

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	3
1.1 实验概要	3
1.2 实验目的	3
二、 实验原理	3
2.1 偏振光的种类	3
2.2 线偏振光的产生	3
2.3 利用偏振片获得线偏振光	5
2.4 波晶片的分类	5
2.5 平面偏振光通过各种波片后偏振态的改变	5
2.6 偏振光的鉴别	6
2.7 马吕斯定律	7
三、 实验装置器材介绍	8
四、 实验内容及实验步骤	8
4.1 激光器和起偏器的调整	8
4.2 验证马吕斯定律	8
4.3 验证 $1/4$ 波片的作用	9
4.4 圆、椭圆偏振光的鉴别	9
五、 实验原始数据	10
六、 实验数据处理	12
6.1 验证马吕斯定律	12
6.2 验证 $1/4$ 波片的作用	12
6.3 圆、椭圆偏振光的鉴别	12
七、 思考题	13
7.1 思考题一	13
7.2 思考题二	13
八、 实验中个人的思考与感想	13
8.1 对于实验个人观点	13

目 录	2
8.2 实验中的总结	13

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，

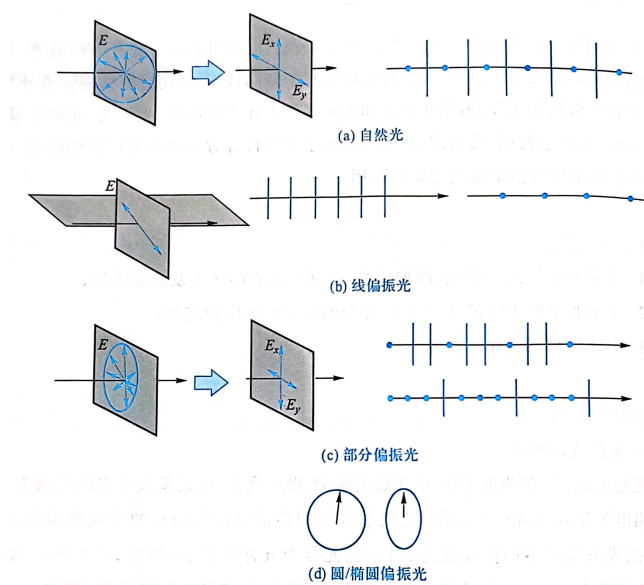


图 1: 偏振光五种形态

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。

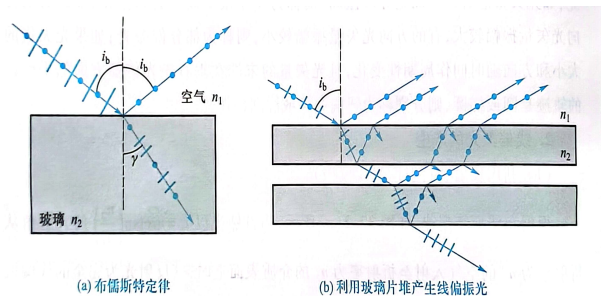


图 2: 偏振光的产生

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 。

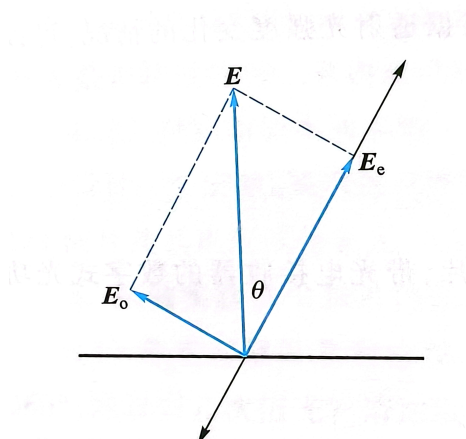


图 3: 线偏振光经过波片后的光路示意图

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.

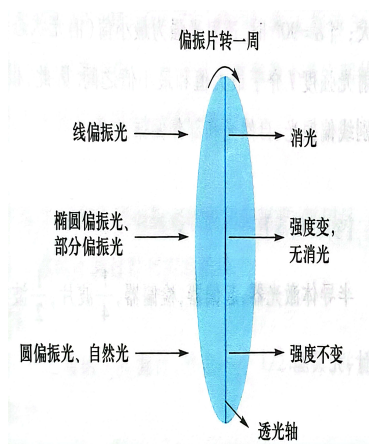


图 4: 鉴别偏振光方法示意图 1

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。

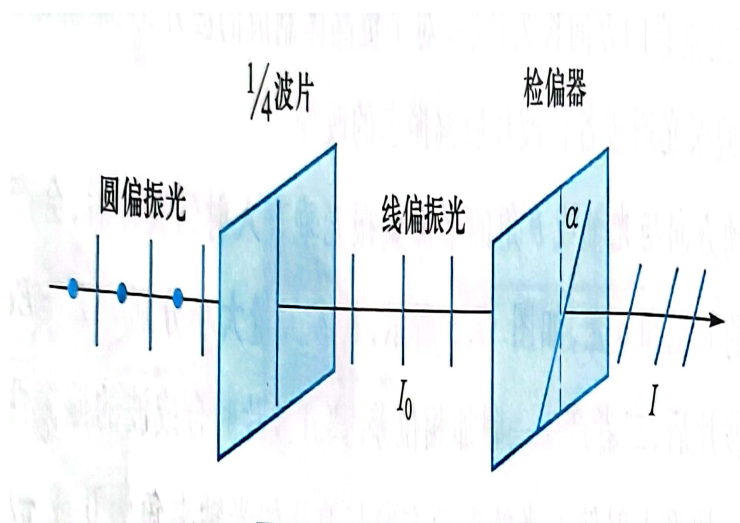


图 5: 鉴别偏振光方法示意图 2

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。

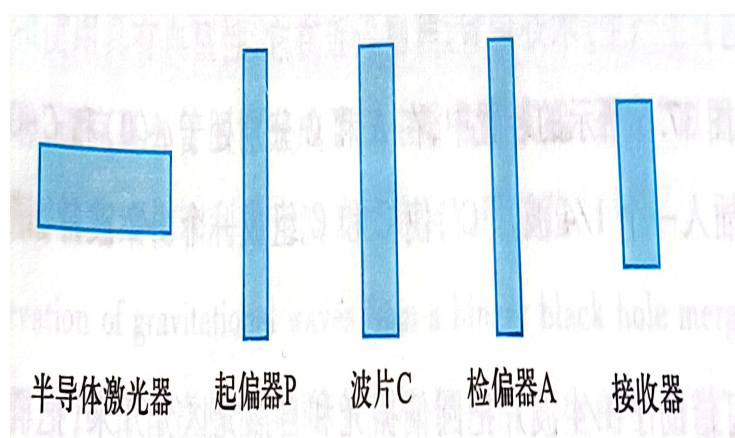


图 6: 实验光路示意图

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
50	1.490
60	1.324
70	1.110
80	0.949
90	0.585
100	0.339
110	0.145
120	0.032
130	0.008
140	0.072
150	0.220
160	0.432

2023.12.8

图 7: 实验原始数据 1

$\frac{1}{4}$		$I.$	
$A(0) \cdot 303^\circ$			
$C(0) \cdot 331^\circ$			
		A	
$15^\circ \rightarrow 346$	\max	60	$\min 320$
$30^\circ \rightarrow 381$		90	150
$45^\circ \rightarrow 16^\circ$		120	250
$60^\circ \rightarrow 31^\circ$		170	280
$75^\circ \rightarrow 40^\circ$		20°	299
$90^\circ \rightarrow 60^\circ$		40°	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 6.1所示。

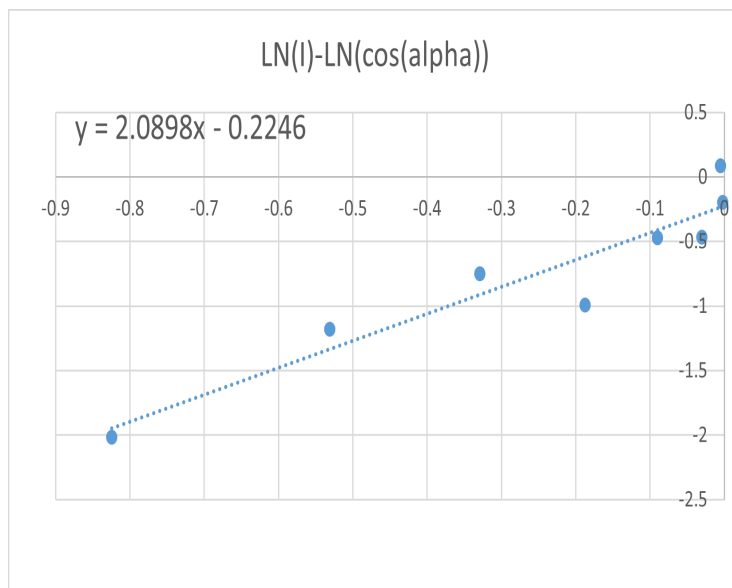


图 9: 实验作图

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，图五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。