

■ 偏振光的定量分析

目的要求

1. 了解 GSZF-3 型偏振光实验系统的原理和使用方法。
2. 深入理解不同类型偏振光的产生条件、光强分布和检偏方法。
3. 定量讨论三类偏振光的基本特性。

实验原理

1. 线偏振光的产生与鉴别

当自然光通过起偏器后, 由于只有电矢量振动方向平行于透射轴的光可以通过, 所以, 由起偏器出射的光为线偏振光。判断其是否为线偏振光, 只要让该偏振光通过一个检偏器, 当转动检偏器改变其透振轴与线偏振光的振动方向之间的夹角时, 出射的光强随之改变。当透振轴与线偏振光的振动方向平行时, 出射的光强最大; 而垂直于线偏振光的振动方向时, 出射的光强为零。如果检偏器转动一周, 光强交替出现两次最亮和两次消光, 则可判断其为线偏振光。这些规律可用公式表述如下:

$$E = E_0 \cos \theta$$

$$I = \frac{E^2}{2}, \quad I_0 = \frac{E_0^2}{2}$$

$$I = I_0 \cos^2 \theta = \frac{1}{2} I_0 + \frac{1}{2} I_0 \cos 2\theta \quad (1)$$

式中, θ 为检偏器透振方向与线偏振光振动方向之间的夹角, E 、 I 分别为出射光的振幅和光强, E_0 、 I_0 分别为线偏振光的振幅和光强。显然出射光线光强随角度 θ 的变化成余弦曲线的规律变化, 周期为 π 。

出射光满足 Malus 定律

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

以相对能量 I/I_0 为纵坐标, $\cos^2 \theta$ 为横坐标, θ 从 0° 到 90° 变化时将形成一条直线, 由此也可验证线偏振光。

2. 圆偏振光的产生与鉴别

产生圆偏振光的前提是先得到线偏振光, 然后让线偏振光垂直入射到 $\lambda/4$ 波片, 如果线偏振光的振动方向与 $\lambda/4$ 的快轴和慢轴成 45° 角, 这时透过 $\lambda/4$ 片的光是圆偏振光。

线偏振光表示为

$$\begin{aligned} E_x &= E_0 \cos \alpha \sin \omega t \\ E_y &= E_0 \sin \alpha \sin \omega t \end{aligned} \quad (3)$$

经过 $\lambda/4$ 片快轴方向 (即 Y 方向) 相位超前 $\pi/2$, 所以出射光为

$$\begin{aligned} E_x &= E_0 \cos \alpha \sin \omega t \\ E_y &= E_0 \sin \alpha \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \end{aligned} \quad (4)$$

当 $\alpha = 45^\circ$ 时, $\cos \alpha = \sin \alpha = \sqrt{2}/2$, 这正是圆偏振光。它透过检偏器的两振动分量为

$$\begin{aligned} E_1 &= E_0 \cos \alpha \cos \theta \sin \omega t \\ E_2 &= E_0 \sin \alpha \sin \theta \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \end{aligned} \quad (5)$$

合振动为

$$E = E_1 + E_2 = \frac{\sqrt{2}}{2} E_0 \sin(\omega t + \theta)$$

观察时间内光强的平均值为

$$I = \frac{1}{4} E_0^2 = \frac{1}{2} I_{\text{线}} \quad (6)$$

故圆偏振光透过检偏器后, 出射光强恒定不变, 且为线偏振光的 1/2。

3. 椭圆偏振光的产生和鉴别

产生椭圆偏振光的前提同样是先得到线偏振光, 然后让线偏振光垂直入射到 $\lambda/4$ 波片,

如果线偏振光的振动方向与 $\lambda/4$ 波片的快轴和慢轴不成 45° 、 0° 和 90° 角, 这时透过 $\lambda/4$ 波片的光是椭圆偏振光。讨论与圆偏振光类似, 只需使 (4) 式中 α 不等于 45° 、 0° 和 90° 角即可。它经过检偏器后, 透过检偏器的两振动分量同样为 (5) 式。

观察时间内光强的平均值为

$$I = \frac{1}{2} E_0^2 \cos^2 \alpha \cos^2 \theta + \frac{1}{2} E_0^2 \sin^2 \alpha \sin^2 \theta \quad (7)$$

θ 为检偏器透振方向与波片慢轴的夹角, 随检偏器的转动而连续变化。

仪器介绍

本实验系统如下图所示。该系统采用 He-Ne 激光器作光源, 激光垂直通过格兰棱镜 (起偏器) 产生线偏振光, 线偏振光再经过另一个格兰棱镜 (检偏器), 根据需要可在两偏振器间插入波片。由检偏器透射的光照射在光电探测器上, 将光强信号转换成电信号, 通过电控箱中的调理电路 (放大、整形)、AD 转换电路 (将模拟量转变为数字量)、接口电路 (实现与计算机间的通讯) 与微机相联, 实现在微机上显示采集的数据并作图。另外格兰棱镜安装在带有步进马达的支架上, 马达通过电控箱由微机控制, 所有光学器件通过磁性千分座固定在光学平台



上。

实验内容

1. 仔细阅读仪器说明书，熟悉各实验器件的功能和调节方法，熟悉实验软件的各种功能和使用方法。

2. 光路调节。将激光器、两个格兰棱镜、探测器依次摆放在光学平台上，先调激光器使激光束平行台面，然后调节各器件使通光孔共线，同时使各光学镜面与光线垂直。调节方法为使所有反射光点与入射光重合，并通过线偏振光透过检偏器光强与检偏器转角间的关系曲线检查光路是否已调好。

3. 观察并记录线偏振光透过检偏器光强与检偏器转角间的关系曲线，并验证马吕斯定律。

4. 获得圆偏振光，观察并记录圆偏振光透过检偏器光强与检偏器转角间的关系曲线（直角坐标和极坐标两种）。

5. 改变波片光轴与线偏振光的夹角，得到不同的椭圆偏振光；在直角坐标和极坐标两种坐标系中，分别观察记录各种椭圆偏振光透过检偏器光强与检偏器转角间的关系曲线。

6. 分析实验中出现的問題及解决办法，对照曲线，定量讨论三类偏振光的基本特性。

