

观察光的偏振现象

李嘉轩

北京大学物理学院天文学系, 100871

jiaxuan.li@pku.edu.cn

2017年11月18日

1 用偏振光镜验证布儒斯特定律

本实验使用偏振光镜观察激光在玻璃-空气界面上的反射光以及穿过玻片堆后的透射光的偏振情况, 从而验证布儒斯特定律, 体会反射起偏和反射检偏的原理。

首先, 使 $A \parallel P$, 绕 z 轴旋转 A , 记 $A \parallel P$ 时 A 的方位角为 0 , 同时用白纸接收反射光点。可以观察到, 反射光点的光强有两次极强(方位角为 $0, 180$ 度)、两次极弱(方位角为 ± 90 度), 相邻两次极强极弱之间 A 旋转了 90 度。这是因为入射光是自然光, 可以把自然光分解为电矢量垂直于入射面的 s 波和电矢量平行于入射面的 p 波。当入射光以布儒斯特角 $i_B = \arctan \frac{n_2}{n_1}$ 入射在玻璃-空气界面上时, 反射光只有 s 波了, p 波的振幅反射率为 0 , 这里把反射的 s 波记为 U_{1s} 。

- 当 A 的方位角为 0 和 180 度时, U_{1s} 入射在 A 上也是 s 波, 所以反射出去的波也还是 s 波, 不会有 p 波的成分。此时观察到的光强极大;
- 当 A 的方位角为 90 度或 -90 度时, U_{1s} 相对于 A 是 p 波, 而且是以布儒斯特角入射的。因此根据布儒斯特定律, 此时应该消光。故观察到的光强极小;
- 当 A 的方位角的绝对值介于 0 和 90 度时, U_{1s} 相对于 A 既有 p 波分量又有 s 波分量, 故观察到的反射光强介于极强和极弱之间。

其次, 我按照相同的方法观察了透射光。可以观察到, 透射光点的光强也有两次极强(方位角为 ± 90 度), 两次极弱(方位角为 $0, 180$ 度)。这是因为:

- 当 A 的方位角为 0 和 180 度时, U_{1s} 入射在 A 上是 s 波, 大多都被反射出去了, 所以透射出玻片堆的光就很少, 此时透射光极弱;
- 当 A 的方位角为 90 度或 -90 度时, U_{1s} 相对于 A 是 p 波, 而且是以布儒斯特角入射的。因此根据布儒斯特定律, 此时没有光被反射, 透射很强, 所以此时透射光极强;
- 当 A 的方位角的绝对值介于 0 和 90 度时, U_{1s} 相对于 A 既有 p 波分量又有 s 波分量, 故观察到的透射光强介于极强和极弱之间。



2 观察双折射现象

本实验使用方解石晶体观察双折射现象。首先，使用普通的按照自然解理面断开的方解石晶体I进行观察。可以清楚地看到，被照亮的小孔有两个清晰的像，亮度肉眼分不出差别。转动方解石晶体，可以看到一个像不动，另一个像绕着这个不动的像旋转。这是因为方解石晶体是一种特殊的晶体，不同方向入射的光的折射率不同，从而分出o光(寻常光)和e光(异常光)，如下图1的左图所示。

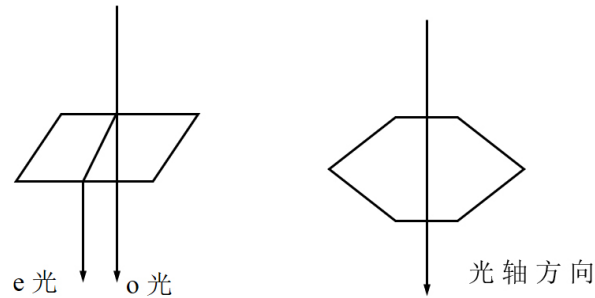


图 1: 双折射现象示意图

将方解石晶体II放在小孔上，用磨面压小孔进行观察，此时只能看到一个像。转动方解石晶体，发现一直只有一个像，而且这个像的位置不随转动而改变。我们知道，方解石晶体II的磨面与晶体的光轴垂直，转动晶体时实际上是绕着光轴旋转，而且小孔的光在晶体中传播也是沿着光轴方向传播。按照光在晶体中传播的理论，光沿光轴传播时，行为与正常光无异。所以在这里没有发现双折射现象。

接下来，利用实验室提供的偏振方向已知的偏振片和一个可以转动的、有角度刻度的偏振片，对方解石晶体I双折射出的o光和e光的偏振行为做了观察。只用一个偏振片观察，缓慢旋转偏振片的透振方向，可以看到：o光最亮e光消光、o光e光同时出现、e光最亮o光消光……能够消光说明o光和e光都是线偏振光(或者表观偏振度很高的部分/椭圆偏振光，这里因为实验器材的限制，无法做出更精细的验证，不过由理论我们知道，o光和e光的确都是线偏振光)。然后，我用已知透振方向的偏振片找到了带刻度偏振片的透振方向(方法也很简单，先让o光在某个偏振片下最亮，然后加上另一个偏振片，转动两个偏振片，让e光消光，则这两个偏振片正交，于是就知道了带刻度的那个偏振片的透振方向)。这样我们就可以根据刻度来判断o光和e光振动方向的夹角了。在实验中，o光的振动方向为34度，e光的透振方向为121度。可以算出o光和e光的夹角为

$$\theta = 87^\circ.$$

鉴于这个验证的操作精度很低，得到87度应该是在误差范围之内的。这样我们就验证了o光与e光电矢量的振动方向正交。

根据光在晶体中传播的性质解释这个现象。入射在晶体界面上的光可以做一个分解：垂直于主平面的电矢量是o光，平行于主平面的电矢量是e光。o光的折射率不随入射方向变化，但是e光的折射率



随入射方向与光轴的夹角而变化。这样一个分解方法自然得到o光与e光的光矢量垂直。

3 观察线偏振光通过 $\lambda/2$ 波晶片后的现象

本实验利用光学导轨上的钠光源、偏振片和 $\lambda/2$ 波晶片观察线偏振光的性质。首先将起偏器P刻度置于0，转动A，发现A在刻度为28度和208度时消光。

先将A调整到消光的位置，然后在P和A之间加入一个 $\lambda/2$ 波晶片，发现原本的消光状态消失了，现在又有光透过A。转动波晶片一周，可以观察到4次消光。固定波晶片，转动A一周，可以观察到两次消光。转动波晶片让A处再次消光，此时波晶片的光轴与P的透振方向垂直或者平行了。此时，转动P的角度记为 θ ，同时向相反方向转动A角度为 θ' 后消光。得到的数据如表格1所示。可以看到，当起偏器旋转 θ 角度后，线偏振光的振动方向转过 2θ 。这与理论预测一致。

表 1: 线偏振光通过 $\lambda/2$ 波晶片

θ ($^\circ$)	θ' ($^\circ$)	线偏振光转过角度 ($^\circ$)
15	-17	32
30	-30	60
45	-44	89
60	-61	121
75	-76	151
90	-90	180

4 观察线偏振光通过 $\lambda/4$ 波晶片后的现象

本实验利用光学导轨上的钠光源、偏振片和 $\lambda/4$ 波晶片观察线偏振光的性质。在上面一个实验仪器的基础上，换下 $\lambda/2$ 波晶片，换上 $\lambda/4$ 波晶片，并将其正放。将P旋转15度，然后旋转一周A，发现不消光，但是有两次光强极大两次光强极小。改变起偏器P的角度，然后旋转A观察现象，得到表格2。从表格中可以看到，线偏振光通过 $\lambda/4$ 波晶片后变成了椭圆偏振光，线偏振光振动方向与 $\lambda/4$ 波晶片光轴夹角不同时，产生的椭圆偏振光形态也不同。使用检偏器观察椭圆偏振光时，当透振方向为椭圆偏振光长轴方向时，可以观察到光强极大；当透振方向为椭圆偏振光短轴方向时，可以观察到光强极小。各个偏振光的图示见图2。

5 设计实验区分椭圆偏振光与部分偏振光

如果只使用一对起偏-检偏装置，是无法区分椭圆偏振光和部分偏振光的，因为旋转检偏器A观察到的现象都是没有消光，但有两个极强两个极弱，且方向正交。部分偏振光的表观偏振度与偏振度相

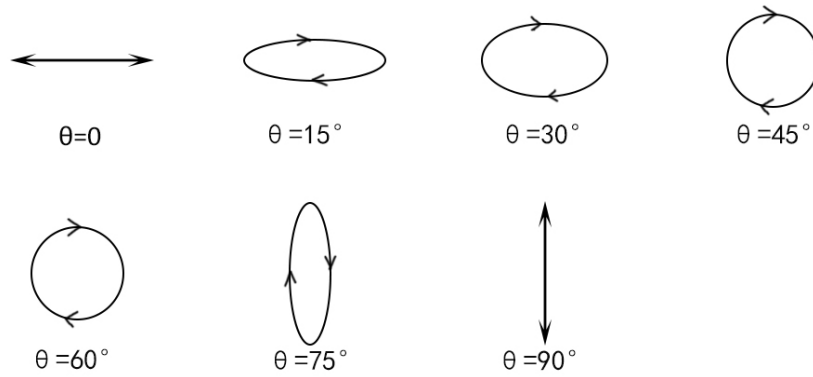


图 2: 线偏振光经过 $\lambda/4$ 偏振片后的偏振形态

表 2: 线偏振光通过 $\lambda/4$ 波晶片

起偏器旋转角度 ($^{\circ}$)	转动A观察现象 ($^{\circ}$)	光的偏振态 ($^{\circ}$)
0	两次消光, 两次极大	线偏振光
15	两次极大两次极小, 对比明显	椭圆偏振光, 长短轴之比较大
30	两次极大两次极小, 对比不明显	椭圆偏振光, 长短轴之比较小
45	无肉眼可见的光强变化	圆偏振光
60	两次极大两次极小, 对比不明显	椭圆偏振光, 长短轴之比较小
75	两次极大两次极小, 对比明显	椭圆偏振光, 长短轴之比较大
90	两次消光, 两次极大	线偏振光



等，都小于1，而椭圆偏振光的偏振度等于1，表现偏振度小于1。任何偏振态的偏振光通过 $\lambda/4$ 波晶片都可以变成部分偏振光。根据这些原理，我们可以设计实验，使用 $\lambda/4$ 波晶片鉴别椭圆偏振光和部分偏振光。

在检偏器A之前放入 $\lambda/4$ 波晶片，固定P的方向，改变波晶片光轴方向，同时旋转A一周观察现象。如果入射进波晶片的光是椭圆偏振光，那么波晶片光轴指向某个方向时，椭圆偏振光可以被变为线偏振光，从而在旋转A时会出现消光。如果入射进波晶片的光是部分偏振光，无论如何波晶片都无法把部分偏振光的自然光成分变为线偏振光，从而在A后观察就没有消光现象。

本实验中，产生部分偏振光的方法是，让光通过一个玻片堆，经过多次反射和折射，出射的光就是一个部分偏振光了。产生椭圆偏振光的方法还是让线偏振光通过一个不是正放的 $\lambda/4$ 波晶片。

6 分析讨论与感想

本次实验中，我通过实际观察光的偏振现象体会到了光的横波性质。通过观察光的双折射现象进一步体会了光在晶体中传播的性质。无论是从实验上还是从理论上，我都由衷敬佩探索光学现象的前辈们的智慧，尤其是双折射现象，根本让人摸不着头脑。麦克斯韦电磁理论诞生后，人们可以利用电磁波的性质解释光，特别是光在晶体中传播的结果可以完美地由麦克斯韦理论导出。每每学到这些地方，我都被大师们高屋建瓴的思想和登峰造极的理论技巧所折服。

感谢曲波老师在实验过程中的指导和建议。

参考文献

- [1] 吕斯骅, 段家祗, 张朝晖. 新编基础物理实验. 第2版. 北京: 高等教育出版社, 2013.
- [2] 钟锡华. 现代光学基础. 第2版. 北京: 北京大学出版社, 2012.