

实验目的

1. 观察光的偏振现象, 加深对光的偏振的基本规律的认识;
2. 熟悉常用的起偏器而检偏器的用法。
3. 了解椭圆偏振光、圆偏振光的产生方法和波片的作用原理。

实验仪器名称 [型号、主要参数]

光学导轨、偏振片、 $\frac{1}{4}$ 波片、 $\frac{1}{2}$ 波片、光功率计、白屏、半导体激光器
(650nm).

实验原理和操作步骤 [基本物理思想、设计原理、主要公式及其意义、电路图或光路图等; 操作步骤]

实验原理:

1. 自然光与偏振光。

在光的传播过程中, 光矢量的振动方向保持在某一确定方向的光称为线偏振光; 若光矢量随时间作有规则的变化, 光矢量的末端在垂直于传播方向的平面上的轨迹呈椭圆或圆, 则分别称为椭圆偏振光或圆偏振光。

设沿同一方向传播的频率相同, 振动方向相互垂直, 相差固定为 $\Delta\phi$ 的两线偏振光, 其振动分别沿 x 和 y 轴, 其振动方向上的振动方程为:

$$E_x = A_x \sin \omega t; \quad E_y = A_y \sin(\omega t + \Delta\phi).$$

$$\text{则合振动: } \frac{E_x^2}{A_x^2} + \frac{E_y^2}{A_y^2} - \frac{2E_x E_y}{A_x A_y} \cos(\Delta\phi) = \sin^2(\Delta\phi) \quad (1)$$

则 $\Delta\phi = k\pi$ ($k = \pm 1, \pm 2, \dots$) 时, 式①变为 $E_x = \pm \frac{A_x}{A_y} E_y$, 合成结果为线偏振光。

$\Delta\phi = (2k+1)\pi$ ($k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$) 时, 式①变为 $\frac{E_x^2}{A_x^2} + \frac{E_y^2}{A_y^2} = 1$, 合成结果为椭圆偏振光, 若 $A_x = A_y$, 为圆偏振光。

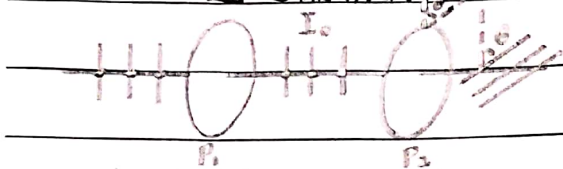
由以上讨论可知, 两传播方向相同, 振动方向相互垂直, 相位差固定的线偏振光的合成光振动矢量的末端的轨迹既可以是直线, 也可为椭圆或圆。同理, 线偏振光、圆偏振光、椭圆偏振光也可分解为上述的两束线偏振光。



在宏观上极短而微观上足够长的时间内,各个方向的光矢量的时间平均值相等,对外不呈现偏振性,这种光称为自然光。

2. 获得和检验偏振光。

利用偏振片获得偏振光:每块偏振片都有一个特有的偏振化方向,光波穿过它时,只允许光矢量的振动方向与偏振化方向平行的光波通过,因此,自然光通过偏振片后为偏振光。



检偏:若在偏振片 P_1 后再放一偏振片 P_2 ,就可检验经 P_1 后的光是否为偏振光。当起偏器 P_1 与检偏器 P_2 的透光轴间夹角为 θ 时,根据马吕斯定律,通过检偏器 P_2 的偏振光强 $I = I_0 \cos^2 \theta$, I_0 为通过 P_1 的透射光的光强。当 $\theta = 0$ 时,透射光强 $I = I_0$,最大, $\theta = 90^\circ$ 时,会出现全暗。若自然光照射至检偏器,无论如何转动检偏器,透射光强均不变;若部份偏振光照到检偏器上,转动检偏器,透射光强变化,但不为0。

3. 波片与圆偏振光,椭圆偏振光。

当线偏振光垂直入射到厚为 d 的波片上,会分解为振动方向相互垂直,沿相同方向传播的 o 光, e 光。光程差为 $\Delta L = (n_o - n_e)d$,相位差为 $\Delta\phi = \frac{\pi}{\lambda}(n_o - n_e)d$ 。

实际中半波片最常用。 $\therefore A_e = A \cos \theta$, $A_o = A \sin \theta$,联立式①,可知,线偏振光通过半波片后,偏振状态与偏振光振动方向和波片光轴的夹角 θ 有关: $\theta = 0$ 时, $A_o = 0$,产生振动方向平行于波片光轴的线偏振光; $\theta = \pm 90^\circ$ 时, $A_e = 0$,产生振动方向垂直于波片光轴的线偏振光; $\theta = 45^\circ$ 时, $A_e = A_o$,产生圆偏振光; θ 为其它值,产生椭圆偏振光。当波片厚度使 o 光, e 光之间产生的光程差为 $\frac{\lambda}{4}$ 或其奇数倍, $\frac{\lambda}{2}$ 或其奇数倍, λ 或其整数倍以外的其他任意值时,线偏振光垂直通过波片后一般产生椭圆偏振光。

4. 光强。

在两偏振片 P_1, P_2 间插入半波片,半波片的光轴与 P_1, P_2 透光轴夹角分别为 θ, ϕ , I_1 为自然光经 P_1 后形成的线偏振光光强, I_2 为透过 P_2 后的光强,则有:

相对光强分布 $\frac{I_2}{I_1} = \cos^2 \theta \cos^2 \phi$ 北京邮电大学物理实验中心 印制



1. 在本实验下,测得最小光强为 0.075mW , 对应起偏器的标刻角度 134° ;

最大光强为 0.202mW , 对应起偏器的标刻角度 223° .

经计算,最大、最小光强对应起偏器标刻角度之差 $= 223^\circ - 134^\circ = 89^\circ$, 与理论上的 90° 相吻合

2. 数据表格及绘图见打印页1.

观察图像, I 和 $\cos^2\theta$ 呈一次线性关系, 且图线过原点, 与马吕斯定律:

$$I = I_0 \cos^2\theta$$

相吻合, 验证了马吕斯定律.

3. 数据表格及绘图见打印页2、3、4.

光的偏振态:

① 消光位置:

由于存在两次光强最强, 两次消光的角度, 最终呈现线偏振态.

② 转过 20° :

由于存在两次光强最强角度, 不存在消光, 最终呈现椭圆偏振态.

③ 转过 45° :

由于在一定范围内光强变化小, 最终呈现圆偏振态.

反思: 实验时所取的消光强度不够大, 导致最终绘图与理论存在一定偏差. 以后要注意选取适当的测量值大小, 通过适当选取较大的测量值来减小实验误差.



回答问题与实验总结

1. 设太阳光以入射角 i 入射进水面, 则仰角 $\theta = \frac{\pi}{2} - i$.

由布儒斯特定律:

$$i = i_0 = \arctan \frac{n_2}{n_1}$$

$$\therefore \theta = \frac{\pi}{2} - \arctan \frac{n_2}{n_1} = 36.9^\circ$$

2. 光的折射反射光路如下:



由光的折射定律: $\sin i_1 = n \sin i_2$

$\because i_1 + i_2 = 90^\circ$ 时, 不论入射光为何状态,

反射光均为线偏振光.

\therefore 得 $\tan i_1 = n$ 时, 反射光为线偏振光

此时入射角 i_1 为布儒斯特角.

④ 再次转动平台, 观察测量反射光偏振态, 找到反射光为完全线偏振光的位置. 记下此时平台位置 θ_2 . 则此时入射角 $\theta_2 - \theta$ 即为布鲁斯特角.

(用了分光计的实验设备).

实验总结: 本次实验所需测量的数据较多, 这让我体会到了耐心、细致对于完成实验的重要性; 同时, 实验中偏振片、波片的角度标称值并不相符其理论值, 我由此掌握了从现象反推理论值的方法.

测量步骤: ① 将波片置于 45° 角位置, 让半导体激光直接通过波片,

使出射光为圆偏振光.

② 将棱镜放于转动平台上, 使玻璃表面穿过转动平台中心.

③ 转动平台, 使棱镜表面垂直于入射光, 记下此时平台位置 θ_1 .

任课教师指导意见



3. 观察不同偏振光的光强变化

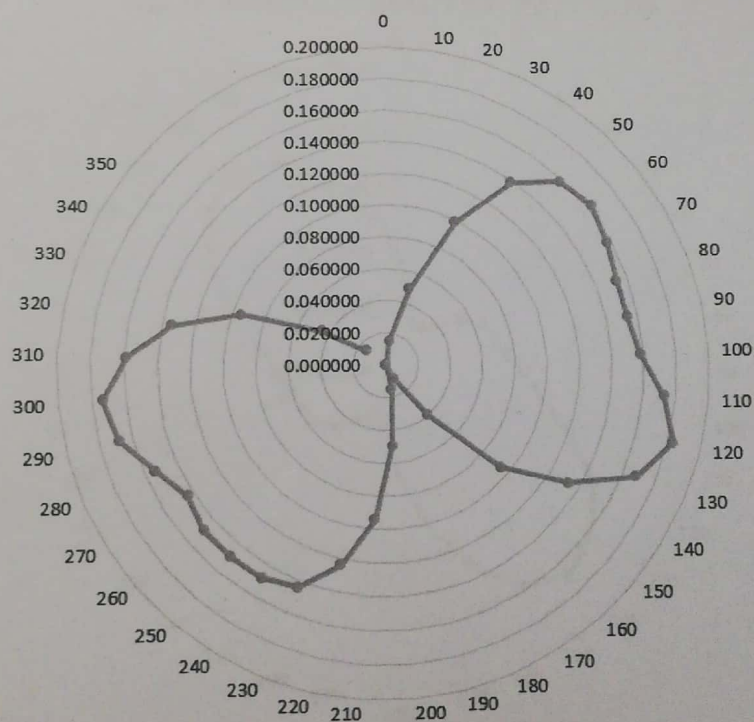
玻片角度为 0° 时

数据表格

检偏器角度 α	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
I_2/mW	0	0.003	0.01	0.02	0.028	0.032	0.033	0.032	0.031	0.031
I_2/I_1	0.000000	0.014851	0.049505	0.099010	0.138614	0.158416	0.163366	0.158416	0.153465	0.153465
检偏器角度 α	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
I_2/mW	0.032	0.035	0.037	0.034	0.027	0.019	0.008	0.002	0	0.003
I_2/I_1	0.158416	0.173267	0.183168	0.168317	0.133663	0.094059	0.039604	0.009901	0.000000	0.014851
检偏器角度 α	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290
I_2/mW	0.01	0.019	0.025	0.029	0.03	0.03	0.03	0.029	0.031	0.034
I_2/I_1	0.049505	0.094059	0.123762	0.143564	0.148515	0.148515	0.148515	0.143564	0.153465	0.168317
检偏器角度 α	300	310	320	330	340	350				
I_2/mW	0.035	0.032	0.027	0.019	0.009	0.003				
I_2/I_1	0.173267	0.158416	0.133663	0.094059	0.044554	0.014851				

相对光强分布图

玻片角度为 0° 时相对光强分布图



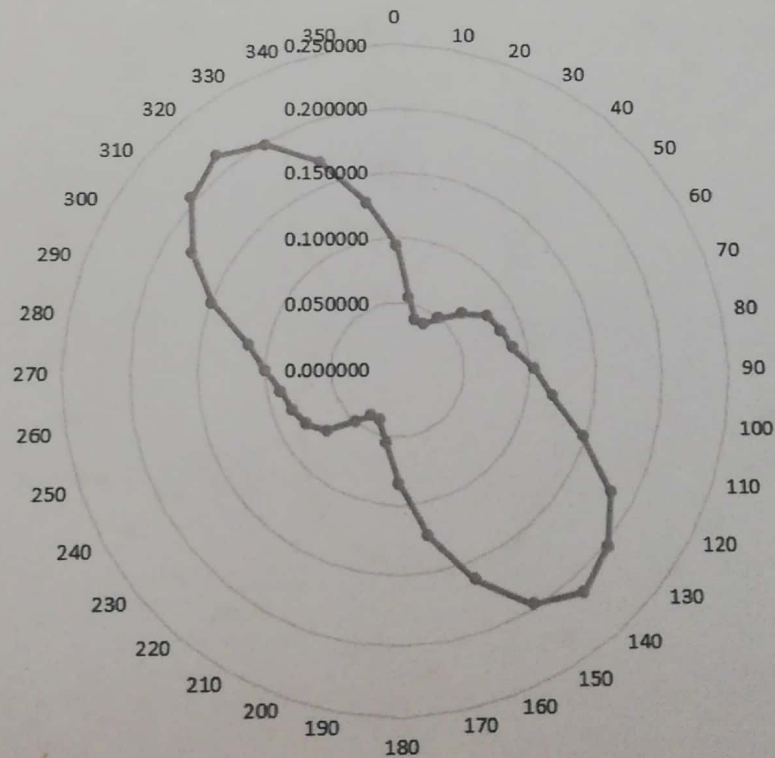
玻片角度为 20°时

数据表格

检偏器角度 α	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
I_2/mW	0.019	0.011	0.008	0.008	0.01	0.013	0.016	0.017	0.018	0.021
I_2/I_1	0.094059	0.054455	0.039604	0.039604	0.049505	0.064356	0.079208	0.084158	0.089109	0.103960
检偏器角度 α	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
I_2/mW	0.024	0.03	0.037	0.041	0.043	0.04	0.033	0.025	0.017	0.011
I_2/I_1	0.118812	0.148515	0.183168	0.202970	0.212871	0.198020	0.163366	0.123762	0.084158	0.054455
检偏器角度 α	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290
I_2/mW	0.008	0.008	0.01	0.014	0.016	0.017	0.018	0.02	0.023	0.03
I_2/I_1	0.039604	0.039604	0.049505	0.069307	0.079208	0.084158	0.089109	0.099010	0.113861	0.148515
检偏器角度 α	300	310	320	330	340	350				
I_2/mW	0.036	0.041	0.043	0.04	0.034	0.026				
I_2/I_1	0.178218	0.202970	0.212871	0.198020	0.168317	0.128713				

相对光强分布图

玻片角度为20°时相对光强分布图



3页



扫描全能王 创建

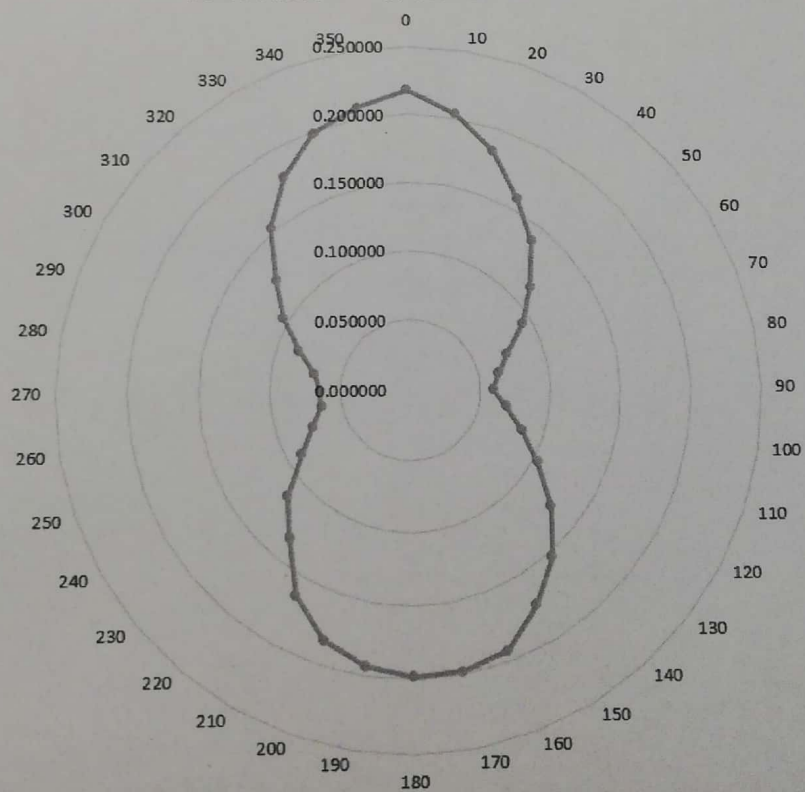
玻片角度为 45° 时

数据表格

检偏器角度 α	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
I_2/mW	0.044	0.041	0.037	0.032	0.028	0.023	0.019	0.015	0.013	0.012
I_2/I_1	0.217822	0.202970	0.183168	0.158416	0.138614	0.113861	0.094059	0.074257	0.064356	0.059406
检偏器角度 α	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
I_2/mW	0.014	0.017	0.021	0.026	0.031	0.035	0.039	0.040	0.040	0.039
I_2/I_1	0.069307	0.084158	0.103960	0.128713	0.153465	0.173267	0.193069	0.198020	0.198020	0.193069
检偏器角度 α	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290
I_2/mW	0.037	0.033	0.027	0.023	0.018	0.015	0.013	0.013	0.014	0.017
I_2/I_1	0.183168	0.163366	0.133663	0.113861	0.089109	0.074257	0.064356	0.064356	0.069307	0.084158
检偏器角度 α	300	310	320	330	340	350				
I_2/mW	0.021	0.025	0.031	0.036	0.040	0.042				
I_2/I_1	0.103960	0.123762	0.153465	0.178218	0.198020	0.207921				

相对光强分布图

玻片角度为 45° 时的相对光强分布图



实验 3.10 光的偏振

姓名 王雨霄 合作者 无 班级 209 教师 _____ 实验时间 _____ 实验组号 _____

一、预习要点

1. 自然光和偏振光的区别, 偏振光的分类, 获得与检验偏振光的方法;
2. 光在各向异性媒质 (如双折射晶体) 中的传播时产生双折射的物理原理; 寻常光 (o 光) 与非寻常光 (e 光) 的区别;
3. 偏振片和波片的物理原理和作用。

二、实验注意事项

1. 以毛玻璃为观察屏观察光强的变化, 切勿直接迎着激光束看; 也不能透过观察屏迎着激光看;
2. 测量读数前应对功率计进行调节, 在遮光时调节零点, 在最大光强处选择合适的光功率计量程及光探头上的接收孔。

三、实验内容

1. 鉴别半导体激光的偏振状态, 测量检偏器后不同透振方向光强的极大和极小值 (移动激光器位置, 使激光直接入射检偏器);
2. 观察线偏振光及验证马吕斯定律, 消光时起偏器与检偏器透振方向的夹角 $\phi = 90^\circ$;
3. 观察和测量不同偏振状态的偏振光的相对光强分布规律;

四、原始数据表格

1. 观察半导体激光光强 I 随起偏器转过的角度的变化

最小光强 0.075mw 起偏器的角度 134°, 最大光强 0.202mw 起偏器的角度 223°。

2. 验证马吕斯定律

保持激光通过起偏器后为最大光强时起偏器的角度, 通过激光功率计测量当起偏器与检偏器的夹角为 ϕ 时的光强 I (消光处 $\phi = 90^\circ$)

$\phi (^\circ)$	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
光强 I (mw)	0.000	0.005	0.016	0.035	0.058	0.081	0.104	0.120	0.135	0.144

3. 观察不同偏振光的光强变化:

保持激光通过起偏器后为最大光强, 检偏器后为消光状态, 在两正交透振方向的偏振片中间加入波片, 转动玻片使检偏器后再次消光, 波片从消光位置转过一定的角度 ϕ (0° , 20° , 45°), 观察检偏器转动 $0^\circ - 360^\circ$ 光强的变化, 测量各偏振光光强分布 ($\phi = 45^\circ$ 选做, 数据表见下页)。(思考: 消光时波片光轴方向与偏器透振方向是什么关系?)



波片的角度 φ	0°	20°	45° (选)	波片的角度 φ	0°	20°	45° (选)
检偏器角度 α	功率计读数 I (mW)			检偏器角度 α	功率计读数 I (mW)		
0°	0.000	0.019	0.044	180°	0.000	0.017	0.040
10°	0.003	0.011	0.041	190°	0.003	0.011	0.039
20°	0.010	0.008	0.037	200°	0.010	0.008	0.037
30°	0.020	0.008	0.032	210°	0.019	0.008	0.033
40°	0.028	0.010	0.028	220°	0.025	0.010	0.027
50°	0.032	0.013	0.023	230°	0.029	0.014	0.023
60°	0.033	0.016	0.019	240°	0.030	0.016	0.018
70°	0.032	0.017	0.015	250°	0.030	0.017	0.015
80°	0.031	0.018	0.013	260°	0.030	0.018	0.013
90°	0.031	0.021	0.012	270°	0.029	0.020	0.013
100°	0.032	0.024	0.014	280°	0.031	0.023	0.014
110°	0.035	0.030	0.017	290°	0.034	0.030	0.017
120°	0.037	0.037	0.021	300°	0.035	0.036	0.021
130°	0.034	0.041	0.026	310°	0.032	0.041	0.025
140°	0.027	0.043	0.031	320°	0.027	0.043	0.031
150°	0.019	0.040	0.035	330°	0.019	0.040	0.036
160°	0.008	0.033	0.039	340°	0.009	0.034	0.040
170°	0.002	0.025	0.040	350°	0.003	0.026	0.042

教师签字

王鑫

五、数据处理要求

1. 作线偏振光光强 I 与 $\cos^2 \phi$ 的关系图, 验证马吕斯定律;
2. 用极坐标图作不同偏振状态的偏振光的相对光强分布图, 说明波片在消光位置和转过 20°、45° 时玻片后的光的偏振态。

六、思考题

1. 测得一池静水的表面反射出来的太阳光是线偏振光, 求此时太阳处在地平线的仰角是多大 (水的折射率为 1.33)。
2. 如何利用现有仪器和三棱镜, 测量布儒斯特角 (选做)。提示: 半导体激光直接通过波片后的偏振状态最接近圆偏光。

