

实验二十一 观察光的偏振现象

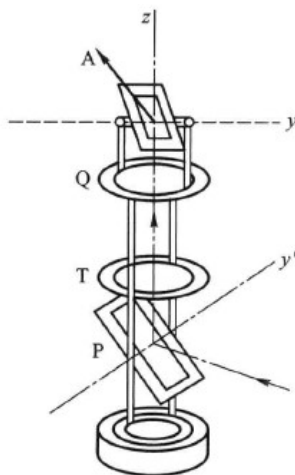
田睿轩 物理学院 1900011602

2020 年 11 月 26 日

1 实验现象的描述与解释

1.1 用偏振光镜验证布儒斯特定律

使用如下图所示的偏振光镜验证布儒斯特定律。



调节激光器的，使其以 24° 的仰角发出激光；再调节玻璃片 P 的仰角，使其与竖直方向成 33° 。这样，激光能以 57° 这一接近布儒斯特角的角度入射，同时反射光也能竖直向上射出。

(1) 先使 A//P，绕 z 轴旋转 A，观察反射光强度的变化：

设 A//P 时，旋转角度为 0° 。则当旋转角度从 0° 增加到 90° 的过程中，反射光强度逐渐减小， 90° 时反射光强度几乎为 0；而从 90° 旋转到 180° 的过程中，反射光强度逐渐增大，旋转角度为 180° 时与 0° 时为光强最大时。

该现象的出现是因为当光以布儒斯特角入射镜面 P 时，反射光只有 S 方向的偏振光（以偏振光镜架的坐标系来说，反射光的偏振方向沿 y' 方向），上方的玻璃片堆 A 因为与玻璃片 P 平行且绕 z 轴旋转过程中入射角不变，光线也以布儒斯特角入射，所以也只会反射 S 方向的偏振光。当旋转角度为 0° 时，A 玻璃片堆的入射光全部为相对于 A 的 S 方向偏振光，所以反射光强度最强；而旋转角度为 90° ，A 玻璃片堆的入射光全部为相对于片堆的 P 方向偏振

光，因此反射光强度为 0。在从 0° 旋转到 90° 的过程中，A 堆反射的是沿 y' 方向的偏振光在 A 的 S 方向上的投影，因此光强呈单调递减趋势。

不过由于实验中装置的调节精度的限制，无法使光以真正的布儒斯特角入射，而且激光的偏振性也无法保证为完全的线偏振光，所以实验现象只是近似地满足理论预期。如实验中观察到 A 与 P 相互正交时反射光其实不为 0，但光强的相对变化还是非常符合理论的预期的。

(2) A//P，绕 z 轴旋转 A，观察透射光强度的变化：

旋转角度为 0° 时，透射光强度最小，但不为 0；旋转角度为 90° 时，透射光强度最大。从 0° 到 90° 的过程中透射光强度逐渐增大。

该现象的出现是因为光经过玻璃片堆之后的透射光 S 偏振方向的光强小于 P 方向的光强，且随着玻璃片数目的增加，S 光光强所占比例越小，当玻璃片数目足够多时，透射光几乎都为 P 光。在本实验中，旋转角度为 0° 时，A 玻璃片堆的入射光全部为相对于 A 的 S 方向偏振光，所以透射率很低，而旋转角度为 90° 时，入射光全为 P 光，几乎都能透过，所以透射率接近 1，透射光强度最大。

或者也可以从另一角度理解该现象，根据能量守恒，反射率和透射率加和为 1，反射光强度最大时即为透射光强度最小时，反射光强度最小时即为透射光强度最大时。

(3) 将 A 绕 z 轴转至反射光消光的位置，然后将 A 绕 y 轴转动，观察反射光强度的变化：

当玻璃片堆 A 与竖直方向夹角为 33° ，也即光以布儒斯特角入射时，反射光强度最小（几乎为 0），当入射角分别向 0° 和 90° 变化时，反射光强度均单调增加。

当玻璃片堆处在该位置时，入射光均为 P 光，根据布儒斯特定律，P 光的透射率随着入射角的增大，先减小后增大，在布儒斯特角处取到最小值 0。所以将 A 绕 y 轴向两个方向旋转，反射光强度会增加。

(4) 将 A 绕 z 轴转至反射光消光的位置，然后将 A 绕 y 轴转动，观察透射光强度的变化：

转动过程中，透射光强度无明显变化。

该旋转角度下，入射光全部为 P 光，玻璃片堆对 P 光的透过率也遵循先增大后减小，在布儒斯特角处取最大值的变化情况，但在入射角不是很接近 90° 的情况下，透过率的最小值和最大值相差不大，所以这个最小值和最大值的比例非常接近 1，而人眼又是一个非线性响应（对数相应），所以人眼便几乎察觉不出光强的变化。与之相对的是，在前面所做的 1、2、3 项实验中，光强变化情况分别是：从某一值变到 0，从一接近 0 的值变到 1，和从某一直变到 0 在变到另一值，光强最大最小值的比值是远大于 1 的。所以另外 3 个实验都能观察到明显现象，而该实验观察不到光强的明显变化。

(5) 利用已知透光方向的偏振片确定 P 的反射光是否为线偏振光：

将偏振镜片放在置物台 T 上，旋转偏振镜片，通过观察光线经过偏振片后找到 A 玻璃堆上的光斑的亮暗来确定其亮度。在偏振片旋转 360° 的过程中，光斑出现两次极强和两次消光，极强和消光之间偏振片的旋转角度为 90° 。这说明经过 P 反射后产生的光线确实为线偏振光。

1.2 观察双折射现象

实验中使用的方解石是一种双折射晶体，而且是单轴晶体。光线经过其中会发生双折射产生寻常光(o光)和非寻常光(e)光。实验中，将两种不同的方解石晶体置于小孔光源上，观察现象。

(1) 小孔上放方解石 I，观察现象

可以透过方解石看到两个小孔的像，转动方解石，两个小孔的连线始终平行于平行六面体的对角线。

该现象的产生是因为小孔光源经过方解石发生双折射，形成两道光进而形成两个像，这两个像的连线平行于光轴。

(2) 小孔上放方解石 II，观察现象

将方解石 II 的磨面压在小孔上，透过另一磨面观察，此时只能看到小孔光源的一个像，且旋转方解石，像的位置基本不发生变化。

该方解石的磨面恰好为垂直于方解石光轴的两平面，因此小孔发出的光以平行于光轴的方向入射，因此不会分成寻常光和非寻常光，所以在另一磨面上观察，只会看到一个像。

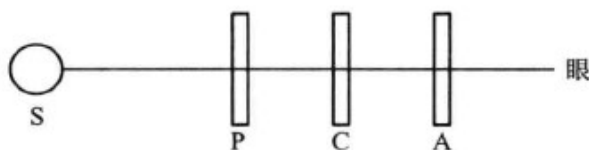
(3) 利用一透光方向已知的偏振片，判断寻常光与非寻常光电矢量的振动方向

将方解石 I 放在光源上，并在其上方通过偏振片观察两个像。旋转偏振片，两个光斑的亮度发生周期性变化。对于某一个像，在偏振片旋转 360° 的过程中，像的亮度出现两次极强和两次消光，极强和消光的间隔为 90° 。而对于两个像，其中一个像消光时另一个像正好亮度最大，反之亦然。

经方解石双折射产生的寻常光和非寻常光均为线偏振光，且偏振方向互相正交，因此会出现上述现象。

1.2.1 观察线偏振光透过 $\frac{\lambda}{2}$ 片后的现象

$\frac{\lambda}{2}$ 片是波晶片的一种，它能使入射光线经过波晶片后出射时加上 π 的相位差。本实验中探究线偏振光透过 $\frac{\lambda}{2}$ 片后的现象的光路图如下图所示：



(1) 了解偏振片 P,A 的作用：

在观察着和光源 S 之间放入偏振片 P，旋转 P，透射光强度无显著变化。这是因为光源发出的光为自然光，具有各向同性，不同线偏振方向上强度相等。

放上检偏器 A，转动 A，透射光强度发生亮暗变化，最亮和消光间隔 90° 交替出现，转动 360° 过程中，出现两次消光和两次光强最大。这是因为光源发出的光经过偏振片 P 后透射

光为线偏振光，该光中只有在 A 的偏振方向上的分量可以透过偏振片 A，所以随着 A 的旋转，透射光发生周期性变化。当 A 的偏振方向与 P 的偏振方向平行，透射光强度最大；当两者正交，出现消光。

(2) P、A 正交，在它们中间插入 $\frac{\lambda}{2}$ 片，将 $\frac{\lambda}{2}$ 片转动 360° 并观察现象：

转动 $\frac{\lambda}{2}$ 片一周的过程中一共出现四次消光，每两次间隔 90° 。 $\frac{\lambda}{2}$ 片会使透过的光的偏振方向发生改变，出射光和入射光的振动方向关于波晶片的光轴对称。实验中，当波晶片的光轴与 P 的偏振方向平行或夹角为 90° 时（ $\frac{\lambda}{2}$ 片转动 360° 过程中总共会有四个位置满足上述条件），出射光的偏振方向均与入射光的偏振方向平行，由于 PA 正交，因此在这四个位置透过 P、C、A 观察会出现消光。

(3) 把 $\frac{\lambda}{2}$ 片转动任意角度，破坏消光现象，再将 A 转动 360° ，观察出现消光的次数：

转动过程中能看到两次消光，间隔 180° 。偏振片 P 的出射光经过 $\frac{\lambda}{2}$ 片偏振方向发生了改变，但仍然是线偏振光，因此用偏振片 A 进行观察，当 A 的偏振方向和 C 的出射光线偏振方向正交时，出现消光。A 旋转 360° 过程中总共会出现两次与 C 出射光线正交的位置，间隔 180° ，因此会有两次消光。

(4) PA 正交，中间插入 $\frac{\lambda}{2}$ 片，转动使之消光（此时 $\frac{\lambda}{2}$ 片的 e 轴或 o 轴平行于 P 的透光方向），以此时 P 和 $\frac{\lambda}{2}$ 片位置对应角度为 0° ，保持 $\frac{\lambda}{2}$ 片不动，将 P 转过不同角度 θ ，再将 A 反方向旋转至消光位置，记录 A 转的角度 θ'

θ	θ'	线偏振光经 $\frac{\lambda}{2}$ 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°

$\frac{\lambda}{2}$ 片会使使入射光和出射光的振动方向关于波晶片光轴对称，因此，若 P 转动了一定角度，其透射光经过 $\frac{\lambda}{2}$ 片后应反方向转过了相同角度，A 偏振片也要沿该方向转过相同角度才能消光。

1.3 用 $\frac{\lambda}{4}$ 片产生椭圆偏振光

实验装置与上实验相同。取下 $\frac{\lambda}{2}$ 片，仍使 P、A 正交，中间插入 $\frac{\lambda}{4}$ 片，旋转使之消光，此时 $\frac{\lambda}{4}$ 片的 e 轴或 o 轴平行于 P 的透光方向，为了方便起见，我们不妨设 e 轴平行于 P 的透光方向。 $\frac{\lambda}{4}$ 片会使入射光在 o 轴方向上的投影加上 $\frac{\pi}{2}$ 的相位，因此线偏振光透过后如果原偏振方向不与光轴平行，可以变为椭圆偏振或圆偏振。

保持 $\frac{\lambda}{4}$ 片不动，将 P 转过不同角度 θ ，然后将 A 旋转 360° ，观察光强变化

起偏器转动角度 θ	A 转 360° 观察到的现象	光的偏振状态
0°	2 次消光，2 次最亮， 最亮与消光之间间隔 90° ， 且起始位置为消光	线偏振， 振动方向与 $\frac{\lambda}{4}$ 片 e 轴平行
15°	光强周期性变化，起始位置最暗， 转动 90° 之后最亮， 再转动 90° 之后最暗	椭圆偏振， 椭圆长轴沿 $\frac{\lambda}{4}$ 片 e 轴， 短轴沿 $\frac{\lambda}{4}$ 片 o 轴， 偏心率较大
30°	同上，光强发生周期性变化， 但对比度减小，变化不明显	椭圆偏振， 椭圆离心率较之前变小
45°	光强几乎不发生变化	圆偏振
60°	光强周期性变化，起始位置最亮， 转动 90° 之后最暗， 再转动 90° 之后最亮， 亮暗对比不明显	椭圆偏振， 椭圆离心率较小， 长轴沿 $\frac{\lambda}{4}$ 片 o 轴， 短轴沿 $\frac{\lambda}{4}$ 片 e 轴
75°	光强周期性变化，起始位置最亮， 亮暗对比增大	椭圆偏振， 椭圆离心率较大
90°	起始位置最亮， 转动过程中出现 2 次消光， 消光与最亮间隔 90°	线偏振， 振动方向沿 $\frac{\lambda}{4}$ 片 o 轴

1.4 检验椭圆偏振光与部分偏振光

用一个偏振片和一个 $\frac{\lambda}{4}$ 片产生椭圆偏振光，注意 $\frac{\lambda}{4}$ 片的光轴不能与偏振片透光方向平行。用玻璃片堆产生部分偏振光。以下检验过程以检验椭圆偏振光为例。

靠近椭圆偏振光光源放置一偏振片 P，旋转偏振片，寻找光强的极大/极小值点，此时偏振片的透光方向与椭圆偏振的长轴/短轴重合。

再在远离光源一侧放置另一个偏振片 A，旋转使两片偏振片正交。

在两片偏振片中间放置 $\frac{\lambda}{4}$ 片，旋转它使得在 A 处观察到消光，此时 $\frac{\lambda}{4}$ 片的光轴与椭圆偏振光光源的长轴/短轴平行。

撤去靠近椭圆偏振光光源的偏振片 P，若光源为椭圆偏振光，由于此时 $\frac{\lambda}{4}$ 片的光轴与椭圆偏振光长轴/短轴重合，则出射光线为线偏振光。旋转检偏器 A，若能观测到消光，则为椭圆偏振光，若不能则为部分偏振光。

2 收获与感想

本次实验中，通过几个定性实验，对光的偏振现象，尤其是偏振片和波晶片的性质有了进一步的认识。

在最后的检验椭圆偏振光和部分偏振光的实验中，老师所提到的两种不同方法在复杂度上有 $4n$ 和 n^2 的差异，对我非常有启发意义。之前在实验的设计和操作中，我们往往强调精准度，而忽略了复杂度这一因素，而这一因素有时却又恰恰是决定实验方法是否可行的关键，因此在以后设计实验中要仔细思考。

另外，本实验也是为数不多的将人眼作为“测量仪器”的实验。以往的实验中，人眼最多知识用来读数或观察图像，但本次实验中，人眼被作为感知光强变化的“传感器”来使用，因此人眼的非线性响应就成为了实验中不容忽视的因素。在本实验中，人眼的非线性响应给实验造成了一定障碍，但在实际生活中，正是因为人眼具有非线性响应，才能具有广阔的亮度感知范围。实际上人体的许多感官（如听觉）也是非线性响应。