

偏振光经 $\frac{1}{4}$ 波片后偏振态变化

——大学物理教学内容改进设计

杜嘉萍 李曼华 朱明建

(华南师范大学物理与电信工程学院 广东 广州 510006)

(收稿日期:2018-04-21)

摘要:将通过隐藏部分信息、扩大实验流程的手段,只提供学生偏振光实验仪系统、偏振片、波片等光学元件,不提供偏振片和波片的光轴信息,引导学生自主思考,充分利用光的偏振理论,从确定偏振片、波片光轴方向开始探究检验线偏振光通过 $\frac{1}{4}$ 波片后的偏振态变化,从而加深对理论的认识。

关键词:线偏振光 布儒斯特角 波片 光轴 透振方向

1 引言

目前,传统物理实验常开设成只让学生完成一个实验内容对一个实验问题或理论进行测量验证,这在一定程度上限制了学生创新思考和综合实验能力,学生只学会用得到的知识指导完成规定实验内容,不懂迁移,失去理论指导实践的价值。

在大学物理偏振光实验中,有设置检验线偏振光通过 $\frac{1}{4}$ 波片后的偏振态变化及其对应条件的实验内容,目的是掌握检验识别不同偏振态光线的原理、方法。但若只向学生提供偏振光实验仪系统、偏振片、波片等光学元件,不提供偏振片、波片光轴信息,该如何进行实验?本文提出,可通过如上隐藏部分信息、扩大实验流程的手段,让学生充分利用理论,从确定偏振片、波片光轴方向开始探究检验线偏振光通过 $\frac{1}{4}$ 波片后的偏振态变化,从而加深对理论的认识。

2 线偏振光通过 $\frac{1}{4}$ 波片后的偏振态变化理论

现开设的实验内容:通过 $\frac{1}{4}$ 波片产生圆偏振光或椭圆偏振光,优化光学元件的调节,测量椭圆偏振

光通过检偏器的光强,在极坐标中做出 $I-\phi$ 的关系图,与理论公式比较^[1]。

改进的实验内容:只向学生提供光学元件,不提供偏振片和波片的光轴信息,课前教师告知学生实验条件与实验目的,引导学生自主查阅资料、思考要解决的问题,并简单构建实验流程,课中教师再对学生讨论分享的实验流程进行分析。

3 实验流程

实验仪器有偏振光实验仪,包括配套的半导体激光器、偏振棱镜、 $\frac{1}{4}$ 波片(实验中所用是负晶体波片),以及用于检测光强的光电探测器、数字检流计。

首先进行仪器实验前的调正,将载物平台调整水平状态,物台调正。

3.1 确定偏振片的透振方向

我们提出一种确定偏振片透振方向的方法,即巧用布儒斯特角法。其原理是:当入射光为 P 分量时,只有以布儒斯特角入射,才能令得到反射光的强度为零。

如图1所示摆放元件,先使偏振方向在任一角度,转动平面镜使反射角在 $50^\circ \sim 60^\circ$ 之间变化,观察光点亮暗变化,确定光点最暗位置。

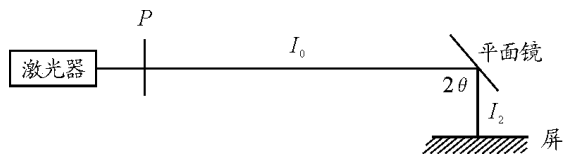


图1 利用布儒斯特角确定起(检)偏器的透振方向光路图

再旋转偏振片改变透振方向角度,观察屏上光点亮暗变化,到达光点最暗位置时不再旋转.重复以上两步骤至反射光点强度接近零,此时透振方向恰与入射平面平行,读出此时的偏振片角度即为偏振片水平透振方向^[2].

确定两块偏振片 P_1 与 P_2 的透振方向,记录表征偏振片水平偏振的指示角度,如表1所示.

表1 偏振片水平偏振方向

	P_1	P_2
水平偏振	150°	100°

3.2 确定波片的光轴方向

将未知光轴方向的 $\frac{1}{4}$ 波片置于两块透振方向垂直的偏振片之间,旋转波片,当数字检流计示数为0(最小)也即消光时,说明波片B光轴方向与 P_1 透振方向垂直或平行. $\frac{1}{4}$ 波片可能的光轴方向如表2所示.

表2 $\frac{1}{4}$ 波片可能的光轴方向

	$\frac{1}{4}$ 波片
可能的光轴方向	275° 5°

下面介绍区别波片光轴方向(以下简称快轴)和垂直光轴的方向(以下简称慢轴)的一种简便方法.以本实验所用负晶体($n_o > n_e$)波片为例,其原理是:光轴与入射平面成不同角度时相应的布儒斯特角不同.波片绕法线转动,当使光轴平行于入射面(图2中 $\theta=0^\circ$,对应在晶体中为o光),这种情况下找到的布儒斯特角记作 i_{Bo} ;当使光轴垂直于入射面(图2中 $\theta=90^\circ$,对应在晶体中为e光),这种情况下找到的布儒斯特角记作 i_{Be} ,负晶体($n_o > n_e$)存在 $i_{Bo} > i_{Be}$ 确定关系,正晶体($n_o < n_e$)则相反,以此区别波片快慢轴方向^[3].

做法是将波片垂直置于载物台中心处,激光光束入射波片,在入射光路插入水平透振方向的起偏器,将波片角度转成 $\theta=0^\circ$,转动载物台改变入射角 i 至观察到反射光点最暗,转动波片使光点进一步调至最暗,反复操作,和 $\theta=90^\circ$ 读出对应不同载物台的位置时的两个布儒斯特角,较大布儒斯特角对应的波片旋转位置即波片光轴处水平的位置.结果如表3所示.

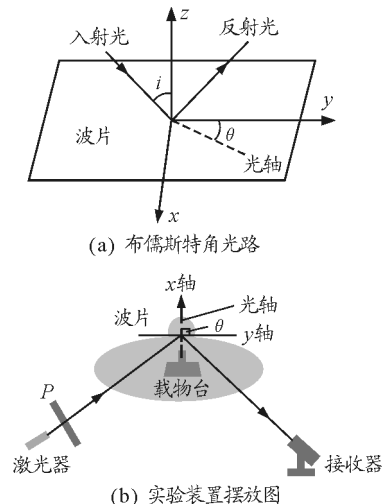


图2 区别波片光轴方向和垂直方向实验原理

表3 波片旋转角度及其对应的布儒斯特角

	波片旋角旋至 365°	波片旋角旋至 275°
布儒斯特角	58.3°	56°
说明此时波片是	波片光轴以 $\theta=0^\circ$ 摆放	波片光轴以 $\theta=90^\circ$ 摆放

3.3 探究线偏振光通过 $\frac{1}{4}$ 波片后的偏振态变化情况 and 对应条件

(1) 按图3搭建实验光路,注意调节各仪器等高共轴.

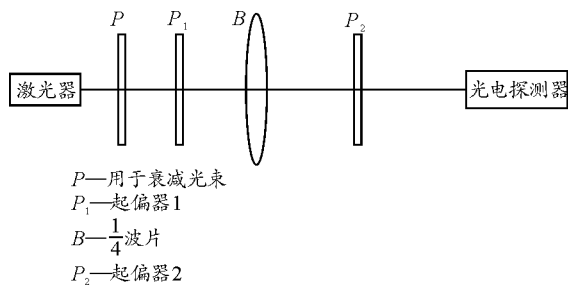


图3 实验光路

(2) P_1 暂不动, 旋转 P_2 一周直至 P_2 转至某一合适角度时, 根据是否消光确定 P_1 与 P_2 透振方向垂直, 保持 P_1, P_2 互成垂直地同步旋转 P_1 和 P_2 , 每组记下起偏器 P_1 角度 θ_2 , 并与波片角度 θ_1 作对比, 得 $\theta_2 - \theta_1$. 每次确定合适的 $\theta_2 - \theta_1$ 后, 记录旋转 P_2 一周得到的检流计最小读数. 直至 P_1 旋转完 360° , 完成一次实验.

4 实验数据处理与分析

将测得的数据列成表格, 并使用 Matlab 软件,

表4 P_1 与 B 夹角为 0° , 转动 P_2 一周, 检流计的示数变化

$P_2/(\circ)$	190	202	214	226	238	250	262	274	286	298	310	322	334	346	358
$I \times 10^{-7}/A$	0.397	28.7	110.7	246	379	526	639	706	715	662	554	424	273	145	46
$P_2/(\circ)$	10	22	34	46	58	70	82	94	106	118	130	142	154	166	178
$I \times 10^{-7}/A$	2.51	15.06	90.3	206	353	498	622	701	713	660	550	407	253	118	29

(2) 如图3, P 的角度为 35° , 起偏器 P_1 的角度为 150° , $\frac{1}{4}$ 波片的角度为 345° . 当 P_1 与 B 夹角为 20° 时, 转动 P_2 一周, 检流计的示数变化如表5所示, 其

表5 P_1 与 B 夹角为 20° , 转动 P_2 一周, 检流计的示数变化

$P_2/(\circ)$	190	202	214	226	238	250	262	274	286	298	310	322	334	346	358
$I \times 10^{-7}/A$	106	190	298	417	523	619	659	644	574	478	363	252	156	91	66
$P_2/(\circ)$	10	22	34	46	58	70	82	94	106	118	130	142	154	166	178
$I \times 10^{-7}/A$	93	165	268	388	503	600	653	650	592	492	373	253	146	80	65

(3) 如图3所示, P 的角度为 35° , 起偏器 P_1 的角度为 150° , $\frac{1}{4}$ 波片的角度为 320° . 当 P_1 与 B 夹角为 45° 时, 转动 P_2 一周, 检流计的示数变化如表6所

表6 P_1 与 B 夹角为 45° , 转动 P_2 一周, 检流计的示数变化

$P_2/(\circ)$	190	202	214	226	238	250	262	274	286	298	310	322	334	346	358
$I \times 10^{-7}/A$	264	283	322	355	388	413	422	412	400	377	346	323	295	281	279
$P_2/(\circ)$	10	22	34	46	58	70	82	94	106	118	130	142	154	166	178
$I \times 10^{-7}/A$	287	306	335	363	392	406	421	418	388	358	343	317	285	270	268

(4) 如图3所示, P 的角度为 35° , 起偏器 P_1 的角度为 150° , $\frac{1}{4}$ 波片的角度为 275° . 当 P_1 与 B 夹角为 90° 时, 转动 P_2 一周, 检流计的示数变化如表7所

以极坐标的形式, 光强作为极径, P_2 的角度作为极角绘制图形.

(1) 如图3所示, P 的角度为 35° , 起偏器 P_1 的角度为 150° , $\frac{1}{4}$ 波片的角度为 5° . 当 P_1 与 B 夹角为 0° 时, 转动 P_2 一周, 检流计的示数变化如表4所示, 其 $I-\phi$ 图如图4(a)所示, 说明此时线偏振光通过波片后仍为线偏振光.

$I-\phi$ 图如图4(b)所示, 说明此时线偏振光通过波片后为椭圆偏振光.

示, 其 $I-\phi$ 图如图4(c)所示, 说明此时线偏振光通过波片后为圆偏振光.

示, 其 $I-\phi$ 图如图4(d)所示, 说明此时线偏振光通过波片后仍为线偏振光.

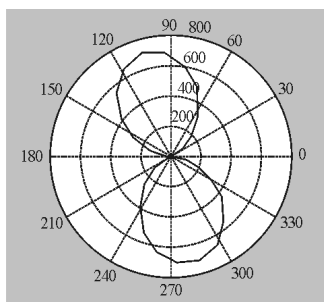
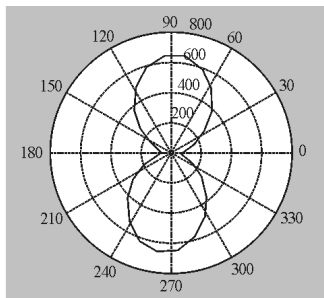
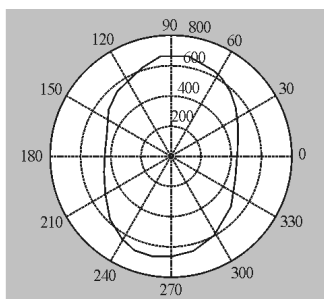
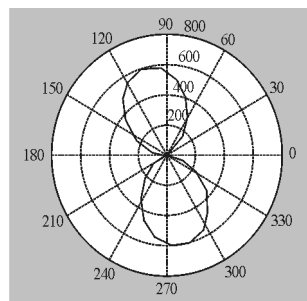
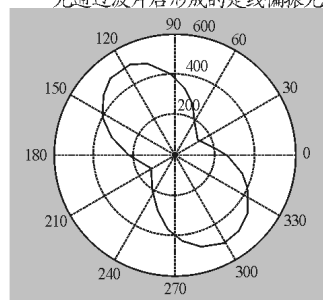
表7 P_1 与 B 夹角为 90° ,转动 P_2 一周,检流计的示数变化

$P_2/(\circ)$	190	202	214	226	238	250	262	274	286	298	310	322	334	346	358
$I \times 10^{-7}/A$	0.532	25.3	92.9	197.9	320	442	542	596	603	559	466	360	236	123	40
$P_2/(\circ)$	10	22	34	46	58	70	82	94	106	118	130	142	154	166	178
$I \times 10^{-7}/A$	2.6	12.42	71.3	172.7	289	413	520	587	599	552	464	342	216	98	26

(5) 如图3所示, P 的角度为 35° ,起偏器 P_1 的角度为 150° , $\frac{1}{4}$ 波片的角度为 215° .当 P_1 与 B 夹角为 150° (或 30°)时,转动 P_2 一周,检流计的示数变化

表8 P_1 与 B 夹角为 150° (或 30°),转动 P_2 一周,检流计的示数变化

$P_2/(\circ)$	190	202	214	226	238	250	262	274	286	298	310	322	334	346	358
$I \times 10^{-7}/A$	180.4	143.2	134.8	158.9	203	268	350	425	481	505	501	467	413	342	266
$P_2/(\circ)$	10	22	34	46	58	70	82	94	106	118	130	142	154	166	178
$I \times 10^{-7}/A$	201	155	136	149	193	260	337	412	471	499	492	452	390	315	242

(a) P_2 和波片所成夹角为 0° 时,线偏振光通过波片后形成的是线偏振光(b) P_2 和波片所成夹角为 20° 时,线偏振光通过波片后形成的是椭圆偏振光(c) P_2 和波片所成夹角为 45° 时,线偏振光通过波片后形成的是圆偏振光(d) P_2 和波片所成夹角为 90° 时,线偏振光通过波片后形成的是线偏振光(e) P_2 和波片所成夹角为 150° (或 30°)时,线偏振光通过波片后形成的是椭圆偏振光图4 $I-\phi$ 极坐标图

从数据和图像知,在实验误差允许范围内,可验证:当线偏振光垂直射入一块表面平行于光轴的晶片时,其振动面与晶片的光轴成 θ 角。

当 $\theta = 0^\circ$ 时,出射光为振动方向平行于 $\frac{1}{4}$ 波片光轴的线偏振光。

(下转第33页)

参考文献

- 1 赵凯华,陈熙谋.电磁学.北京:高等教育出版社,2003. 238
- 2 马文蔚,解希顺,周丽青.物理学(第5版)上册.北京:高等教育出版社,2006. 227
- 3 杨儒贵.电磁场与电磁波(第2版).北京:高等教育出版社,2007. 8~18,23~32
- 4 邵小桃,李一玫,王国栋.电磁场与电磁波(第2版).北京:清华大学出版社,北京交通大学出版社,2018. 5~11,15~26

Table Comparative Learning in Electromagnetism

Nie Chuanhui Sun Liping Liu Xiang Yang Qi Li Jiapeng

(School of Science, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 102600)

Gao Mengyi

(School of Cartography, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 102600)

Abstract: Table comparative study is a common method in electromagnetics. It can promote students think positively and arouse their enthusiasm for learning. It also connects knowledges in front and behind and make them a beautiful symmetry. We'll take some table comparative study in electromagnetics in this paper.

Key words: electromagnetics; comparative study; symmetry

(上接第29页)

当 $\theta = 90^\circ$ 时,出射光为振动方向垂直于光轴的线偏振光.

在 P_1 转到 $\theta = 45^\circ$ 时, P_2 转动 360° 的过程中光强始终不变,即检流计显示示数最大值总是等于最小值,此时可证出射光是圆偏振光(根据理论,已排除出射光是自然光的可能).

在 P_1 转到其他值时, P_2 转动 360° 的过程中检流计计数有变(区别于圆偏振光),且最小值不近似为零(区别于线偏振光),此时可证出射光是椭圆偏振光(根据理论,已排除出射光是部分自然光的可能).

分析实验误差主要来源于:

(1) 经过仔细调整实验平台后,仍无法非常严格地使两偏振片与激光垂直;

(2) 激光器发出的光不够稳定;

(3) 偏振片指示角度和实际偏振方向有一定偏差,比如设置偏振片与波片夹角为 45° 时,最后效果并不是严格的 45° ,以至于最后发射出来的光未能形

成圆偏振光,在极坐标下显示的图形有些变形;

(4) 检流计读数不稳定,容易造成误差.

5 小结

教师在课前告知学生实验条件与实验目的,引导学生自主查阅资料、思考要解决的问题和设计实验方案,再由教师对实验流程进行分析和介绍,这种大学实验教学是具有创新性的.本文以探究偏振光经 $\frac{1}{4}$ 波片后偏振态变化为例,通过只向学生提供光学元件,不提供实验中需要的如偏振片和波片光轴信息,使学生在实验中加深对理论的认识,分析解决问题的能力得到较大提高.

参考文献

- 1 熊永红,张昆实,任忠明,等.大学物理实验.北京:科学出版社,2012
- 2 华南师范大学物理实验教学示范中心.偏振光的研究.普通物理实验,2016:53~59
- 3 薛永白.利用分光计测定波片的光轴.常熟高专学报,2002(06):66~69