光

当自然光入射到两种介质的分界面时，反射光和折射光一般都是部分偏振光，反射光中垂直于入射面的光振动较强，而透射光中平行于入射面的光振动较强。反射光和折射光

的偏振度与入射角的大小有关，当入射角为一个特定角度 i_B 时，反射光成为完全偏振光，与入射面平行的光振动成分消失，只包含与入射面垂直的光振动，而折射光仍为部分偏振光，平行于入射面的光振动强于垂直于入射面的光振动，此角度 i_B 称为起偏角或布儒斯特角。此时反射光线和折射光线垂直，设折射角为 r ，如图 6 所示，则

$$i_B = \frac{\pi}{2} - r \quad (2)$$

设两种介质的折射率分别为 n_1 和 n_2 ，再由折射定律

$$n_1 \sin i_B = n_2 \sin r \quad (3)$$

可得

$$\tan i_B = \frac{\sin i_B}{\cos i_B} = \frac{\sin i_B}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} \quad (4)$$

这就是布儒斯特定律。当光从空气 ($n_1 = 1$) 射入折射率 $n_2 = 1.5$ 的玻璃时， $i_B \approx 56^\circ$ 。

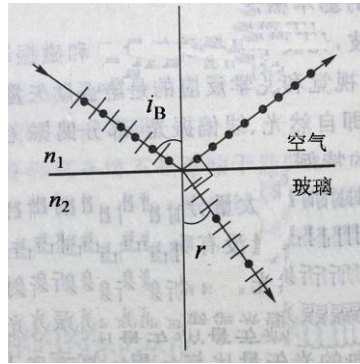


图 6 布儒斯特定律

当自然光以布儒斯特角射过玻璃片时，虽然反射光是线偏振光，但反射光的光强比较弱，而且反射改变了光线方向，不方便使用。平行于入射面的光振动几乎都透过了单层玻

璃，垂直于入射面的光振动除小部分被发射外，大部分也透过了单层玻璃，所以透射光的偏振度并不高，但如果如图 7 所示将多层玻璃片叠放，则光以布儒斯特角经过每层玻璃片时都会被反射一部分垂直于入射面的光振动，而平行于入射面的光振动几乎可以完全透过，经过多次反射和透射，最后透过玻片堆的几乎就是光振动完全平行于入射面的线偏振光了。

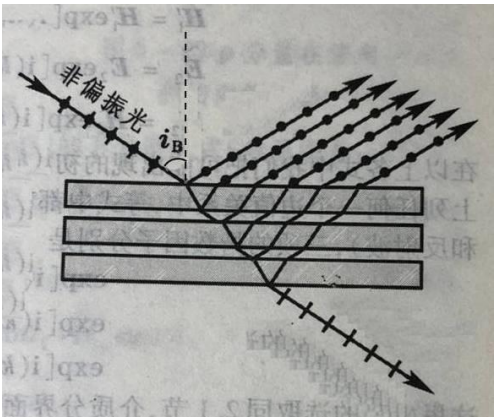


图 7 用玻片堆产生线偏振光

(3) 利用双折射晶体产生线偏振光

当一束光射入各向异性的晶体（如石英、方解石等），光束在晶体中传播时会被分解成两束折射光，这种现象叫做晶体的双折射现象，能够产生双折射现象的晶体称为双折射晶体。产生的两束折射光中，其中一束光的前进方向遵循折射定律，称为寻常光（简称 o 光），另一束光的前进方向不符合折射定律，称为非常光（简称 e 光）。在晶体中存在一个特殊的方向，光沿这个方向传播时，o 光和 e 光不分解，不发生双折射现象，但在晶体中的传播速度不同，这个方向称为晶体的光轴。只有一个光轴方向的晶体称为单轴晶体，如石英、方解石、红宝石等；双轴晶体具有两个光轴方向，如云母、硫磺等。晶体内任一光线与光轴构成的平面称为该光线的主平面。单轴晶体（如方解石）双折射产生的 o 光和 e 光都是线偏振光，且两者的偏振方向互相垂直，o 光的光矢量振动方向垂直于 o 光的主平面，e 光的光矢量振动方向平行于 e 光的主平面，如图 8 所示。

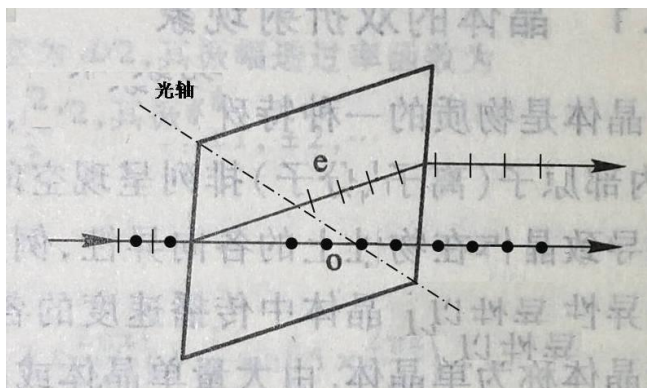


图8 自然光通过方解石晶体分解成o光和e光

利用双折射晶体制作成特殊的棱镜，可使双折射产生的两束光在空间上分得足够开，从而获得偏振度很高的线偏振光，这类棱镜称为偏振棱镜，常见的有尼科耳棱镜、沃拉斯顿棱镜、格兰-汤普森棱镜等，被广泛应用于高精度激光偏光技术中。沃拉斯顿棱镜一种常用的偏振棱镜，它是由两个光轴互相垂直的方解石直角棱镜组成，图9所示为棱镜的双折射光路图，第一个直角棱镜的光轴方向平行于纸面，第二个棱镜的光轴方向垂直于纸面，自然光从 BC 面垂直入射，在第一个棱镜内 o 光和 e 光不分开，无偏折地透过第一个棱镜到达两个棱镜的界面 AC ，经过界面进入第二个棱镜后， o 光变成了 e 光， e 光变成了 o 光，前者折射方向偏离法线，后者折射方向偏向法线，于是两束偏振光就分开传播，在从 AD 面射出棱镜时，两束光都再发生偏离法线的折射，分开的角度进一步加大，于是就得到了两束具有一定夹角、光矢量振动方向互相垂直的线偏振光。

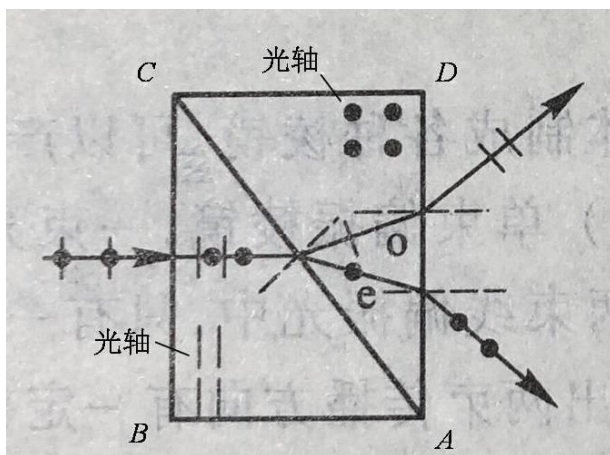


图9 沃拉斯顿棱镜双折射光路图

3. 通过波晶片产生椭圆偏振光和圆偏振光

波晶片简称波片，是从单轴晶体中切割下来的平面平行板，其表面平行于光轴。通常波晶片用云母按其天然解理面剥离成薄片做成，或用石英晶体研磨成薄片。云母是双轴晶体，但两个光轴与解理面都几乎平行。当一束单色平行自然光垂直入射到波晶片上，光在波晶片内会分成 o 光与 e 光，两者的传播方向不变，仍然与波晶片表面垂直，但它们在波晶片内的光矢量振动方向和传播速度却不同，o 光的光矢量振动垂直于光轴，在晶体内的传播速度为 v_o ，e 光的光矢量振动方向平行于光轴，在晶体内的传播速度为 v_e ，所以 o 光与 e 光相应的折射率 n_o 与 n_e 不同。因此，当通过厚度为 l 的波晶片时，o 光和 e 光就有了光程差

$$\Delta = (n_o - n_e)l \quad (5)$$

相应的相位差为

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} (n_o - n_e)l \quad (6)$$

其中 λ 为光波在真空中的波长，所以波晶片也叫做相位延迟片。

在波晶片内以 e 光振动方向为横轴（e 轴），o 光振动方向为纵轴（o 轴），对于一束垂

直表面射入波晶片的平行光，其振动都可以按此坐标系分解为 e 分量和 o 分量。透过波晶片后，两者又合二为一，只是多附加了一个相位差 δ ，合成光的偏振性质即决定于入射光的性质、状态和附加的相位差 δ 。

(1) 若波晶片的厚度 l 使得 o 光和 e 光通过波晶片后的光程差为

$$\Delta = (n_o - n_e)l = k\lambda \quad (k = 1, 2, 3, \dots) \quad (7)$$

则相位差为

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)l = 2k\pi \quad (k = 1, 2, 3, \dots) \quad (8)$$

即光程差为波长的整数倍时，这样的波晶片称为全波片（对波长 λ 而言）。

当线偏振光垂直入射到全波片上，出射的 o 光和 e 光合成之后偏振状态不发生改变，仍然是线偏振光。

(2) 若波晶片的厚度 l 使得 o 光和 e 光通过波晶片后的光程差为

$$\Delta = (n_o - n_e)l = (2k + 1)\frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (9)$$

则相位差为

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)l = (2k + 1)\pi \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (10)$$

即光程差为半波长的奇数倍时，这样的波晶片称为半波片（或 $\lambda/2$ 片）。

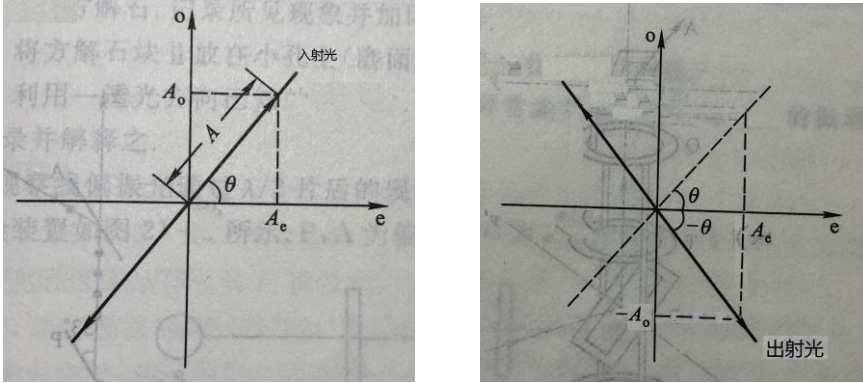
当线偏振光垂直入射到半波片上，在半波片的前表面可分解为 o 分量和 e 分量，其振动方程可表示为

$$\begin{cases} E_e = A_e \cos \omega t \\ E_o = A_o \cos(\omega t + \varepsilon), \varepsilon = 0, \pi \end{cases} \quad (11)$$

如图 10 (a) 所示，其中 A_e 和 A_o 分别是线偏振光在 e 轴和 o 轴上的振幅分量，

$$A_e = A \cos \theta, A_o = A \sin \theta, \theta \text{ 是线偏振光的振动方向与波晶片 e 轴的夹角, } \varepsilon = 0$$

和 π 分别对应于线偏振光位于一、三象限和二、四象限。



(a) 射入半波片前的偏振方向 (b) 射出半波片后的偏振方向

图 10 线偏振光经过半波片的偏振态变化

当只考虑出射的 o 光和 e 光的相对相位差时，其振动方程可以表示为

$$\begin{cases} E_e = A_e \cos \omega t \\ E_o = A_o \cos[\omega t + \varepsilon - \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)l] = A_o \cos(\omega t + \varepsilon - \delta) \end{cases} \quad (12)$$

对于半波片 $\delta = \pi$ ，出射光的两个正交分量的相位差

$$\varepsilon - \delta = \begin{cases} 0 - \pi = -\pi (\varepsilon = 0) \\ \pi - \pi = 0 (\varepsilon = \pi) \end{cases} \quad (13)$$

由此可知出射光也是线偏振光，但其振动方向与入射光不同。如图 10 (b) 所示，因 E_o 的相位比原变化了 π ，其数值从 A_o 变为 $-A_o$ ，而 A_e 不变，所以 E_e 和 E_o 合成振动的方向相当于对 e 轴做了一个镜像对称，出射光的振动方向与波晶片 e 轴的夹角变成了 $-\theta$ 角，即线偏振光经过半波片后振动方向转过了 2θ 角。特殊情况下，当 $\theta = 0$ 或 $\frac{\pi}{2}$ 时，线偏振光旋转 2θ 角后与原来的入射光重合，出射光的偏振方向与入射光仍然在同一条直线上，出射光的偏振状态不发生变化。

(3) 若波晶片的厚度 l 使得 o 光和 e 光通过波晶片后的光程差为

$$\Delta = (n_o - n_e)l = (2k + 1)\frac{\lambda}{4} \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (14)$$

则相位差为

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)l = (2k + 1)\frac{\pi}{2} \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (15)$$

即光程差为四分之一波长的奇数倍时，这样的波晶片称为四分之一波片（或 $\lambda/4$ 片）。

当线偏振光垂直入射到四分之一波片上，同样的分析可得出射光的振动方程为

$$\begin{cases} E_e = A_e \cos \omega t \\ E_o = A_o \cos(\omega t + \varepsilon - \delta) \end{cases} \quad (16)$$

其中 $\delta = \pm \frac{\pi}{2}$ ，则 $\varepsilon - \delta = \pm \frac{\pi}{2}$ ，出射光为椭圆偏振光，椭圆的长轴方向在 e 轴或 o 轴

上，取决于线偏振光的振动方向与 e 轴的夹角 θ 的大小。当线偏振光的振动方向与波晶片

光轴的夹角 $\theta = \frac{\pi}{4}$ 时，线偏振光在 e 轴和 o 轴上的振幅分量相等， $A_e = A_o$ ，出射光为

圆偏振光。所以可以通过将线偏振光射过四分之一波片的方式，获得椭圆偏振光和圆偏振

光。特别的，当线偏振光的振动方向与 e 轴平行或垂直时，即 $\theta = 0$ 或 $\frac{\pi}{2}$ 时，有 $A_o = 0$

或 $A_e = 0$ ，此时出射光退化为线偏振光。

由上述 (1) ~ (3) 部分的讨论可知，如果入射线偏振光的振动方向与波晶片的 e 轴夹角 $\theta = 0$ 或 $\frac{\pi}{2}$ ，即线偏振光的光矢量振动方向平行于波晶片 e 轴或 o 轴，则任何波晶片

对它都不起作用，出射光仍为原来的线偏振光，因为这时入射光只有一个 e 分量或一个 o 分量，出射光自然也只有一个分量，偏振态不发生变化。

自然光可以看做是两个具有无规相位差的正交线偏振光的合成，经过任何波晶片后，

两个线偏振光的偏振态都不发生变化，只是各自比原来多加了一个固定的相位差 δ ，但两个线偏振光之间的相位差仍然是无规的，所以出射光仍然是自然光。

4. 旋光现象

当线偏振光通过某些晶体或物质的溶液时，振动面将旋转一定的角度，这种现象称为旋光现象，旋转的角度 φ 称为旋转角或旋光度。如图 11 所示，开始时在起偏器和检偏器之间不放入旋光物质，检偏器和起偏器的偏振化方向垂直时，没有光通过检偏器，当在起偏器和检偏器之间放入旋光物质后，有光通过检偏器，旋转检偏器的偏振化方向，可以再次实现消光，则检偏器转过的角度 φ 就是旋转角。具有旋光性的物质称为旋光物质，石英晶体、松节油、糖溶液和酒石酸溶液等都是旋光物质。不同的物质使振动面旋转的方向不同，迎着光传播的方向看，使振动面顺时针方向旋转的物质称为右旋物质，使振动面逆时针方向旋转的物质称为左旋物质。

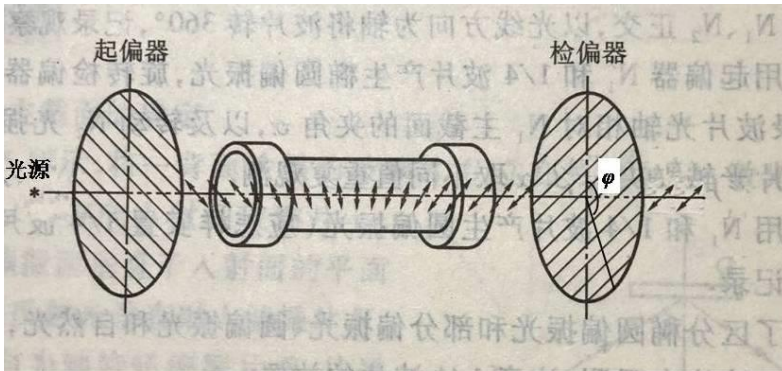


图 11 旋光现象

对于具有旋光性的溶液，旋转角 φ 与线偏振光通过的液体长度 l 和溶液的浓度 c 有关，即

$$\varphi = \alpha c l \quad (17)$$

其中 α 称为旋光率。对于晶体，旋转角 φ 与晶体的厚度 d 有关，即

$$\varphi = \alpha d \quad (18)$$

旋光率 α 的大小与入射光的波长和旋光物质的温度都有关系。

利用旋光现象可以制成旋光仪，旋光仪常用来测量溶液的浓度。物质的旋光性不仅在光学上有特殊意义，在化学和生物上也有深远的影响。

四、仪器介绍

1. 实验中所用的光源是砷化镓红光半导体激光器，输出功率 4mW，输出波长 635nm。与自然光或普通光源相比，采用激光作为光源提供的光强更大，而且激光器能输出单色光，激光光束的方向性非常优异，提高了后续光功率计测量的效果。本实验中激光器输出的是部分偏振光，偏振度非常接近于线偏振光。如图 12 所示，激光器调整器背后有两个调节螺丝，可以分别调整出射激光的水平方向和上下方向。



图 12 半导体激光器

2. 光功率计的电源开关在设备后面板上。后面板上除电源线外还有两根线，其中一根线连接光探头，接收光探头传来的光强信号，另一根线连接激光器，这里光功率计兼作为电源为激光器供电。光探头内装有光敏感材料硅光电池板作为光强探测材料，可把光能转

化为电能，光探头上开有直径 6 mm 的进光小孔，光探头给出的信号大小和射入小孔内的光强成正比。如图 13 所示，光功率计的前面板上有“200 μ W, 2mW, 20mW, 200mW”4 个档位，使用中应根据所测量光强的大小切换相应的档位。前面板上还有一个“可调档”，切换到该档位时，调节“可调档”旋钮，可将当前光功率计接收到的光强换算为一个数字显示在数字屏上，该数字最大可设为 1999，为一个相对数字，设定好后，后续接收到的强弱不同的光强均以同样的标准换算成相应的数字显示。光功率计在使用前应先进行调零，将光功率计放在所使用的档位，用书本或手放在光探头前面遮挡，调节“调零”旋钮使光功率计示数为零即可。



图 13 光功率计前面板图

3. 本实验中所用的偏振片是用玻璃片夹住涂有硫酸碘奎宁二向色性微晶的透明薄膜制作而成。如图 14 所示，偏振片装在圆形框架内，可以连续圆周旋转，在框架上以 1°为单位刻有 360°刻度，读取基准线对应的刻度可以知道偏振片转过了多少角度。注意：偏振片装入框架时的方位是随机的，基准线对准 0°位置时并不代表偏振片的偏振化方向是正对准基准线的。

四分之一波片是用云母材料制作而成，框架上也有同样的角度刻度，可以知道波晶片转过了多少角度，同样，波晶片在安装时方位也是随机的，基准线对准 0°位置时并不代表波晶片的 e 轴方向是正对准基准线的。

用来产生旋光效应的是用石英晶体做成的薄片，装在框架内，厚度为 3 mm。



图 14 偏振片

五、实验内容与步骤

1. 测量前准备

(1) 光路粗调：将安插激光器和光探头的滑块固定螺丝旋松，推动滑块，使激光器和光探头靠近，观察激光器和光探头是否大致在同一高度，是否互相正对，如果有明显高低差异或角度偏斜，则旋松激光器和光探头滑块上的支撑杆紧固螺丝，调整至高度一致、方向正对后锁紧支撑杆螺丝。然后将激光器和光探头滑块固定螺丝松开，分别滑至光学导轨两段并锁紧滑块。

(2) 光功率计调零：打开光功率计电源，激光器发射出红色激光束，将光功率计档位设在“20mW”档，遮挡住光探头进光小孔，将光功率计进行调零。

(3) 光路细调：调整激光器背后的两个光束方向调节螺丝，使光束射入光探头进光小孔，再观察光功率计的示数，微调光束方向，使功率计示数最大，此时光路调整完成，激光器与光探头等高共轴，光路如图 15 所示。

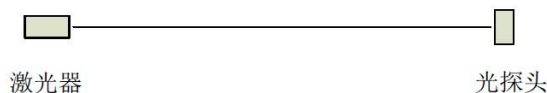


图 15 光路调整

(4) 设置档位：将光功率计档位调到“可调档”，调节“可调档”旋钮使显示的数字在 1700 以上。本实验中使用光功率计的“可调档”档位对光强进行测量，这样可以避免在测量过程中随着光线强弱的变化反复切换测量档位，虽然测量得到的是无单位的相对光强数值，但因为本实验中主要考察的是透射光光强的相对大小，使用相对光强并不影响实验结论。

2. 验证马吕斯定律

(1) 如图 16 所示，在激光器后的滑块放入偏振片 1 作为起偏器，固定好滑块位置，调整偏振片 1 的高低和朝向，使激光在偏振片 1 的中心位置垂直入射，保证偏振片 1 在光路中同样等高共轴。转动偏振片 1，使光功率计的示数最大。

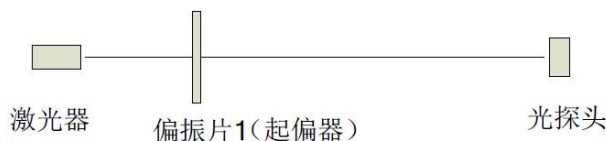


图 16 产生线偏振光

(2) 如图 17 所示，在偏振片 1 后面放入偏振片 2 作为检偏器。旋转偏振片 2，使光功率计示数为零（如果不能达到零值，最小值为 1 或 2 亦可），此时达到了消光状态。稍微旋转偏振片 2，使基准线对齐最近的十位刻度，将偏振片 2 的角位置 φ_1 记录下来。然后再

同方向稍微旋转偏振片 1，使光功率计示数再次为零，此时 φ_1 为消光角位置。

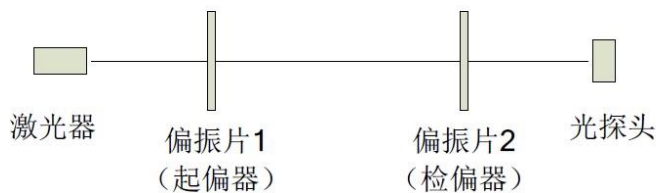


图 17 检验线偏振光

(3) 再将偏振片 2 旋转 90° ，将偏振片 2 的角位置 φ_2 记录下来，此时偏振片 2 和偏振片 1 的偏振化方向平行，夹角 $\theta = 0$ ，将此时的光功率计示数记录在数据表 12-1 中的 0° 格内。然后沿一个固定方向，每转过 10° 记录一次相应的光功率计示数，依次填在数据表中的 $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, \dots$ 格内，直到转过 350° 。

表 12-1 验证马吕斯定律数据记录表

消光时偏振片 2 角位置 $\varphi_1 =$ _____，偏振化方向平行时偏振片 2 角位置 $\varphi_2 =$ _____。

θ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
相 对 光 强									
θ	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°
相 对 光 强									
θ	180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°	250°	260°
相 对 光 强									

θ	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°
相 对 光强									

3. 产生椭圆偏振光和圆偏振光

(1) 完成验证马吕斯定律的实验后，将偏振片 2 转到角位置 φ_1 ，即消光位置。

(2) 如图 18 所示，在偏振片 1 和偏振片 2 之间放入四分之一波片，观察放入四分之一波片前后光强的变化。

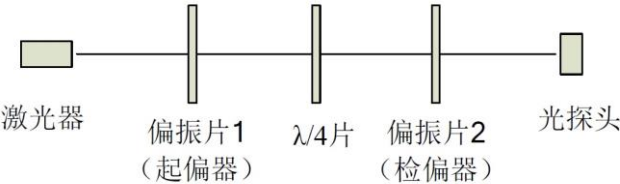


图 18 产生椭圆偏振光和圆偏振光

(3) 保持偏振片 1 和偏振片 2 的偏振化方向不变，转动四分之一波片直到消光，此时四分之一波片的 e 轴或 o 轴与偏振片 1 的偏振化方向平行，四分之一波片并不改变入射线偏振光的偏振态，出射光仍然是与入射线偏振光振动方向相同的线偏振光，记录此时四分之一波片的角位置 γ_0 。

(4) 将偏振片 2 旋转 360°，观察并记录光功率计的示数变化规律，分析光强变化情况，并将偏振片 2 从初始角位置 φ_1 每转过 30°，即转过 0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180° 时相应的光功率计示数填入数据表 12-2 中四分之一波片转过角度 γ 为 0° 的一栏。

(5) 将四分之一波片从角位置 γ_0 沿某个固定方向依次旋转 15°，即转过 0°, 15°, 30°，

45°, 60°, 75°, 90°, 在四分之一波片处于每个角位置时, 用与步骤 (4) 中同样的方法将偏振片 2 从初始角位置 φ_1 旋转 360°, 观察现象并记录数据, 填入数据表 12-2 中四分之一波片转过相应角度的一栏。

表 12-2 产生椭圆偏振光和圆偏振光数据记录表

四分之一波片初始角位置 γ_0 = _____, 偏振片 2 初始角位置 φ_1 = _____。

四分之一波片转过的角度 γ	偏振片 2 旋转 360° 观察到的光强变化情况 (强、弱或无光)	偏振片 2 转过不同角度时的相对光强						
		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
0°								
15°								
30°								
45°								
60°								
75°								
90°								

4. 检测偏振光经过旋光晶体后的偏振方向

(1) 用偏振片 1 产生线偏振光, 用偏振片 2 检出其垂直方向, 即消光位置, 记录此时偏振片 2 的角度值 ϕ_1 , 填入数据表 12-3 中。

(2) 将旋光晶体放在偏振片 1 和偏振片 2 中间, 可观察到检偏器后的透光情况从消光变为有光, 从而说明光振动面发生了旋转, 同样用偏振片 2 检出其消光位置, 记录此时偏振片 2 的角度值 ϕ_2 , 填入数据表 12-3 中。

(3) 重复测量 3 次。

表 12-3 旋光实验测量数据

次数	旋光前消光位置 ϕ_1	旋光后消光位置 ϕ_2
1		
2		
3		

五、数据处理与分析

1. 由表 12-1 的实验数据，绘制相对功率 $P - \theta (0^\circ \sim 360^\circ)$ 关系曲线和 $P - \cos^2 \theta (0^\circ \sim 90^\circ)$ 关系曲线，验证马吕斯定律。
2. 由表 12-2 的实验数据，分析测得光强数值的变化规律，用示意图和文字说明透过四分之一波片后光的偏振态。
3. 由表 12-3 的实验数据，计算光振动面旋转的角度 φ ，并求得晶体的旋光率 α ，已知旋光晶体的厚度 d 为 3 mm。

六、经验提示

1. 注意事项
 - (1) 禁止用手触摸偏振片和波片的表面。
 - (2) 禁止激光束直接射入眼睛。
 - (3) 实验前调节各光学器件等高共轴。
 - (4) 实验中偏振片和波片要保持始终正对激光器。
 - (5) 开始实验测量前应将光功率计先进行调零。
 - (6) 起偏器应处于使通过起偏器后激光束光强最强的位置。
2. 关键环节

本实验的关键环节是在产生椭圆偏振光和圆偏振光时，准确找到四分之一波片的光轴位置。

3. 常见问题

(1) 验证马吕斯定律时，旋转偏振片找不到消光位置。可能原因：①将波片误用作偏振片；②未放置起偏器；③光功率计未调零。

(2) 实验中测得光强数据异常减小。可能原因：①误触激光器使其方向不正，激光未全部射入光探头孔中；②测量中手遮挡了激光光束；③偏振片位置过低，激光束有部分射在了边框上。

4. 易犯错误

(1) 在验证马吕斯定律时，将消光位置记为夹角零度。

(2) 在旋光实验中，未考虑线偏振光旋转角度是否是钝角。

七、实验思想方法精髓

光的偏振实验主要实验内容是偏振光的产生和检测，所用的偏振片、玻片堆、双折射晶体等光学器件，同一个光学器件本身既用做起偏器来产生偏振光，也被用做检偏器来检测偏振光，利用的是同样的物理特性，只是取决于从什么角度使用它。

八、思考题

1. 迎着太阳驾车，路面的反光很耀眼，一种用偏振片做成的太阳镜能减弱甚至消除这种眩光。这种太阳镜较之普通的墨镜有什么优点？应如何设置它的偏振化方向？

2. 如何区别椭圆偏振光和部分偏振光？

九、深入探究

1. 太阳光射入大气层后，受到大气的折射，到达地面后偏振度会发生变化，地球不同经纬度地方观察到的不同方向的太阳光偏振度不同，你能从观察到的太阳光的偏振特性，

反向得到自己所处的地理位置信息吗？

参考资料：蒋睿, 王霞, 左一凡, 李磊磊, 陈家斌. 基于局部大气偏振特性的仿生导航方法[J]. 航空学报, 2020, 41 (S2): 152-160.

2. 在利用玻片堆获得线偏振光时，利用的是透过玻片堆平行于入射面的光，而垂直于入射面的偏振光被反射掉，并未得到利用，你能否设计一个实验装置，将反射的偏振光也加以利用呢？

参考资料：张帆, 张宇, 张盛. 基于玻璃片的偏振光路的研究[J]. 大学物理, 2014, 33 (05): 49-52.

实验 12 光的偏振实验原始数据

姓名：_____ 学号：_____ 班号：_____ 教师姓名：_____

实验时间：_____年____月____日（☐上午 ☐下午 ☐晚上）

1. 验证马吕斯定律实验数据

消光时偏振片 2 角位置 $\varphi_1 =$ _____，偏振化方向平行时偏振片 2 角位置 $\varphi_2 =$ _____。

θ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
相 对 光强									
θ	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°
相 对 光强									
θ	180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°	250°	260°
相 对 光强									
θ	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°

相 对 光强									
-----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

2.产生椭圆偏振光和圆偏振光实验数据

四分之一波片初始角位置 γ_0 = _____，偏振片 2 初始角位置 φ_1 = _____。

四分之一波片转过的角度 γ	偏振片 2 旋转 360°观察到的光强变化情况（强、弱或无光）	偏振片 2 转过不同角度时的相对光强						
		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
0°								
15°								
30°								
45°								
60°								
75°								
90°								

3.旋光实验数据

次数	旋光前消光位置 ϕ_1	旋光后消光位置 ϕ_2
1		
2		
3		