

实验二十一 观察光的偏振现象

实验人：钟易轩（2000012706）

指导教师：曲波

实验时间：2021 年 10 月 22 日 星期五 下午 实验地点：物理楼南楼 341

【实验目的】

- (1) 验证布儒斯特定律
- (2) 观察双折射现象
- (3) 产生和观察光的偏振状态
- (4) 了解产生与检验偏振光的元件和仪器
- (5) 掌握产生与检验偏振光的条件和方法

【仪器用具】

偏振光镜、偏振片、方解石块、 $1/2$ 波片、 $1/4$ 波片，激光器，钠光灯、玻璃片堆

【实验原理】

1. 光的偏振态

我们知道的常见的光大体上分为五种偏振态，即线偏振光、圆偏振光、椭圆偏振光、自然光和部分偏振光。其中的线偏振光和圆偏振光可看作椭圆偏振光的特例。由于在产生感光作用和生理作用的是光波的电矢量 E ，因此在进行偏振讨论时只考虑电矢量 E 。

2. 布儒斯特角

在特定入射角即布儒斯特角 θ 入射时，不管入射光的偏振态怎样，反射光都会变成线偏振光。

例：如果光以空气入射到折射率为 n 的玻璃平面上，则 $\theta = \arctan n$ 。如果自然光以 θ 入射到玻璃片堆上，则经多次反射，最后从玻璃片堆透射出来的光一般是部分偏振光。如果玻璃片数目较大，则透射光近似为线偏振光。

3. 偏振片

实验发现有些晶体对不同偏振状态的光有选择吸收的性质。当光的电矢量与晶体的光轴平行时，光被晶体吸收较少，而电矢量与光轴垂直时，光被吸收较多。这种性质叫做晶体的二向色性，利用它便可以制作偏振片。例如，常见的偏振片是在拉伸了的赛璐基片上蒸镀一层硫酸碘奎宁小晶粒，利用晶片的应力使晶粒的光轴定向排列，构成面积较大的偏振片。

自然光经过偏振片其透射光基本上为线偏振光。

4. 波晶片

一束光在晶体里传播使被分成两束折射程度不同的光，这种现象叫做光的双折射现象。两束光线中，一束符合折射定律，叫做寻常光（o 光），而另一束光线不符合折射定律，叫做非寻常光（e 光）。晶体中还有一个特殊方向，当光线沿着该方向传播时，不会分成 o 光和 e 光，这个方向叫做晶体的光轴。只有一个光轴方向的晶体叫做单轴晶体，具有两个光轴方向的晶体称作双轴晶体。

利用单轴晶体的双折射，产生的寻常光（o 光）和非寻常光（e 光）都是线偏振光。前者的电矢量 E 垂直于 o 光的主平面（晶体内部某条光线与光轴构成的平面），后者的 E 平行于 e 光的主平面。

波晶片是从单轴晶体中切割下来的平面平行板，其表面平行于光轴，它也叫做相位延迟板。当一束平行自然光正入射到波晶片上，光在晶体内部分解为 o 光和 e 光。但是 o 光在晶体内的波速为 v_o ，e 光在晶体内的波速为 v_e ，因此它们的折射率也不一样，则通过波片后的光程也会有所不同。

设晶体的厚度为 d ，则两束光经过晶片后就有相位差

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)l \quad (1)$$

$\delta=2k\pi$ 的晶片称为全波片； $\delta=2k\pi+\pi$ 的叫做半波片（ $\lambda/2$ 片）； $\delta=2k\pi$ 的叫做 $\lambda/4$ 片。

【实验内容】

1. 用偏振光镜验证布儒斯特定律

- (1) 使玻璃片堆 A 平行于玻璃片 P，绕 z 轴转 A，观察 A 的反射光的强度变化，并简要解释之。
- (2) 同 (1)，但观察透射光的强度变化，并予以解释。

2. 观察双折射现象

- (1) 以小灯照明铝板上的小孔，孔上放方解石 I (负单轴晶体)，通过它观察小孔，转动方解石。记录所见现象并加以思考。
- (2) 将方解石块 II 放在小孔上 (磨面压小孔)，作同样的观察。
- (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，记录并解释之。

3. 观察线偏振光通过 $\lambda/2$ 片后的现象

- (1) 了解偏振片 P, A 的作用，在观察者与光源 S 之间，放入偏振片 P，旋转 P，看透射光的强度有无变化。再放上检偏器 A，转 A，观察光透过 A 的强度怎样变化。
- (2) 使 P 的透光方向竖直 (是否必须竖直?)，转 A 达到消光。在 P, A 间插入半波片，将半波片转动 360° ，能看到几次消光，试加以解释。
- (3) 把半波片任意转动一角度，破坏消光现象，再将 A 转动 360° ，又能看到几次消光?
- (4) 仍使 P 的透光方向竖直，P, A 正交，插入 $\lambda/2$ 片，转之使消光 (此时 $\lambda/2$ 片的 e 轴或者 o 轴以及 P 的透光方向都沿着竖直方向)。以此时 P 和 $\lambda/2$ 片位置对应角度为 $\theta=0^\circ$ ，保持 $\lambda/2$ 片不动，将 P 转 $\theta=15^\circ$ ，破坏消光，再沿与转 P 相反的方向转 A 至消光位置，记录 A 所转过的角度 θ' 。
- (5) 继续 (4) 的实验，依次使 $\theta=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$ (θ 值是相对 P 的起始位置而言)，转 A 到消光位置，记录相应的角度 θ' 。

从上面实验结果能总结出什么规律?

4. 用 $\lambda/4$ 片产生椭圆偏振光

- (1) 取下半波片，仍使 P 的透光方向竖直，P 与 A 正交。插入 $\lambda/4$ 片，转之使消光。
- (2) 保持 $\lambda/4$ 片不动，将 P 转 $\theta=15^\circ$ ，然后将 A 转 360° ，观察光强变化。
- (3) 继续 (2)，依次使 $\theta=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$ ，每次将 A 转 360° ，观察光强的变化，根据观察结果画图或用文字说明透过 $\lambda/4$ 片的出射光的偏振状态。

5. 检验椭圆偏振光与部分偏振光

根据实验室提供的元件 (三块偏振片，两块 $\lambda/4$ 片和一玻璃片堆)，自行设计实验方案，产生并检验椭圆偏振光和部分偏振光。

【实验记录及分析】

1. 用偏振光验证布儒斯特定律

- (1) 反射光在转动的 360° 里面，出现了两次消光，分别是在 90° 、 270° 的时候，也出现了两次光强极大值点，分别是 0° 和 180° 的时候。原因是激光经过 P 的反射之后，由于是以布儒斯特角入射，则反射光为线偏振光。当 A 与 P 平行时，根据马吕斯公式，光强最大，当 A 转动 90° 或 270° 时， $\cos \theta = 0$ ，即消光。
- (2) 透射光与反射光的变化相反，究其原因是能量守恒定律的影响。

2. 观察双折射现象

- (1) 可以看见两个光点，在方解石旋转的过程中，一光点动，另一光点不动，动的光点应该是非寻常光，而不动的光点是寻常光。原因是 o 光遵守折射定律，e 光不遵守折射定律。
- (2) 在磨面上能看到一不动的光点，说明磨面所在轴便是光轴，因为光沿光轴入射才不会分解。
- (3) 在 (2) 中我们确定了光轴方向，再放上方解石 I，将已知透振方向的偏振片沿着方解石的光轴摆放，发现只有一个亮点，转动偏振片，发现两个亮点，继续转动到 90° 左右时，只有一个亮点，证明了 o 光和 e 光的电矢量方向垂直。

3. 观察线偏振光通过 $\lambda/2$ 片后的现象

- (1) 偏振片 P 作为起偏器，偏振片 A 作为检偏器；未放置 A 时，转动 P 观察到的透射光无变化，因为 P 产生的线偏振光的光强没变；放上 A 之后，旋转 A 会使亮度变化，且会发生消光现象，因为马吕斯公式 $I_\theta = I_0 \cos^2 \theta$ ，在转动 A 时，A 与 P 的透振方向之间的夹角 θ 发生了变化，从而光强也发生变化，当 $\theta=90^\circ$ ，出现消光现象。
- (2) 出现四次消光。因为光的偏振在 e-o 轴中，假如偏振方向与 e 轴或 o 轴平行，那么偏振方向在穿过波晶片后不会发生改变，即以原偏振方向射出，自然会消光， $\lambda/2$ 片在转动过程中会出现 $2 \times 2 = 4$ 次消光现象。
- (3) 看到两次消光现象。线偏振光穿过 $\lambda/2$ 片之后的偏振方向已经确定，由于 A 的透振方向需要与其垂直才能消光，则应有 $360^\circ/180^\circ=2$ 次消光现象。
- (4) $\theta'=-13^\circ$
- (5) 如下表所示，在误差范围内，有 $\theta=-\theta'$ ，且线偏振光经 $\lambda/2$ 片后振动方向转过的角度为 2θ 。

表 1: $\lambda/2$ 片转动影响偏振态的观察记录

θ	θ'	线偏振光经 $\lambda/2$ 片后振动方向转动的角度
0°	0°	0°
15°	-13°	28°
30°	-28°	58°
45°	-41°	86°
60°	-59°	119°
75°	-73°	148°
90°	-88°	178°

4. 用 $\lambda/4$ 片产生椭圆偏振光

(1) 略

(2) 由亮变暗，再由暗变亮，又由亮变暗，最后由暗变亮。(每一个过程所转过的角度为 90°)

(3) 如表所示(注：每一个小过程皆是 90°)

表 2: $\lambda/4$ 片转动影响偏振态的观察记录

θ	A 转动 360° 观察到的现象	光的偏振状态
0°	先变亮再变暗至消光再变亮再变暗至消光再变亮回原来亮度	线偏振
15°	先变亮再变暗再变亮再变暗	椭圆偏振
30°	先变亮再变较暗再变亮再较暗	椭圆偏振
45°	亮度几乎无变化	圆偏振
60°	先变暗再变亮再变暗再变亮	椭圆偏振
75°	先变暗再变亮再变暗再变亮	椭圆偏振
90°	先变暗至消光再变亮再变暗至消光再变亮	线偏振

5. 检验椭圆偏振光与部分偏振光

(1) 检验椭圆偏振光：首先用光源、起偏器、 $\lambda/4$ 片和检偏器构造一个椭圆偏振光，然后调节检偏器使得透射光光强最大时候(即检偏器透振方向是椭圆长轴方向)，再插入 $\lambda/4$ 片使得其光轴与椭圆长轴方向平行，此时再转动检偏器，发现消光现象，说明原偏振光是椭圆偏振光。

(2) 检验部分偏振光：首先用光源、玻璃片堆构造一个部分偏振光，再用检偏器旋转着去检查，发现只有光的明暗变化，并未消光，则判定出是部分偏振光。

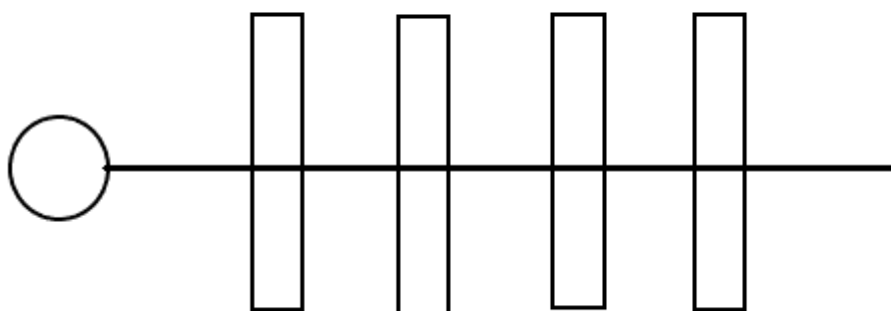


图 1: 检验椭圆偏振光示意图

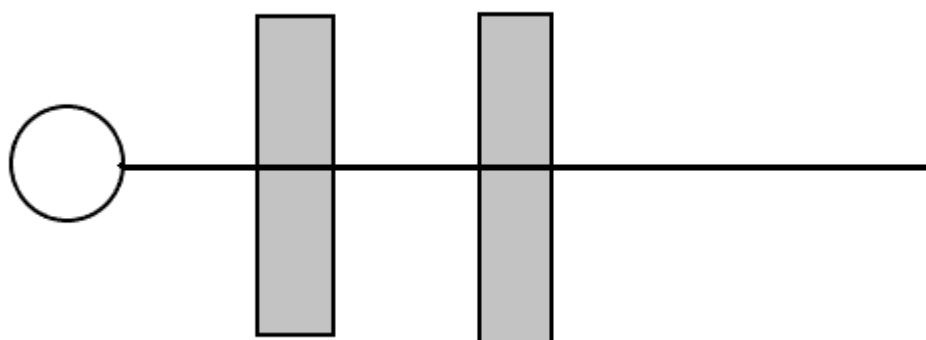


图 2: 检验部分偏振光示意图

收获与感想

- (1) 在课堂上接触了诸如偏振片、波晶片之类的光学元件，我在学会理论分析的同时也真实感受到了不同于“纸上谈兵”的直面物理现象的体验，也对照相机等装备的偏振片的使用方法也有了更深的体会。
- (2) 利用偏振现象，我也更直观地感受到了光的传播，对光的波动性有了更深的理解与认识。

参考文献

《新编基础物理实验》(第二版) 吕斯骅 段家祗 张朝晖 主编