

观察光的偏振现象 实验报告

隋源 2000011379

Dec 3 2021

1 实验目的及器材

1. 实验目的

验证布儒斯特定律、观察双折射现象、产生和观察光的偏振状态、了解产生与检验光的元件和仪器、掌握产生与检验光的的条件和方法。

2. 实验仪器

偏振光镜、偏振片、方解石、1/2 波片、1/4 波片、He-Ne 激光器、钠灯、玻璃片堆等。

2 实验现象和原理

2.1 用偏振光镜验证布儒斯特定律

2.1.1 实验现象

首先调节好 P、A 和激光器的角度位置，使激光以布儒斯特角入射 P，且光路位于偏振光镜中心。

先使 $A \parallel P$ ，并标记此处为 0 度。随后将 A 的反射光照在一张纸上并观察亮度，绕 z 轴转动 A 一周，发现光强按照强-弱-强-弱-强的趋势变化，且极强/弱点分别位于 0 度、180 度/90 度、270 度。

以同样的方式观察 A 的透射光的变化，即从 $A \parallel P$ 开始绕 z 轴旋转一周，发现光强按照弱-强-弱-强-弱的趋势变化，且极强/弱点分别位于 90 度、270 度/0 度、180 度，即透射光的强度和变化趋势都与反射光相反。

2.1.2 原理分析

激光以布儒斯特角入射 P，向上出射的反射光是偏振方向平行于 P 镜面的线偏振光，当该线偏振光以布儒斯特角入射 A 时，根据布儒斯特定律，A 的反射光仍不含有 p 分量，且 s 分量的反射率恒定。因而 A 的角位置决定了反射光的光强：

A 的方位角为 0 度、180 度时, P 的线偏振反射光对 A 只有 s 分量, 此时反射光的光强极大, 透射光的光强极小;

A 的方位角为 90 度、270 度时, P 的线偏振反射光对 A 只有 p 分量, 此时反射光的光强极小, 透射光的光强极大;

A 的方位角在 0 度到 90 度、180 度到 270 度 (90 度到 180 度、270 度到 360 度) 变化时, p 分量不断增大 (减小), s 分量不断减小 (增大), 因此反射光光强由强变弱 (由弱变强), 透射光光强由弱变强 (由强变弱)。

对于无法完全消光的分析: 由于设备的角度指针误差较大、固定 A 的螺丝较松使 A 很难与 P 完全平行、激光器位置的调节不够精细等原因, 造成入射角偏离布儒斯特角, 因而发现反/透射光光强极小时无法完全消光。

2.2 观察双折射现象

2.2.1 实验现象

观察自然解理面的方解石 I, 能够看到两个清晰圆孔像且肉眼无法区分其亮度区别。保持入射面所在平面不变, 旋转方解石, 发现其中一个圆孔像位置不变, 而另一个像开始绕旋转轴旋转, 且在方解石参照系中, 两个像的相对位置和亮度几乎不变。

观察双磨面度方解石 II, 只能看到一个圆孔像, 且该像位置并不随方解石位置与旋转角度而改变, 与正常折射的现象完全相同。

透过带有刻度的偏振片观察方解石 I 的两个圆孔像, 发现在偏振片旋转一周过程中, o 光和 e 光均出现了两次消光和两次极大, 并且 o 光完全消光时 e 光达到极大, e 光完全消光时 o 光达到极大, 测量得到两种现象交替出现的角度差为 90 度。

2.2.2 原理分析

当光通过双折射晶体时会分为 o 光与 e 光。o 光遵循正常的折射定律, e 光不遵循。o 光与 e 光均为线偏振光, 且偏振方向分别垂直、平行于它们的主面。对于方解石 II, 由于入射方向与主轴平行, o 光和 e 光的速度相同, 因而没有双折射现象, 且现象与正常折射完全相同。

对于方解石 I, 由于光轴与入射光并不垂直, 所以会出现分别由 o 光和 e 光产生的两个圆孔像, 且随着方解石的旋转, 主轴旋转, 因而 o 光像不动, e 光像一同旋转。故而当用偏振片观察方解石 I 的两个像时, 因为 o 光和 e 光均为线偏振且方向正交, 所以会出现 o 光消光 e 光极大、e 光消光 o 光极大、角度差为 90 度的现象。

2.3 观察线偏振光通过 $\lambda/2$ 片后的现象

2.3.1 实验现象

首先在钠灯光路上放置起偏器 P，旋转一周发现光强无明显变化；

再放置检偏器 A，旋转一周发现两次消光；

随后保持 P 和 A 正交消光的状态，中间加一 $1/2$ 波片，旋转一周发现四次消光；

再改变波片角度使其不再消光，改转 A，发现一周两次消光；

再调节至 P 和 A 垂直，波片完全消光的状态，按照原书要求转动 P 和 A 再次达到消光，记 θ_P 和 θ_A 分别为 P 和 A 刻度上的坐标， $\Delta\theta_P$ 和 $\Delta\theta_A$ 分别为 P 和 A 偏离原位置顺时针转过的角度，则 $|\Delta\theta_A - \Delta\theta_P|$ 为经过 $1/2$ 波片后线偏振光转过的角度。实验记录数据如下表。

$\Delta\theta_P$	θ_P	θ_A	$\Delta\theta_A$	$ \Delta\theta_A - \Delta\theta_P $
0°	5°	289°	0°	0°
15°	20°	274°	-15°	30°
30°	35°	259°	-30°	60°
45°	50°	244°	-45°	90°
60°	65°	229°	-60°	120°
75°	80°	214°	-75°	150°
90°	95°	199°	-90°	180°

表 1: 观察线偏振光通过 $\lambda/2$ 片后的现象

由表中数据可以看出，P 旋转 θ 时，通过波片的线偏振光振动方向转过 2θ 。

2.3.2 原理分析

钠光是自然光，透过 P 变为线偏振光，故旋转 P 不改变光强；

由于是线偏振光，旋转 A 至 P 和 A 垂直时消光，故旋转 A 一周两次消光；

插入波片后，因为当光轴方向与 P 偏振方向平行 (垂直) 时，出射的仅有与 P 方向相同的 e(o) 光，和 A 方向垂直，因而一周四次消光；

不消光情况下，透过波片光仍为线偏振光，所以转 A 一周两次消光；

而根据计算，线偏振光通过 $1/2$ 波片以后仍为线偏振光，且其中一个分量反向 (增加 π 的相位差)。因此若光轴固定的情况下 P 的偏振方向与原先夹角为 θ 时，出射的线偏振光与原先的夹角为 $-\theta$ ，即振动方向转过 2θ 。

2.4 用 $\lambda/4$ 片产生椭圆偏振光

2.4.1 实验现象

仍保持 P 和 A 正交，将 $1/2$ 波片替换为 $1/4$ 波片，旋转至消光。随后保持波片不动，以同样的方式旋转 P，并旋转一周 A 观察现象，判断光的偏振性质。实验记录数据如下。

$\Delta\theta_P$	θ_A 转 360° 观察到的现象	光的偏振态
0°	两次消光，两次极大	线偏振光
15°	无法完全消光，两次极大/极小，对比较明显	椭圆偏振光 (长短轴差别大)
30°	无法完全消光，两次极大/极小，对比次明显	椭圆偏振光 (长短轴差别小)
45°	光强始终无明显变化	圆偏振光
60°	无法完全消光，两次极大/极小，对比次明显	椭圆偏振光 (长短轴差别小)
75°	无法完全消光，两次极大/极小，对比较明显	椭圆偏振光 (长短轴差别大)
90°	两次消光，两次极大	线偏振光

表 2: 用 $\lambda/4$ 片产生椭圆偏振光

可以看到 $1/4$ 波片的确能够产生椭圆偏振光，只在某些特殊情况下会退化成线偏振光或圆偏振光。

2.4.2 原理分析

因为 $1/4$ 波片产生的 o 光和 e 光的相位差为 $\pi/2$ ，所以在光轴和 P 的偏振方向夹角非特殊时，线偏光的两个垂直分量会重新合成为椭圆偏光。而在特殊情况下，若线偏光与主轴恰好垂直或平行 ($\Delta\theta_P = 0^\circ \text{ or } 90^\circ$)，此时出射仍是线偏光，若 o 光和 e 光恰好振幅相等 ($\Delta\theta_P = 45^\circ$) 则出射圆偏光。

2.5 检验椭圆偏振光与部分偏振光

2.5.1 实验现象

首先让椭圆偏振光 (或部分偏振光) 入射检偏器 A1，转动 A1 使光强极大，然后入射检偏器 A2，转动使其消光，并在 A1 与 A2 间放入 $1/4$ 波片，转动波片使再次消光。之后取下 A1，旋转 A2 一周观察现象。若能出现两次消光则为椭圆偏振光，若不能出现消光则为部分偏振光。

产生椭圆偏振光和部分偏振光的方式：

在起偏器 P 后放置一个 $1/4$ 波片并保证主轴不与 P 的透振方向平行或垂直，则波晶片的透射光就是椭圆偏振光；让光束斜入射玻片堆，则透射光是部分偏振光。具体流程如图 1 所示。

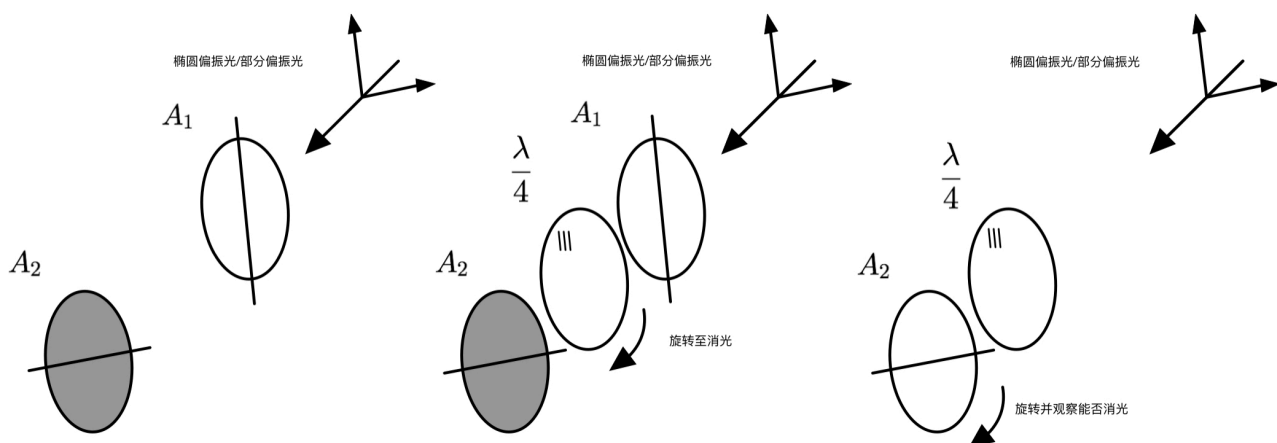


图 1: 检验椭圆偏振光与部分偏振光的操作步骤

2.5.2 原理分析

经过 A_1 , A_2 和波片的设置, 部分偏振光或椭圆偏振光的两个分量都和 o 光和 e 光的偏振方向重合, 对于椭圆偏振光, 两垂直分量相位差为 $\pi/2$, 经过 $1/4$ 波片后变为线偏振光, 于是转动 A_2 会出现两次消光; 而部分偏振光的两垂直分量相位差随机, 故透过 $1/4$ 波片仍为部分偏振光, 故转动 A_2 不产生消光现象。

2.6 显色偏振现象

2.6.1 实验现象

在白光光路上放置 P 和 A 并调成正交状态, 插入具有波片功能的不等层透明胶纸并调节至光强最大 (完全消光后转动 45°), 分别观察到 A 与 P 垂直和平行情况下色偏振状态如图 2 所示。可以看出同一 PA 状态下不同厚度的透明胶纸显现的颜色不同, 并且同一厚度的透明胶纸在不同 PA 状态下颜色互为补色。

2.6.2 原理分析

色偏振理论和波片的计算方式完全相同。对于厚度为 d , 波长为 λ 时 o 光和 e 光折射率分别为 n_o 和 n_e 的透明胶纸, 对波长为 λ 的 o 光和 e 光提供的光程差 $\Delta\phi$ 为

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)d$$

由于此时 o 光和 e 光振幅相同 (完全消光后转动 45°), 可以计算出光强和光程差的关系 (以垂直状态为例)

$$E_e = A \cos \omega t, \quad E_o = A \cos(\omega t - \Delta\phi)$$

$$E = (E_e - E_o) \cos \frac{\pi}{4} \propto \sin \frac{\Delta\phi}{2}$$

如此一来就得到了 P 与 A 在垂直和平行状态下的显色波长 (即最大优势波长)

$$(k_{\perp} - \frac{1}{2})\lambda_{\perp} = L, \quad k_{\perp} = 1, 2, 3...$$

$$k_{\parallel}\lambda_{\parallel} = L, \quad k_{\parallel} = 1, 2, 3...$$

其中 L 就是该层胶纸的 o 光和 e 光光程差。故当胶纸有不同厚度时显色不同, 且两种不同状态下颜色互补。这与实验现象有很好的符合。

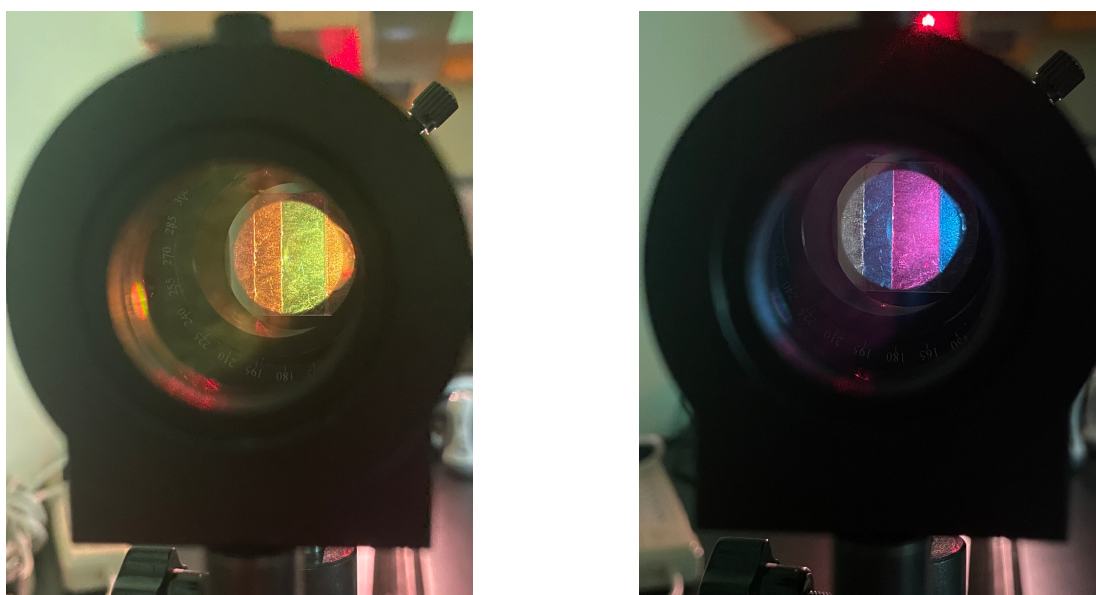


图 2: 色偏振现象 (左图是 P 与 A 垂直状态下的颜色, 右图是平行状态下的颜色)

3 结果分析与讨论

对不能完全消光现象的讨论:

在整个实验过程中发现, 想要达到真正的完全消光很难。在只有偏振片时, 排除掉极少量不平行光线的干扰, 可以几乎完全消光。但在含有波片的实验中却无法达到完全消光, 且通常是各个位置分别在不同的角度消光。这说明波片的厚度并不均匀, 导致不同位置增加的相位差不同, 使得观测情况与实际情况具有一定差距。

4 实验收获与感想

本次实验通过对光的偏振现象的定性探究, 对光的偏振现象和各种光偏振器件的原理及应用都增加了很深的理解, 对不同偏振态的光的性质也有了比较全面的掌握, 十分感谢老师在实验过程中的倾心讲解!