

物 理 实 验 （二）

偏振光的观察与测量

时间：2023 年 12 月 12 日

创作人：陆知辰

学号：10225301478

目录	1
----	---

目录

一、 实验摘要	2
1.1 实验概要	2
1.2 实验目的	2
二、 实验原理	2
2.1 偏振光的种类	2
2.2 线偏振光的产生	2
2.3 利用偏振片获得线偏振光	4
2.4 波晶片的分类	4
2.5 平面偏振光通过各种波片后偏振态的改变	4
2.6 偏振光的鉴别	5
2.7 马吕斯定律	6
三、 实验装置器材介绍	7
四、 实验内容及实验步骤	7
4.1 激光器和起偏器的调整	7
4.2 验证马吕斯定律	7
4.3 验证 $1/4$ 波片的作用	8
4.4 圆、椭圆偏振光的鉴别	8
五、 实验原始数据	9
六、 实验数据处理	11
6.1 验证马吕斯定律	11
七、 思考题	11
7.1 思考题一	11
7.2 思考题二	11
八、 实验中个人的思考与感想	11
8.1 对于实验个人观点	11
8.2 实验中的总结	11

一、 实验摘要

1.1 实验概要

光的偏振现象不仅进一步验证了光具有波动性，而且验证了光是一种横波，光的偏振现象的研究，使人们对光的传播规律有了新的认识，利用光的偏振性所开发出来的各种偏振光元件、偏振光仪器和偏振光技术在光调制器、光开关、光学计量、应力分析、光信息处理、光通信、激光和光电子学器件等方面都有着广泛的应用，在现代科学技术中发挥了极其重要的作用。

1.2 实验目的

1. 了解和掌握线偏振光、圆偏振光、椭圆偏振光的产生及检验方法。
2. 了解和掌握 $1/4$ 波片、 $1/2$ 波片和偏振片的作用和应用。
3. 验证马吕斯定律。

二、 实验原理

2.1 偏振光的种类

光是电磁波，它的电矢量和磁矢量相互垂直，且又垂直于光的传播方向，通常用电矢量代表光矢量，并将光矢量和光的传播方向所构成的平面称为光的振动面。按光矢量的不同振动状态，可以把光分为五种偏振态，如图 37.1 所示。如在垂直于传播方向内，光矢量的方向是任意的，且各个方向的振幅相等，则称为自然光；如光矢量沿着一个固定方向振动，则称为线偏振光或平面偏振光；如果有的方向光矢量振幅较大，有的方向光矢量振幅较小，则称为部分偏振光；如果光矢量的大小和方向随时间作周期性变化，且光矢量的末端在垂直于光传播方向的平面内的轨迹是圆或椭圆，则分别称为圆偏振光或椭圆偏振光。

2.2 线偏振光的产生

根据布儒斯特定律，如图 2.2所示，

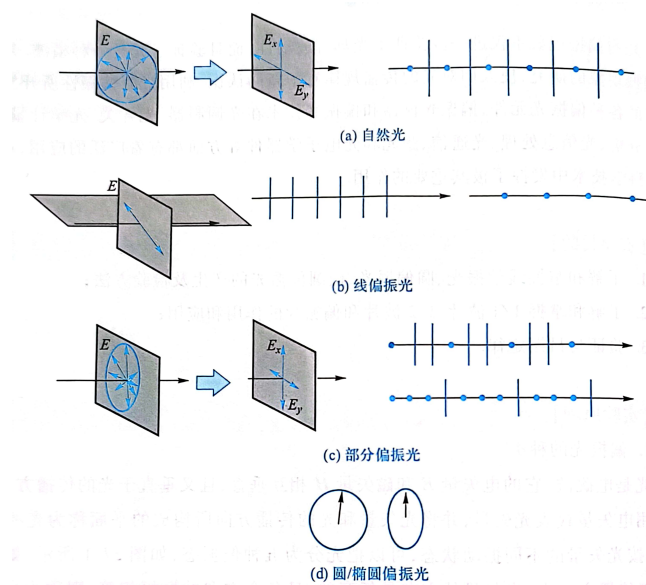


图 1: 偏振光五种形态

当自然光以 $i_b = \arctan(\frac{n_2}{n_1})$ 的入射角从折射率为 n_1 的空气入射至折射率为 n_2 的介质表面上时，其反射光为完全的线偏振光，振动面垂直于人射面；而透射光为部分偏振光，此时我们称 i_b 为布儒斯特角。如果自然光以 i 入射到一叠平行玻璃片堆上，则经过多次反射和折射，最后从玻璃片堆透射出来的光也接近于线偏振光，如图 2.2所示。

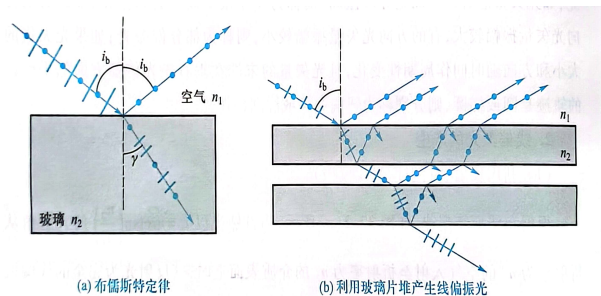


图 2: 偏振光的产生

2.3 利用偏振片获得线偏振光

偏振片是利用某些有机化合物晶体的“二向色性”制成的，当自然光通过这种偏振片后，光矢量垂直于偏振片透振方向的分量几乎完全被吸收，光矢量平行于透振方向的分量几乎完全通过，因此透射光基本上为线偏振光。

2.4 波晶片的分类

波晶片简称波片，它通常是一块光轴平行于表面的单轴晶片，一束平面偏振光垂直入射到波晶片后，便分解为振动方向与光轴方向平行的 e 光和振动方向与光轴方向垂直的 o 光两部分，这两种光在晶体内的传播方向虽然一致，但它们在晶体内传播的速度却不相同，于是 e 光和 o 光通过波晶片后就产生固定的相位差 δ ，即 $\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)l$ ，式中 λ 为人射光的波长， l 为晶片的厚度， n_o, n_e 分别为 o 光和 e 光的主折射率。

某种单色光经过波晶片后，若 e 光和 o 光产生的相位差为 $\delta = (2k + 1)\pi/2$ ，则此波晶片称为该单色光的 1/4 波片；若 e 光和 o 光产生的相位差为 $\delta = (2k + 1)\pi$ ，则此波晶片称为该单色光的 1/2 波片；能产生相位差为 $\delta = 2k\pi$ 的波晶片，称为全波片。

通常波片用云母片剥离成适当厚度或用石英晶体研磨成薄片，由于石英晶体是正晶体，其 o 光比 e 光的速度快，沿光轴方向振动的光（e 光）传播速度慢，故光轴称为慢轴，与之垂直的方向称为快轴，对于负晶体制成的波片，光轴就是快轴。

2.5 平面偏振光通过各种波片后偏振态的改变

一束振动方向与光轴成 θ 角的平面偏振光垂直入射到波片后，会产生振动方向相互垂直的 e 光和 o 光，如图 2.5 所示，其 E 矢量大小分别为 $E_e = E \cos \theta$ 、 $E_o = E \sin \theta$ 。通过波片后，二者产生一附加相位差。离开波片时合成波的偏振性质决定于相位差 δ 和 θ 。如果入射偏振光的振动方向与波片的光轴夹角为 0 或 $\pi/2$ ，则任何波片对它都不起作用，即从波片出射的光仍为原来的线偏振光。而如果不为 0 或 $\pi/2$ ，那么线偏振光通过 1/2 波片后，出来的也仍为线偏振光，但它振动方向将旋转 2θ ，即出射光和入射光的电矢量对称于光轴；线偏振光通过 1/4 波片后，则可能产生线偏振光、圆偏振光和长轴与光轴垂直或平行的椭圆偏振光，这取决于入射线偏振光振动方向与光轴的夹角 θ 。

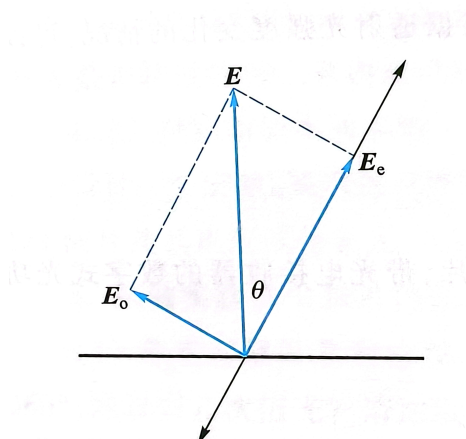


图 3: 线偏振光经过波片后的光路示意图

2.6 偏振光的鉴别

鉴别入射光的偏振态须借助于检偏器（即偏振片）和 $1/4$ 波片：使入射光通过检偏器后，检测其透射光强并转动检偏器，如图 2.6所示.

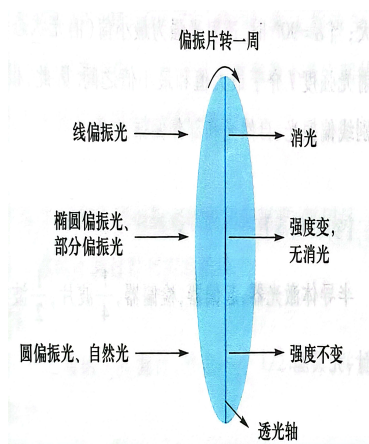


图 4: 鉴别偏振光方法示意图 1

若转动检偏器，出现透射光强为零（称“消光”）的现象，则入射光必为线偏振光。

若转动检偏器，透射光的强度没有变化，则可能为自然光或圆偏振光（或两者的混合）。

若转动检偏器，透射光强虽有变化但不出现消光现象，则入射光可能是椭圆偏振光或部分偏振光。

要进一步作出鉴别，则需在入射光与检偏器之间插入一块 $1/4$ 波片，如图 2.6 所示，若入射光是圆偏振光，则通过 $1/4$ 波片后将变成线偏振光，当 $1/4$ 波片的慢轴（或快轴）与被检测的椭圆偏振光的长轴或短轴平行时，透射光也为线偏振光，于是转动检偏器也会出现消光现象；否则，就是部分偏振光。

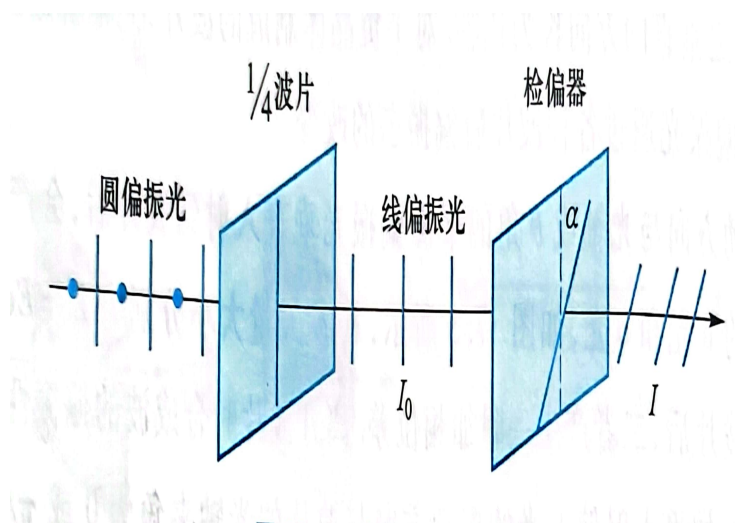


图 5: 鉴别偏振光方法示意图 2

2.7 马吕斯定律

按照马吕斯定律，强度为 I_0 的线偏振光通过检偏器后，透射光的强度为

$$I = I_0 \cos^2 \alpha \quad (1)$$

其中， α 为入射光偏振方向和检偏器偏振轴之间的夹角， I_0 为检偏器透光部分与偏振光偏振方向平行时出现的出射光强， $I \leq I_0$ 。显然，当以光线传播方向为轴转动检偏器时，透射光强度 I 将发生周期性变化。当 $\alpha = 0^\circ$ 时，透射光强度最大；当 $\alpha = 90^\circ$ 时，透射光强为最小值（消光状态），接近于全暗；当 $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ 时，透射光强度 I 介于最大值和最小值之间。因此，根据透射光强度变化的情况，可以区别线偏振光、自然光和部分偏振光。

三、 实验装置器材介绍

半导体激光器，起偏器，检偏器，1/4 波片，1/2 波片，带光电接收器的数字式光功率计，光具座。

四、 实验内容及实验步骤

4.1 激光器和起偏器的调整

实验采用波长为 650nm 的半导体激光器，它发出的是部分偏振光，为了得到线偏振光，如图 4.1所示，需要在它前面加起偏器 P，并放置接收器（检偏器 A 和波片 C 均先不要放置）。转动起偏器 P 的偏振轴，使之与激光最强的线偏振分量方向一致，这时光功率计读数最大，透过起偏器 P 的线偏振光功率最大。

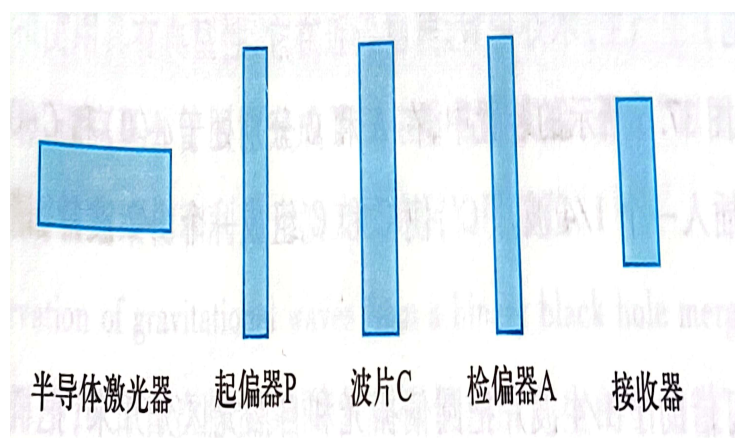


图 6: 实验光路示意图

4.2 验证马吕斯定律

在起偏器 P 与接收器之间加检偏器 A，转动检偏器并测量出射最大光强，记为 I_0 ，应反复多测几次，求平均值了和检偏器位置读数 $A(0)$ 。以 $A(0)$ 作为 0° 角。然后，每隔 10° 或 15° ，测量出射光强 I 。以 $\ln(\cos \alpha)$ 为自变量， $\ln I$ 为因变量，对 $\ln I - \ln(\cos \alpha)$ 进行直线拟合，求得函数 $I = I_0 \cos^2 \alpha$ 中的 n 及相关系数 τ ，以此证明马吕斯定律。

4.3 验证 $1/4$ 波片的作用

转动检偏器 A 的偏振轴与激光的电矢量垂直至出现消光现象，记下检偏器 A 消光时的位置读数 $A(0)$ 。然后将 $1/4$ 波片 C 放在液片放置区，旋转 C，使再次出现消光现象。这时 $1/4$ 波片的快轴（或慢轴）与激光电矢量方向平行或垂直，记下 $1/4$ 波片 C 消光时的位置读数 $C(0)$ 。旋转 $1/4$ 波片 C，以改变其快（或慢）轴与入射线偏振光电矢量（即起偏器 P 透振方向）之间的夹角 θ 。当 θ 分别为 15° 、 30° 、 45° 、 60° 、 75° 、 90° 时，将 A 旋转 360° ，观察光强的变化情况，记下二次最大值和最小值，并注意最大值和最小值之间检偏器 A 是否转过约 90° ，并由此说明 $1/4$ 波片出射光的偏振情况。

4.4 圆、椭圆偏振光的鉴别

设计一个实验，要求用一块 $1/4$ 波片产生圆偏振光或椭圆偏振光，再用另一块 $1/4$ 波片使其出现线偏振光，记录下你的实验过程和实验结果。

五、 实验原始数据

姓名学号 _____ 成绩 _____

实验题目: 2023.12.8

I_0 : 1.543, 1.544, 1.543, 1.543, 1.542

$A(0)$: 39°, 40°, 39°, 40°, 40°

$A(m)$ I_m

40	1.543	30	1.507
50	1.490	20	1.388
60	1.324	10	1.193
70	1.110	0	0.943
80	0.949	350	0.677
90	0.585	340	0.425
100	0.339	330	0.221
110	0.145	320	0.073
120	0.032	310	0.007
130	0.008	300	0.033
140	0.072	290	0.143
150	0.220	280	0.327
160	0.432		

2023.12.8

图 7: 实验原始数据 1

$\frac{1}{4}$

$A(0) \cdot 303^\circ$

$C(0) \cdot 331^\circ$

A

$15^\circ \rightarrow$	346	max	60°	min	32°
$30^\circ \rightarrow$	381		90°		15°
$45^\circ \rightarrow$	16		120°		25°
$60^\circ \rightarrow$	31		150°		28°
$75^\circ \rightarrow$	40		180°		29°
$90^\circ \rightarrow$	60		210°		135

图 8: 实验原始数据 2

六、 实验数据处理

6.1 验证马吕斯定律

将实验获得的数据进行数据的处理后得到图像为图??所示。

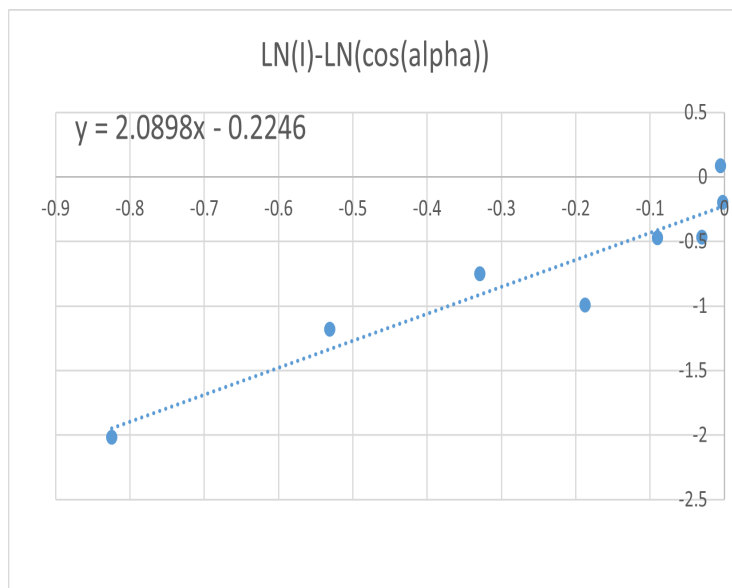


图 9: 实验作图

最终可以看到得到的 n 为 2.0898，和理论 2 的百分差为 4.5%。结果能够验证马吕斯定律。

6.2 验证 1/4 波片的作用

从原始数据，图??中可以看到每次转动后的最大值和最小值的差约等于 90 度，说明波片的作用能够产生线偏振光，产生最大值光和最小值光之间的相位差为 90 度。

6.3 圆、椭圆偏振光的鉴别

通过调节第一个 1/4 波片和起偏器的相位差，在通过第二个 1/4 波片调节，记录得到的相位，在图上做出角度和光强的极坐标图。最终得到实验结果。

七、 思考题

7.1 思考题一

将第一个偏振片调节为相位差相差 90 度的位置，然后通过第二个 $1/4$ 波片，这样就得到了和半波片相同的效果。

7.2 思考题二

可以。

通过 $1/4$ 的圆偏振光会变成线偏振光，而自然光还是自然光。还需要偏振片进行检测。

而椭圆偏振光经过 $1/4$ 会产生两次最大和消光，而部分偏振光不会有这样的现象，所以依旧可以。

八、 实验中个人的思考与感想

8.1 对于实验个人观点

实验中需要的操作还是比较简单的，只要调节器材的旋转角度就可以了。观察的现象也比较明显，能够直接在仪器上读出。但是实验的原理还是比较复杂的，使用的器件结合产生的结果也会比较多样。

最终得到的实验的结果还算理想。但是实验中还是有一些误差的存在，比如在读取角度的时候可能由于各种原因导致读数出现误差。

8.2 实验中的总结

实验验证了马吕斯定律，检验了 $1/4$ 波片产生 90 度相位差，能将圆偏振转化为线偏振的性质，设计并实践了实验得到了圆偏振和椭圆偏振的结果。