

观察光的偏振现象

张欣睿^{*}

北京大学化学与分子工程学院 学号：1600011783

摘 要：本实验探究了反射、折射、双折射等常见光学现象及这些现象对应的光的偏振态的改变，验证了布儒斯特定律，并探究了波晶片的使用。

关键词：偏振光；布儒斯特定律；双折射；波晶片

^{*} e-mail: zhangxinrui16@pku.edu.cn; mobile number: 18801391162

1 实验现象描述和解释

1.1 用偏振光镜验证布儒斯特定律

实验时先使两反射镜平行。

(1) 绕 z 轴转 A 镜，观察 A 反射光的强度变化为转动 90° 、 270° 时反射光几乎消失，转动 180° 、 360° 时反射光很强，在转动时整体呈现强弱交替规律。

(2) 观察 A 透射光的强度变化与反射光相反，具体现象为转动 90° 、 270° 时透射光最强，而转动 180° 、 360° 时透射光最弱，但仍然有明显的光点。

以上两种现象可以用偏振现象加以解释。激光以布儒斯特角 θ_B 入射时，P 镜的反射光为线偏振光，只具有 s 分量。当 $A \parallel P$ 时，A 的反射偏振方向与 P 相同，经过 P 反射的光对 A 镜仍然是入射 s 光，A 的反射率较高，自然反射光较强。转动 90° 后，这一光对 A 镜是 p 光，且几乎以布儒斯特角入射，A 的反射率几乎为 0，自然能发生消光。与反射相比，透射率曲线没有零点，即不出现完全的消光。由于光的总能量守恒，可知透射光和反射光的光强变化应该相反，即有实验 (2) 的现象。

(3) 恢复 A 至反射光消光位置，绕 y 轴转 A 镜，观察反射光的强度变化为 A 与水平面的夹角为约 57° 时消光最明显，增大或减小此角度均会使光点出现且光强增大。

(4) 观察 A 透射光的强度变化依然与反射光相反，具体现象为 A 与水平面的夹角为约 57° 时透射光最强，增大或减小此角度会导致光强减小，但光点仍然存在。

(5) 取偏振方向已知的偏振片在偏振光镜中间水平旋转 360° ，可以观察到的现象是出现两次消光，且消光时偏振片的偏振方向均处于光路反射面内。这一现象可以确认 P 的反射光是线偏振光，且对 P 镜是 s 光。

1.2 观察双折射现象

实验采用小孔光源上观察方解石晶体的双折射现象的实验方案。

(1) 孔上放方解石块 I，透过它能观察到两个亮孔，视觉上一深一浅。转动方解石，可以观察到其中视觉上较深的亮孔在转动，较浅的亮孔不动。这一现象是方解石晶体中发生双折射导致的。小孔光源传出的光在晶体中分为 o 光和 e 光。由于方解石为负单轴晶体，折射率 $n_o > n_e$ ，因此在观察时，较深的像是 e 光产生，较浅的像是 o 光产生的，而在转动中出现的现象证明 o 光符合折射定律，e 光则会随光轴而旋转，这和双折射规律是相符的。

(2) 孔上放方解石块 II（光路沿光轴方向），同样观察，可以看到的现象是只出现一个亮孔，在转动晶体时亮孔不转动。这一现象的产生是沿光轴方向入射不

发生双折射导致的。

(3) 在方解石块 I 上放置偏振方向已知的偏振片。转动偏振片 360° ，可以观察到两个亮孔轮流发生各两次消光。并且偏振片的偏振方向垂直于 o、e 光点连线时，较深的光点（e 光）发生消光；当偏振片的偏振方向平行于 o、e 光点连线时，较浅的光点（o 光）发生消光。这一现象的原因即是 o 光的偏振方向垂直于其主平面，e 光的偏振方向在其主平面内，它们各自都是偏振光，偏振方向互相垂直；当偏振片旋转时，自然能看到这两束光轮流发生消光现象。

1.3 观察线偏振光通过 $\lambda/2$ 片后的现象

(1) 点亮钠灯，调节元件共轴后，在主光轴上放上偏振片 P，旋转偏振片，观察钠灯透射光的亮度现象为亮度几乎不发生变化。再放上检偏器（偏振片 A），转动偏振片 A，观察到透射光的现象是亮暗交替变化，旋转 A 一周观察到两次完全消光。

(2) 转动 A 达到消光，在 P、A 间插入 $\lambda/2$ 片，并将 $\lambda/2$ 片转动 360° ，可以看到四次消光现象。其原因是当光线通过起偏器 P 后，偏振方向固定，在转动 $\lambda/2$ 片的过程中，若偏振光对波晶片正好为 o 光或 e 光，即偏振方向平行于 o 轴或 e 轴，则经过 $\lambda/2$ 片仍为线偏振光且偏振方向不变，因而不能通过偏振方向正交于 P 的检偏器 A。由于 o 轴与 e 轴垂直，这样的情形在旋转一周内会发生四次，因而消光现象也发生四次。

(3) 任意转动 $\lambda/2$ 片某一角度破坏消光。将检偏器 A 转动 360° ，观察到两次消光现象。其原因是线偏振光通过 $\lambda/2$ 片后仍然为线偏振光，因而实际上 A 仍然在检验线偏振光，故发生两次消光现象。

(4) 使偏振片 P、A 偏振方向正交，插入 $\lambda/2$ 片并转动使其消光。保持 $\lambda/2$ 片不动，以固定角度旋转 P，反向旋转 A 至消光，记录相应的角度和现象，如表 1 所示。在实际观察中，所见的消光是不完全的。

θ	θ'	线偏振光经 $\lambda/2$ 片后振动方向转过的角度
0°	0°	0°
15°	15°	30°
30°	30°	60°
45°	45°	90°
60°	60°	120°
75°	75°	150°
90°	90°	180°

表 1 $\lambda/2$ 片转动影响偏振态的观察记录

由此可以总结规律：对于偏振方向与 $\lambda/2$ 片的 o 轴（或 e 轴）成一定角度 α 的线偏振光，通过 $\lambda/2$ 片后仍为线偏振光，其偏振方向改变 2α ，得到的偏振光的偏振方向与原偏振方向沿 $\lambda/2$ 片的 o 轴（或 e 轴）对称。

1.4 用 $\lambda/4$ 片产生椭圆偏振光

(1) 取下 $\lambda/2$ 片，调节 P、A 正交之后，放入 $\lambda/4$ 片，转动使之消光。

(2) 保持 $\lambda/4$ 片不动，将 P 转过一定角度，将 A 转过 360° ，观察现象，现象与对应光的偏振状态如表 2 所示。

起偏器转动角度 θ	A 转 360° 观察到的现象	光的偏振状态
0°	发生两次完全消光	线偏振光
15°	发生两次不完全消光	椭圆偏振光
30°	发生两组很小的明暗变化	椭圆偏振光
45°	无明显光强变化	圆偏振光
60°	发生两组很小的明暗变化	椭圆偏振光
75°	发生两次不完全消光	椭圆偏振光
90°	发生两次完全消光	线偏振光

表 2 $\lambda/4$ 片转动影响偏振态的观察记录

这一结果可以总结出 $\lambda/4$ 片的作用：当偏振方向平行于 o 轴（或 e 轴）的偏振光射入时，光的偏振态仍为线偏振光；在其它角度下， $\lambda/4$ 片可将线偏振光转变为椭圆偏振光。特别地，当偏振方向沿 o 轴与 e 轴角平分线方向的光入射时，能得到圆偏振光。

1.5 检验椭圆偏振光与部分偏振光

这一实验的光路图如图 1 所示。

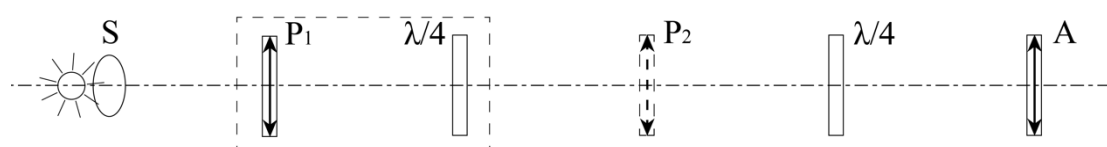


图 1 检验椭圆偏振光的光路图

实验中，首先放上两块偏振片 P_1 、 P_2 ，调节共轴后，转动 P_1 达到消光，使两偏振片的偏振方向正交。在 P_1 、 P_2 间加入 $\lambda/4$ 片，调节使其达到消光后，再偏转

一个小角度(如 5°)，则虚线框内装置能产生离心率较大的椭圆偏振光。转动 P_2 ，使透过的光强最暗，则 P_2 能指示出椭圆偏振光的短轴方向。在 P_2 后加入 $\lambda/4$ 片和偏振片 A，取下 P_2 ，旋转使两个 $\lambda/4$ 片的光轴平行，此时将 A 转动 360° 能观察到两次完全消光现象，则说明光路在通过第二个 $\lambda/4$ 片后能产生线偏振光，因而可说明发生的光为椭圆偏振光。

对于部分偏振光的检验，将虚线框内仪器换为玻璃片堆，从玻璃片堆透射出的光为部分偏振光。同样经过 $\lambda/4$ 片和 A 观察，将 A 转动 360° ，只能看到两次部分消光现象，而非完全消光，可以说明透出玻璃片堆的光为部分偏振光。

2 分析与讨论

在实验内容 1.3 中，能观察到和预期不同的现象：若固定已经正交的 P、A，旋转 $\lambda/2$ 片，能观察到很好的消光；但固定 $\lambda/2$ 片，将 P 转过一定角度后反向旋转 A，较难获得很好的消光。经过分析，其原因为偏振片 P、A 是精确的，其正交也是可以精确调节的，但 $\lambda/2$ 片的厚度可能是不精确的。在这种假设下，当偏振方向平行于 $\lambda/2$ 片光轴的偏振光入射时，依然能按照原来的偏振方向出射，而依然能观察到消光；当其它偏振方向的光入射时，o 光和 e 光叠加的相位差不是精确的 π ，导致产生的光有部分椭圆偏振的特性，这样就导致不能观察到完全的消光。

本实验的许多项目都可以从定性的拓展延伸为定量的实验。例如实验内容 1.1 中偏振光镜，若增大精确程度，可以设计布儒斯特角的测量实验；实验内容 1.2 中的方解石块若更大、洁净程度更好，则可以设计双折射率测定实验等等。

3 收获与感想

本实验用定性方法，探究了反射、折射、双折射等各种光学现象中光的偏振性质的变化，不仅使我学会了偏振光镜等仪器的使用，而且增强了我的光学理论知识基础，并从实验角度重新认识了偏振现象。

4 致谢

感谢杨景老师对本次实验的相关指导。