

南昌大学物理实验报告

课程名称: 普通物理实验 (2)

实验名称: 偏振光实验

学院: 理学院 专业班级: 物理学 151 班

学生姓名: 黄泽豪 学号: 5502115014

实验地点: B509 座位号: 13

实验时间: 第七周星期五下午三点四十五开始

【实验目的】

1. 通过观察光的偏振现象, 加深对光波传播规律的认识.
2. 掌握产生和检验偏振光的原理和方法.

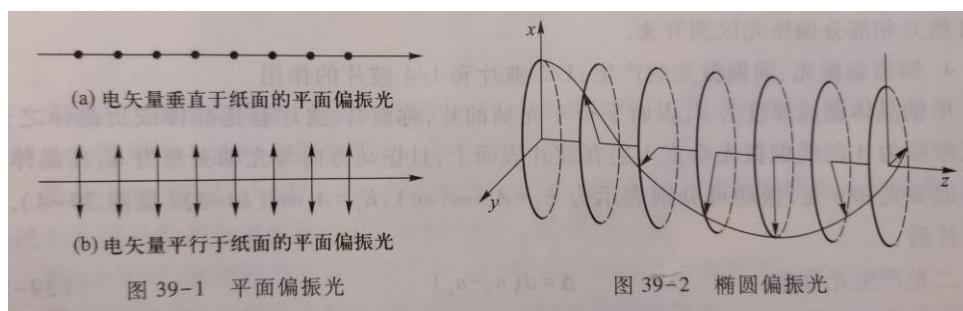
【实验仪器】

半导体激光器、碘钨灯、硅光电池、UT51 数字多用表、偏振片 (2 片)、1/4 波片、反射镜、玻璃堆、平台和光具座等.

【实验原理】

1. 光的偏振性

光是一种电磁波, 由于电磁波对物质的作用主要是电场, 故在光学中把电场强度 E 称为光矢量. 在垂直于光波传播方向的平面内, 光矢量可能有不同的振动方向, 通常把光矢量保持一定振动方向上的状态称为偏振态. 如果光在传播过程中, 若光矢量保持在固定平面上振动, 这种振动状态称为平面振动态, 此平面就称为振动面 (见图 1). 此时光矢量在垂直与传播方向平面上的投影为一条直线, 故又称为线偏振态. 若光矢量绕着传播方向旋转, 其端点描绘的轨道为一个圆, 这种偏振态称为圆偏振态. 如光矢量端点旋转的轨迹为一椭圆, 就成为椭圆偏振态 (见图 2).



普通光源发出的光一般是自然光, 自然光不能直接显示出偏振现象. 但自然光可以看成是两个振幅相同, 振动相互垂直的非相干平面偏振光的叠加. 在自然光与平面偏振光之间有一种部分偏振光, 可以看作是一个平面偏振光与一个自然光混合而成的. 其中的平面偏振光的振动方向就是这个部分偏振光的振幅最大方向.

2. 偏振片

虽然普通光源发出自然光, 但在自然界中存在着各种偏振光, 目前广泛使用的偏振光的器件是人造偏振片, 它利用二向色性获得偏振光 (有些各向同性介质, 在某种作用下会呈现各向异性, 能强烈吸收入射光矢量在某方向上的分量, 而通过其垂直分量, 从而使入射的自然光变为偏振光介质的这种性质称为二向色性, 如图 3.).

偏振器件即可以用来使自然光变为平面偏振光——起偏, 也可以用来鉴别线偏振光、自然光和部分偏振光——检偏. 用作起偏的偏振片叫做起偏器, 用作检偏的偏振器件叫做检偏器. 实际上, 起偏器和检偏器是通用的.

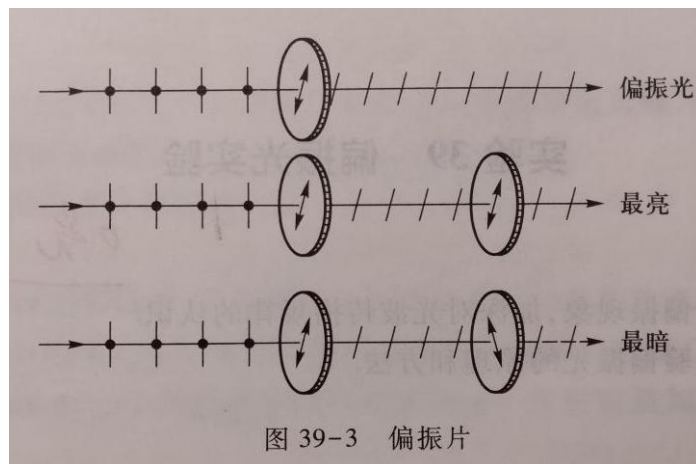


图 39-3 偏振片

3. 马吕斯定律

设两偏振片的透振方向之间的夹角为 α ，透过起偏器的线偏振光振幅为 A_0 ，则透过检偏器的线偏振光的振幅为 $A = A_0 \cos \alpha$ 。

强度为

$$I = A_0^2 \cos^2 \alpha = I_0 \cos^2 \alpha \quad (1)$$

式中 I_0 为进入检偏器前 (检偏器无吸收时) 线偏振光的强度. 公式 (1) 就是 1809 年马吕斯在实验中发现的, 所以称马吕斯定律. 显然, 以光线传播方向为轴, 转动检偏器时, 透射光强度 I 将发生周期变化. 若入射光是部分偏振光或椭圆偏振光, 则极小值不为 0. 若光强完全不变化, 则入射光是自然光或圆偏振光. 这样, 根据透射光强度变化的情况, 可将线偏振光和自然光和部分偏振光区别开来.

4. 椭圆偏振光、圆偏振光的产生; 1/4 波片的作用

单轴晶体制成厚度为 d , 表面平行于光轴的片, 称波片. 波片有正晶体或负晶体之分. 一束振幅为 A 的线偏振光垂直入射在波片表面上, 且振动方向与光轴夹角为 α , 在晶体内分解为 o 光和 e 光, 振动可分别表示为 $E_x = A_0 \cos(\omega t)$, $E_y = A_e \cos(\omega t + \delta)$ (见图 39-4). 经过波片后,

$$\text{二光产生光程差为:} \quad \Delta = d(n_o - n_e) \quad (2)$$

$$\text{二光产生相位差为:} \quad \delta = 2\pi(n_o - n_e)d / \lambda \quad (3)$$

式中, λ_0 为光在真空中的波长; n_o 、 n_e 为晶片对 o 光和 e 光的折射率. 因为波片能使 o 光或 e 光的相位延迟, 又称为相位延迟器.

o 光和 e 光振动方向相互垂直, 频率相同, 相位差恒定

$$\frac{E_x^2}{A_o^2} + \frac{E_y^2}{A_e^2} - 2 \frac{E_x E_y}{A_e A_o} \cos \delta = \sin^2 \delta \quad (4)$$

这是椭圆方程式, 代表椭圆偏振光.

当改变厚度 d 时, 光程差 Δ 亦改变.

(1) 当 $\Delta = k\lambda (k=0,1,2,\dots)$ 时, 由式 (4) 可得

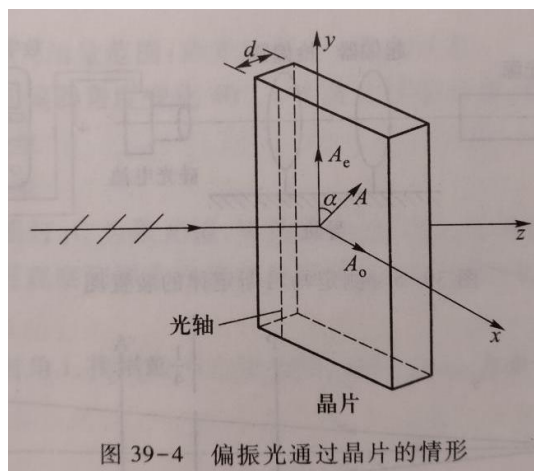
$$E_y = \frac{A_e}{A_o} E_x \quad (5)$$

这是直线方程, 故出射光为平面偏振光, 与原入射光振动方向相同, 满足此条件之晶片叫全波片. 光通过全波片不发生振动状态的变化.

(2) 当 $\Delta = (2k+1)\lambda/2 (k=0,1,2,\dots)$ 时, 由式 (4) 可得

$$E_y = -\frac{A_e}{A_o} E_x \quad (6)$$

出射光也是平面偏振光, 但与原入射光夹角为 2α , 满足此条件的晶片叫 $1/2$ 波片, 或半波片, 平面偏振光通过半波片后, 振动面转过 2α 角, 若 $\alpha = 45^\circ$, 则出射光的振动面与入射光的振动面垂直.



(3) 当 $\Delta = (2k+1)\lambda/4$ ($k=0,1,2,\dots$) 时, 由式 (4) 可得

$$\frac{E_x^2}{A_o^2} + \frac{E_y^2}{A_e^2} = 1 \quad (7)$$

出射光为椭圆偏振光, 椭圆的两轴分别与晶体的主截面平行及垂直, 满足此条件的晶片叫 $1/4$ 波片. $1/4$ 波片是作偏振光实验重要的常用元件.

若 $A_e = A_o$, 则 $x^2 + y^2 = A^2$, 出射光为圆偏振光. 由于 o 光和 e 光的振幅是 α 的函数, 所以通过 $1/4$ 波片后的合成偏振状态也将随角度 α 变化而不同.

当 $\alpha = 0^\circ$ 时, 出射光为振动方向平行 $1/4$ 波片光轴的平面偏振光.

当 $\alpha = \pi/2$ 时, 出射光为振动方向垂直于光轴的平面偏振光.

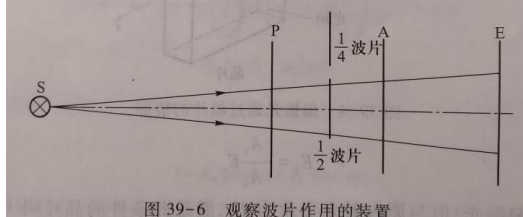
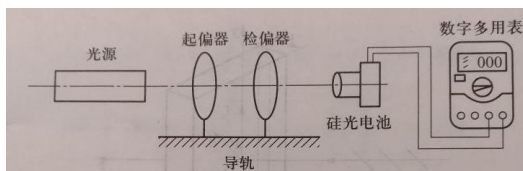
当 $\alpha = \pi/4$ 时, 出射光为圆偏振光.

当 α 为其它值时, 出射光为椭圆偏振光.

【实验内容及步骤】

1、验证马吕斯定律

实验装置如图 39-5 所示, 光束经过起偏器产生线偏振光, 再透过检偏器射到硅光电池上, 转动检偏器 (360°) 观察光强的变化, 找到最大电压值 (对于硅光电池, 其短路电流与光源的光强呈很好的线性关系), 确定该位置为相对 0° . 实验时, 测量精度: 3° , 测量范围: 360° . 作 $I - \cos 2\alpha$ 的关系曲线, 验证马吕斯定律.



2.用 1/4 波片产生圆偏振光和椭圆偏振光

在光具座上按图 6 放置各元件，其中 P 为起偏器，在放入 1/4 波片时，是 A 与 P 正交，光屏上呈现消光现象.插入 1/4 波片后，转动 1/4 波片观察光屏.调节波片至呈现消光现象.然后转动 A 一周.观察光屏上光强的变化情况，并记录电压值.再将 1/4 波片分别转动 30°，45°，每次对应转动检偏器一周，记录观察到的电压值.

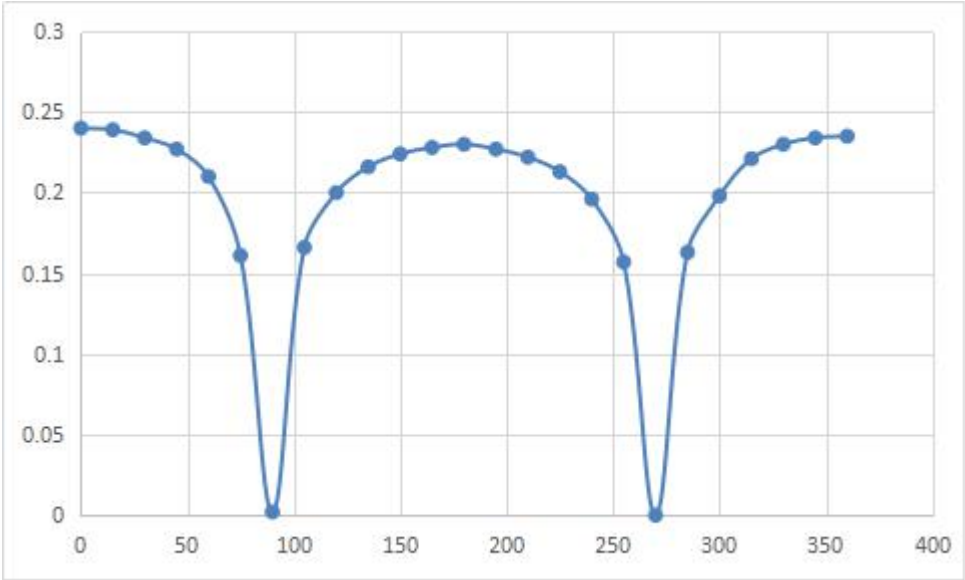
【数据处理】

1. 验证马吕斯定律

由测量数据易知 $U_0=0.166V$ ，数据处理如下：

$\theta/^\circ$	0	15	30	45	60	75	90	105	120
U/V	0.406	0.405	0.400	0.393	0.376	0.327	0.168	0.332	0.366
$U-U_0/V$	0.240	0.239	0.234	0.227	0.210	0.161	0.002	0.166	0.200
$\theta/^\circ$	135	150	165	180	195	210	225	240	255
U/V	0.382	0.39	0.394	0.396	0.393	0.388	0.379	0.362	0.323
$U-U_0/V$	0.216	0.224	0.228	0.23	0.227	0.222	0.213	0.196	0.157
$\theta/^\circ$	270	285	300	315	330	345	360		
U/V	0.166	0.329	0.364	0.387	0.396	0.4	0.401		
$U-U_0/V$	0.000	0.163	0.198	0.221	0.230	0.234	0.235		

作出 $U_0-\theta$ 图如下：



由图像可初步验证马吕斯定律的准确性.

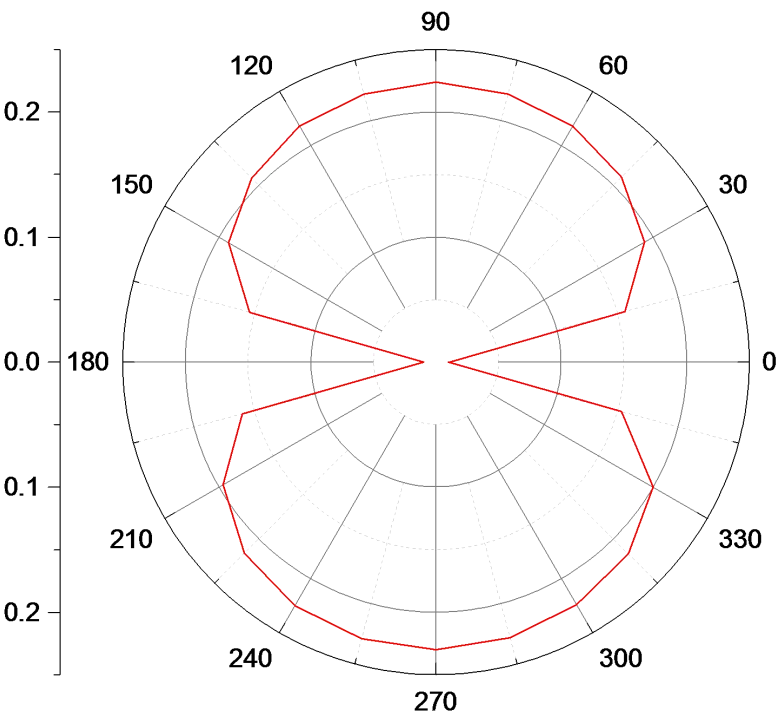
2.用 1/4 波片产生圆偏振光和椭圆偏振光

(1) $\theta=0^\circ$ 时，数据处理如下：

$\theta/^\circ$	0	15	30	45	60	75	90	105	120
U/V	0.178	0.323	0.359	0.376	0.385	0.389	0.391	0.389	0.385
$U-U_0/V$	0.012	0.157	0.193	0.210	0.219	0.223	0.225	0.223	0.219
$\theta/^\circ$	135	150	165	180	195	210	225	240	255

U/V	0.375	0.358	0.321	0.177	0.327	0.363	0.383	0.392	0.396
$U-U_0/V$	0.209	0.192	0.155	0.011	0.161	0.197	0.217	0.226	0.230
$\theta/^\circ$	270	285	300	315	330	345	360		
U/V	0.397	0.395	0.391	0.384	0.367	0.32	0.177		
$U-U_0/V$	0.231	0.229	0.225	0.218	0.201	0.154	0.011		

$\theta=0^\circ$ 时，测得电压与角度关系图

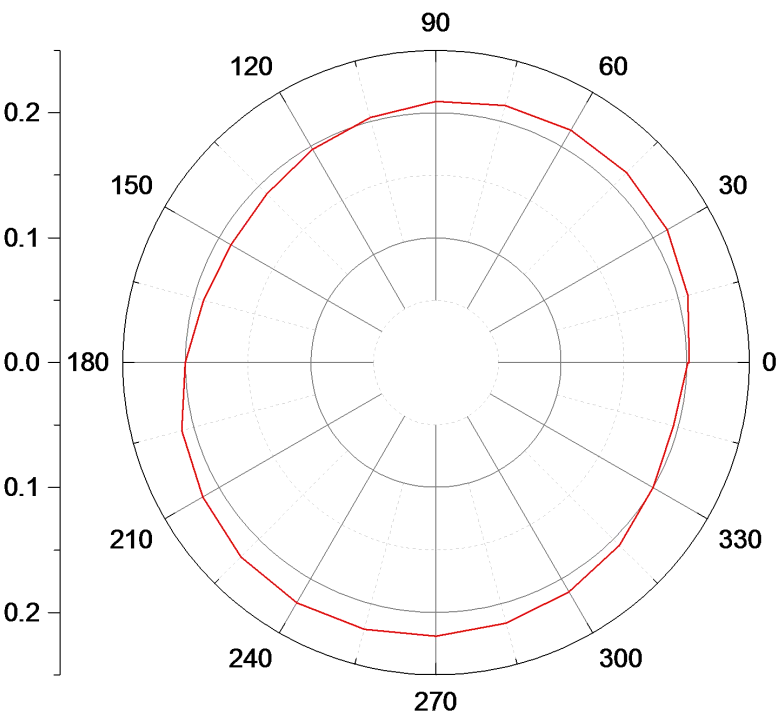


由图像可知， $\theta=0^\circ$ 时，偏振光为线偏振光.

(2) $\theta=30^\circ$ 时，数据处理如下：

$\theta/^\circ$	0	15	30	45	60	75	90	105	120
U/V	0.369	0.375	0.38	0.382	0.382	0.38	0.376	0.37	0.364
$U-U_0/V$	0.203	0.209	0.214	0.216	0.216	0.214	0.21	0.204	0.198
$\theta/^\circ$	135	150	165	180	195	210	225	240	255
U/V	0.358	0.356	0.359	0.367	0.377	0.382	0.387	0.389	0.388
$U-U_0/V$	0.192	0.19	0.193	0.201	0.211	0.216	0.221	0.223	0.222
$\theta/^\circ$	270	285	300	315	330	345	360		
U/V	0.386	0.383	0.379	0.374	0.367	0.363	0.368		
$U-U_0/V$	0.22	0.217	0.213	0.208	0.201	0.197	0.202		

$\theta=30^\circ$ 时，测得电压与角度关系图

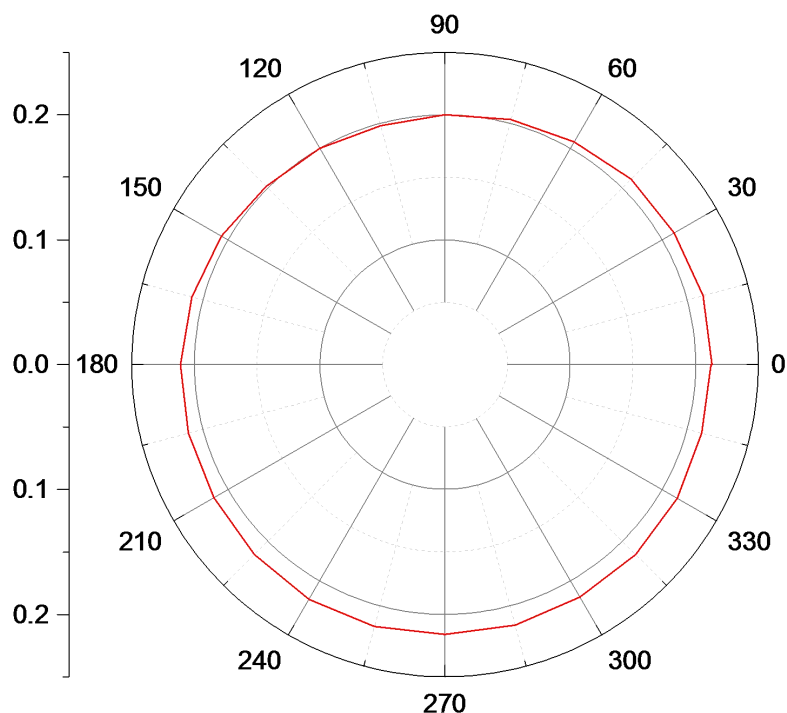


由图像可知， $\theta = 30^\circ$ 时，偏振光为椭圆偏振光.

(3) $\theta = 45^\circ$ 时，数据处理如下：

$\theta/^\circ$	0	15	30	45	60	75	90	105	120
U/V	0.380	0.380	0.378	0.377	0.373	0.370	0.367	0.365	0.367
$U-U_0/V$	0.214	0.214	0.212	0.211	0.207	0.204	0.201	0.199	0.201
$\theta/^\circ$	135	150	165	180	195	210	225	240	255
U/V	0.369	0.373	0.376	0.378	0.379	0.380	0.382	0.384	0.384
$U-U_0/V$	0.203	0.207	0.210	0.212	0.213	0.214	0.216	0.218	0.218
$\theta/^\circ$	270	285	300	315	330	345	360		
U/V	0.383	0.383	0.382	0.382	0.381	0.379	0.379		
$U-U_0/V$	0.217	0.217	0.216	0.216	0.215	0.213	0.213		

$\theta = 45^\circ$ 时，测得电压与角度关系图



由图像可知, $\theta = 45^\circ$ 时, 偏振光为圆偏振光.

【思考题】

1. 两偏振片用支架安置于光具座上, 正交后消光, 一片不动, 另一片的两个表面转换 180° , 会有什么现象? 如有出射光, 是什么原因?

答: 有光射出. 偏振片只起到过滤一个方向的光波的作用, 两个偏振片正交刚好将 360° 的光波全部滤波, 也就不透明了, 转 180° 后刚好两个滤波的方向一致, 也就是另一个方向的光波能够穿过两个偏振片, 就有光射出来了.

2. 两片正交偏振片中间再插入一偏振片会有什么现象? 怎样解释?

答: 两个正交的偏振片本是不能通过自然光的, 但是如果中间再插入第三个偏振片, 就有可能有光通过. 当插入的偏振片和另外两片偏振片的偏振化方向夹角为 45° 度时, 出射光最强, 为入射自然光强的 $1/8$. 若夹角为 0° 或 180° , 出射光强为零.

3. 波片的厚度与光源的波长什么关系?

答: 波片厚度 $\Delta = (2k+1)\lambda/4$ ($k=0,1,2,\dots$).

【误差分析】

数据分析过程中虽然减去了环境光带来的电压 U_0 , 但是实验结果依然不能做到足够准确. 因为环境光强会受到室外的光强, 人为因素干扰和其他实验仪器影响, 不会是一个稳定值. 所以假如将这个实验放在暗室中进行, 可一定程度上减小实验误差.


【实验结果分析与小结】

1. 对于光学实验来说, 调仪器一直是一个难点, 但是假如找到一个好的方法, 可以使工作量大大减少. 刚开始实验时, 我总是不能通过调整光学元件的位置而使激光完全进入孔内. 原来, 激光光源并不是水平的. 所以我索性先将所有光学元件取下, 先在这种情况下, 使激光完全进入孔内, 再逐个把光学元件加上, 并做微调. 用这种方法很快就把实验仪器调整到的可以开始进行实验的状态.

2. 这次实验一共需要记录 100 个数据, 这样庞大的数据量是之前的实验从来没有遇到过的, 这锻炼了我的耐心。

3. 在数据处理过程中, 需要使用极坐标系进行作图, 而 Excel 并没有极坐标绘图的相关功能, 所以我自学了 Origin. 虽然用 Origin 作出一个极坐标图并不是特别难, 但是在自学和作图的过程给我带来了很大的成就感。

【原始数据】



南昌大学物理实验报告

学生姓名: 黄译豪 学号: 5502115014 专业班级: 物理 151 班级编号: _____
 实验时间: _____ 时 _____ 分 第 _____ 周 星期 _____ 座位号: _____ 教师编号: _____ 成绩: _____

θ	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
U/V	0.406	0.405	0.400	0.393	0.376	0.327	0.168	0.332
θ	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
U/V	0.336	0.382	0.390	0.394	0.396	0.393	0.388	0.379
θ	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
U/V	0.362	0.323	0.166	0.329	0.364	0.387	0.396	0.400

θ	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
U/V	0.178	0.323	0.359	0.376	0.385	0.389	0.391	0.389
θ	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
U/V	0.385	0.375	0.358	0.321	0.177	0.327	0.363	0.383
θ	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
U/V	0.392	0.396	0.397	0.395	0.391	0.384	0.367	0.320

θ	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
U/V	0.369	0.375	0.380	0.382	0.382	0.380	0.376	0.370
θ	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
U/V	0.364	0.358	0.356	0.359	0.367	0.377	0.382	0.387
θ	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
U/V	0.389	0.388	0.386	0.383	0.379	0.374	0.367	0.363

10.28



南昌大学物理实验报告

学生姓名: 黄泽豪 学号: 5502115014 专业班级: 物理151 班级编号: _____

实验时间: _____ 时 _____ 分 第 _____ 周 星期 _____ 座位号: _____ 教师编号: _____ 成绩: _____

45°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	
V/V_0	0.380	0.380	0.378	0.377	0.373	0.370	0.367	0.265	
0	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°	
V/V_0	0.367	0.369	0.373	0.376	0.378	0.379	0.380	0.382	
0	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°	360°
V/V_0	0.384	0.384	0.383	0.383	0.382	0.382	0.381	0.379	0.379