

偏振光的特性

201711140236 物理系基地班 李励玮

实验仪器

激光器，分光计光具座，偏振片，1/2 波片，1/4 波片，光功率计等

实验原理

1. 光的偏振性

光波是波长较短的电磁波，电磁波是横波，光波在的电矢量与波的传播方向垂直。光的偏振是指光的振动方向与光的传播方向的不对称性，可证明光是横波。大体分为五种偏振态：自然光、部分偏振光、线偏振光、椭圆偏振光和圆偏振光（线偏振光和圆偏振光可看作椭圆偏振光的特例）。

1) 自然光

普通光源中各原子发出光的波列初相和振动方向不相关，随机分布。平均来说，光矢量轴对称且均匀分布，各方向光振动的振幅相同，各振动之间没有固定的相联系，这种光称为自然光（或非偏振光）。

设想把每个波列的光矢量都沿任意取定的 x 、 y 轴分解。由于各波列光矢量的相和振动方向是无规则分布的，将所有 x 分量、 y 分量叠加得到总光矢量的分量 E_x 和 E_y 之间没有固定的相关关系，因此他们不相干。同时 E_x 和 E_y 之间振幅相等，因此可以把自然光分解为两束等幅的振动方向互相垂直的不相干的线偏振光。

2) 线偏振光

光矢量只沿一个固定方向振动的光为线偏振光（或平面偏振光）。光矢量的方向和光的传播方向构成的平面称为振动面。线偏振光的振动面是固定不动的。

3) 部分偏振光

在垂直于这种光的传播方向的平面内，各方向的光振动都有，但振幅不相等，为部分偏振光。这种偏振光各方向的光矢量之间也没有固定的相的关系。

4) 椭圆偏振光和圆偏振光

这两种光在垂直于光传播方向的平面内，光矢量按一定频率旋转（左旋或右旋）；若光矢量端点轨迹为一个圆，为圆偏振光；若端点轨迹为一个椭圆，为椭圆偏振光。

2. 布儒斯特角

当光从折射率为 n_1 的介质入射到折射率为 n_2 的介质界面，且入射角满足 $\theta_B = \arctan \frac{n_2}{n_1}$ 时，反射光即成完全偏振光，其振动面垂直于入射面。 i_B 称为布儒斯特角，上式为布儒斯特定律。

3. 马吕斯定律

若光源中任一波列投射在起偏器检偏器 P_t 上，只有相当于它的成分之一的 E_y （平行于光轴方向的矢量）能通过， $E_x = E \sin \theta$ 则被吸收。

若投射在检偏器 P_t 上的线偏振光振幅为 E_0 ，则透过检偏器 P_t 振幅为 $E_0 \cos \theta$ （ θ 为 P 和 P_t 偏振化方向之间的夹角）。由于光强与振幅的平方成正比，可知透射光强 I 随 θ 而变化的关系为 $I = I_0 \cos^2 \theta$ 。

4. 波片

自然光通过单轴晶体的双折射会产生寻常光（o 光）和非寻常光（e 光），各自都是平面偏振光。寻常光的振动面与晶体主截面垂直，非寻常光的振动面在主截面内。

在单轴晶体内，沿某一方向传播的光不发生分岔也不能起偏，该方向为单轴晶体的光轴。若使线偏振光垂直入射一透光面平行于光轴且厚度为 d 的晶片，此光因晶片的各向异性而分裂成遵从折射定律的寻常光和不遵从折射定律的非寻常光。

因寻常光和非寻常光在晶体中这两个相互垂直的振动方向有不同的光速，分别称作快轴和慢轴。

设入射光振幅为 A ，振动方向与光轴夹角为 θ ，入射晶面后 o 光和 e 光振幅分别为 $A \sin \theta$ 和 $A \cos \theta$ ，出

射后相位差 $\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0}(n_o - n_e)d$ ，其中 λ_0 为光在真空中波长， n_o 和 n_e 分别为 o 光和 e 光的折射率。

这种能使相互垂直振动的平面偏振光产生一定相位差的晶片叫做波片。

若以平行于波片光轴方向为 x 轴，垂直于光轴方向为 y 轴，出射的 o 光和 e 光可以用两个简谐振动方程式表示：

$$x = A_e \sin \omega t \quad y = A_o \sin(\omega t + \varphi)$$

合振动方程式为

$$\frac{x^2}{A_e^2} + \frac{y^2}{A_o^2} - \frac{2xy}{A_e A_o} \cos \varphi = \sin^2 \varphi$$

一般来说，这是一个椭圆方程，代表椭圆偏振光。

但当 $\varphi = 2k\pi (k = 1, 2, 3 \dots)$ 或 $\varphi = (2k + 1)\pi (k = 0, 1, 2, 3 \dots)$ 时，合振动变为振动方向不同的线偏振光。这时，晶体厚度 $d = \frac{(2k+1)\lambda}{n_o - n_e}$ ，可使 o 光和 e 光产生 $(2k + 1)\lambda / 2$ 的光程差，这样的波片为半波片。

当 $\varphi = \frac{(2k+1)\pi}{2} (k = 1, 2, 3 \dots)$ 时合振动方程化为正椭圆方程 $\frac{x^2}{A_e^2} + \frac{y^2}{A_o^2} = 1$ 。此时晶体厚度 $d = \frac{(2k+1)\lambda}{n_o - n_e}$ ，称为 1/4 波片。它能使线偏振光改变偏振态，变成椭圆偏振光。

当入射光振动面与波片光轴夹角 $\theta = 45^\circ$ 时， $A_e = A_o$ ，合振动方程为 $x^2 + y^2 = A^2$ ，获得圆偏振光。波片都是对某种波长的光而言的。

自然光入射单轴晶片时，其光矢量虽然被分为 o 光和 e 光，出晶片后也有一定的相位差。但是由于自然光的光矢量是无规则分布的，所以合成的矢量也是无规则的自然光。

实验内容与实验步骤

1. 马吕斯定律的验证

使激光束垂直通过起偏器成为偏振光，用检偏器检查时，使两个偏振器的透振方向的夹角 θ 从 0° 转动到 360° ， θ 转过一周的过程中，用光电接收器测量透射光强的相对值 I ，每 10° 读取一次数据。记录数据，并画出 $I - \theta$ 关系曲线。

2. 分析半波片的作用

1) 调整起偏器 P 和检偏器 P_t 使之正交（这时光电流显示最小），并在起偏器和检偏器之间加入半波片，旋转波片一圈，观测光电大小的变化，会发现光电流有几次为零的现象（消光现象）。记录旋转波片一圈时消光的次数，并对此现象作解释

2) 在上述半波片旋转到消光的位置，再分别转动波片 10° 、 20° 、 30° 、 $40^\circ \dots$ ，此时旋转检偏器 P_t 让每次波片转过上述角度后光电流都为零。并分析半波片的作用，并解释实验现象。

3. 分析 1/4 波片的作用

先使线偏振光的偏振面 P 和检偏器 P_t 的光轴正交（光电流为零），然后在两个偏振片之间加入 1/4 波片，并转动波片，直到通过检偏器后的光强变为零。从此位置开始，将波片旋转 15° 后，记录检偏器以每隔 15° 旋转一周时光电流的大小。将数据填入表中，并在极坐标下作图，分别解释波片旋转 15° 和 45° 时图像的特征。

4. 布儒斯特角的测定

在光具座上，由激光器发出的光束入射到放置于分光计测角台上的玻璃片，先转动分光计读数转盘，在入射角为 $10^\circ \sim 85^\circ$ 范围内寻找反射光束通过检偏器后光强变为最小（甚至为零）时的角度（也可直接用白屏观察）。使激光从另一个方向入射，调节入射角，使反射光强再次最小。根据两次消光的角度计算布儒斯特角 θ ，再根据 $n = \tan \theta$ 计算玻璃的折射率。

注意事项

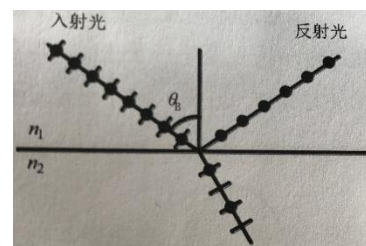
1. 保护光学元件，不得触摸光学元件的光学表面。

2. 激光束光强极高，切勿用眼睛对视，防止视网膜遭永久性损伤。

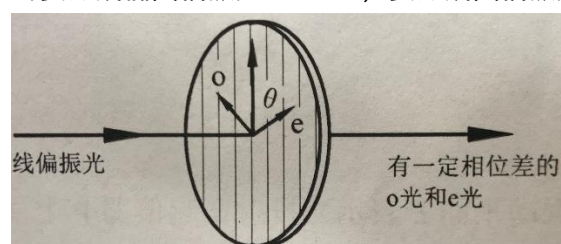
预习思考题

1. 光的偏振是指光的振动方向与光的传播方向的不对称性。
2. 使光从折射率为 n_1 的介质入射到折射率为 n_2 的介质交界面，调节入射角使满足 $\theta_B = \arctan \frac{n_2}{n_1}$ ，得到反射光为线偏振光。

光路图如右图。



3. 获得椭圆和圆偏振光都需要 $1/4$ 波片。且光路图都为下图。而要形成椭圆偏振光 $\theta \neq 45^\circ$ ，要形成圆偏振光 $\theta = 45^\circ$ 。



4. 半波片可以把振动方向相同的线偏振光变成振动方向不同的线偏振光。
5. 同题 2 的光路图。