

# 基础物理实验（3）

## 光学

### 目录

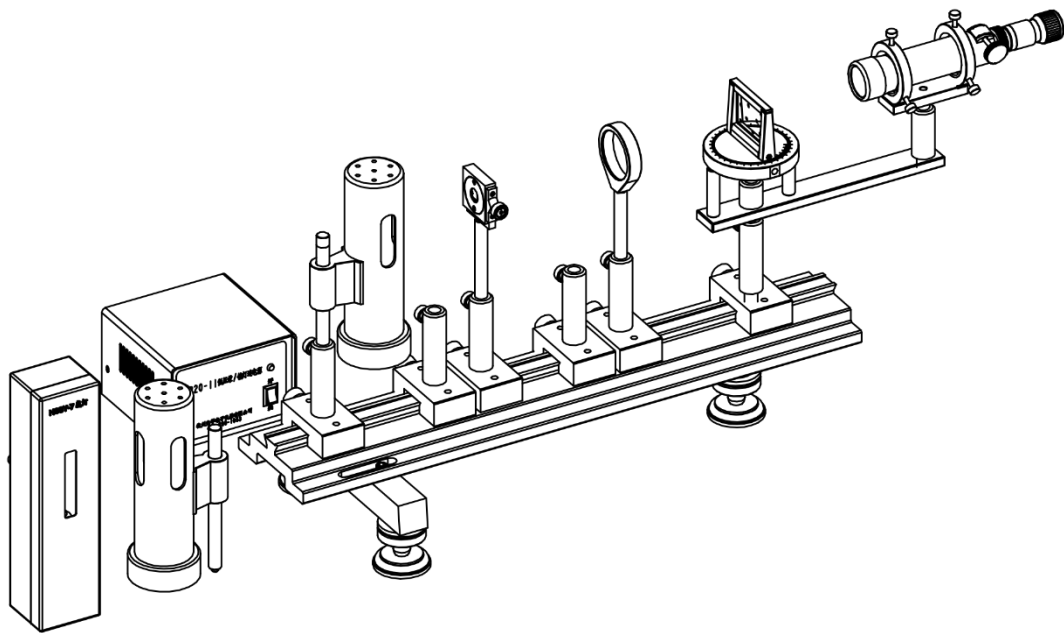
实验一：光栅特性研究与光谱波长测定 .....	5
一、实验目的 .....	5
二、原理 .....	5
三、主要技术指标 .....	6
四、仪器简介 .....	7
五、实验方法 .....	7
六、注意事项 .....	8
实验二：光的偏振与半波片的作用的探究 .....	10
1、实验目的 .....	10
2、实验原理 .....	10
用最小偏向角法测量棱镜材料的折射率。 .....	10
3、偏振光的基本概念 .....	11
4、利用偏振片验证光学马吕斯定律 .....	11
5、反射光的偏振特性—布儒斯特角 .....	14
实验三：液晶电光效应的探究 .....	20
一、背景介绍 .....	20
二、实验目的 .....	20
三、实验原理 .....	21
1 利用偏振片验证光学马吕斯定律 .....	21
1.1 起偏和检偏 .....	21
2 . 液晶光开关的工作原理 .....	22
3 . 液晶光开关的电光特性 .....	24
4 . 液晶光开关的时间响应特性 .....	25
5 . 液晶光开关的视角特性 .....	25
四、仪器简介 .....	25

五、技术指标.....	26
六、实验内容与步骤.....	27
实验四：衍射光强分布测量与研究.....	32
<b>【引言】</b> .....	32
实验 4.1 单缝衍射的实验观测和研究.....	35
一、夫琅和费单缝衍射的观察与测量.....	36
二、改变缝宽，测量光强随位置变化的曲线图.....	37
三、实验数据处理.....	37
四、用单缝衍射原理进行缝宽测量.....	38
实验 4.2 夫琅和费双缝衍射.....	38
一、观测双缝干涉的光强分布.....	40
二、实验数据处理.....	40
实验 4.3 光栅衍射（夫琅和费多缝衍射）.....	41
实验 4.4 夫琅和费圆孔衍射.....	43
实验五：牛顿环干涉与光学显微镜的应用研究.....	45
一、主要技术性能及规格.....	45
二：仪器介绍.....	46
三、结构原理.....	46
四、仪器的调整及应用实例.....	47
等厚干涉实验中的应用.....	47
五、仪器维护.....	49
六、常见故障及检修方法.....	49
实验六：透镜焦距的测量.....	51
1. 薄透镜成像公式.....	51
2. 凸透镜焦距的测量原理.....	52
<b>【实验内容】</b> .....	53
实验七：双棱镜光干涉.....	54
一、实验目的.....	54
二、仪器组成和技术指标.....	54
三、实验原理.....	55

四、实验步骤.....	57
实验八：迈克尔逊干涉的研究.....	61
一、主要技术性能及规格.....	61
二、用    途.....	62
三、结    构    原    理.....	62
四、仪器的调整及使用.....	63
1.观察非定域干涉条纹.....	63
2.观察定域干涉条纹.....	64
3.测钠黄光波长及钠黄光双线的波长差.....	65
4、观察白光干涉条纹.....	66
五、仪    器    的    保    养.....	67
六、常见故障及检修方法.....	67
实验九：使用分光镜测量棱镜折射率.....	71
一、主要技术性能及规格.....	71
二、用    途.....	73
三、结    构    原    理.....	73
四、仪器的调整.....	74
五、应用实例.....	76
(1) 用测量棱镜最小偏向角的方法，求棱镜材料的折射率。原理.....	76
(2) 测量前的调整.....	77
(3) 测量顶角.....	77
(4) 测量最小偏向角.....	78
六、仪器的保养.....	78
实验十：视频/音频信号光纤传输技术探究.....	80
目的.....	80
1．模拟信号光纤传输系统的组成.....	80
2．彩色全电视信号源.....	80
3．半导体发光二极管（LED）的伏安特性与电光特性.....	81
4．彩色全电视信号的电光转换.....	81
5．光导纤维的结构、传光机理与特性.....	82

6. 半导体光电二极管的光电特性 .....	83
7. 视频信号与音频信号的差异.....	83
实验仪器 .....	83
实验内容 .....	84
1. LED 伏安特性及电光特性的测定 .....	84
2. SPD 光电特性的测定.....	85
3. 音频信号光纤传输实验 .....	85
4. 视频信号光纤传输实验 .....	86
一、仪器的组成: .....	88
二、各部件的布局.....	88
1、MXGC-A 型模拟（视频/音频）信号光纤传输技术实验仪（发送器）前面板布局及各插孔、开关和电位器旋钮的功能如图 1.....	88
2、MXGC-A 型模拟（视频/音频）信号光纤传输技术实验仪（接收器）前面板布局及各插孔和电位器旋钮的功能如图 2 示.....	89
光纤信道的输入、输出端口的说明如图 3 示。 .....	89
光电探头的结构如图 4 示 .....	89
5、光纤信道与终端的连接跳线如图 5 示 .....	90
三、实验内容及操作 .....	90
LED 伏安特性及电光特性的测定 .....	90
SPD 光电二极管光电特性的测定.....	91
音频信号光纤传输实验 .....	92
视频信号光纤传输实验 .....	93

# 实验一：光栅特性研究与光谱波长测定



## 一、实验目的

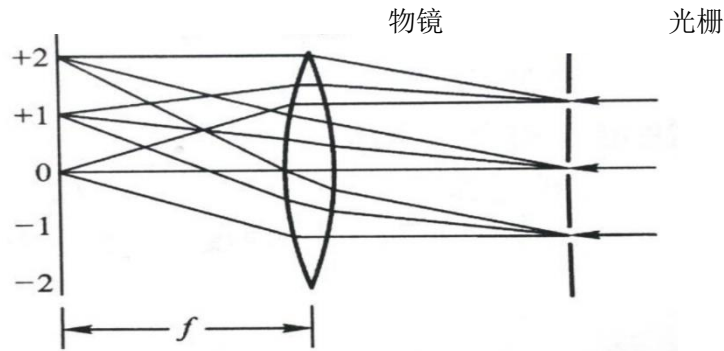
DHGC-1 型光栅特性研究与光谱波长测定仪是高等院校基础物理实验仪器，本产品可根据用户需要，完成对光栅主要特性的研究，用光栅测定光波波长。

## 二、原理

衍射光栅分为透射光栅和反射光栅两种，实验采用透射光栅，其为一组数目极多排列紧密均匀的平行狭缝。根据夫琅禾费衍射理论，平行光透射到光栅上，每条狭缝都发生衍射，所有狭缝的衍射光有发生干涉，当衍射角符合下列条件时：

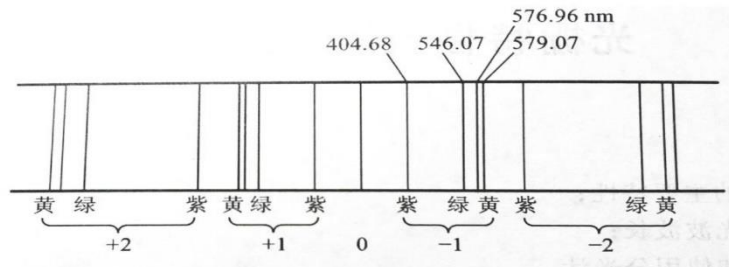
$$d \sin \varphi = K \lambda (L = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

在该衍射方向上的光将会增强，其他方向几乎完全抵消，上式称为光栅方程。式中  $\varphi$  为衍射角， $K$  为级数， $d$  为两条狭缝之间的距离，其倒数成为光栅的空间频率。当一束平行光垂直入射于光栅时，在透镜的后焦面上将出现一系列的谱线，如图一所示。



图一

在  $\varphi = 0$  的方向上出现零级谱线，其他  $\pm 1$ ， $\pm 2$  级谱线出现在零谱线两侧。如果光源中包含几种不同波长的光，对不同波长的光，同一级将有不同的衍射角度  $\varphi$ 。在透镜的焦面上出现按波长次序及谱线级次，自零级开始左右两侧由短波向长波排列的各种颜色的谱线，即为光栅衍射光谱，图二所示汞灯部分谱线



图二

光栅特性研究与光谱波长测定仪可以测出各条谱线的衍射角中。若已知波长，则可以测得光栅常数  $d$ ，若已知光栅常数  $d$ ，则可测得波长。

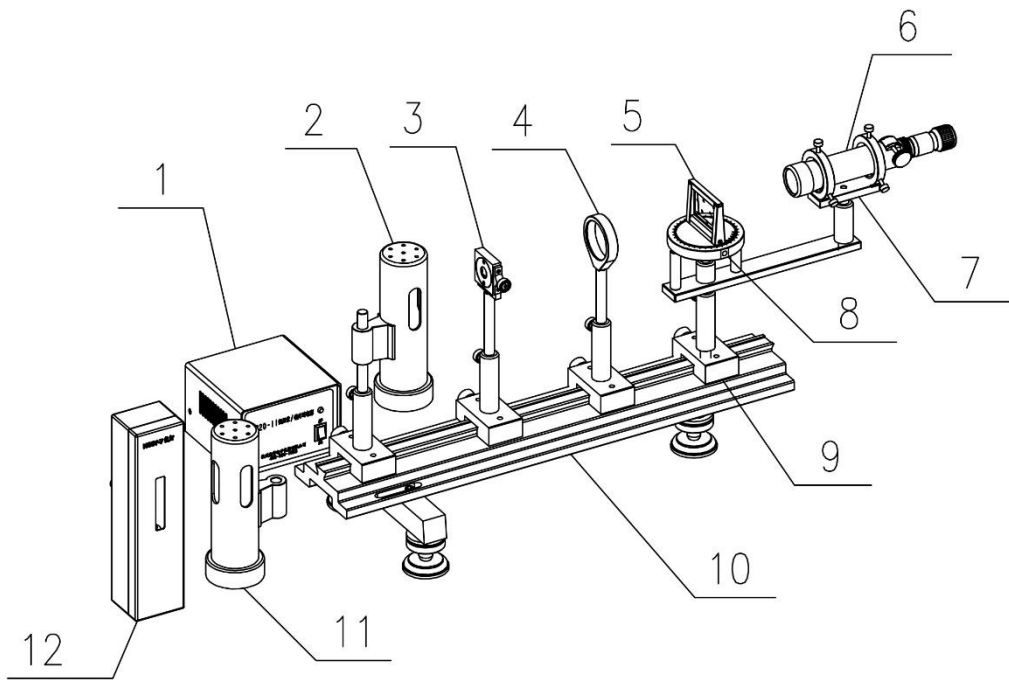
### 三、主要技术指标

#### 1、光学系统基本参数

光学望远镜倍率	7x
物镜焦距 $f$	170mm
物镜圈直径 $\varphi$	33mm
视场	3°22'
目镜焦距 $f$	25mm
准直透镜焦距 $f$	150mm

- 2、旋转工作台角度分度值 2'
- 3、衍射光栅 100 线/mm
- 4、重型光学导轨长 600mm，分度值 1mm，平直度 0.2mm
- 5、钠光灯 输入 220V 输出 15V 1.3A
- 汞光灯 输入 220V 输出 15V 1.3A
- 氢光灯 输入 220V 输出 3KV 5mA

## 四、仪器简介



图三

如图三所示，光栅特性研究与光谱波长测定仪由汞钠灯电源 1，钠灯源 2，可调狭缝 3，准直透镜 4，衍射光栅 5，观察望远镜 6，望远镜调节平台 7，旋转工作台 8，滑块 9，金属导轨 10，汞灯光源 11，氢光谱灯 12 等部件组成

## 五、实验方法

### A、仪器调整

- 1、如图三示意，依次将光谱灯、狭缝、准直透镜、旋转工作台安装于导轨，将衍射光栅置于旋转工作台上，观察望远镜安装于旋转工作台悬臂上。
- 2、利用导轨调平螺钉，将导轨调平锁紧
- 3、仔细调整各部件中心高，使其射出光束为平行光
- 4、前后移动准直透镜，使其射出光束为平行光
- 5、细调狭缝宽度，并使光栅面于光轴垂直，通过观察望远镜就能看到光谱灯谱线

## B、测定光栅常数

以汞灯为光源，测出  $K=\pm 1$  级波长为  $546.07\text{nm}$  绿光的衍射角  $\varphi_{+1}$  和  $\varphi_{-1}$ ，重复测量求平均值，带入求  $d$

## C、测定未知光波波长

选择所要的光谱灯的光源，同样方法测出  $K=\pm 1$  级中的  $\varphi_{+1}$  和  $\varphi_{-1}$ ，重复测量求平均值，带入求  $\lambda$

## 六、注意事项

- 1、仪器不论在使用或存放时，应避免灰尘、潮湿、过冷、过热及含有酸碱碱性气体侵蚀。
- 2、如果仪器光学零件表面有灰尘，可用镜头刷刷去；如果有脏物或油污，可将干净的脱脂棉花卷在小木棒上，蘸上酒精或航空汽油仔细地擦净，但须注意，切勿使小木棒直接接触光学零件表面，以免擦伤。光学零件表面切勿用手触摸，以免油脂、汗迹附着。
- 3、仪器传动系统和读数装置制造精细，调整精密，必须十分小心操作，安全维护，以免影响精度。
- 4、不使用仪器时，应将仪器擦拭干净，放入干燥剂，罩上防护罩或装入箱内。
- 5、衍射光栅放置在旋转工作台上，使用时小心坠落。

## 仪器清单

序号	名称	数量	备注
1	衍射光栅	1 套	
2	观察望远镜	1 套	
3	旋转工作台	1 套	
4	重型光学导轨	1 套	600mm
5	滑块	4 只	
6	可调狭缝	1 套	
7	准直透镜	1 套	
8	汞灯	1 套	



9	钠灯	1 套	
10	汞钠灯电源	1 套	
11	氢光谱灯	1 套	
12	电源线	1 根	
13	使用说明书	1 份	
14	合格证	1 份	
15	保修卡	1 份	

# 实验二：光的偏振与半波片的作用的探究

## 1、实验目的

- 1、测量棱镜材料的折射率
- 2、验证光学马吕斯定律。
- 3、了解波片的作用。
- 4、布儒斯特角的测定。

## 2、实验原理

### 用最小偏向角法测量棱镜材料的折射率。

当一束光斜入射于棱镜表面时，其光路如下图：

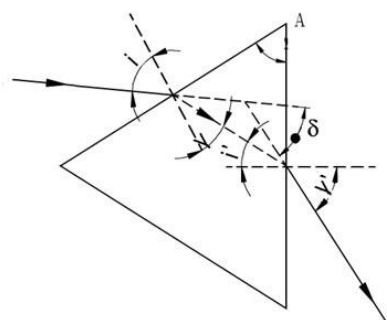


图 1 棱镜折射率测量

根据光的折射定律其偏转角  $\gamma$  为：

$$\sin \gamma = \sin i / n \quad (n \text{ 为材料的折射率}) \quad (1)$$

同理出射角  $\gamma'$  为：  $\sin i' = \sin \gamma' / n$

根据几何关系可以证明入射光与出射光之间的夹角为：  $\delta = i + \gamma' - A$  ，而且  $\delta$  有一个极小值  $\delta_{\min}$  ，可以证明：

当光束偏转角为  $\delta_{\min}$  时，有  $i = \gamma'$  ，  $\gamma = i'$  ；

此时  $\delta = 2i - A$  ，即  $i = (\delta + A) / 2$  ；

而  $A = \gamma + i' = 2\gamma$  , 有  $\gamma = A/2$ ;

带入 (1)式可得:

$$n = \sin[(A + \delta_{\min}) / 2] / \sin(A / 2)$$

因此, 只要我们测量出  $\delta_{\min}$ , 就可得到材料相对于该测量光的折射率  $n$ 。

### 3、偏振光的基本概念

光波是一种电磁波, 它的电矢量  $E$  和磁矢量  $H$  相互垂直, 并垂直于光的传播方向  $C$ 。通常人们用电矢量  $E$  代表光的振动方向, 并将电矢量  $E$  和光的传播方向  $C$  所构成的平面称为光的振动面。在传播过程中, 电矢量的振动方向始终在某一确定方向的光称为平面偏振光或线偏振光, 如图 2a 所示。振动面的取向和光波电矢量的大小随时间作有规律的变化, 光波电矢量末端在垂直于传播方向的平面上的轨迹呈椭圆或圆时, 称为椭圆偏振光或圆偏振光。通常光源发出的光波有与光波传播方向相垂直的一切可能的振动方向, 没有一个方向的振动比其它方向更占优势。这种光源发射的光对外不显现偏振的性质, 称为自然光, 如图 2b 所示。将自然光变成偏振光的器件称为起偏器, 用来检验偏振光的器件称为检偏器。实际上, 起偏器和检偏器是互为通用的。

### 4、利用偏振片验证光学马吕斯定律

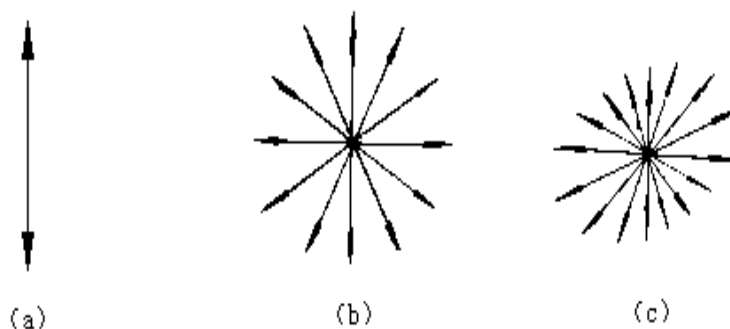


图 2 平面偏振光、自然光和部分偏振光

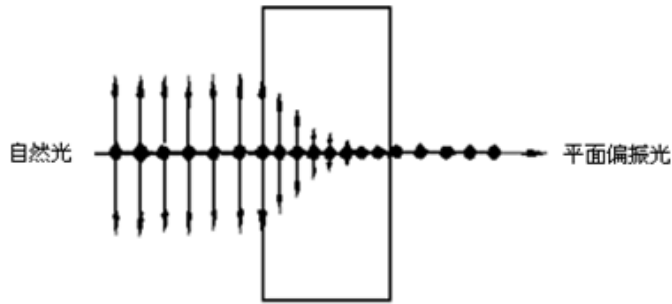


图 3 二向色性起偏

物质对不同方向的光振动具有选择吸收的性质，称为二向色性，如天然的电气石晶体，硫酸碘奎宁晶体等。它们能吸收某方向的光振动而仅让与此方向垂直的光振动通过。如将硫酸碘奎宁晶粒涂于透明薄片上并使晶粒定向排列，就可制成偏振片。当自然光射到偏振片上时，振动方向与偏振化方向垂直的光被吸收，振动方向与偏振化方向平行的光透过偏振片，从而获得偏振光。自然光透过偏振片后，只剩下沿透光方向的光振动，透射光成为平面偏振光（见图 3 所示）。

### 起偏和检偏

马吕斯于 1809 年就在实验上发现了光的偏振现象，确定了偏振光强度变化的规律（即马吕斯定律）。光具有偏振性和光的横波特性的发现，在科学上具有极其重要的意义。它不但丰富了光的波动说的内容，而且具有非常重要的应用价值。

偏振片：在赛璐璐基片上蒸镀一层硫酸碘奎宁的晶粒，基片的应力可以使晶粒的光轴定向排列起来，使得振动电矢量与光轴平行的光可以通过，而与振动电矢量与光轴垂直的光不能通过。用偏振片可以做成各种偏振器，如起偏器和检偏器。

当一束激光照在起偏器上，透射光只在一个平面内偏振。如果这个偏振光入射到第二个检偏器上，入射光的偏振平面与检偏器透光轴垂直，则没有光可以透过检偏器；若起偏器和检偏器成一夹角，则有部分偏振光透过检偏器（如图 4 所示）。

偏振光电场  $E_0$  的该分量  $E$ ，可由下式得出：

$$E = E_0 \cos \phi \quad (2)$$

因为光强度随电场的平方而变化，所以透过检偏器的光强就可由下式得出：

$$I = I_0 \cos^2 \phi \quad (3)$$

这里， $I_0$  是透过起偏器的光强， $\phi$  是两个偏振器的偏振轴之间的夹角。考虑两种极端的情况：如果  $\phi$  等于零，检偏器与起偏器光轴平行， $\cos^2 \phi$  的值等于 1，则透过检偏器的光强

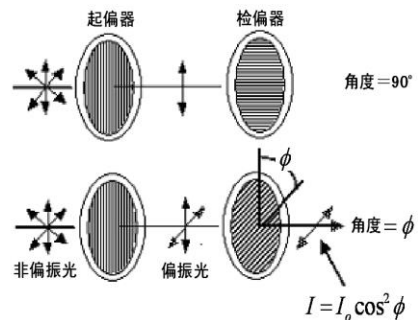


图 4 偏振光的检测示意图

等于透过起偏器的光强度。这种情况下，透射光的强度达到最大值。

如果  $\varphi=90^\circ$ ，检偏器与起偏器的光轴垂直， $\cos^2(90^\circ)$  的值等于 0，则没有光透过第二个偏振器。这种情况下，透射光的强度达到最小值。

若在偏振片  $P_1$  后面再放一偏振片  $P_2$ ， $P_2$  就可以用作检验经  $P_1$  后的光是否为偏振光，即  $P_2$  起了检偏器的作用。当起偏器  $P_1$  和检偏器的偏振化方向间有一夹角，则通过检偏器  $P_2$  的偏振光强度满足马吕斯定律：

$$I=I_0\cos^2\theta \quad (4)$$

当  $\theta=0$  时， $I=I_0$ ，光强最大；当  $\theta=\pi/2$  时， $I=0$ ，出现消光现象；当  $\theta$  为其它值时，透射光强介于  $0\sim I_0$  之间。

## 波晶片

波晶片是从单轴晶体中切割下来的平行平板，其表面平行于光轴。

当一束单色平行自然光正入射到波晶片上时，光在晶体内部便分解为 o 光与 e 光。o 光电矢量垂直于光轴；e 光电矢量平行于光轴。而 o 光和 e 光的传播方向不变，仍都与表面垂直。但 o 光在晶体内的速度为  $v_o$ ，e 光的为  $v_e$ ，即相应的折射率  $n_o$ 、 $n_e$  不同。

设晶片的厚度为  $l$ ，则两束光通过晶体后就有位相差

$$\sigma = \frac{\pi}{\lambda}(n_o - n_e)l \quad (5)$$

式中  $\lambda$  为光波在真空中的波长。 $\sigma = 2k\pi$  的晶片，称为全波片； $\sigma = 2k\pi \pm \pi$  的称为半波片 ( $\lambda/2$  波片)； $\sigma = 2k\pi \pm \frac{\pi}{2}$  为  $\lambda/4$  片，上面的  $k$  都是任意整数。不论全波片，半波片或  $\lambda/4$  片都是对一定波长而言。

以下直角坐标系的选择，是以 e 光振动方向为横轴，o 光振动方向为纵轴。沿任意方向振动的光，正入射到波晶片的表面，其振动便按此坐标系分解为 e 分量和 o 分量。

平行光垂直入射到波晶片后，分解为 e 分量和 o 分量，透过晶片，二者间产生一附加位相差  $\sigma$ 。离开晶片时合成光波的偏振性质，决定于  $\sigma$  及入射光的性质。

### 1、偏振态不变的情形

- (1) 自然光通过波晶片，仍为自然光。
- (2) 若入射光为线偏振光，其电矢量  $E$  平行 e 轴（或 o 轴），则任何波片对它都不起作用，出射光仍为原来的线偏振光。

### 2、 $\lambda/2$ 片与偏振光

(1) 若入射光为线偏振光，且与晶片光轴成  $\theta$  角，则出射光仍为线偏振光，但与光轴成  $-\theta$  角。即线偏振光经  $\lambda/2$  片电矢量振动方向转过了  $2\theta$  角。

(2) 若入射光为椭圆偏振光，则半波片既改变椭圆偏振光长（短）轴的取向，也改变椭圆偏振光（圆偏振光）的旋转方向。

### 3、 $\lambda/4$ 片与偏振光

- (1) 若入射为线偏振光，则出射光为椭圆偏振光。
- (2) 若入射为圆偏振光，则出射光为线偏振光。
- (3) 若入射为椭圆偏振光，则出射光一般仍为椭圆偏振光。

## 5、反射光的偏振特性—布儒斯特角

光的反射、折射光路如下图 5:

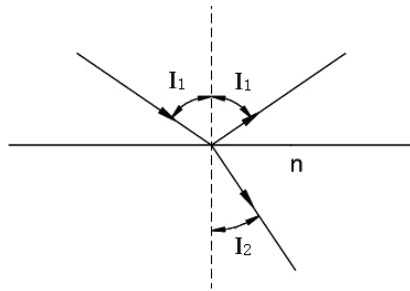


图 5 光的反射与折射

根据麦克斯韦的电磁理论和边值条件，我们可以推导如下关系：

$$E'_p = \tan(I_1 - I_2)E_p / \tan(I_1 + I_2)$$

$$E'_s = \sin(I_1 - I_2)E_s / \sin(I_1 + I_2)$$

其中  $E'_p$  为偏振面平行于入射面的反射光电矢量。

$E_p$  为偏振面平行于入射面的入射光电矢量

$E'_s$  为偏振面垂直于入射面的反射光电矢量。

$E_s$  为偏振面垂直于入射面的入射光电矢量。

分析上式我们发现，由于  $\tan 90^\circ = 0$ ， $E'_p$ ，可能为 0，

及再  $I_1 + I_2 = 90^\circ$  时，反射光中可能不含平行分量，及不管入射光是什么状态，反射光都是线偏振光。

由折射定律：

$$\sin I_1 = n \sin I_2 \quad \text{和} \quad I_1 + I_2 = 90^\circ$$

$\tan I_1 = n$  时，反射光是线偏振光。这就是布儒斯特定律，此时的入射角  $I_1$  我们称为布儒斯特角，它是由材料的折射率决定的。

### 【实验仪器】

光功率计、半导体激光器、起偏器、检偏器、光功率探头、 $\lambda/4$  波片、 $\lambda/2$  波片、精密旋转台、三棱镜以及导轨和光具座等。



图 6 光偏振实验仪器

### 【实验内容】

#### 一、系统的安装与调试

- 1、将半导体激光器、起偏器、检偏器、光功率探头依次安装在光具座上，接通电源，调节光路，使各元件中轴线一致，如图 6 所示。
- 3、旋转起偏器，使激光通过起偏器、检偏器后得到最大光强。调节光功率探头竖直位置以及微调半导体激光器上的水平和垂直调节螺钉，使偏振光全部入射到光功率计探头内，此时光功率显示值最大。

#### 二、实验测量

##### (一) 棱镜材料折射率的测量

- 1) 按下图 7 摆放实验装置。

连接激光器与激光电源，光功率计探头与激光功率计。

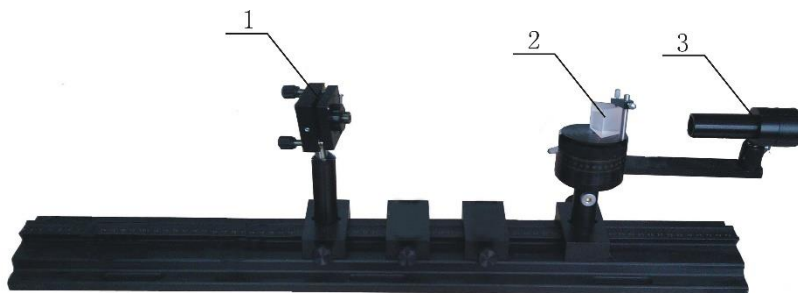
- 2) 打开激光电源，点亮半导体激光器并开启激光功率计。

- 3) 仔细调整棱镜的摆放位置和激光束的方向，使激光光束的一半打在棱镜顶端进入棱镜，另一半从空气中穿过。转动光学转台，观察未进入棱镜的半个光斑的变化，调整棱镜的位置，使直射部分光斑大小的变化尽量小。在转动光学转台的过程中，从棱镜中出射的光斑的偏转角会发生变化，找到偏转角最小的位置。通过光功率计探头，找到两个光斑中功率最大的位置，通过转台上的刻度，读出两者之间的夹角。

将上步的测量值和  $A=60^\circ$  带入公式：

$$n = \sin[(A + \delta_{\min})/2] / \sin(A/2)$$

求出棱镜材料的相对折射率。

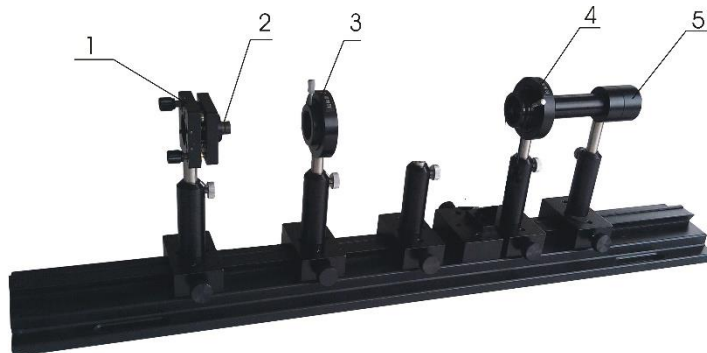


1. 半导体激光器 2. 三棱镜 3. 光功率计探头

图 7 棱镜材料折射率的测量

(二) 验证马吕斯定律

(1) 按图 8 将半导体激光器、起偏器、检偏器、功率计探头安放在光学导轨上，点亮激光器，调节各器件使等高共轴；将功率计探头与光功率计连接起来。



1. 激光器架 2. 激光器 3. 起偏器 4. 检偏器 5. 光功率探头

图 8 马吕斯定律验证实验

(2) 将起偏器和检偏器均转到  $0^\circ$  位置，旋转激光器(半导体激光器发出的是部分偏振光)，使光功率计接收到较大光强(一般选择  $2\text{mW}$  档)，固定激光器；将检偏器  $P_2$  转至  $90^\circ$  位置，转动起偏器  $P_1$  到消光位置，此时光功率计读数最小，固定  $P_1$  (后续所有实验起偏器均固定不变)。实验时，注意杂散光线对实验结果的影响。

(3) 将  $P_2$  转到  $0^\circ$  (此时光强为最大值) 开始测量，每转  $15^\circ$  测量一次光功率的数值  $I$ ，将测量结果记入数据表 1。

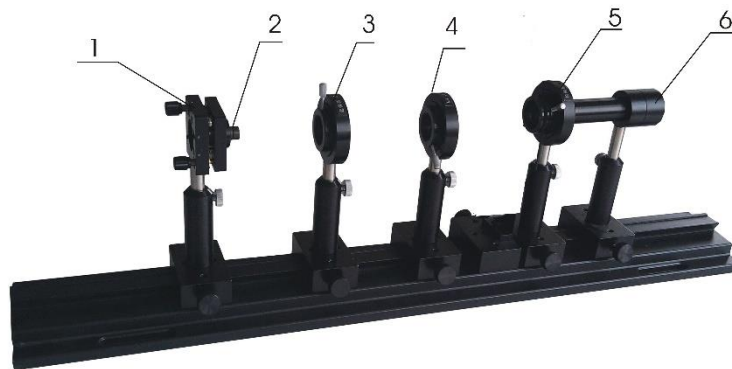
表 1 马吕斯定律测量数据表  $I_{\max} = \underline{\hspace{2cm}}$   $I_{\min} = \underline{\hspace{2cm}}$

$\theta$	$0^\circ$	$15^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$	$75^\circ$	$90^\circ$
$I$							
$\text{Cos}^2\theta$							
$I - I_{\min}$							

(4) 以  $I - I_{\min}$  为纵坐标， $\text{cos}^2\theta$  为横坐标作图。如果图线为通过坐标原点的直线，则表明马吕斯定律已被验证。

(三) 了解波片的作用





1. 激光器架 2. 激光器 3. 起偏器 4. 波片 5. 检偏器 6. 光功率探头

图 9 波片的作用实验

1、先使起偏器和检偏器正交（仅需转动检偏器），然后进行如下实验。

(1) 在两偏振片之间插入  $\lambda/2$  波片，旋转波片  $360^\circ$ ，观察消光的次数并解释这现象。

(2) 将  $\lambda/2$  波片转任意角度，这时消光现象被破坏。把检偏器转动  $360^\circ$ ，观察发生的现象并作出解释。

(3) 仍使起偏器和检偏器处于正交（即处于消光现象时），插入  $\lambda/2$  波片，旋转波片使消光，再旋转波片  $15^\circ$ ，破坏其消光。转动检偏器至消光位置，并记录检偏器所转动的角度。继续将  $\lambda/2$  波片转  $15^\circ$ （即总转动角为  $30^\circ$ ），记录检偏器达到消光所转总角度。依次使  $\lambda/2$  波片总转角为  $45^\circ$ ， $60^\circ$ ， $75^\circ$ ， $90^\circ$ ，记录检偏器消光时所转总角度，将测量数据记入表 2 中。

表 2 考察平面偏振光通过  $\lambda/2$  波片时的数据记录表

半波片转动角度	检偏器转动角度
$15^\circ$	
$30^\circ$	
$45^\circ$	
$60^\circ$	
$75^\circ$	
$90^\circ$	

2、用波片产生圆偏振光和椭圆偏振光

(1) 使起偏器和检偏器正交，用  $\lambda/4$  波片代替

$\lambda/2$  波片，转动  $\lambda/4$  波片使消光。

(2) 再将  $\lambda/4$  波片转动  $15^\circ$ ，然后将检偏器缓慢转动  $360^\circ$ ，观察现象，并分析这时从  $\lambda/4$  波片出来光的偏振状态。

(3) 依次将波片转动总角度为  $30^\circ$ ， $45^\circ$ ， $60^\circ$ ， $75^\circ$ ， $90^\circ$ ，每次将检偏器转动一周，记录所观察到的现象，测量的数据记入表 3 中。

表 3 用波片产生圆偏振光和椭圆偏振光

$\lambda/4$ 波片转动的角度	检偏器转动 $360^\circ$ 观察到的现象	光的偏振性质
$15^\circ$		
$30^\circ$		
$45^\circ$		
$60^\circ$		

75°		
90°		

(4) 在步骤(1)基础上, 将 $\lambda/4$ 波片转动 $15^\circ$ , 旋转检偏器一周, 记录检偏器角度盘读数 $\theta$ 和对应光功率光强 $I$ , 绘制椭圆偏振光 $I-\theta$ 曲线并求出椭圆偏度。

表 4  $\lambda/4$  波片转动  $15^\circ$ , 旋转检偏器得到的  $I-\theta$  数据

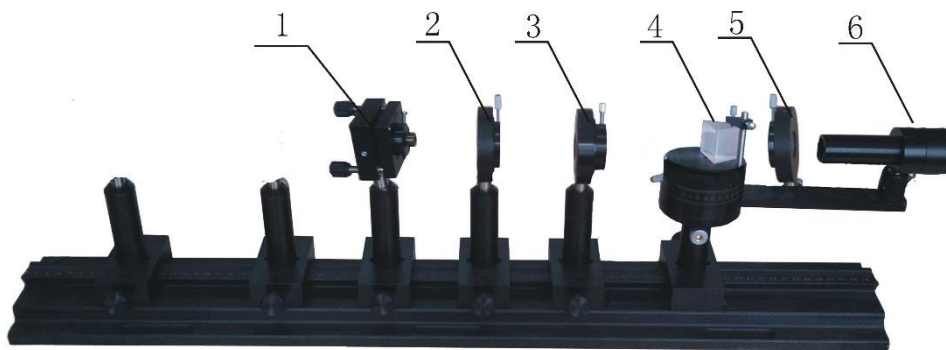
$\theta(^{\circ})$	$I(\text{mW})$	$\theta(^{\circ})$	$I(\text{mW})$	$\theta(^{\circ})$	$I(\text{mW})$	$\theta(^{\circ})$	$I(\text{mW})$

(5) 在步骤(1)基础上, 将 $\lambda/4$ 波片转动 $30^\circ$ , 旋转检偏器一周, 记录检偏器角度盘读数和对应光功率光强, 绘制椭圆偏振光 $I-\theta$ 曲线并求出椭圆偏度。

表 5  $\lambda/4$  波片转动  $30^\circ$ , 旋转检偏器得到的  $I-\theta$  数据

$\theta(^{\circ})$	$I(\text{mW})$	$\theta(^{\circ})$	$I(\text{mW})$	$\theta(^{\circ})$	$I(\text{mW})$	$\theta(^{\circ})$	$I(\text{mW})$

#### (四) 布儒斯特角的测定



1. 半导体激光器 2. 起偏器 3.  $\lambda/4$  波片 4. 三棱镜 5. 检偏器 6. 光功率计探头

图 10 布儒斯特角的测定实验

- (1) 按图 10 所示摆放光学元件, 在光学转动平台上先不摆放三棱镜。
- (2) 开启激光器和光功率计, 调节光学器件使等高共轴, 激光从两个偏振片的中心通过, 进入功率探头。
- (3) 旋转检偏器使激光完全不能通过, 进入消光状态。
- (4) 在检偏器与起偏器之间加入  $1/4$  波片, 这时可能有部分光通过检偏器。
- (5) 旋转  $1/4$  波片, 使系统重新消光。
- (6) 记下消光状态时  $1/4$  波片方位的度数, 并旋转  $45^\circ$ 。
- (7) 得到圆偏振光以后将三棱镜放在载物台上, 转动载物台, 使反射光束原路返回, 记下此时旋转台的位置并以此位置为零度。
- (8) 再次转动旋转台, 用旋转臂追踪反射光斑, 并观察测量反射光的偏振态, 了解入射角与偏振态的关系, 找到反射光为完全线偏振光的位置, 此时的入射角为布儒斯特角。

表 4 布儒斯特角的测定

测定次数	1	2	3	4	5	均值
布儒斯特角						

# 实验三：液晶电光效应的探究

## 一、背景介绍

液晶是介于液体与晶体之间的一种物质状态。一般的液体内部分子排列是无序的，而液晶既具有液体的流动性，其分子又按一定规律有序排列，使它呈现晶体的各向异性。当光通过液晶时，会产生偏振面旋转，双折射等效应。液晶分子是含有极性基团的极性分子，在电场作用下，偶极子会按电场方向取向，导致分子原有的排列方式发生变化，从而液晶的光学性质也随之发生改变，这种因外电场引起的液晶光学性质的改变称为液晶的电光效应。

1888年，奥地利植物学家 Reinitzer 在做有机物溶解实验时，在一定的温度范围内观察到液晶。1961年美国 RCA 公司的 Heimeier 发现了液晶的一系列电光效应，并制成了显示器件。上世纪 70 年代，液晶已作为物质存在的第四态开始写入各国学生的教科书。至今已成为由物理学家、化学家、生物学家、工程技术人员和医药工作者共同关心与研究的领域，在物理、化学、电子、生命科学等诸多领域有着广泛应用。如：光导液晶光阀、光调制器、液晶显示器件、各种传感器、微量毒气监测、夜视仿生等，尤其液晶显示器件早已广为人知，独占了电子表、手机、笔记本电脑等领域。

## 二、实验目的

1. 验证光学马吕斯定律
2. 掌握液晶光开关的基本工作原理
3. 测量液晶光开关的电光特性曲线以及液晶的阈值电压和关断电压
4. 测量驱动电压周期变化时，液晶光开关的时间响应曲线，并由时间响应曲线得到液晶的上升时间和下降时间
5. 测量液晶光开关在不同视角下的对比度，了解液晶光开关的工作条件

### 三、实验原理

#### 1 利用偏振片验证光学马吕斯定律

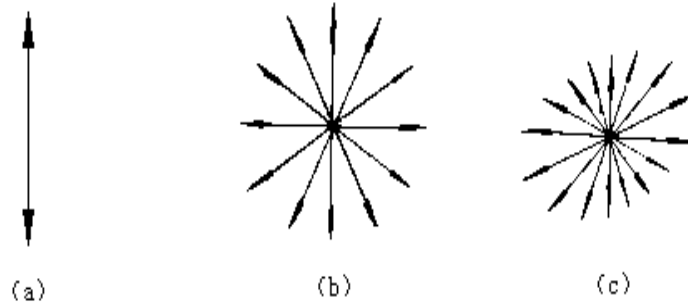


图1 平面偏振光、自然光和部分偏振光

物质对不同方向的光振动具有选择吸收的性质，称为二向色性，如天然的电气石晶体，硫酸碘奎宁晶体等。它们能吸收某方向的光振动而仅让与此方向垂直的光振动通过。如将硫酸碘奎宁晶粒涂于透明薄片上并使晶粒定向排列，就可制成偏振片。当自然光射到偏振片上时，振动方向与偏振化方向垂直的光被吸收，振动方向与偏振化方向平行的光透过偏振片，从而获得偏振光。自然光透过偏振片后，只剩下沿透光方向的光振动，透射光成为平面偏振光（见图2所示）。

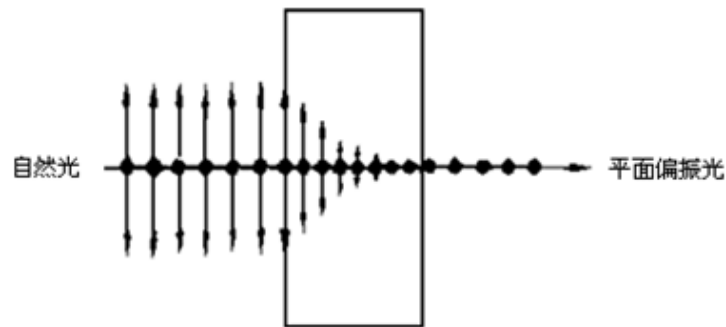


图2 二向色性起偏

#### 1.1 起偏和检偏

马吕斯于1809年就在实验上发现了光的偏振现象，确定了偏振光强度变化的规律（即马吕斯定律）。光具有偏振性和光的横波特性的发现，在科学上具有极其重要的意义。它不但丰富了光的波动说的内容，而且具有非常重要的应用价值。

偏振片：在赛璐璐基片上蒸镀一层硫酸碘奎

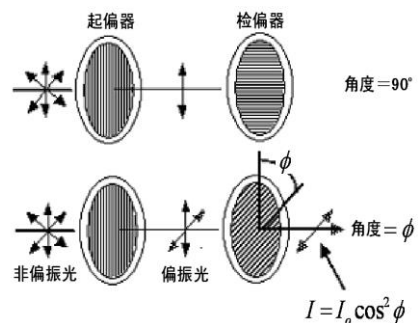


图3 偏振光的检测示意图

宁的晶粒，基片的应力可以使晶粒的光轴定向排列起来，使得振动电矢量与光轴平行的光可以通过，而与振动电矢量与光轴垂直的光不能通过。用偏振片可以做成各种偏振器，如起偏器和检偏器。

当一束激光照在起偏器上，透射光只在一个平面内偏振。如果这个偏振光入射到第二个检偏器上，入射光的偏振平面与检偏器透光轴垂直，则没有光可以透过检偏器；若起偏器和检偏器成一夹角，则有部分偏振光透过检偏器（如图 3 所示）。

偏振光电场  $E_0$  的该分量  $E$ ，可由下式得出：

$$E = E_0 \cos\phi \quad (1)$$

因为光强度随电场的平方而变化，所以透过检偏器的光强就可由下式得出：

$$I = I_0 \cos^2 \phi \quad (2)$$

这里， $I_0$  是透过起偏器的光强， $\phi$  是两个偏振器的偏振轴之间的夹角。考虑两种极端的情况：如果  $\phi$  等于零，检偏器与起偏器光轴平行， $\cos^2 \phi$  的值等于 1，则透过检偏器的光强等于透过起偏器的光强度。这种情况下，透射光的强度达到最大值。

如果  $\phi=90^\circ$ ，检偏器与起偏器的光轴垂直， $\cos^2(90^\circ)$  的值等于 0，则没有光透过第二个偏振器。这种情况下，透射光的强度达到最小值。

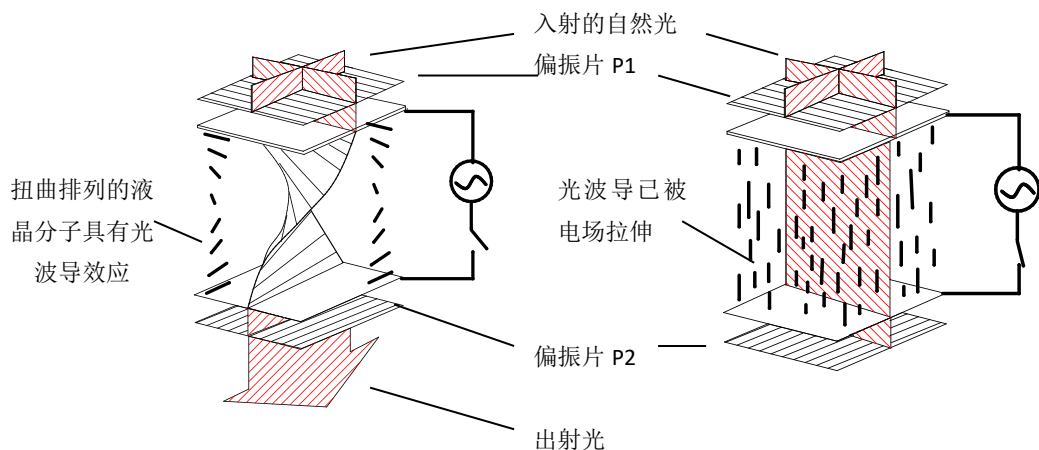
即，若在偏振片  $P_1$  后面放置一偏振片  $P_2$ ， $P_2$  就可以用作检验经  $P_1$  后的光是否为偏振光，即  $P_2$  起了检偏器的作用。当起偏器  $P_1$  和检偏器  $P_2$  的偏振化方向间有一夹角  $\theta$ ，则通过检偏器  $P_2$  的偏振光强度满足马吕斯定律：

$$I = I_0 \cos^2 \theta \quad (3)$$

当  $\theta=0$  时， $I=I_0$ ，光强最大；当  $\theta=\pi/2$  时， $I=0$ ，出现消光现象；当  $\theta$  为其它值时，透射光强介于  $0 \sim I_0$  之间。

## 2. 液晶光开关的工作原理

液晶的种类很多，仅以常用的 TN（扭曲向列）型液晶为例，说明其工作原理。



TN 型光开关的结构如图 4 所示。在两块玻璃板之间夹有正性向列相液晶，液晶分子的形状如同火柴一样，为棍状。棍的长度在十几埃（1 埃 =  $10^{-10}$  米），直径为 4~6 埃，液晶层厚度一般为 5-8 微米。玻璃板的内表面涂有透明电极，电极的表面预先作了定向处理（可用软绒布朝一个方向摩擦，也可在电极表面涂取向剂），这样，液晶分子在透明电极表面就会躺倒在摩擦所形成的微沟槽里；电极表面的液晶分子按一定方向排列，且上下电极上的定向方向相互垂直。上下电极之间的那些液晶分子因范德瓦尔斯力的作用，趋向于平行排列。然而由于上下电极上液晶的定向方向相互垂直，所以从俯视方向看，液晶分子的排列从上电极的沿 -45 度方向排列逐步地、均匀地扭曲到下电极的沿 +45 度方向排列，整个扭曲了 90 度。如图 4 左图所示。

图 4. 液晶光开关的工作原理

理论和实验都证明，上述均匀扭曲排列起来的结构具有光波导的性质，即偏振光从上电极表面透过扭曲排列起来的液晶传播到下电极表面时，偏振方向会旋转 90 度。

取两张偏振片贴在玻璃的两面，P1 的透光轴与上电极的定向方向相同，P2 的透光轴与下电极的定向方向相同，于是 P1 和 P2 的透光轴相互正交。

在未加驱动电压的情况下，来自光源的自然光经过偏振片 P1 后只剩下平行于透光轴的线偏振光，该线偏振光到达输出面时，其偏振面旋转了 90°。这时光的偏振面与 P2 的透光轴平行，因而有光通过。

在施加足够电压情况下(一般为 1~3 伏)，在静电场的作用下，除了基片附近的液晶分子被基片“锚定”以外，其他液晶分子趋于平行于电场方向排列。于是原来的扭曲结构被破坏，成了均匀结构，如图 4 右图所示。从 P1 透射出来的偏振光的偏振方向在液晶中传播时不再旋转，保持原来的偏振方向到达下电极。这时光的偏振方向与 P2 正交，因而光被关断。

由于上述光开关在没有电场的情况下让光透过，加上电场的时候光被关断，因此叫做常通型光开关，又叫做常白模式。若 P1 和 P2 的透光轴相互平行，则构成常黑模式。

液晶可分为热致液晶与溶致液晶。热致液晶在一定的温度范围内呈现液晶的光学各向异性，溶致液晶是溶质溶于溶剂中形成的液晶。目前用于显示器件的都是热致液晶，它的特性随温度的改变而有一定变化。

### 3. 液晶光开关的电光特性

图 5 为光线垂直液晶面入射时本实验所用液晶相对透射率（以不加电场时的透射率为 100%）与外加电压的关系。

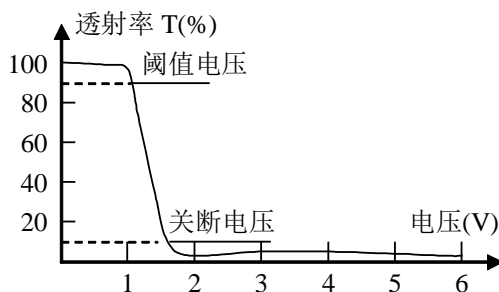


图 5 液晶光开关的电光特性曲线

由图 5 可见，对于常白模式的液晶，其透射率随外加电压的升高而逐渐降低，在一定电压下达到最低点，此后略有变化。可以根据此电光特性曲线图得出液晶的阈值电压和关断电压。

阈值电压：透过率为 90% 时的驱动电压；

关断电压：透过率为 10% 时的驱动电压。

液晶的电光特性曲线越陡，即阈值电压与关断电压的差值越小，由液晶开关单元构成的显示器件允许的驱动路数就越多。TN 型液晶最多允许 16 路驱动，故常用于数码显示。在电脑，电视等需要高分辨率的显示器件中，常采用 STN（超扭曲向列）型液晶，以改善电光特性曲线的陡度，增加驱动路数。

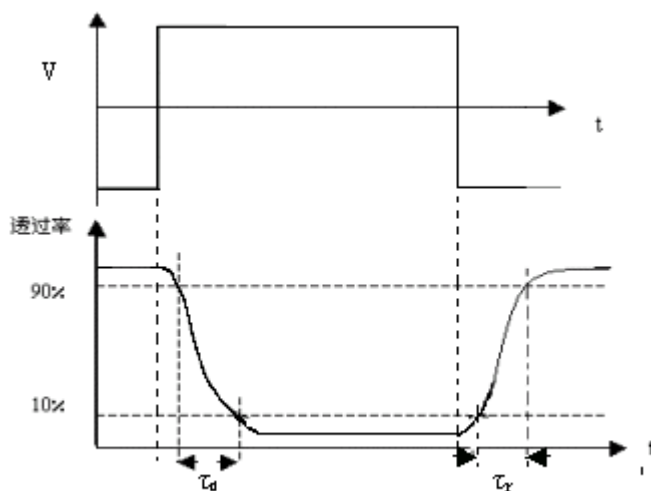


图 6 液晶驱动电压和时间响应图



## 4. 液晶光开关的时间响应特性

加上（或去掉）驱动电压能使液晶的开关状态发生改变，是因为液晶的分子排序发生了改变，这种重新排序需要一定时间，反映在时间响应曲线上，用上升时间  $\tau_r$  和下降时间  $\tau_d$  描述。给液晶开关加上一个如图 6 上图所示的周期性变化的电压，就可以得到液晶的时间响应曲线，上升时间和下降时间。如图 6 下图所示。

上升时间：透过率由 10%升到 90%所需时间；

下降时间：透过率由 90%降到 10%所需时间。

液晶的响应时间越短，显示动态图像的效果越好，这是液晶显示器的重要指标。早期的液晶显示器在这方面逊色于其它显示器，现在通过结构方面的技术改进，已达到很好的效果。

## 5. 液晶光开关的视角特性

液晶光开关的视角特性表示对比度与视角的关系。对比度定义为光开关打开和关断时透射光强度之比，对比度大于 5 时，可以获得满意的图像，对比度小于 2，图像就模糊不清了。

## 四、仪器简介

如图 7 所示，实验仪主要由液晶电光效应实验仪信号源、光功率计、导轨、滑块、半导体激光器、起偏器、液晶样品、检偏器及光功率计探头组成。其中液晶电光效应实验仪信号源包括静态方波发生器、静态方波有效值电压表、动态方波发生器、信号幅度调节电位器、频率计、频率调节旋钮、激光器电源。

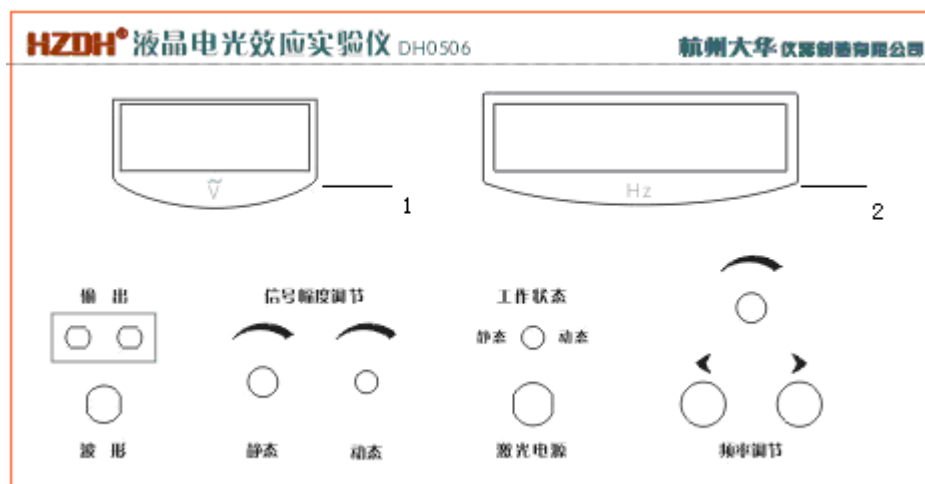


图 7.1 液晶电光效应实验仪 面板

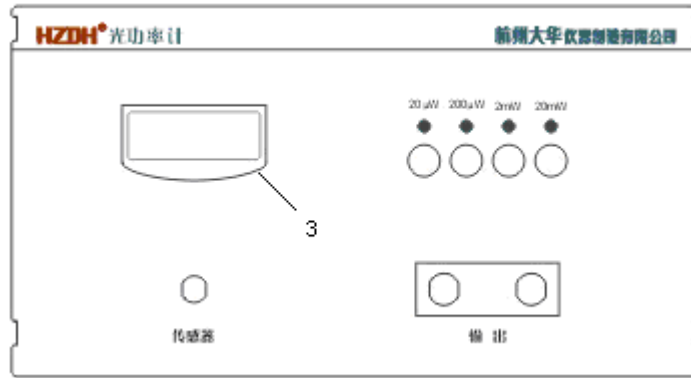


图 7.2 光功率计面板图

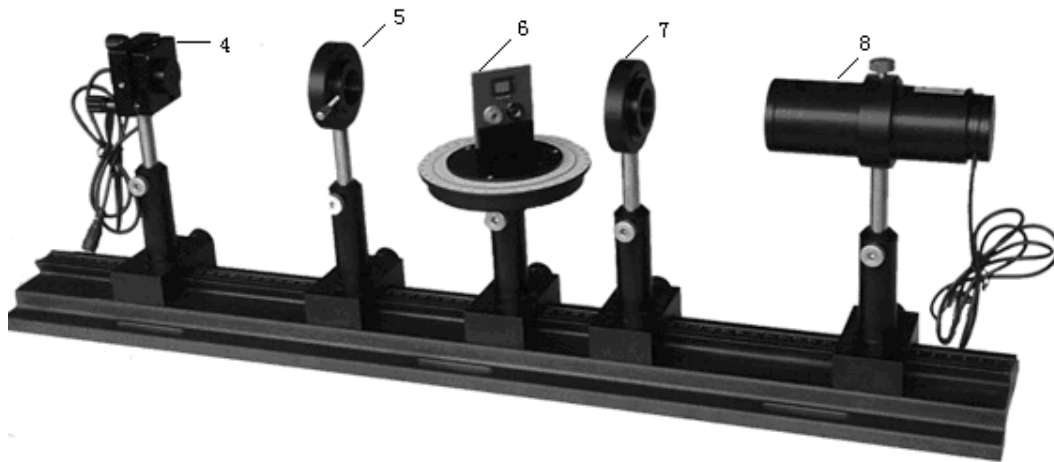


图 7.3 测试架图

1.静态模式下显示输出信号有效值 2.静态模式下显示输出信号频率 3.显示光功率 4. 半导体激光器 5.起偏器 6.液晶样品及旋转盘 7.检偏器 8.光功率计探头

图 8 液晶电光效应实验仪实验装置

## 五、技术指标

- |                |  |
|----------------|--|
| 1. 半导体激光器      | DC 5V 电源,输出 650nm 红光,功率 2mW 左右                 |
| 2. 方波电压 (静态实验) | 0—10V (有效值) 连续可调; 频率范围 100.000-999.999Hz       |
| 3. 方波电压 (动态实验) | $V_{p-p}=2-8V$ ; 频率 2Hz                        |
| 4. 光功率计        | 量程为 0—20 $\mu$ W、0—200 $\mu$ W、0—2mW、0—20mW 四档 |
| 5. 光具座         | 长 75.0cm                                       |
| 6. 液晶样品 1      | 25×27mm (无偏振膜)                                 |

7. 液晶样品 2          25×27mm （有偏振膜）

8. 可选配数字或字符型液晶片演示，有选择的在各段电极上施加电压，就可以显示出不同的图案

## 六、实验内容与步骤

### 1. 验证马吕斯定律

(1) 实验前拉上实验室窗帘，减小杂散光对实验的影响

(2) 导轨上依次放置半导体激光器、起偏器、检偏器、光功率计探头；接通实验仪和光功率计电源，点亮激光器，调节各器件使等高共轴；将光功率计探头与光功率计连接起来。

(3) 光功率计探头的通光孔调整为 8；调整激光器光斑大小，使得光斑为通光孔的一半左右

(4) 取下检偏器，使激光通过起偏器到达光功率计探头，将光功率计选择为 2mw 档，旋转起偏器使光功率计读数至 0.500 以上；插入检偏器，旋转检偏器至完全消光状态，光功率计指示为 0，此时起偏器和检偏器相差  $\theta=90^\circ$ ，记录当前角度时的光强值 I；顺时针旋转检偏器，每隔  $15^\circ$  记录一次光强值，直到转过  $90^\circ$  即  $\theta=0^\circ$ 。

(5) 实验时，注意杂散光线对实验结果的影响，用手挡住激光，若光功率计有读数，则记下该读数  $I_{\min}$ ，每次测量的光强值均减去该值。

表 1 马吕斯定律测量数据表

$\theta$	$0^\circ$	$15^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$	$75^\circ$	$90^\circ$
I							
$\text{Cos}^2\theta$							

(3) 以 I 为纵坐标， $\text{cos}^2\theta$  为横坐标作图。如果图线为通过坐标原点的直线，则表明马吕斯定律已被验证。

### 2. 绘制液晶样品（无偏振膜）电光曲线图、电光响应曲线图

(1) 光学导轨上依次为：半导体激光器—起偏器—液晶样品（无偏振膜）—检偏器—光电探测器。打开半导体激光器，调节各元件高度，使激光依次穿过起偏器、液晶片、检偏器，打在光电探头的通光孔上。

(2) 光功率计选择 2mW 档，此时光功率计显示的数值为透过检偏器的光强大小。取下检偏器，旋转起偏器，使光功率读数达到最大，把检偏器放回原位，旋转检偏器，使检偏器和起偏器相差  $90^\circ$ 。

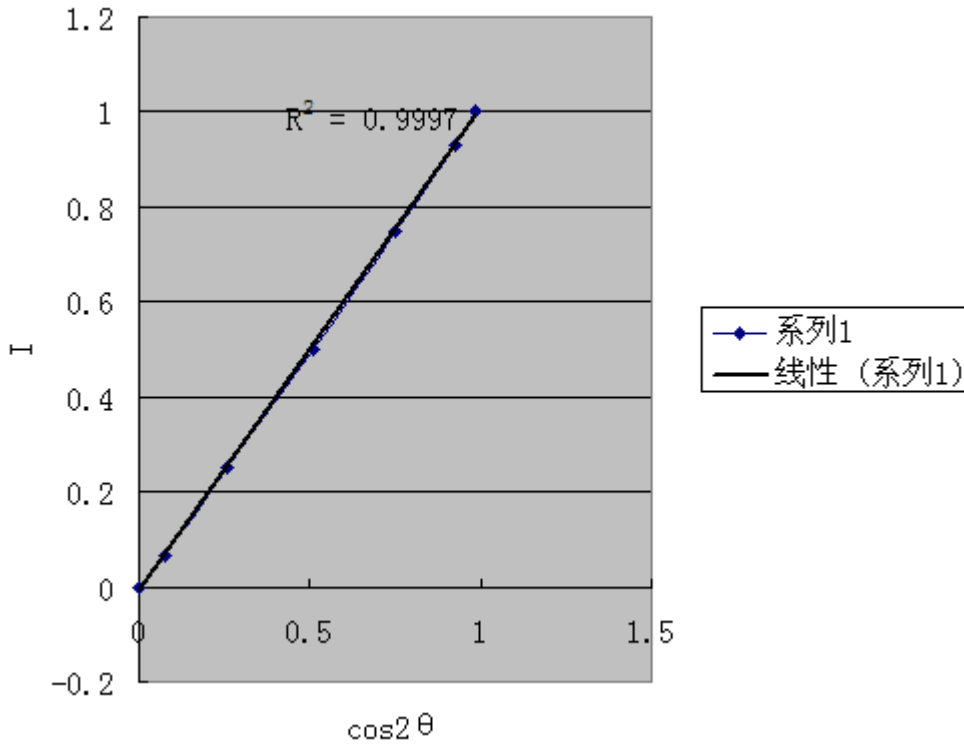
(3) 将液晶样品（无偏振膜）用红、黑导线连接至实验仪“输出”，“工作状态”选择为“静态”，频率设为 100Hz，调节“静态信号幅度调节”电位器，从 0 开始逐渐增大电压，观察光功率计读数变化，电压调至最大值后归零。



【实验数据】（注：以下数据不作为仪器验收标准，仅供实验时参考）

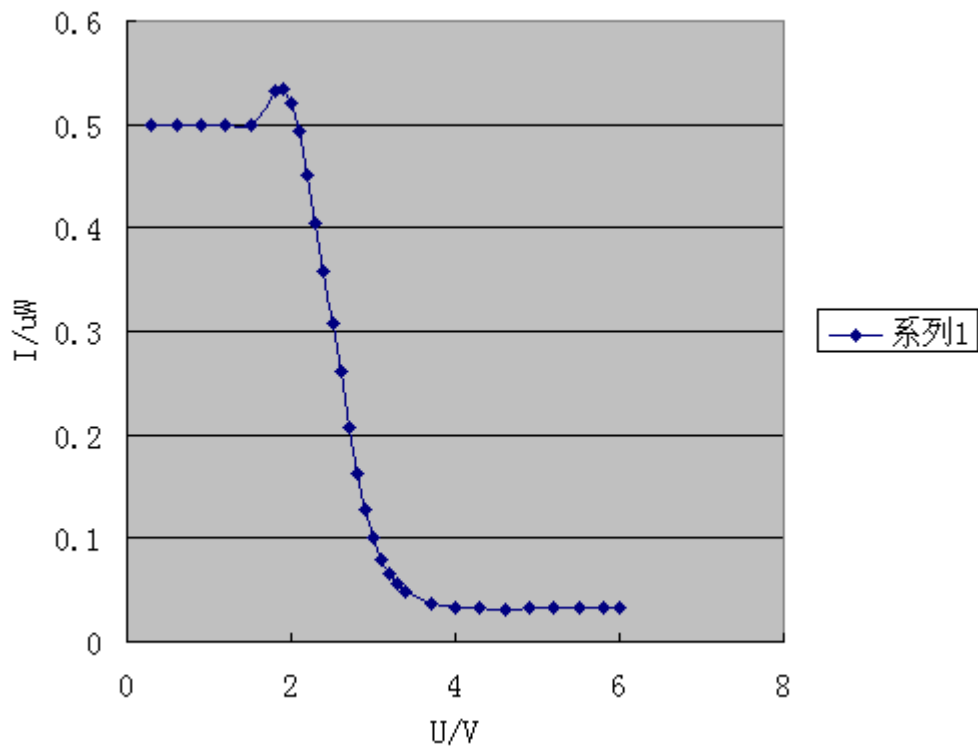
实验一、验证马吕斯定律（光功率计 2mW 档）

$\theta$	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
I	0.985	0.924	0.751	0.510	0.257	0.074	0.002
$\text{Cos}^2\theta$	1	0.931	0.749	0.499	0.25	0.066	0



实验二、电光特性曲线（液晶样品不含偏振膜，光功率籍 2mW 档）

U/V	I/mW	U/V	I/mW	U/V	I/mW	U/V	I/mW
0.3	0.5	2.1	0.493	2.9	0.128	4.3	0.032
0.6	0.5	2.2	0.451	3.0	0.100	4.6	0.031
0.9	0.5	2.3	0.404	3.1	0.079	4.9	0.032
1.2	0.5	2.4	0.358	3.2	0.066	5.2	0.032
1.5	0.499	2.5	0.308	3.3	0.056	5.5	0.033
1.8	0.532	2.6	0.261	3.4	0.048	5.8	0.033
1.9	0.534	2.7	0.208	3.7	0.037	6.0	0.033
2.0	0.520	2.8	0.162	4.0	0.033		



从光电特性曲线图上可得液晶样品的阈值电压为 2.1V，关断电压为 3.4V

实验三、光电响应曲线（液晶样品不含偏振膜），略

实验四、电光特性曲线、光电响应曲线（液晶样品含偏振膜），略

实验五、液晶光电开关的垂直视角响应特性（液晶样品含偏振膜）

角度	-45	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	45
$I_{AX}$	0.512	1.205	0.761	1.575	0.807	0.708	0.703	1.271	0.984	1.095	0.511
$I_{MIN}$	0.109	0.168	0.027	0.011	0.009	0.010	0.008	0.010	0.028	0.124	0.086
$I_{MAX}/I_{MIN}$	4.69	7.17	28.18	143.18	89.66	70.8	87.87	127.1	35.14	8.83	5.94

从实验五数据可知该液晶样品在 20 度左右观察时有最好的清晰度

**注：**液晶样品受温度等环境因素的影响较大，因此每次实验结果有一定出入为正常情况。

# 实验四：衍射光强分布测量与研究

光学是一门古老的学科，在人们探索光的本质的过程中，光学得到不断的发展。光学的发展大体上可划分为几何光学、波动光学和量子光学三个阶段。1801年，托马斯·杨的双缝干涉实验获得了光具有波动性的有力证据，从此光学由几何光学时代进入到波动光学时代，1864年麦克斯韦建立了光的电磁理论，电、磁、光实现了大统一。1905年爱因斯坦提出光子假设，很好地解释了光电效应现象，从此光学进入到量子光学时代。1960年第一台激光器在美国诞生，从此光学进入到飞速发展的时代。激光测量，激光制导，非线性光学，全息光学，光信息处理，光计算机等与“光”相联系的学科不断涌现，光学继电子学之后成为又一个最引人瞩目的科学分支。

## 【预备问题】

1. 衍射现象出现的必要条件是什么？简要描述产生衍射的物理机制。
2. 单缝衍射缝宽改变时（增加或减小），衍射花样如何变化？
3. 双缝和多缝衍射的特点与单缝有何不同，导致衍射花样发生变化的机理是什么？
4. 光栅常数如何确定？它与光谱仪器色分辨率有何关系？
5. 在本实验中测量圆孔衍射的光强分布要注意那些问题？

## 【引言】

波动是自然界中非常普遍的一类运动形式，在力、热、电、光各个领域无处不在。尽管各种波动的具体形态各异，其间却有着惊人的相似性。无论从基本概念、基本原理、还是从数学语言或计算方法等各方面都十分相似。

衍射和干涉都是波动特有的现象，水波、声波和各种波长的电磁波在一定的条件下都会出现衍射现象。通常干涉是指两束波或多束波的叠加，从而在空间形成波的不同强度的分布。衍射是将每束波的波前分成若干个级次子波源，这些子波源发出的波在空间叠加，从而会形成波强度的空间分布图样。

本实验设置了几个基础内容：单缝衍射，双缝衍射，圆孔衍射，以及光栅等，以期实验者在实验之后对光的干涉、衍射现象及其规律和测量方法有所了解，丰富自己的实践经验，提高科学思维能力和实验的动手能力。

衍射系统主要由光源、衍射屏和接收屏构成，一般用它们相互之间距离的远近将衍射分为两类：一类是衍射屏距光源和接收屏均为有限远，称为菲涅耳衍射；另一类是衍射屏距光源和接收屏均为无限远或者相当于无限远，被称之为夫琅和费衍射。这里研究的是夫琅和费衍射实验。



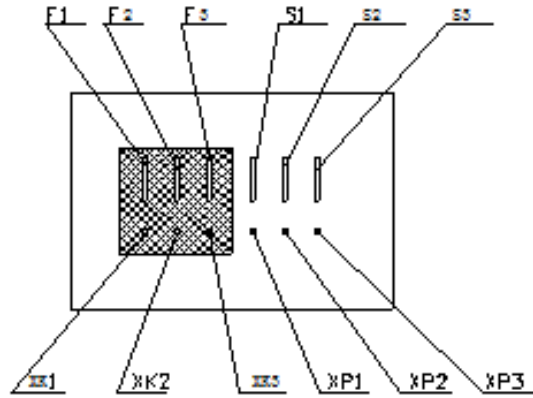


图一 光强分布实验仪

### DHSO-5 光强分布实验仪 成套性

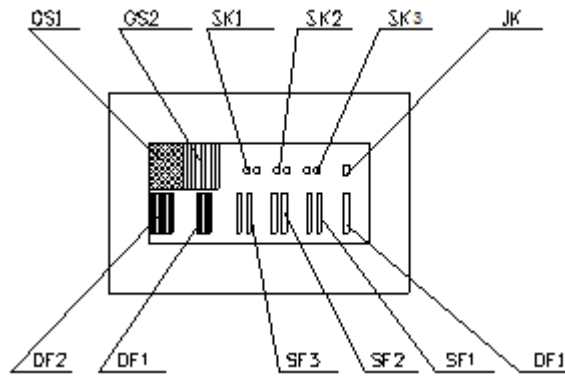
1、光功率计	1 套
2、半导体激光器电源	1 套
3、半导体激光器	1 只
4、分划板	2 片
5、半导体激光器调节架	1 套
6、光强移动台	1 台
7、光功率计探头	1 只
8、二维调节架	1 只
9、白屏	1 只
10、光具座滑块	4 只
11、导轨 1m	1 根
12、卷尺（2 米）	1 只
13、说明书	1 份
14、专用连接线	1 根

附录：分划板参数



图二 分划板 1

单缝: F1:  $a=0.1$       F2:  $a=0.2$       F3:  $a=0.3$   
 单丝: S1:  $a=0.1$       S2:  $a=0.2$       S3:  $a=0.3$   
 小孔: XK1:  $\varphi=0.2$       XK2:  $\varphi=0.3$       XK3:  $\varphi=0.4$   
 小屏: XP1:  $\varphi=0.2$       XP2:  $\varphi=0.3$       XP3:  $\varphi=0.4$



图三 分划板 2

光栅: GS1: 纵横均为 50 条/mm;      GS2: 纵向 50 条/mm;  
 双孔 ( $\varphi=0.2$ ): SK1:  $d=0.25$       SK2:  $d=0.32$       SK3:  $d=0.4$   
 矩孔: JK  $a=0.12, b=0.2$   
 单缝: DF1:  $a=0.08$  (右下 1)  
 双缝: SF1:  $a=0.08, d=0.16$ ;      SF2:  $a=0.08, d=0.20$ ;      SF3:  $a=0.06, d=0.10$ ;  
 多缝: DF1: 4 缝  $a=0.06, d=0.1 \times 4$ ;      DF2: 9 缝  $a=0.06, d=0.1 \times 9$ ;

## 实验 4.1 单缝衍射的实验观测和研究

### 【实验目的】

观测单缝衍射现象，研究激光通过单缝形成的衍射图样的光强分布和规律。

### 【实验原理】

用散射角极小准直性很好的激光做光源，照在一个宽度可调的竖直单缝上，在离狭缝较远的距离放置一接收屏，转动手轮收缩缝宽可以在屏上观察到一组衍射图样，从 (a) 到 (d) 对应狭缝的宽度由大到小收缩变化，

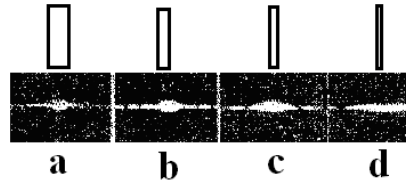


图1.1 不同宽度单缝的衍射图样

中心亮条纹由小到大向左右两侧水平展开，同时出现一系列明暗相间的结构，（如图 1.1.所示），它实际上就是夫琅和费衍射条纹。

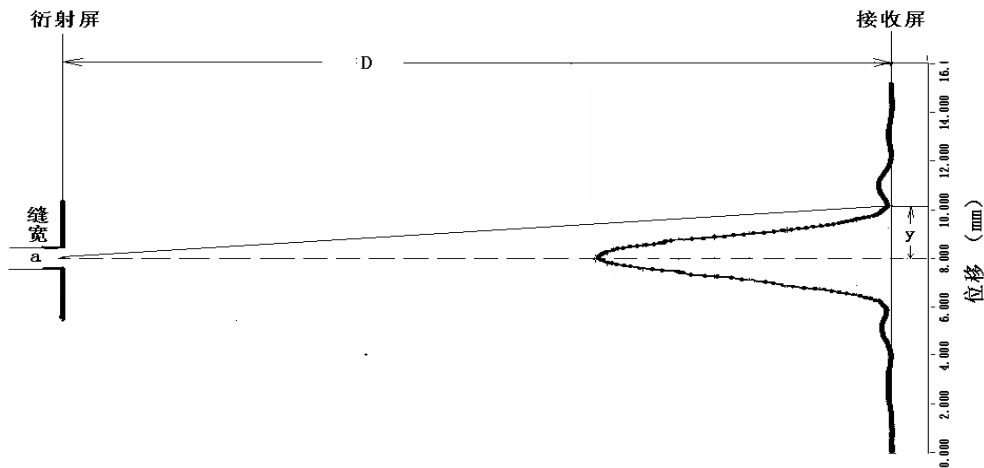


图 1.2 实验观察到的单缝衍射的光强分布图

当光通过一狭缝时会产生衍射光，衍射图样中的极小值对应的角度由下式给出：

$$a \sin \theta = m\lambda \quad (m = 1, 2, 3, \dots) \quad (1.1)$$

这里  $a$  表示缝宽， $\theta$  表示图样中心到第  $m$  级极小间的夹角， $\lambda$  表示光的波长， $m$  表示级次见图 1.2 所示。通常因为衍射角度较小，可以假设： $\sin \theta \approx \tan \theta$ ，根据三角关系有：

$$\tan \theta = \frac{y}{D} \quad (1.2)$$

$$a = \frac{m\lambda D}{y} \quad (m = 1, 2, 3, \dots) \quad (1.3)$$

这里  $a$  为狭缝宽度， $m$  为衍射级次， $y$  表示衍射中心到第  $m$  级极小间的距离， $D$  表示从狭缝到光电传感器的距离，单缝衍射的如图所示。其光强分布的理论公式为：

$$I = I_0 \frac{\sin^2 u}{u^2} \quad (1.4)$$

其中 
$$u = \frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}$$

式中  $a$  为单缝的宽度， $\lambda$  为光的波长， $\theta$  为衍射角， $I_0$  为正入射（即  $\theta = 0$ ）时的入射光强， $\frac{\sin^2 u}{u^2}$  被称为单缝衍射因子，表征衍射光场内任一点相对光强（即  $\frac{I}{I_0}$ ）的强弱。

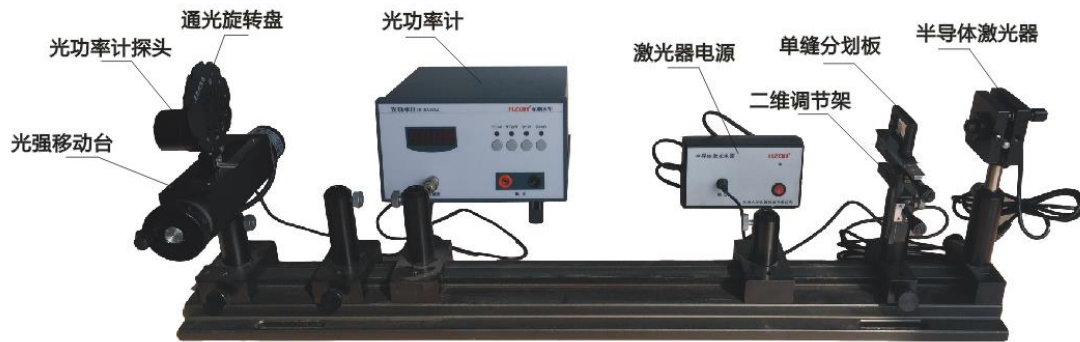


图 1.3 单缝衍射实验（分划板）

### 【实验内容】

## 一、夫琅和费单缝衍射的观察与测量

- 1、 选用半导体激光器、分划板（单缝单元）或者可调狭缝、二维调节架（用于放置分划板）、光强移动台、白屏、光功率计和光功率计探头（**狭缝滤光**）及光具座组装测量装置。将光功率计探头放置于光强移动架上，调节半导体激光器、分划板（单缝）或者可调狭缝、光功率计探头之间的位置，接通激光器电源，调节光路，使测量系统等高和共轴。选择分划板上某一狭缝（比如 0.2），从接收白屏上观测到清晰的单缝衍射图样后，从光学导轨上取下白屏，调节光强移动台和激光器架，使衍射光斑照在光功率探头前的入射狭缝上（通光旋转盘选择 0.35 狭缝滤光孔）。
- 2、 将光功率计探头与光功率计连接起来，开启电源并选择合适档位。
- 3、 用卷尺多次测量狭缝到光功率计探头的距离，计算其平均值  $\bar{D}$ 。
- 4、 调节光强移动平台，使光功率计探头处于适当的位置（一般在衍射级次  $m \geq 5$ ）；然后通过光强移动台手轮缓慢调节光功率计探头的水平位置，接收不同位置的光强信号，进行

- 实时测量，使衍射斑光强的极大值依次通过光功率探头（光电传感器），测量的相对光强从光功率计中读出，每移动 0.05 或 0.1mm 记录一次数据，数据记录在表格 1.1 中。
- 5、把水平位移值作为 x 轴，相对光强作为 y 轴，作出光强随位移变化的曲线图。

## 二、改变缝宽，测量光强随位置变化的曲线图

- 1、观测不同缝宽时，衍射光强分布的特点与规律。
- 2、计算各种缝宽时，各衍射级次的相对光强。
- 3、比较理论计算值和实际测量值，分析误差的主要来源。

## 三、实验数据处理

- 1、用表1.1的数据，以横坐标值为x轴，光强值为y轴，作出单缝衍射图像：**建议学生把测得的实验数据输入到Excel上，然后自动生成曲线图。**
- 2、从表1.1中或者从表格1.1所描绘的曲线中找出衍射一级极小填入表格1.2中，分别记下衍射中心左侧（横坐标值 $X_L$ ）和右侧（横坐标值 $X_R$ ）一级极小的横坐标绝对值和光强值（衍射中心为坐标0点）。
- 3、用同级次条纹间的距离除以2，求得从图样中心到第一级极小的距离： $\frac{X_L + X_R}{2}$ 。
- 4、计算激光波长，误差大小以及分析误差来源。

表1.1 单缝衍射的测量数据记录：

数据编号	横坐标值 (x)，单位：mm	光强值(y),单位：V
1	40.05	..
2	40.1	..
3	40.15	..
..	..	..

表1.2 单缝衍射的测量数据记录：

缝到传感器接收头的距离	1	2	3	平均值 $\bar{D}$ (cm)
一级极小	衍射中心左侧		横坐标值( $X_L$ )	光强值
	衍射中心右侧		横坐标值( $X_R$ )	光强值

	角宽度 $\theta$	
单缝缝宽 (mm)		
计算激光的波长 (nm)		

## 四、用单缝衍射原理进行缝宽测量

1、根据上述实验，把激光波长  $\lambda$  当成定值，通过衍射图象来对未知缝宽进行测量，记录实验数据并做误差分析。

2、思考如何对细丝的直径进行测量？

## 实验 4.2 夫琅和费双缝衍射

### 【实验目的】

观测双缝衍射的实验现象，研究激光通过双缝形成的干涉图样的光强分布规律。讨论该现象和规律蕴涵的物理意义和可能的应用领域。

### 【实验原理】

激光通过双缝衍射屏时，每一条狭缝都会各自产生一套单缝衍射的图样，单缝衍射的图样如图 2.1 所示，其单缝衍射的图样的光强分布满足公式 (1.4) 函数形式。由于两条狭缝宽度相同，且相互平行，故两条狭缝衍射的光强分布完全相同。因为狭缝都是同一单色光源照明，所以从两条狭缝射出的光波的叠加是相干叠加，他们之间还要产生干涉（如图 2.2 所示）。由杨氏双缝干涉公式可知，双缝干涉的强度分布为：

$$I = 2I_1(1 + \cos \delta) = 4I_1 \cos^2 \frac{\delta}{2} \quad (2.1)$$

式中  $I_1$  是单独一条狭缝在接收屏上某一点的光强， $\delta$  是从两个狭缝的中心分

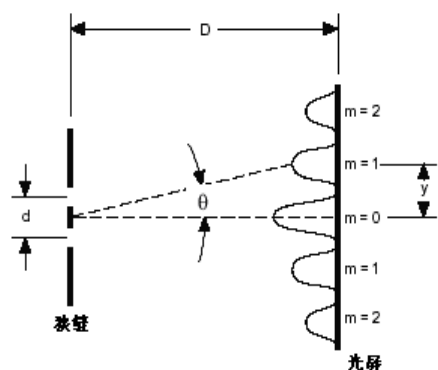


图 2.1 单缝衍射图样

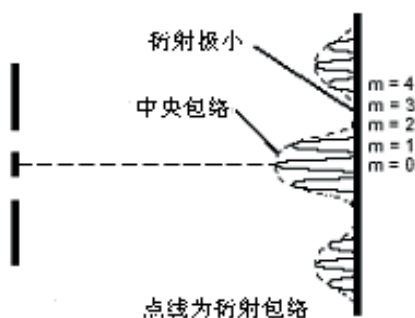


图 2.2 双缝衍射光强分布图

别到接受屏上 P 点的相位差，相位差  $\delta$  可表示为：

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta$$

这里  $d$  表示狭缝中心间距 ( $d = a + b$   $a$  是狭缝的宽度,  $b$  是两狭缝最近邻边的距离)。

干涉条纹中的极大 (亮条纹) 对应的角度可由下式给出：

$$d \sin \theta = \frac{\delta \lambda}{2\pi} = m\lambda \quad (m = 1, 2, 3, \dots) \quad (2.2)$$

式中  $\theta$  表示从干涉图样中心到第  $m$  级极大之间的夹角,  $\lambda$  表示光的波长,  $m$  表示级次 (从中心向外计数, 0 对应中央极大, 1 对应第一级极大, 2 对应第二级极大, ...), 见图 2.1 和图 2.2。通常因为角度较小, 可以假设:  $\sin \theta \approx \tan \theta$

根据三角关系,

$$\tan \theta = \frac{y}{D}$$

这里  $y$  表示在屏上从图样中心到第  $m$  级极大间的距离,  $D$  表示从狭缝到屏的距离, 如图 2.2 所示。所以可得缝间距为:

$$d = \frac{m\lambda D}{y} \quad (m = 1, 2, 3, \dots) \quad (2.3)$$

用单缝衍射的强度公式 (1.4) 代入公式 (2.1) 中, 可得到双缝衍射的光强分布:

$$I = 4I_0 \frac{\sin^2 u}{u^2} \cos^2 \frac{\delta}{2} \quad (2.4)$$

## 【实验内容】

### 一、观测双缝干涉的光强分布

- 1、将单缝实验上的分划板（单缝单元）换成分划板（双缝单元），并调整位置，使各组件等高和共轴，选择分划板上某一缝距和缝宽的双缝。
- 2、多次测量狭缝到屏的距离D，记录于表2.2 中。
- 3、调节光强移动平台，使光功率探头处于适当的位置（一般在衍射级次  $m \geq 5$ ）；然后通过光强移动台上的手轮缓慢调节光功率探头的水平位置，进行实时测量，使衍射斑光强的极大值依次通过光功率计探头（通光旋转盘选择 0.35 狭缝滤光孔），测量的相对光强从光功率计中读出，每移动 0.05 或 0.1mm 记录一次数据，数据记录在表格 2.1 中。
- 4、把水平位置作为 x 轴，相对光强作为 y 轴，作出光强随位置变化的曲线图。

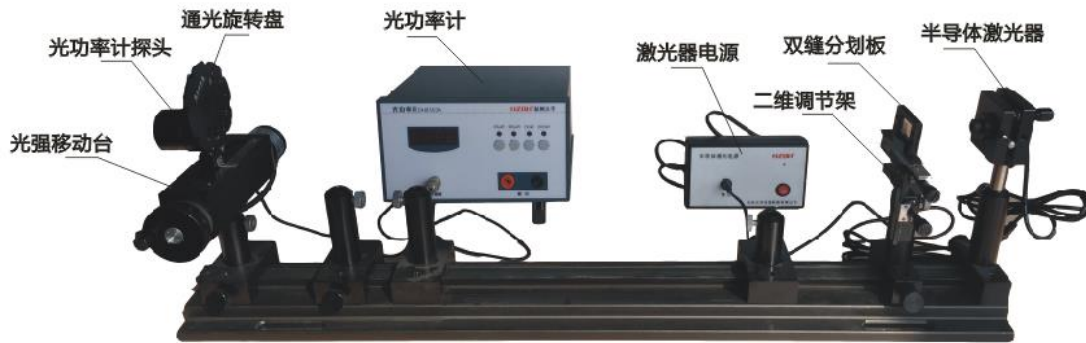


图 2.3 双缝衍射实验

### 二、实验数据处理

- 1、用表2.1中的数据，以横坐标值为x轴，光强值为y轴，作出单缝衍射图像；**建议学生把测得的实验数据输入到Excel上，然后自动生成曲线图。**
- 2、从表2.1中或者从表格2.1所描绘的曲线中找出衍射一级极大，二级极大填入表格2.2中，分别记下衍射中心左侧（横坐标值 $X_L$ ）和右侧（横坐标值 $X_R$ ）一级极大与二级极大的横坐标绝对值和光强值（衍射中心为坐标0点）。
- 3、从表格2.2中，用同级次条纹间的距离除以2，即  $\frac{X_L + X_R}{2}$ ，求得从图样中心到第一级和第二级极大的距离。
- 4、利用激光波长、一级极大和二级极大计算两次实验缝距，记录于表2.2中。
- 5、将计算所得的缝距与所选的缝距标称值进行比较，计算相对不确定度。

表2.1 双缝衍射的测量数据记录：

数据编号	横坐标值 (x)，单位：mm	光强值(y),单位：V
1	40.05	..



2	40.1	..
3	40.15	..
..	..	..

表 2.2 双缝衍射测量数据表格

缝到传感器接收头的距离	1	2	3	平均值 $\bar{D}$ (cm)
	选择缝距 (mm)			
一级极大	衍射中心左侧		横坐标值( $X_L$ )	光强值
	衍射中心右侧		横坐标值( $X_R$ )	光强值
角宽度 $\theta$				
计算所得缝距(mm)				
二级极大	衍射中心左侧		横坐标值( $X_L$ )	光强值
	衍射中心右侧		横坐标值( $X_R$ )	光强值
角宽度 $\theta$				
计算所得缝距(mm)				

备注：实验图片仅作参考，请以实物为准。

## 实验 4.3 光栅衍射（夫琅和费多缝衍射）

### 【实验目的】

观察光栅衍射现象，研究光栅衍射规律以及探究光栅的应用。

**【实验原理】**

光栅的衍射即为夫琅和费多缝衍射，与双缝衍射类似，它包含了单缝衍射和多缝干涉两个方面，体现了典型的分波阵面多光束干涉的特性（如图3.1所示）。相邻两缝的中心距离为 $d$ ，相邻两狭缝中心到接收屏P点的相位差 $\delta$ 为：

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta$$

因入射波面被多缝分割，每条狭缝成为一子波源，P点的光振幅应为多条狭缝在P点振幅的叠加，设每条狭缝对P点的贡献均相同，记为C，但各狭缝在P点产生的振动依次有位相差 $\delta$ ，N个有位相差 $\delta$ 的小矢量 $\vec{a}$ 相加，可得P点的合振幅为：

$$A = a \frac{\sin \frac{N\delta}{2}}{\sin \frac{\delta}{2}} \quad (3.1)$$

需要强调的是，此时 $\delta$ 并非小量，故 $\sin \frac{\delta}{2}$ 不能近似为 $\frac{\delta}{2}$ ，式(3.1)是多缝干涉的结果，考虑到单缝衍射因子的调制作用，多缝的远场衍射光强分布为：

$$I = I_0 \frac{\sin^2 u}{u^2} \left( \frac{\sin \frac{N\delta}{2}}{\sin \frac{\delta}{2}} \right)^2 \quad (3.2)$$

其中： $u = \frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}$ ； $\delta = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta$ ；当狭缝数N（大约为： $10^2 - 10^3$ 条）非常大时主极大非常细，这是多光束干涉的重要特征。

当 $\delta = 2k\pi$ 时，干涉为主极大，此时：

$$d \sin \theta = m\lambda \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (3.3)$$

公式(3.3)被称为光栅方程,其中d为光栅常数， $\lambda$ 为光的波长， $\theta$ 为衍射角。光栅作为光栅光谱仪的关键元件，直接影响到光谱的分辨率，光谱线的角半宽 $\delta\theta$ （见图3.2所示）为：

$$\delta\theta = \frac{\lambda}{Nd \cos \theta_k} \quad (3.4)$$

能分辨的最小角度差为：

$$\Delta\theta = \frac{m}{d \cos \theta_k} \Delta\lambda \quad (3.5)$$

仪器能分辨最小波长差 $\Delta\lambda$ 的能力，决定了仪器的分辨率，这种分辨率称之为色

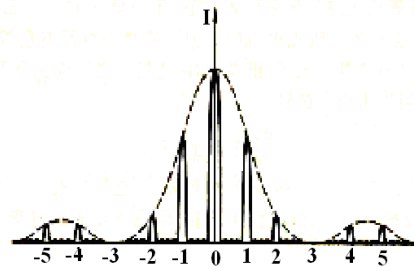


图 3.1 多缝衍射图样的光强分布

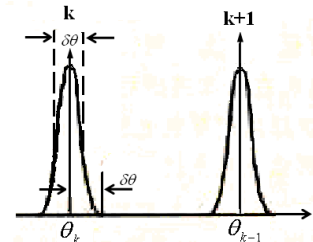


图 3.2 谱线的角半宽

分辨率。

光谱仪器的色分辨率定义为：

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \quad (3.6)$$

将光的波段推广到 X 射线，周期性排列的原子结构就是很好的三维光栅，布拉格对晶体的 X 射线做了深入的研究，并将光栅衍射公式 (3.3) 运用到晶体的微观结构分析之中。

$$d \sin \theta = m\lambda \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

此式又称为布拉格衍射公式，式中  $\lambda$  为 X 射线的波长， $d$  为晶格常数。由此可知，只要知道 X 射线的波长，由 X 射线衍射的强度分布就可以得出晶体的晶格常数，或者说就可得知晶体微观结构的相关信息。

#### 【实验内容】

- 1、将半导体激光器、分划板（光栅单元）、接收屏安放在光学道轨上，调节它们的高低和方向，使它们同轴。
- 2、调节半导体激光器、光栅、接收屏的位置。
- 3、接通半导体激光器的电源，通过调节半导体激光器后面的调节螺钉使光束通过光栅中心。
- 4、通过接收屏观测光栅衍射图样，并记录相关图像。
- 5、通过图像测量相关光栅常数。

## 实验 4.4 夫琅和费圆孔衍射

#### 【实验目的】

观察圆孔衍射现象，研究圆孔衍射规律。

#### 【实验原理】

大多数光学仪器中所用的透镜或光阑通常都是圆形的，而且大多数都是通过平行光或近似的平行光成像的，所以夫琅和费圆孔衍射与光学仪器的像分辨有着密切的关系。

由于圆孔衍射是个二维问题，需要用惠更斯—菲涅耳积分式来计算衍射屏上的光强分布。夫琅和费圆孔衍射的光强分布的计算公式为：

$$I_p = I_0 \left[ 1 - \frac{1}{2}k^2 + \frac{1}{3} \left( \frac{k^2}{2!} \right)^2 + \frac{1}{4} \left( \frac{k^3}{3!} \right)^2 + \dots \right] = I_0 \frac{J_1^2(2k)}{k^2} \quad (4.1)$$

式中  $k = \frac{\pi r \sin \theta}{\lambda}$ ， $r$  为衍射圆孔半径， $\theta$  为衍射角， $J_1(2k)$  为贝赛尔函数，

贝赛尔函数对任意  $k$  值是均匀收敛的。图 4.1 给出了夫琅和费圆孔衍射的光强分布，由此图可知，衍射中央极大值的位置是： $\theta_0 = 0$ ；次级大的位置分别为：

$\theta_1 = 0.819 \frac{\lambda}{r}$ ； $\theta_2 = 1.333 \frac{\lambda}{r}$ ；...。主极大与次级大的相对光强分别为：

1.0000；0.0175；0.0042；...。第一极小位置为： $\sin \theta = 0.61 \frac{\lambda}{r}$ ，衍射图样是一组明暗相间的同心圆环，中央亮斑被称为爱里斑，其光强占整个入射光强的 84%，爱里斑的角宽度为：

$$\Delta \theta \approx \sin \theta = 0.61 \frac{\lambda}{r} = 1.22 \frac{\lambda}{d} \quad (4.2)$$

式中  $d$  为圆孔的直径，与单缝衍射中央极大的角半宽相比，除了反映几何形状的因子 1.22 外，其物理实质是一致的，孔径  $d$  越小，衍射效应就越大。

#### 【实验内容】

- 1、将半导体激光器、分划板（圆孔单元）、接收屏安放在光学道轨上，调节它们的高低和方向，使它们同轴。
- 2、选择圆孔模板上的一圆孔做圆孔衍射实验。
- 3、接通半导体激光器的电源，通过调节半导体激光器后面的调节螺钉使光束通过圆孔。
- 4、通过接收屏观测圆孔衍射图样，并记录相关图象。
- 5、改变圆孔大小，观测衍射现象，并分析其衍射的图样变化的原因。

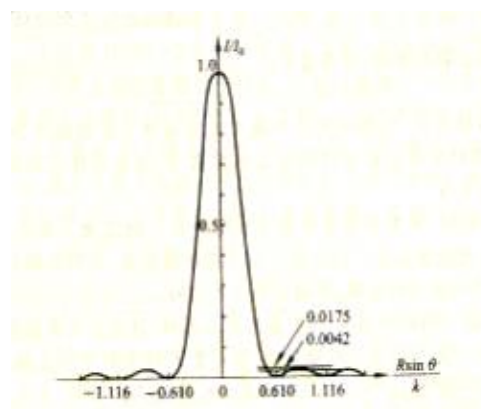
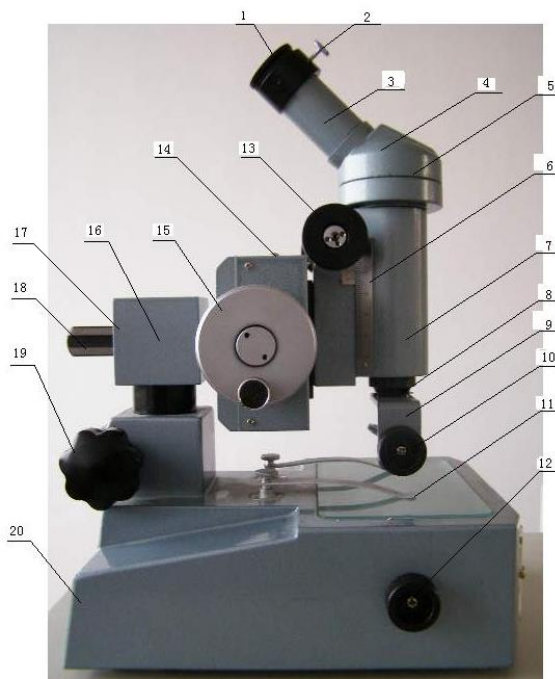


图 4.1 夫琅和费圆孔衍射的光强分布

# 实验五： 牛顿环干涉与光学显微镜的应用研究



图(一) KF-JCD3 分光计示意图

1、目镜 2、锁紧螺钉 3、目镜镜筒 4、棱镜室 5、锁紧螺钉 6、刻尺 7、镜筒 8、物镜组 9、45° 反射镜组 10、反射镜旋轮 11、压片 12、反光镜旋轮 13、调焦手轮 14、标尺 15、测微鼓轮 16、锁紧手轮 I 17、接头轴 18、方轴 19、锁紧手轮 II 20、底座

## 一、主要技术性能及规格

### 1、光学系统性能

物镜		目镜	
放大倍数	焦距(毫米)	放大倍数	焦距(毫米)
3×	41.47	10×	24.99
显微镜放大倍数		工作距离(毫米)	视场直径(毫米)

30×	54.06	4.8
-----	-------	-----

2、机械结构：主轴通过滚动轴承固定，直线油性轴承转动。

3、测量范围

纵向 50 毫米，最小读数值 0.01 毫米；升降方向 40 毫米，最小读数值 0.1 毫米。

4、测量精度：纵向测量精度为 0.02 毫米。

5、观察方式：45°斜视。

6、仪器外形尺寸：205×175×(290-340)（毫米）

## 二：仪器介绍

KF-JCD3 型读数显微镜是我公司专门设计制造。充分考虑到用户的使用要求及综合读数显微镜的生产经验，采用了精密轴承转动，使本产品的结构更合理，性能更趋完美，是目前高等院校和中等学校用于基础物理实验的必备设备。本产品操作方便，用途广泛，可根据用户的不同需要，完成下列功能：

1、可作长度测量，也可作观察使用。如测孔距、直径、直线距离及刻线宽度等。配有牛顿圈还可以测定光的波长及透明介质的曲率半径等。

2、扩大一般读数显微镜的使用范围，可根据不同使用要求在不同方向上测量及观察。

3、显微镜可置水平和垂直位置，能搭成各种测试装置。

4、配备测微目镜，可测量显微镜的放大率。

5、

## 三、结构原理

如图（一）所示，目镜（1）可用锁紧螺钉（2）固定于任一位置，棱镜室（4）可在 360°方向上旋转，物镜（8）用丝扣拧入镜筒（7）内，可调式 45°半反镜组（9）拧入物镜组上，镜筒用调焦手轮（13）完成调焦。转动测微鼓轮（15），显微镜沿导轨作纵向移动，利用锁紧手轮 I（6），将方轴（18）固定于接头轴十字孔中。接头轴（17）可在底座（20）中旋转、升降，用锁紧手轮 II（19）紧固。根据不同的使用要求方轴可插入接头轴另一个十字孔中，

使镜筒处水平位置。压片（11）用来固定被测件。旋转反光镜旋轮（12）调节反光镜方位。

## 四、仪器的调整及应用实例

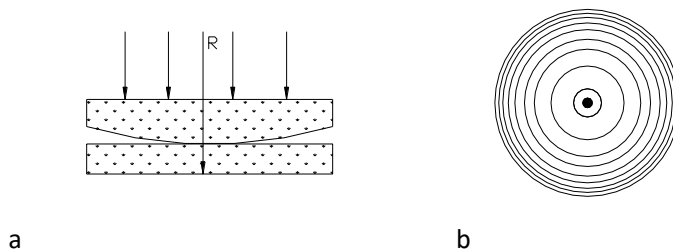
将被测件放在工作台上，用压片固定。旋转棱镜室（4）至最舒适位置，用锁紧螺钉（5）止紧，调节目镜（1）进行视度调整，使分划板清晰，转动调焦手轮（13），从目镜中观察，使被测件成像清晰为止，调整被测件，使其被测部分的横面和显微镜移动方向平行。转动测微鼓轮（15），使十字分划板的纵丝对准被测件的起点，记下此值[在标尺（14）上读取整数，在测微鼓轮上读取小数，此二数之和即是此点的读数]A，沿同方向转动测微鼓轮，使十字分划板的纵丝恰好停止于被测件的终点，记下此值 A'，则所测之长度计算可得  $L=A'-A$ ，为提高测量精度，可采用多次测量，取其平均值。

## 等厚干涉实验中的应用

用牛顿环测定透镜的曲率半径。

把一块曲率半径很大的平凸透镜的凸面放在一块平面玻璃板上（图二 a），保持点接触，此时如以垂直的单色光照明，在接触点外的空气层上下两表面会产生干涉，而且是以接触点为圆心的明暗相间的光环，物理学上称为牛顿圈（图二 b），由于明（或暗）圈处的空气层的厚度相等，故称为等厚干涉。

波长为  $\lambda$  的单色光



图二

由等厚干涉相关理论，可以推断 
$$R = \frac{D_m^2 - D_n^2}{4(m-n)\lambda}$$

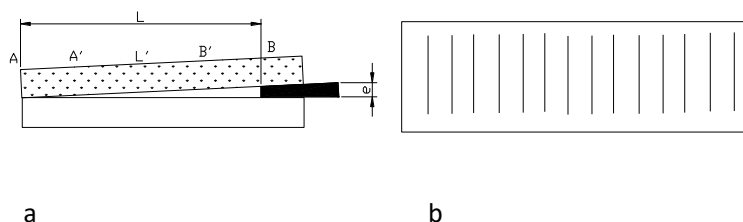
式中：R——凸透镜的曲率半径， $\lambda$ ——单色光波长

$D_m, D_n$ ——第  $m$  和第  $n$  圈的直径，由读数显微镜测量取得。

实验中：一般  $|m-n| \geq 5$ ，并选取 5~10 组不同的  $D_m$  和  $D_n$  组合，求取  $\bar{R}$ ，以消除系统误差。

### 1、用劈尖测薄片厚度。

把两片很平的玻璃上下叠合，其中一端放一薄片，则两玻璃片之间就形成一楔形空气层（图三 a），此时在垂直的单色光照明下，也可见间隔相等的等厚干涉直条纹（图三 b）。



图三

由相关理论，可以推断出  $d = nL \frac{\lambda}{2}$

式中： $d$ ——薄片厚度       $L$ ——玻璃片 A 端至薄片 B 处的

距离并由读数显微镜测取

$\lambda$ ——单色光波长     $n$ —— $L$  距离内明或暗条纹的数量

实验中：由于劈尖两端被夹座掩盖，无法数出  $L$  全长内的条纹数，所以一般在  $L$  内测取某一段距离  $L'$  内的  $n'$  和  $d'$ ，由式  $d = \frac{L}{L'} d'$  计算出  $d$ 。

### 2、实验中读数显微镜的使用。

1) 把牛顿环放在工作台面上，中心接触点（肉眼可见）对准镜筒中央。

2) 用钠光灯水平照射在  $45^\circ$  半反镜上，转动调焦手轮，即可见清晰的牛顿圈干涉环，转动可调式  $45^\circ$  半反镜，使光线垂直入射牛顿环。

3) 用读数显微镜目镜中的叉丝依次与待测圆环相切，从左向右（或从右向左，不可中途返向）读取各环的直径，注意移动方向应是沿着各环的直径方向，否则测取的是弦长而非圆环直径。

4) 同理可做劈尖实验，由于劈尖的特性，所以显微镜中看到的直条纹较虚，这是正常现象。如果观察到的条纹倾斜，可通过调节劈尖夹座的四颗固定螺钉来纠正。

5) 实验中应注意调整显微镜的本身和镜筒高度，如测取的  $D$  或  $L$  较大时，应不断调节



光源位置，使尽量靠近读数显微镜，保证有足够的光强，以得到较清晰明亮的干涉图像。

6) 实验中，读数显微镜底座中的大反光镜不需用，应反转向内，避免有反射光反射向上至牛顿环内，影响观察的背景。

## 五、仪器维护

1、 读数显微镜是较精密的测量仪器，在使用和搬运中应谨慎小心，避免震动及碰撞。仪器应保持清洁、润滑。

2、 被测件应压紧，并无灰尘、污物。

3、 松开各锁紧手轮时必须用手托住相应部分，以免其坠落和受冲击，旋转目测系统时，应先松开棱镜室锁紧螺钉。

4、 若仪器光学零件表面有灰尘、污物等影响观察时，可用擦镜纸擦拭。

## 六、常见故障及检修方法

1、 纵向读数空位大于 0.03mm

原 因：(1) 传动螺母与丝杆的配合过松。

(2) 尾部轴承压紧螺母松。

(3) 传动螺母与拖板连接弹簧片部件螺钉松动。

检修方法：

首先检查精密丝杆的轴向串动量，如手感有串动，可调整尾部轴承压紧螺母，使转动丝杆时舒适又无串动，如仍未消除，先拆去中间二块遮板，拆下连接弹簧片的两只固紧螺钉，取下弹簧片，推开拖板部件，旋紧传动螺母上的螺钉。调节传动螺母上的两只螺钉，使传动螺母与丝杆的配合间隙较小，又无卡滞现象，最后依次装配拆下的零件。

2、 镜筒自行下滑

原 因：(1) 偏心套松动。

检修方法：

旋松偏心套的两固紧螺钉，调整偏心套的偏心量，使齿轮轴与显微镜筒的配合活动舒适，锁紧可靠，然后旋紧偏心套的两固紧螺钉，检查调焦手轮的压紧力，使镜筒在调焦时有适当

的阻力。

### 3、毫米刻尺零位不准

原 因：（1）刻度轮压紧螺母松动。

检修方法：

旋紧刻度轮的压紧螺母，然后松开毫米刻尺的两个固定螺丝，先将刻度轮对准零位，再左右略微移动毫米刻尺，使指标对准某一整刻度线即可。

### 4、长度测量值累计误差大于 0.02mm

原 因：（1）丝杆与导轨不平行。

（2）基准圆柱导轨与拖板的孔配合过松。

（3）圆柱导轨螺钉松。

检修方法：

拆下拖板边上两块遮板，调节基准圆柱导轨的位置，一般情况测量累计误差会小于 0.02mm。但亦有少数虽经以上调整仍达不到小于 0.02mm，应检查拖板与基准圆柱导轨的配合情况，可用眼睛通过目镜观察标准尺，左手握住测量架部件，右手握住拖板轻轻转动，观察目镜中的十字线有否走动，如果走动，等右手离开拖板时又不回到原来位置，这说明其基准圆柱导轨与拖板圆柱导轨与拖板圆孔配合过松，产生测量误差，它是一个放大的误差，需要调换一支直径稍大一点的圆柱导轨，然后研磨、清洗、烘干、涂油重新装配。

# 实验六：透镜焦距的测量

## 【实验目的】

掌握透镜焦距测量的原理，利用不同的方法测量透镜的焦距（本实验主要学习凸透镜焦距的测量）。

## 【实验原理】

### 1. 薄透镜成像公式

通过透镜中心并垂直于镜面的几何直线称做透镜的主光轴。平行于主光轴的平行光经凸透镜折射后会聚于主光轴上的一点 F，这点就是该透镜的焦点，如图 6.1。一束平行于凹透

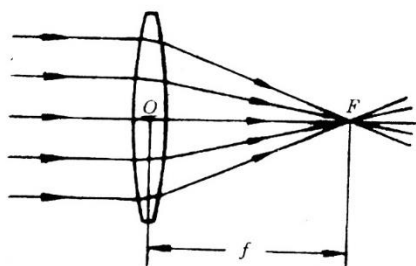


图 6.1 凸透镜的焦点和焦距

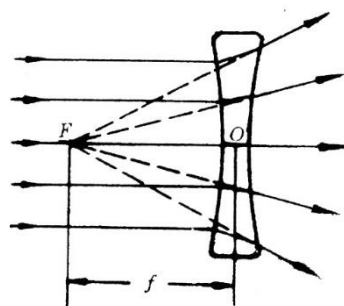


图 6.2 凹透镜的焦点和焦距

镜主光轴的平行光，经凹透镜折射后成为发散光，将发散光反向延长交于主光轴上的一点 F，称为凹透镜的焦点，如图 6.2。从焦点到透镜光心 O 的距离称为该透镜的焦距  $f$ 。

当透镜的厚度与其焦距相比为甚小时，这类透镜称为薄透镜。在近轴光线的条件下，其成像规律为透镜成像的高斯公式：

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f}$$

( 6.1 )

式中， $f$  是薄透镜焦距； $s'$  是像距； $s$  是物距，如图 6.3 所示，故

$$f = \frac{ss'}{s - s'} \quad (6.2)$$

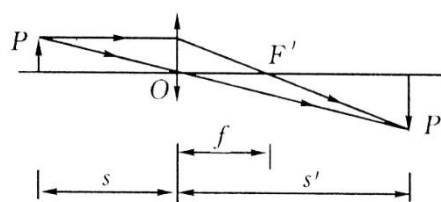


图 6.3 薄透镜成像原理

应用上式时，必须注意各物理量所使用的符号定则，一般规定：光线自左向右进行，距离自参考点(透镜光心)量起，向左为负，向右为正，即距离与光线进行方向一致时为正，反之为负。运算时已知量须添加符号，未知量则根据求得结果中的符号判断其物意义。

## 2. 凸透镜焦距的测量原理

常用的方法有同学们所熟悉的物距像距法，还有共轭法及自准法。本实验主要采用物距像距法测量，其他方法可由学生自主设计。

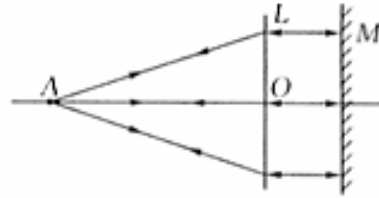


图 6.4 自准法测凸透镜焦距

### (1) 公式法

如前所述透镜成像公式，可以作为凸透镜焦距测量的一种简单方法。

### (2) 自准法

它是光学仪器调节中的一个重要方法，也是一些光学仪器进行测量的依据。当发光点(物)处在凸透镜的焦平面上时，它发出的光线通过透镜后将为一束平行光。若用与主光轴垂直的平面镜将此平行光反射回去，反射光再次通过透镜后仍会聚于透镜的焦平面上，其会聚像将在光点相对于光轴的对称位置上，如图 6.4 所示。

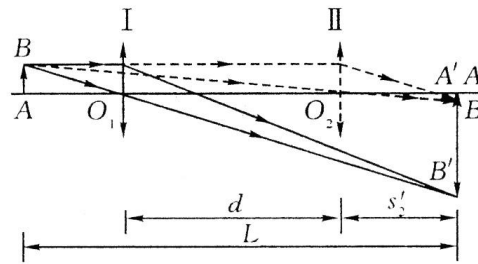


图 6.5 共轭法测凸透镜焦距

### (3) 共轭法(二次成像法或贝塞耳法)。

如图 6.5 所示，设物和像屏之间的距离绝对值为  $L$ (要求  $L > 4f$ )，并保持不变。移动透镜，当在位置 I 处时，屏上将出现一个放大的倒立的实像。当透镜在位置 II 处时，在屏上又得到一个缩小的倒立的实像。位置 I 与 II 之间的距离绝对值为  $d$ ，位置 II 与白屏之间的距离为  $s'_2$ 。对

于位置 I 而言，有  $s = -(L - d - s'_2)$  及  $s' = d + s'_2$ ，代入式 (6.2) 得

$$f = \frac{(L - d - S'_2)(d + S'_2)}{L}$$

对于位置 II 而言，有  $s = -(L - s'_2)$  及  $s' = s'_2$ ，代入式 (6.2) 得

$$f = \frac{(L - s'_2)s'_2}{L}$$

由以上两式解出

$$s'_2 = \frac{L - d}{2}$$

因此

$$f = \frac{L^2 - d^2}{4L} \quad (6.3)$$

## 【实验内容】

- 1、将平行白光光源、成像物、凸透镜、接收白屏依次安放在光具座上，并调整它们，使之中心在同一水平线上。
- 2、接通点光源（小灯泡）电源，调整成像物与凸透镜的距离，使它们的距离大于透镜的焦距。
- 3、移动接收屏，直至在接收屏上出现一和成像物等大倒立的物像，测出此时的物距和像距。
- 4、代入公式计算透镜的焦距，并求其误差，分析产生误差的原因。
- 5、自行设计其他方法测量凸透镜的焦距。

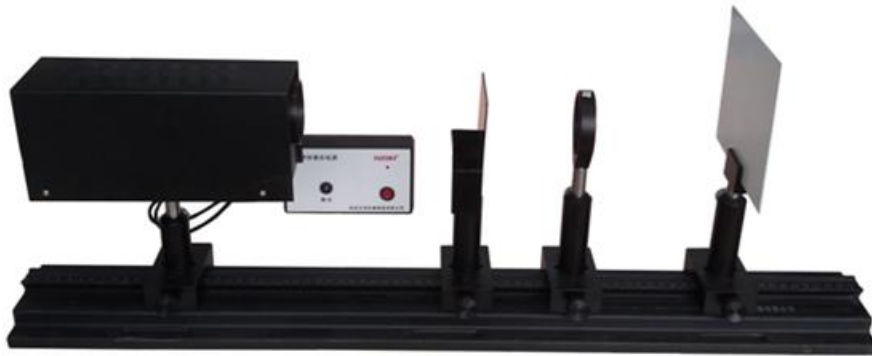


图 6.6 透镜焦距测量实验

# 实验七：双棱镜光干涉

## 一、实验目的

- 1、学习双棱镜干涉光路的共轴调节方法；
- 2、观察光的干涉现象，掌握分波前光路实现双光束干涉的方法；
- 3、用双棱镜测量光波波长；
- 4、学会用测微目镜测量微小长度。

## 二、仪器组成和技术指标

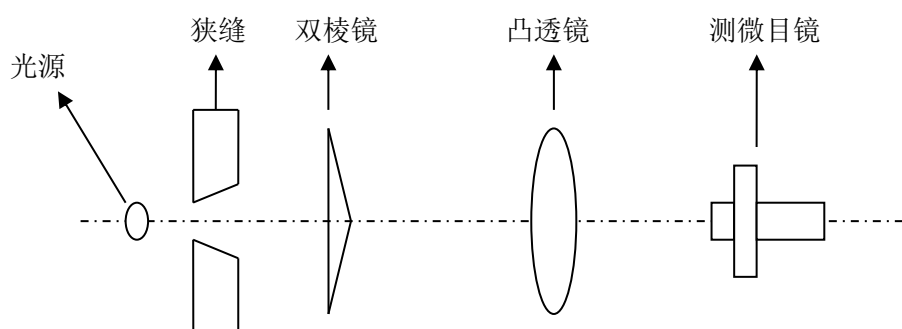


图 1 双棱镜光干涉实验简图

实验装置如下：

- 1、导轨（长 0.8m，分度值 1mm），滑块 5 个。  
导轨和转盘采用高强度优质铝合金材料、燕尾槽结构、转盘灵活，不会生锈，经久耐用，手感好。
- 2、配有半导体激光（650.0nm）和钠光（589.3nm），其中钠光为选配。  
半导体激光经大幅度降低光强处理，用其作光源具有相干性好且不伤害眼睛的优点，可很方便调出清晰干涉条纹。也为钠光干涉条纹调节带来方便。测量二种光的波长进行比较。
- 3、带转盘的狭缝，缝宽可调。
- 4、双棱镜及支架各 1 个。
- 5、凸透镜 1 个（焦距  $f$  约为 10cm）。
- 6、测微目镜和支架。测微目镜量程 0—8mm，分度值 0.01mm。

测微目镜是用来测量微小实像线度的仪器，其结构如图 3 所示，在目镜焦平面附近，有一块量程为 8mm 的刻线玻璃标尺，其分度值为 1mm（如图 3（b）中的 8 条短线所示）在该尺后 0.1mm 处，平行地放置了一块分划板，分划板由薄玻璃片制成，其上刻有十字准线和一对双线，人眼贴近目镜筒观察时，可同时看到这块分划板和玻璃标尺的刻线，如图 3（b）所示，分划板的框架与读数鼓轮相连，当读数鼓轮旋转时，分划板会左右移动：鼓轮每转一圈（100 小格），分划板移动 1mm（即每小格 0.01mm），测量微小实像时，先调节目镜与分划板间的距离，使能清晰地观察到分划板上的准线；然后调节测微目镜与待测实像的距离使实像也清晰并与准线无视差；以后旋转鼓轮使准线对准待测像的一边，读下此时玻璃标尺的读数和鼓轮读数；再旋转鼓轮使准线对准待测像的另一边，读下玻璃标尺的读数和鼓轮读数；最后把前后两次读数相减，即得待测像的长度。测微目镜的不确定度值为 0.004mm，测量时应注意鼓轮必须同一方向旋转，中途不要倒退，以避免螺距误差。

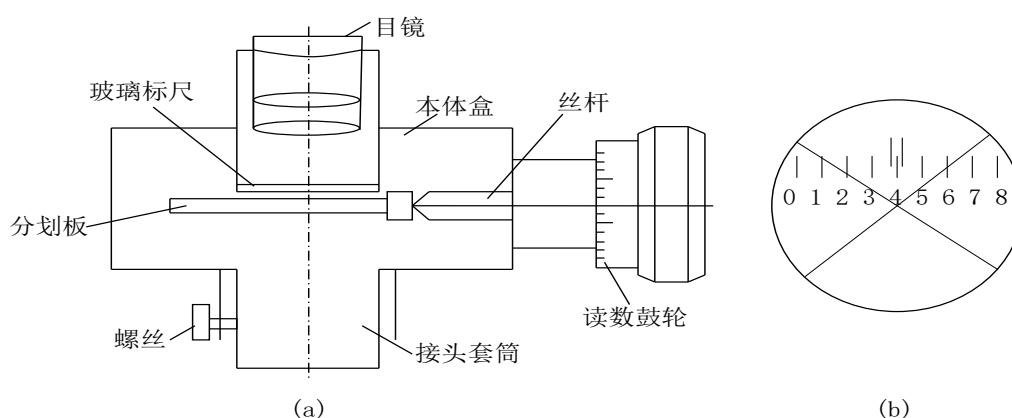


图 2 测微目镜

### 三、实验原理

菲涅耳双棱镜（简称双棱镜）是一个等腰三棱镜，有一个很大的钝角和两个很小的小棱角，故称双棱镜。如图 3，当一个单色点光源 S 从它的 BC 面入射时，通过上半个棱镜 ABD 的光束向下偏折，通过下半个棱镜 ACD 的光束向上偏折，相当于光源 S 形成的虚光源  $S'_1$ 、 $S'_2$ 。发射出的两束相干光。在两光束的交叠区域发生干涉，因此在观察屏上就可看到等间距明暗交替的干涉条纹。

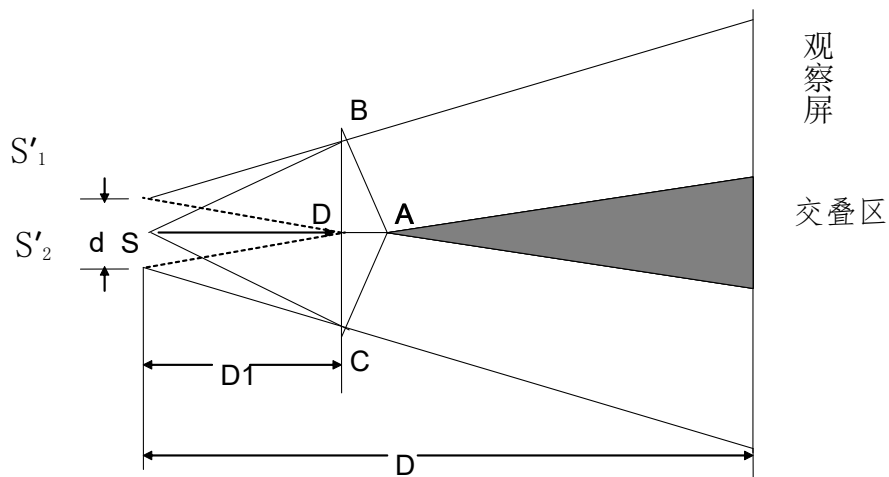


图3 点光源通过双棱镜的折射

$$\chi = \frac{D}{d} \lambda$$

其中， $d$  是两虚光源的间距， $D$  是光源到观察屏的距离， $\lambda$  是光的波长。用测微目镜的分划板作为观察屏，就可直接从该测微目镜中读出条纹间距  $\chi$  值， $D$  为几十厘米，可直接量出，因而只要设法测出  $d$ ，即可从上式算出光的波长  $\lambda$ 。

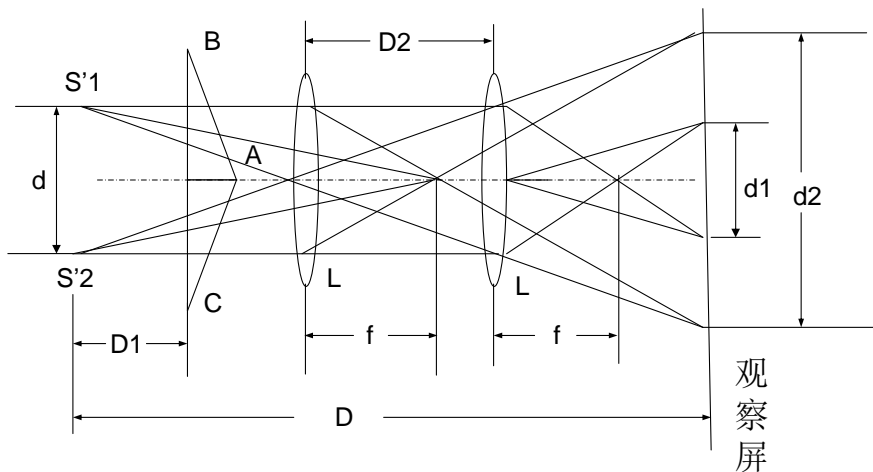


图4 二次成像光路

测量  $d$  的方法很多，其中之一是“二次成像法”，如图4所示，即在双棱镜与测微目镜之间加入一个焦距为  $f$  的凸透镜  $L$ ，当  $D > 4f$  时，可移动  $L$  而在测微目镜中看到两虚光源的缩小像或放大像。分别读出两虚光源像的间距  $d_1$  和  $d_2$ ，则由



几何光学可知：

$$d = \sqrt{d_1 d_2}$$

正如杨氏实验可把双孔改为双缝一样，为了增加干涉条纹的亮度，可把上述实验中的点光源改为线光源，只要线光源的方向与双棱镜的棱边方向平行即可。当然，若线光源与棱边不平行或线光源的宽度太大变成了面光源，则干涉条纹会相互重叠而模糊直至消失，这是光源的空间相干性问题。

## 四、实验步骤

### 1、双棱镜干涉装置的共轴调节与干涉现象的观察。

为了获得清晰的干涉条纹，保证测量准确度，实验装置的调节必须达到下述状态：

(1) 光具座上各元件等高共轴。

①调节光源和狭缝的位置，使半导体激光器或钠光灯对准并均匀照亮狭缝（半导体激光器端口经工艺处理，出射的是柱形光斑，应使光斑中心对准狭缝）使狭缝靠近光源，调节二者中心等高。

②光具座上放置凸透镜和白屏，使屏与狭缝的距离略大于  $4f$ 。移动透镜，在屏上二次成像，用“大像追小像”法，调节透镜高低及左右位置，使狭缝中心与透镜主光轴共轴，并使主光轴平行于光具座。此时狭缝的大、小像均出去白屏的中心位置。

(2) 狭缝平行于双棱镜的棱脊。

①靠近狭缝放上双棱镜，并使棱脊位于光轴上，微调狭缝的方位，使狭缝与棱脊平行，移动透镜，在屏上可见两条强度相同、等高并列的狭缝像。

②取下白屏，放上测微目镜，并使它与透镜等高共轴，移动透镜，可依次见到大像和小像。再取下透镜，则应在测微目镜中看到干涉条纹。若此时看不清条纹，但可见一明亮的红光带（或黄光带），则是双棱镜棱脊未与狭缝平行。可以先使测微目镜距双棱镜近一些，微调狭缝方向和左右位置边观察干涉条纹，直到调出清晰等距的干涉条纹后，再把测微目镜移到原先位置。

### 2. 测量单色光波长

(1) 用测微目镜测量干涉条纹间距  $\Delta X$ 。依次测出第 1 至第 6 和第 11 至第 16 各条条纹的位置（依据实验情况或要求等可做适当改变），用逐差法处理数据，求出  $\overline{\Delta x}$ 。

(2) 测量两虚光源的间距  $d$ 。放入透镜并移动透镜，可在测微目镜叉丝平面上分别观察到大像和小像，依次测量大像和小像的像宽，重复测量五次，得到  $\overline{d_1}$  和  $\overline{d_2}$ （测量时可在透镜上加小孔光阑以提高成像质量）。代入公式  $d = \sqrt{\overline{d_1} \cdot \overline{d_2}}$ ，得  $d$  值。

(3) 分别记录光具座上狭缝和测微目镜的位置读数 11、12，则两虚光源与测微目镜叉丝平面的距离  $D = |11 - 12| - \Delta D_1 + \Delta D_2$ ， $\Delta D_1$  为测微目镜位置与叉丝平面的距离。 $\Delta D_2$  为镀膜缝与滑块刻线间距。

(4) 将  $\overline{\Delta \chi}$ 、 $d$  和  $D$  代入公式  $\lambda = \frac{d}{D} \cdot \overline{\Delta \chi}$ ，可得光源的光波长。

## 五、注意事项

1. 尽可能把激光输出强度调到最低；除了在测微目镜中观察干涉条纹或大、小像外，眼睛不要直视半导体激光器发出的激光，寻找干涉光带或大小像，可借助于白屏，且小象不宜太小。

2. 由于透镜座滑槽较宽，移动透镜时，应始终贴住光具座的一侧，以保证透镜光心位置横向不变。

3. 测量前应先消除视差。仔细调节测微目镜，应使干涉条或大、小像成像在测微目镜叉丝平面上，与叉丝平面的刻度线无视差。4. 测量时要避免间隙视差，测微目镜的鼓轮只能单向旋转，不能中途倒转。

5. 测量中如果测量标记线到达零刻度处，应立即返回，以免损坏测微目镜。

6. 不能用手指触摸光学透镜和棱镜，以免灰或汗水将光学元件沾污。

## 六、思考题

1. 为什么狭缝宽度较大时干涉条纹消失？

2. 为什么狭缝方向必须与双棱镜的棱边平行才能看到干涉条纹？

3. 如果双棱镜反面（即让光从 A 处入射）安放，对实验结果有何影响？

4. 本实验中认为虚光源和真正的光源（狭缝）与观察屏的距离是相同的，

这是一种近似。请证明，虚光源与观察屏的距离应为  $D = \frac{\sqrt{d_2} + \sqrt{d_1}}{\sqrt{d_2} - \sqrt{d_1}} D_2$ ，其中

$D_2$  是两次成像时透镜移动的距离。但本实验中，为什么不用此法求  $D$ ？（提示：从不确定度的大小考虑）

5. 若要求光波波长测量误差在 1% 左右，请考虑测量  $x$ 、 $d$ 、 $D$  时各量允许误差的分配方案。

### 参考资料

1. 沈元华、陆申龙，基础物理实验。北京：高等教育出版社。2003:240-245

2. 贾王润、王公治、凌佩玲，大学物理实验。上海：复旦大学出版

社。1987：307—310

### 实验数据例

激光作光源，双棱镜干涉实验测激光波长。

干涉条纹宽度  $x$  的测量结果见表 1。

表 1

序数	读数 1/mm	序数	读数 2/mm	10 条干涉条纹宽度
K1	0.200	K1+10	5.445	5.245
K2	0.723	K2+10	6.014	5.291
K3	1.250	K3+10	6.500	5.250
K4	1.784	K4+10	7.018	5.234
K5	2.311	K5+10	7.542	5.231

$$10\bar{x} = 5.2502\text{mm}; \quad \bar{x} = 0.5250\text{mm}$$

狭缝的滑座上指示读数与测微目镜上滑座上指示读数差值  $L_1 = 43.35\text{cm}$ ，实际上测微目镜内测量准线位置与测微目镜滑座上刻线差值为  $-3.50\text{cm}$ （修正量），所以  $D = 43.35\text{cm} + 3.50\text{cm} = 46.85\text{cm}$ 。（缝镀膜层正好与滑块刻线对齐，修正量为零）用二次成像法测量虚光源的像的结果见表 2。

表 2

序数	放大像/mm			缩小像/mm		
	读数 1/mm	读数 2/mm	$\bar{d}_1$ /mm	读数 1/mm	读数 2/mm	$\bar{d}_2$ /mm

1	4.031	5.474		4.098	4.330	
2	4.035	5.476		4.100	4.333	
3	4.033	5.473		4.102	4.332	
4	4.036	5.475		4.101	4.335	
5	4.033	5.475		4.100	4.336	
	<b>4.034</b>	<b>5.475</b>	<b>1.441</b>	<b>4.100</b>	<b>4.333</b>	<b>0.233</b>

$$d = \sqrt{\overline{d_1} \cdot \overline{d_2}} = \sqrt{1.441 \times 0.233} = 0.5794mm$$

将上述结果代入公式  $\lambda = \frac{\chi \cdot d}{D} = \frac{0.5250 \times 0.5794 \times mm^2}{46.85cm} = 649.3nm$  激光波长理论

值为 650.0nm。两者百分差 =  $\left| \frac{649.3 - 650.0}{650.0} \right| = 0.11\%$

# 实验八：迈克尔逊干涉的研究



KF-WSM200 干涉仪示意图

- 1、粗调手轮 2、投影屏 3、微调手轮 4、刻度盘 5、微调螺钉 6、固定镜 7、移动镜  
8、可调螺母 9、滚花螺钉 10、刻尺(侧面) 11、丝杆(内侧) 12、导轨 13、滚花螺帽 14、锁紧圈 15、调平螺丝

## 一、主要技术性能及规格

- 1、移动镜行程：

WSM—100 型	100mm
WSM—200 型	200mm

- 2、微动手轮分度值：0.0001mm

- 3、波长测量精度：

当条纹计数为 100 时，测定单色光波长的相对误差  $< 2\%$ 。

- 4、观察望远镜光学特性：放大率  $3\times$

出瞳直径 5.3mm 视场角  $8^\circ$



就能观察到清晰的干涉条纹。

图中  $M_2'$  是参考  $M_2$  为半透膜表面  $G_1$  所成的虚象。所以在光学上，这里的干涉就相当于  $M_2'$  和  $M_2$  之间的空气板的干涉。设置补偿板  $G_2$  是为了当使用白光光源时，补偿  $G_1$  的色散。

## 四、仪器的调整及使用

开箱后，检查装箱清单和实物是否相符，产品合格证及说明书是否齐全，然后清洗导轨，丝杆面上的防锈油脂，加上 T<sub>5</sub> 精密仪表油。

仪器主体如首页图所示，导轨(12)固定在一只稳定的底座上，由三只调平螺丝(15)支承调平后可以拧紧锁圈(14)以保持座架稳定。丝杆(11)螺距为 1mm，转动粗动手轮(1)，经一对传动比大约为 2:1 的齿轮付带动丝杆旋转与丝杆啮合的可调螺母(8)，通过防转挡块及顶块带动移动镜(7)在导轨面上滑动，实现粗动，移动距离的毫米数可在机体侧面的毫米刻尺(10)上读得；通过读数窗口，在刻度盘(4)上读到 0.01mm，转动微动手轮(3)，经 1:100 蜗轮付传动，可实现微动，微动手轮的最小读数值为 0.0001mm，移动镜(7)和固定镜(6)的倾角可分别用镜背后的两颗滚花螺丝(9)来调节。在固定镜(6)附近有两个微调螺丝(5)，垂直的螺丝使镜面干涉图象上下微动，水平螺丝则使干涉图象水平移动，丝杆顶进力可通过滚花螺帽(13)来调整，仪器各部活动环节要求转动轻便，弹性元件接触力适宜，为此，使用时各活动件须定期加薄油(如钟油)。当使用完毕，需存放一段时期时，导轨丝杆面应上防锈油，由于结构上原因，微动手轮正反空回，出厂时允许在 0.03mm 范围内，这对测试是无影响的。

迈克尔逊干涉仪光路暴露在外面，适用于教学演示，其条纹质量，出厂时已经保证，如果出现不圆整，不规则现象，应检查分光板和补偿之间相互是否平行，照明光轴是否在视场上居中，与分光面成 45° 等。

### 使用：

需配适当的光源，如：激光、钠灯、加滤色片的汞灯、白光等。在实验前应将仪器调整至水平。

## 1.观察非定域干涉条纹

① 光源垂直调整：建议使用 KF-JGQ 氦氖激光源，使用氦氖激光源作光源时，调节干涉仪底座三颗调平螺丝(9)，使入射光与经固定镜  $M_2$  反射光完全重合，然后拧紧锁紧圈(10)。

② 转动粗动手轮，将移动镜  $M_1$  的位置置于机体侧面标尺所示约 32mm 处，此位置为

固定镜  $M_2$  和移动镜  $M_1$  相对于分光板的大约等光程位置。通过投影屏观察，可看到由  $M_1$  和  $M_2$  各自反射的两排光点像，仔细调整  $M_1$  和  $M_2$  后的两颗调节螺钉，使两排光点像严格重合，这样  $M_1$  和  $M_2$  就基本垂直即  $M_1$  和  $M_2$  就互相平行。加扩束镜，并将扩束的激光斑照在干涉仪分光板上，光轴基本与固定镜垂直，即可在屏上观察到非定域干涉条纹，再轻轻调节  $M_2$  后的调节螺钉，使出现的圆条纹中心处于投影屏中心。

③ 转动粗动手轮和微动手轮，使  $M_1$  在导轨上移动，并观察干涉条纹的形状、疏密及中心“吞”、“吐”条纹随程差的改变而变化的情况。

#### ④ 测量 He-Ne 激光的波长

利用非定域的干涉条纹测定波长。按上述方法调出干涉圆条纹，单向缓慢转动微调手轮移动  $M_1$ ，将干涉环中心调至最暗（或最亮），记下此时  $M_1$  的位置，继续转动微调手轮，当条纹“吞进”或“吐出”变化数为  $m$  时，再记下  $M_1$  的位置，设  $M_1$  位置的变化数为  $\Delta L$ ，则根据双光束干涉原理，测得 He-Ne 激光的波长为：

$$\lambda = 2 \Delta L / m$$

测量时， $m$  的总数要不少于 500 条，可每累进 50 条时读取一次数据，连续取 10 个数据，应用逐差法加以处理。

## 2.观察定域干涉条纹

(1).扩展光源： 建议采用可升降式低压钠灯（KF-GP<sub>20</sub>Na），He-Ne 激光器作调整仪器用辅助光源。

#### (2).等倾干涉

先用 He-Ne 激光器调整仪器，在激光器前放一小孔光栏，使扩束的激光束通过光栏，并经分光板  $G_1$  反射到移动镜  $M_1$  上（此时应将固定镜的反射面遮住），再反射经分光板返回至小孔光栏上，仔细调整  $M_1$  后的两个调节螺钉使最后的反射光点像与光栏的小孔严格重合。转动粗动手轮移动  $M_1$ ，要求反射光点像不随  $M_1$  的移动而产生漂移。此后的实验过程中，不可再旋动  $M_1$  后的两颗调节螺钉。

换上钠光灯，出光口装有毛玻璃，以使光源成为面光源，用聚焦到无穷远的眼睛代替屏，仔细调节  $M_2$  后的调节螺钉，可看到圆条纹，进一步调节  $M_2$  的调节螺钉，使眼睛上下左右移动时，各圆的大小不变，仅是圆心随眼睛移动，这是我們看到的就是严格的等倾条纹。移动  $M_1$  观察条纹的变化情况。



### (3).等厚干涉

移动  $M_1$  和  $M_2'$  大致重合, 调节  $M_2$  后的螺钉使  $M_1$  和  $M_2'$  有一个很小的夹角, 这时视场中出现直线干涉条纹, 这就是等厚干涉条纹。仔细调节  $M_2$  后的螺钉和微调螺钉, 即改变夹角的大小, 观察条纹的疏密变化。

### (4).测量钠光的相干长度

可利用等厚条纹的观察方式, 用等厚干涉条纹来测出钠光的相干长度。首先把干涉仪两臂调到接近相等, 此时干涉条纹的对比度最佳, 然后移动  $M_1$ , 直至干涉条纹由模糊变为几乎消失, 这时的光程差即为相干长度。钠光灯的相干长度为 2cm 左右。

可观察 He-Ne 激光的相干情况, 因为激光的单色性很好, 相干长度有几米到几十米的范围, 故不必在干涉仪上测出。

## 3.测钠黄光波长及钠黄光双线的波长差

⑤ 按上述等倾干涉的调节方法将仪器调整好, 并调出干涉圆条纹, 再按测量 He-Ne 激光波长的方法进行测量。

⑥ 同上调整仪器。如果使用绝对单色光源, 当干涉光的光程差连续改变时, 条纹的可见度一直是不变的。当使用的光源包含两种波长  $\lambda_1$  及  $\lambda_2$ , 且  $\lambda_1$  及  $\lambda_2$  相差很小, 当光程差为

$$L = m \lambda_1 = (m+1/2) \lambda_2 \quad (\text{其中 } m \text{ 为正整数})$$

时, 两种光的条纹为重叠的亮纹和暗纹, 使得视野中条纹的可见度减低, 若  $\lambda_1$  及  $\lambda_2$  的光的亮度又相同, 则条纹的可见度为零, 即看不清条纹了。再逐渐移动  $M_1$  以增加 (或减少) 光程差, 可见度又逐渐提高, 直到  $\lambda_1$  的亮条纹与  $\lambda_2$  的亮条纹重合, 暗条纹和暗条纹重合, 此时可看到清晰的干涉条纹, 再继续移动  $M_1$ , 可见度又下降, 当光程差为

$$L + \Delta L = (m + \Delta m) \lambda_1 = (m + \Delta m + 3/2) \lambda_2$$

时, 可见度最小 (或为零)。因此, 可测出从某一可见度为零的位置到下一个可见度为零的位置, 位置差为  $\Delta L$ , 其间光程差变化应为:

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\Delta L} = \frac{\lambda^2}{\Delta L}$$

$\Delta \lambda$  即为欲测的钠黄光双线的波长差,  $\lambda$  为  $\lambda_1$  及  $\lambda_2$  的平均值, 可用步骤①中测出的波长值代入。

## 4、观察白光干涉条纹

按上述等倾干涉的调节方法将仪器调整好，并调出干涉圆条纹，转动粗动手轮，使圆条纹变宽，当出现 1-2 条条纹时，用微动手轮再仔细地调到条纹消失，即零光程位置，此时，将光源换成平行的白光光源，在 E 处可观察到中央为直线黑纹，两旁有对称分布的彩色条纹的白光干涉条纹。

用本方法可以测量固体透明薄片折射率  $n$  或厚度。当调出中央条纹后，在  $M_1$  和  $G_1$  之间放入一透明薄片，中央条纹移出视场，将  $M_1$  向  $G_1$  前移，会重新观察到中央条纹，测出放入薄片前后均可观察到彩色条纹的位置差  $\Delta L$ ，由式：

$$\Delta L = 2l(n - 1)$$

可求出  $l$  或  $n$ ，一般  $l$  应  $< 0.5\text{mm}$  为宜。

### 5、多光束干涉

将干涉仪上的分光板部件和移动镜拆除，换上法布里—珀罗系统。转动粗动手轮，使法布里—珀罗系统的移动镜和参考镜保持一定的距离（约  $2 \sim 3\text{mm}$ ）。用扩束的氦氖激光(或前置有毛玻璃的钠光灯)从移动镜的后面射入，仔细调整两镜后面的螺钉，使两镜平行，此时可在 E 处观察到（或利用观察望远镜）干涉圆条纹。

例：以钠光灯为光源时，先在毛玻璃上用笔画一“+”作标记，在 E 处先用肉眼观察到重叠的“+”字像，通过调节移动镜和参考镜的螺钉，使像重合为一个“+”字，此时即可观察到干涉圆条纹；在 E 处放置观察望远镜，通过仔细调节移动镜和参考镜下的微调螺钉，可观察到两圈一组（分别由  $589.0\text{nm}$  和  $589.6\text{nm}$  构成）的干涉环；此时连续同向转动微动手轮，可发现  $589.0\text{nm}$  和  $589.6\text{nm}$  的两个环慢慢重叠为一个环，然后又分开为两个环，周而复始；通过测量微动手轮的移动镜移动距离，即可计算出钠的波长差。

由于法布里—珀罗系统具有较高的分辨本领，理论上固定间隔的法布里—珀罗标准具的分辨本领可达  $1/100$  埃的数量级。对本仪器而言，无论换用钠光或白光，其实验现象或测量结果均大大优于平板式单光束干涉，而干涉滤光片就是应用此法制作的具有较好波长半宽度的选光元件。

## 五、仪器的保养

- 1、仪器应妥善地放在干燥、清洁的房间内，防止振动，仪器搬动时，应托住底座，以防导轨变形。
- 2、光学零件不用时，应存放在清洁的干燥盆内，以防止发霉。反光镜、分光镜一般不允许擦拭，必要擦拭时，须先用备件毛刷小心掸去灰尘，再用脱脂清洁棉花球滴上酒精和乙醚混合液轻拭。
- 3、传动部件应有良好的润滑。特别是导轨、丝杆、螺母与轴孔部分，应用 T<sub>5</sub>精密仪表油润滑。
- 4、使用时，各调整部位用力要适当，不要强旋、硬扳。
- 5、导轨面丝杆应防止划伤、锈蚀，用毕后，仍保持不失油状态
- 6、经过精密调整的仪器部件上的螺丝，都涂有红漆，不要擅自转动。

## 六、常见故障及检修方法

### 1、干涉环不圆正：

原因：（1）分光板膜层面反向。

（2）两组出射光瞳错位。

（3）分光板、补偿板、移动镜及参考镜有压应力。

检修方法：

分光板膜层应是入射光的第二面，如装在第一面，则调出的等倾干涉环是直的椭圆形干涉环，可旋松分光板的三只宽头螺钉，取出分光板，反过 180° 重新装入金属框内，把三只宽头螺钉旋到原来的压紧力。分光板调整请参考故障 6 检修方法。

### 2、读数空位大于 0.03mm

原因：（1）传动螺母和丝杆的配合间隙大。

（2）拖板体下面的顶块间隙偏大。

（3）档板与导轨配合过松。

检修方法：

可先调整顶块间隙，拖板体在工作状态下旋松顶块螺钉，左手大拇指将拖板体向读数头方向轻推，中指压紧顶块，然后固紧顶块螺钉。如果仍未达到要求，调整档板与导轨的间隙达 0.02mm，再调节传动螺母上的两只螺钉。

3、转动粗动手轮时拖板不走。

原因：（1）仪器受强烈冲击后，丝杆向尾架方向脱出，造成读数头啮合齿轮错位。

（2）传动小齿轮固紧螺母松动，造成传动小齿轮与丝杆打滑。

（3）大齿轮及粗动手轮的压紧螺母松动。

检修方法：

首先检查粗动手轮压紧螺母，然后检查精密丝杆是否向尾架方向脱出，如已脱出，可松动尾架三只螺钉，一面将丝杆推向读数头，一面慢慢转动粗动手轮，最后旋紧尾架三只螺钉，如果是小齿轮固紧螺母和大齿轮固紧螺母松动，先拆去传动盒盖，再拆下门字架，固紧螺母，重新依次装配即可。

4、转动微动手轮时拖板不走。

原因：（1）传动小齿轮压紧螺母松，使盆形弹簧片无压紧力，造成蜗轮空转。

（2）粗微动有脱开机构的干涉仪，蜗杆压紧弹簧片失灵。

（3）微动手轮压紧螺母松。

检修方法：

先检查微动手轮的压紧螺母。然后打开传动盒盖，取下门字架，旋紧传动小齿轮压紧螺母，使盆形弹簧片压紧蜗轮，此时转动蜗轮应带动精密丝杆，依次装好拆下的零件。

转动粗动手轮时，等倾干涉环从中心向外漂移。

原因：入射的光源不垂直于移动镜。

检修方法：

此种现象，并非仪器故障，主要是入射的光源不垂直于移动镜，因多数易误解为导轨直线性不好所致，故亦在此说明。首先调整干涉仪三只底脚调平螺钉，使仪器基本按放水平，然后调整光源，使扩束激光充满固定镜，将移动镜调至零光程附近，转动粗动手轮调等倾直条纹，说明扩束激光基本垂直于移动镜，此时转动粗动手轮出现的干涉圆环就不会漂移。

5、白光干涉条纹不对称。

原因：受运输冲击或使用过程中碰过分光板和补偿板两板平行度已被破坏。

检修方法：

调整分光板与补偿板的平行性，在没有自准直仪时，可通过两板同时观察室内目标物。如日光灯，调节两板上的宽头螺钉，使双象基本重合，这时调出的白光彩色条纹可达到基本对称，如仍有不对称现象，可调节补偿板的三只宽头螺钉达到完全对称。

#### 6、 波长测定值偏长。

原 因：（1）拖板体侧面弹簧片压力太紧。

（2）档板与导轨配合过紧。

（3）导轨面润滑油脂太厚。

（4）蜗轮稍有打滑。

（5）丝杆尾架压紧力偏小。

检修方法：

先检查拖板体侧面的弹簧片是否太紧，如太紧可将弹簧变形减少压力的办法解决。第二取下拖板体，检查开合螺母上的档板与导轨面的配合是否过紧，如过紧可调整档板，旋松两只螺钉，提高档板与导轨接触处垫入 0.02mm 厚的锡片，放下档板，固紧螺钉，拿掉锡片。第三导轨如加上厚的油脂，会使拖板增加阻尼或厚的油脂上带有杂质，会使拖板不按导轨直线移动。应清洗后重新上油。第四检查尾架内的弹簧，如压紧力偏小，可把滚花螺套旋出，将弹簧拉长即可。

如遇蜗轮稍有打滑，检修时必须小心拆装，先拆下传动盒盖，拆下门字架，取下小钢球，旋下小齿轮压紧螺母，用专用夹具取下读数盘，平面轴承，盆形弹簧片、蜗轮等。在汽油中清洗、烘干，重新涂硬性润滑油脂，重新装配时可在平面轴承与读数盘之间加 0.2mm 的金属垫片，手感磨擦力有所增加后，依次重新装配，再进行测量检查。

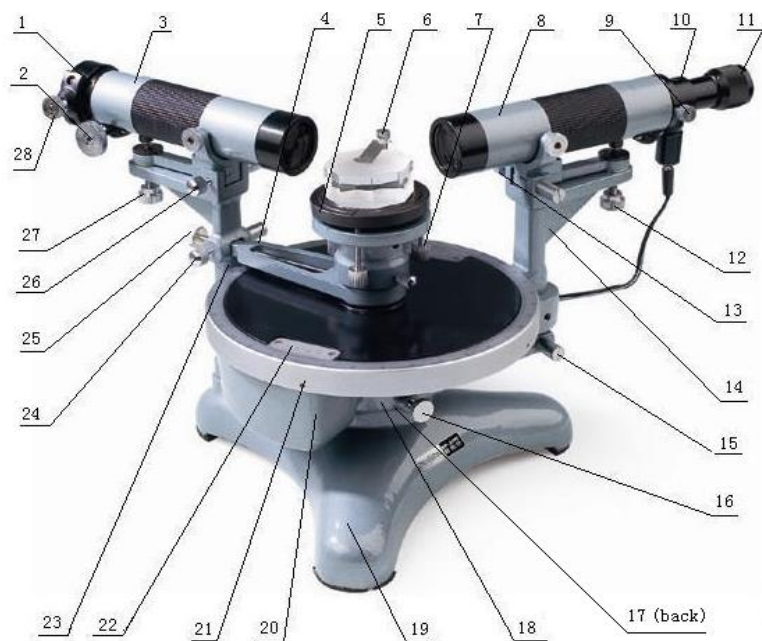
### 七、仪器的装箱清单

1、迈克尔逊干涉仪主机(包括水平拉杆和滑架)	1 台
2、分光镜部件	1 套
3、移动镜部件	1 套
4、投影屏	1 只
5、镜头毛刷	1 支

6、检验合格证	1 份
7、使用说明书	1 份
8、干燥剂(硅胶)	2 袋
9、法布里-珀罗固定镜部件	1 套
10、法布里-珀罗移动镜	1 套
11、望远镜(包括垂直插杆)	1 套

(其中 9—11 仅在 A 型仪器中附有，购买时请注意报价单)

# 实验九：使用分光镜测量棱镜折射率



图(一) KFY1'分光计示意图

- 1、狭缝装置    2、调焦手轮    3、平行光管部件    4、制动架(二)    5、载物台    6、载物台锁紧螺
- 紧螺    7、载物台调平螺钉(三颗)    8、望远镜部件    9、目镜锁紧螺    10、阿贝式自准直目镜
- 11、目镜视度调节手轮    12、望远镜光轴高低调节螺钉    13、望远镜光轴水平调节螺钉
- 14、支臂    15、望远镜微调螺钉
- 16、转座与度角止动螺钉    17、望远镜止动螺钉    18、制动架(一)
- 19、底座    20、转座    21、度盘    22、游标盘    23、立柱    24、游标盘微调螺钉
- 25、游标盘止动螺钉    26、平行光管光轴水平调节螺钉    27、平行光管光轴高低调节螺
- 节螺
- 28、狭缝宽度调节手轮

## 一、主要技术性能及规格

1、仪器的测角精度：1'

2、光学参数：

平行光管、望远镜系统物镜

焦距 :170mm, 通光口径:  $\phi 30\text{mm}$ , 视场 :  $3^{\circ} 22'$

望远镜系统目镜焦距:24.3mm

3、平行光管、望远镜物镜间的最大距离:120mm

4、狭缝宽度调节范围: 0.02-2mm

5、目镜视度调节范围:不小于 $\pm 5$  屈光度

6、载物台

直径 :  $\phi 70\text{mm}$

旋转角度:  $360^{\circ}$

载物台升降范围 : 22mm

7、刻度盘规格:采用激光刻划工艺制成

刻度圆直径 :  $\phi 178\text{mm}$

刻度范围 :  $0^{\circ} - 360^{\circ}$

刻度格值 :  $0.5^{\circ}$

游标读数示值: $1'$

8、仪器外形尺寸

长 $\times$ 宽 $\times$ 高 :518(伸长)  $\times$ 251 $\times$ 250(mm)

9、仪器净重:11.3kg

10、附件

1) 三棱镜: 棱角  $60^{\circ} \pm 5'$  材料 ZF2 ( $n_D=1.67268$ ,  $n_F-n_C=0.02087$ )

2) 变压器 3V/220V 和 3V 电池盒 (7 号电池)

3) 光学平行平板及座

4) 手持照明放大镜



- 5) 带 2mm 槽的光栅座
- 6) 平面全息光栅：600 条/mm 或 300 条/mm

## 二、用 途

KF-JJY1'型分光计是一种分光测角光学实验仪器，在利用光的反射、折射、衍射、干涉和偏振原理的各项实验中作用度测量。例如：

1. 利用光的反射原理测量棱镜的角度。
2. 利用光的折射原理测量棱镜的最小偏向角，从而计算棱镜玻璃的折射率和色散率。
3. 和光栅配合，作光的衍射实验，测量光波波长。

## 三、结构原理

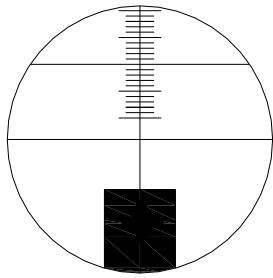
分光计的外形如图(一)所示。

在底座(19)的中央固定一中心轴，度盘(21)和游标盘(22)套在中心轴上，可以绕中心轴旋转，度盘下端有一推力轴承支撑，使旋转轻便灵活。度盘上刻有 720 等分的刻线，每一格的格值为 30 分，对径方向设有两个游标读数装置，测量时，读出两个读数值，然后取平均值，这样可以消除偏心引起的误差。

立柱(23)固定在底座上，平行光管(3)安装在立杆上，平行光管的光轴位置可以通过立柱上的调节螺钉(26、27)来进行微调，平行光管带有一个狭缝装置(1)，可沿光轴移动和转动，狭缝的宽度在 0.02-2mm 内可以调节。

阿贝式自准直望远镜(8)安装在支臂(14)上，支臂与转座(20)固定在一起，并套在度盘上，当松开止动螺钉(16)时，转座与度盘一起旋转，当旋紧止动螺钉时，转座与度盘可以相对转动。旋紧制动架(一)(18)与底座上的止动螺钉(17)时，借助制动架(一)末端上的调节螺钉(15)可以对望远镜进行微调(旋转)，同平行光管一样，望远镜系统的光轴位置，也可以通过调节螺钉(12)(13)进行微调。望远镜系统的目镜(10)可以沿光轴移动和转动，目镜的视度可以调节。

分划板视场的参数如图(二)所示：



图（二）

载物台(5)套在游标盘上,可以绕中心轴旋转,旋紧载物台锁紧螺钉(7)和制动架(二)与游标盘的止动螺钉(25)时,借助立柱上的调节螺钉(24)可以对载物台进行微调(旋转)。放松载物台锁紧螺钉时,载物台可根据需要升高或降低。调到所需位置后,再把锁紧螺钉旋紧,载物台有三个调平螺钉(6)用来调节使载物台面与旋转中心线垂直。

望远镜系统的照明器外接 3V 电源插头,在断电情况下可用自备 3V 电池电源。使用灵活方便。

## 四、仪器的调整

### 1. 目镜的调焦

目镜调焦的目的是使眼睛通过目镜能很清楚地看到目镜中分划板上的刻线。

调焦方法:

先把目镜调焦手轮(11)旋出,然后一边旋进,一边从目镜中观察,直到分划板刻线成像清晰,再慢慢地旋出手轮,至目镜中的象的清晰度将被破坏而未破坏时为止。

### 2. 望远镜的调焦

望远镜调焦的目的是将目镜分划板上的十字线调整到物镜的焦平面上,也就是望远镜对无穷远调焦。其方法如下:

1) 接上灯源。

2) 把望远镜光轴位置的调节螺钉(12、13)调到适中的位置。

3) 在载物台的中央放上附件光学平行平板。其反射面对着望远镜物镜,且与望远镜光轴大致垂直。

4) 通过调节载物台的调平螺钉(6)和转动载物台,使望远镜的反射象和望远镜在一直

线上。

5) 从目镜中观察, 此时可以看到一亮十字线, 通过调焦手轮前后移动目镜, 对望远镜进行调焦, 使亮十字线成清晰象, 然后, 利用载物台的调平螺钉和载物台微调机构, 把这个亮十字线调节到与分划板上方的十字线重合, 往复移动目镜, 使亮十字和十字线无视差地重合。

### 3. 调整望远镜的光轴垂直旋转主轴

1) 调整望远镜光轴上下位置调节螺钉 (12), 使反射回来的亮十字精确地成象在十字线上。

2) 把游标盘连同载物台平行平板旋转  $180^\circ$  时观察到亮十字可能与十字丝有一个垂直方向的位移, 就是说, 亮十字可能偏高或偏低。

3) 调节载物台调平螺钉, 使位移减少一半。

4) 调整望远镜光轴上下位置调节螺钉 (12), 使垂直方向的位移完全消除。

5) 把游标盘连同载物台、平行平板再转过  $180^\circ$  检查其重合程序。重复(3)和(4)使偏差得到完全校正。

### 4. 将分划板十字线调成水平和垂直

当载物台连同光学平行平板相对于望远镜旋转时, 观察亮十字是否水平地移动, 如果分划板的水平刻线与亮十字的移动方向不平行, 就要转动目镜, 使亮十字的移动方向与分划板的水平刻线平行, 注意不要破坏望远镜的调焦, 然后将目镜锁紧螺钉旋紧。

### 5. 平行光管的调焦

目的是把狭缝调整到物镜的焦平面上, 也就是平行光管对无穷远调焦。

方法如下:

1) 去掉目镜照明器上的光源、打开狭缝, 用漫射光照明狭缝。

2) 在平行光管物镜前放一张白纸, 检查在纸上形成的光斑, 调节光源的位置, 使得在整个物镜孔径上照明均匀。

3) 除去白纸, 把平行光管光轴左右位置调节螺钉 (26) 调到适中的位置, 将望远镜管正对平行光管, 从望远镜目镜中观察, 调节望远镜微调机构和平行光管上下位置调节螺钉 (27), 使狭缝位于视场中心。

4) 通过调焦手轮前后移动狭缝机构, 使狭缝清晰地成像在望远镜分划板平面上。

### 6. 调整平行光管的光轴垂直于旋转主轴

调整平行光管光轴上下位置调节螺钉 (27), 升高或降低狭缝像的位置, 使得狭缝对目

镜视场的中心对称。

### 7. 将平行狭缝调成垂直

旋转狭缝机构，使狭缝与目镜分划板的垂直刻线平行，注意不要破坏平行光管的调焦，然后将狭缝装置锁紧螺钉旋紧。

## 五、应用实例

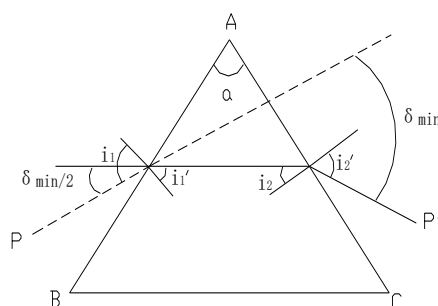
### (1) 用测量棱镜最小偏向角的方法，求棱镜材料的折射率。

#### 原理

如图(三)所示，ABC 表示一块三棱镜，AB 和 AC 面经过仔细抛光，光线沿 P 在 AB 面上入射，经过棱镜在 AC 面上沿 P' 方向出射，P 和

P' 之间的夹角  $\delta$  称为偏向角。当  $\alpha$  一定时，偏向角  $\delta$  的大小是随  $i_1$  角的改变而改变的。

而当  $i_1 = i_2'$  时， $\delta$  为最小(证明略)，这个时候的偏向角自称为最小偏向角，记作  $\delta_{\min}$ 。



$\delta_{\min}$ 。

图 (三)

由图中可以看出，这时  $i_1' = \frac{\alpha}{2}$

$$\delta_{\min} / 2 = i_1 - i_1' = i_1 - \frac{\alpha}{2}$$

$$i_1 = \frac{1}{2}(\delta_{\min} + \alpha)$$

设棱镜材料折射率为 n

$$\text{则 } \sin i_1 = n \sin i_1' = n \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$n = \frac{\sin i_1}{\sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{\sin \frac{\alpha + \delta_{\min}}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

由此可知，要求得材料的折射率  $n$ ，必须

- 1) 测出顶角  $\alpha$ 。
- 2) 测出最小偏向角  $\delta_{\min}$ 。

## (2) 测量前的调整

将仪器完全按照“仪器的调整”中所述的方法调整好。

## (3) 测量顶角

1) 取下平行平板，放上被测棱镜，适当调整工作台高度，用自准直法观察，使 AB 面和 AC 面都垂直于望远镜光轴。

1) 调好游标盘的位置，使游标在测量过程中不被平行光管或望远镜挡住，锁紧制动架(二)和游标盘，载物台和游标盘的止动螺钉。

2) 使望远镜对准 AB 面，锁紧转座与度盘、制动架(一)和底座的止动螺钉。

3) 旋转制动架(一)末端上的调节螺钉，对望远镜进行微调(旋转)，使亮十字与十字线完全重合。

4) 记下对径方向上游标所指标的度盘的两个读数，取其平均值  $A_m$ 。

5) 放松制动架(一)与底座上的止动螺钉，旋转望远镜，使对准 AC 面，锁紧制动架(一)与底座上的止动螺钉。

6) 重复 4)、5)得到的平均值  $B_m$ 。

7) 计算顶角： $\alpha = 180^\circ - (B_m - A_m)$

最好重复测量三次，求得平均值。

#### (4) 测量最小偏向角

- (1). 用所要求谱线的单色光(如钠灯)照明平行光管的狭缝,从平行光管发出的平行光束经过棱镜的折射而偏折一个角度。
- (2). 放松制动架(一)和底座的止动螺钉,转动望远镜,找到平行光管的狭缝象,放松制动架(二)和游标盘的止动螺钉,慢慢转动载物台,开头从望远镜看到的狭缝像沿某一方向移动,当转到这样一个位置,即看到的狭缝象,刚刚开始要反身移动,此时的棱镜位置,就是平行光束以最小偏向角射出的位置。
- (3). 锁紧制动架(二)与游标盘的止动螺钉。
- (4). 利用微调机构,精确调整,使分划板的十字线精确地对准狭缝(在狭缝中央)。
- (5). 记下对径方向上游标所指示的度盘的读数,取其平均值  $C_m$ 。
- (6). 取下棱镜,放松制动架(一)与底座的止动螺钉。转动望远镜,使望远镜直接对准平行光管,然后旋紧制动架(一)与底座上的止动螺钉,对望远镜进行微调,使分划板十字线精确地对准狭缝。
- (7). 记下对径方向上游标所指示的度盘的两个读数,取平均值  $D_m$ 。
- (8). 计算最小偏向角  $\delta_{\min} = (D_m - C_m)$  最好重复测量三次,求得平均值。

#### 利用公式

$$n = \frac{\sin \frac{\alpha + \delta_{\min}}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

求出折射

## 六、仪器的保养

- 1) 为了保持仪器的精度,延长使用寿命,减少故障,必须对仪器进行维护保养。
- 2) 分光计不论在使用或存放时,应避免灰尘、潮湿、过冷、过热及含有酸碱性等气体的侵蚀。使用间隙、可用有机玻璃罩或清爽绒布遮盖。
- 3) 在不使用仪器时,须将仪器擦拭干净,装入木箱内,放入干燥剂。
- 4) 如果光学零件表面有灰尘,可用镜头刷刷去,如果光学零件表面有脏物或油斑,可将干净的脱脂棉花卷在小木棒上,蘸上酒精或航空汽油仔细地擦去,但须注意,切勿使小木棒

直接接触光学零件表面，以免擦伤，光学零件表面切勿用手触碰，以免油指，汗迹附着。

5)狭缝机构制造精细、调整精密，没有必要时，不宜拆卸调节，以免由于调节不当而影响精度。

## 七、仪器的装箱清单

KF-JJY1'分光计包括下列各项：

1、KF-JJY 分光计	1 台
2、三棱镜	1 只
3、光学平行平板及座	1 套
4、光栅（300 线/mm）及座	1 套
5、手持照明放大镜	1 套
6、3V 变压器和 3V 电池盒（两节 7 号电池）	1 组
7、干燥剂	1 袋
8、产品说明书	1 本
9、出厂合格证	1 张

# 实验十：视频/音频信号光纤传输技术探究

## 目的

1. 熟悉半导体电光/光电器件的基本性能及基本特性的测试方法
2. 了解模拟信号光纤传输系统的结构及各主要部件的选配原则
3. 学习利用 I-V 变换电路测量光电流的方法
4. 训练模拟信号光纤传输系统的调试技术

## 仪器和用具

MXGC—A 型视频/音频信号光纤传输技术实验仪（成都笃创科教仪器有限公司研制）、双踪示波器、数字万用表。

## 原理

现代制造工艺能使光导纤维具有很低损耗和很小色散，加上它具有很强的抗电磁干扰能力，光纤通信已成为人们实际生活中的重要通信工具。其中分模拟信号和数字信号两类光纤通信。本实验只涉及模拟信号（包括音频信号和视频信号）光纤通信的有关问题。

## 1. 模拟信号光纤传输系统的组成

图 A-12-1 示出了一个模拟信号光纤传输系统的结构方块图。发送端包括被传输的信号源、半导体发光二极管（LED）及其调制、驱动电路；接收端包括光电二极管 PD、光电转换和放大电路、信号还原设备（音响设备或图像显示器）等。

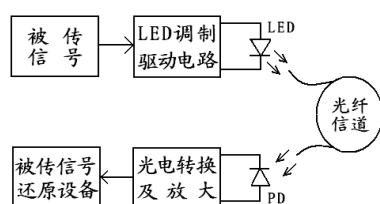


图 A-12-1. 模拟信号光纤传输系统的结构

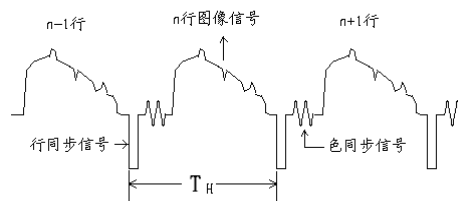


图 A-12-2. 彩色全电视信号

## 2. 彩色全电视信号源

本实验所用的彩色全电视信号由彩色摄像机提供。下面对彩色全电视信号方面的问题仅作定性说明，详细的理论分析已超过本课程范围，有兴趣的读者可查阅参考文献[1]

所谓彩色全电视信号，就是对经过光电转换后形成的“活动”平面彩色图像信息，按适



合人眼视觉效应的抽样频率，进行空域和时域抽样所形成的串行电信号。为了在接收端再现稳定图像，在这一串行电信号中还必须加上行、场同步信号、色同步信号以及行、场消隐信号等等。彩色全电视信号可通过 CCD 摄像机获得。CCD 摄像机由摄像镜头、棋盘式滤色器的 CCD 器件、色彩信号分离电路及彩色全电视信号生成电路等部分组成。彩色全电视信号的波形如图 A-12-2 示。其中，图像信号包括亮度信号和色度信号。亮度信号是代表图像的明暗程度，色度信号是反映图像的色调和色饱和程度。在接收端，彩色图像接收设备把色度信号解调为两个色差信号，再利用矩阵解码电路把亮度信号、两个独立的色差信号变换成图像的三基色信号。最后，图像的三基色信号去驱动彩色图像显示器，实现彩色图像的再现。

### 3. 半导体发光二极管 (LED) 的伏安特性与电光特性

光纤通讯系统中对光源器件在发光波长、电光效率、工作寿命、光谱宽度和调制性能等许多方面均有特殊要求。目前在以上各个方面都能较好满足要求的光源器件主要有半导体发光二极管 (LED) 和半导体激光二极管 (LD)。模拟信号光纤传输系统中常用半导体发光二极管。有关 LED 结构和工作原理的论述请查阅半导体物理方面的书籍[2]。在此只对其外特性做些介绍。半导体发光二极管的正向伏安特性如图 A-12-3 (a) 所示，与普通的二极管相比，在正向电压大于 1V 以后，才开始导通，在正常使用情况下，正向压降为 1.6~1.7V 左右。LED 的电光特性 (出光功率与驱动电流的关系) 如图 A-12-3 (b) 示。为了使传输系统发送端能够产生一个无非线性失真和峰—峰值最大的光信号，使用 LED 时应预先给它一个最佳的偏置电流 (其值应等于 LED 电光特性线性段中点对应的电流值)；而调制电流的峰—峰值要尽可能大地处于 LED 电光特性的线性范围内，如图 A-12-3 (b) 中的点 A 示。从图 A-12-3 示可知：在输入同样幅度电信号情况下，由于 LED 偏置状态不同，LED 输出的光信号幅度也不同。所以，正确选择 LED 偏置电流是设计模拟信号光纤传输系统中必须考虑的问题。

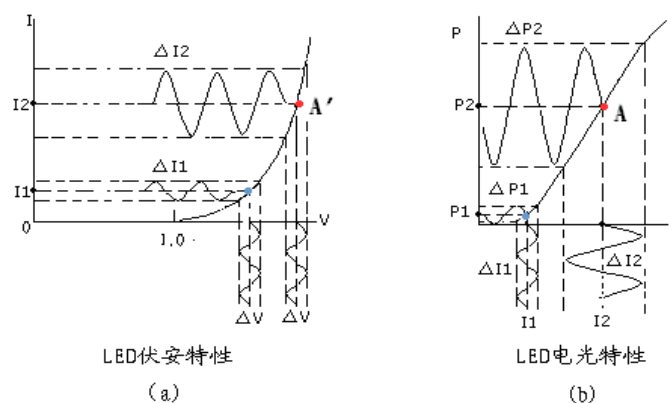


图 A-12-3 LED 伏安特性和电光特性

### 4. 彩色全电视信号的电光转换

彩色全电视信号电光转换电路如图 A-12-4 示，它主要由视频信号源、视频放大电路和 LED 的驱动和调制电路组成。以 BG1 为主构成的电路是 LED 的驱动电路，调节这一电路中的

W2 可使 LED 的偏置电流在 0—50mA 的范围内变化。被传视频信号经放大处理后由电容器 C2 耦合到 BG1 基极，对 LED 的工作电流进行调制，从而使 LED 发送出光强随视频信号变化的光信号，经光导纤维把这一信号传至接收端。

## 5. 光导纤维的结构、传光机理与特性

光导纤维是由石英材料拉制而成，分纤芯和包层两部分，如图 A-12-5 示。芯子的半径为  $a$ ，折射率为  $n_1$ ，包层的外径为  $b$ ，折射率为  $n_2$ ，且  $n_1 > n_2$ 。光纤的这种结构实际上就是一个圆柱形光波导结构。光波是一种波长很短的电磁波，在光纤中传播时的规律也应遵从电磁波理论。根据麦克斯韦方程及电磁场矢量在纤芯与包层界面处应满足的边界条件可知：在这样的光波导结构中，允许多种电磁场形态的光波沿光纤轴线传播[3]。光纤的纤芯直径和光纤的数字孔径  $\Delta = (n_1 - n_2) / n_1$  愈大，光纤中允许传播的电磁场形态的数目就愈多，这种

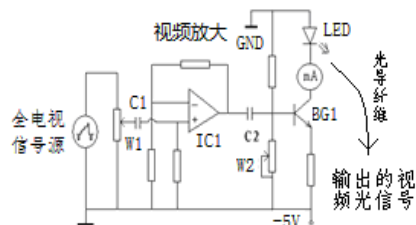


图 A-12-4 视频信号光电转换电路

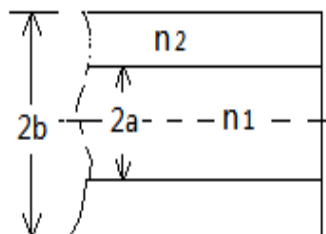


图 A-12-5 光导纤维的结构示意图

光纤称为多模光纤。当光纤的数字孔径  $\Delta$  和纤芯半径小到一定程度时，只允许称为基模的一种电磁场形态传播，这种光纤称为单模光纤。单模光纤的纤芯直径只有  $5 \sim 10 \mu\text{m}$ ，多模光纤的纤芯直径为  $50 \mu\text{m}$  或  $62.5 \mu\text{m}$ 。两种光纤的包层直径均为  $125 \mu\text{m}$ 。

衡量光导纤维性能好坏有两个重要指标：

一是看它传输信息的距离能有多远，这决定于光纤的损耗特性。经过人们对光纤材料的提纯，目前已使光纤的损耗做到  $0.2\text{dB/Km}$ 。光纤的损耗与工作波长有关，所以在光源器件的选用上，应尽量选用低损耗工作波长的光源器件。

二是看它携带信息的容量能有多大，这决定于光纤的脉冲响应或基带频率特性。所谓光纤的脉冲响应特性，就是指在光纤的输入端输入一个具有一定宽度的光脉冲时，经过一定距离传输后到达输出端时光脉冲加宽的特性。在光纤中引起脉冲加宽有三个因素：

(1) 模式色散 由于各个模式的光波所携带的光能量沿光纤轴线传播的速度不同，从而在接收端引起光脉冲的加宽，称为模式色散。

(2) 材料色散 由于光源器件发出的光波不是单一波长的光波，而是具有一定的谱线宽度，而纤芯材料折射率又与波长有关，所以在单模光纤中即使只有基模传播，对应着不同波长的基模的传播速度也不一样，这也会导致光脉冲加宽。这一因素引起的光脉冲加宽称为材料色散。

(3) 波导色散 即使纤芯折射率与波长无关，因光纤是圆柱形光波导，根据理论分析[3]：对应着不同波长的同一模式其传播速度也不一样。这一原因引起的脉冲加宽称为波导色散。

在多模光纤中，模式色散是引起脉冲加宽的主要因素。在单模光纤中，引起脉冲加宽的因素只有材料色散和波导色散。所以单模光纤的带宽性能更好，适用于远距离大容量通信系统。而多模光纤只用于局域光纤通信系统。即使如此，其带宽也远大于传输视频信号要求的  $0 \sim 6\text{M}$  范围。

## 6. 半导体光电二极管的光电特性

在光纤通信技术中，起光电转换作用的主要器件是半导体光电二极管。在此只就其外特性给予简单论述。关于它的内部结构和工作原理见半导体物理有关资料[2]。

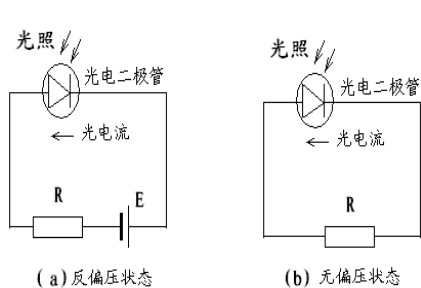


图 A-12-6 光电二极管的两种工作状态

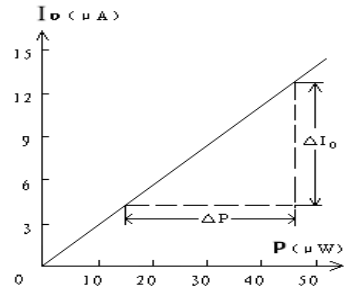


图 A-12-7 光电二极管的光电特性

与普通二极管不同，光电二极管可以、而且经常工作在反向偏置电压状态和无偏压状态，如图 A-12-6 示。在这些工作状态下，光电流均是从负极流向正极。反偏压工作状态下光电二极管 P-N 结空间电荷区的势垒增高、宽度加大、结电阻增加、结电容减小，所有这些均有利于提高光电二极管的高频响应性能。反压状态下，从光电二极管流出的光电流几乎与反压无关，只与入射到光敏面的光功率有关。因此在光电转换电路中，它可视为一个电流源。

在短路状态下光电二极管的光电流与入射光功率具有很好的线性关系，这一关系称为光电二极管的光电特性（如图 A-12-7 示）。这一特性在  $I_0-P$  坐标系中的斜率：

$$R \equiv \Delta I_0 / \Delta P \quad (\mu A / \mu W) \quad (A-12-1)$$

定义为光电二极管的响应度，它是表征光电二极管光电转换效率的重要参数。光电二极管的响应度  $R$  值与入照光波的波长有关。本实验中采用的硅光电二极管 SPD，其光谱响应波长在  $0.4 \sim 1.1 \mu m$  之间、峰值响应波长为  $0.9 \mu m$ 。在峰值响应波长下，响应度  $R$  的典型值在  $0.25 \sim 0.5 \mu A / \mu W$  的范围内。

光电二极管的频率特性与其结电容有关，而其结电容又与光电二极管的光敏面大小和反压大小有关。所以，在音频信号范围内能够使用光敏面较大的光电二极管，在视频信号范围内就不一定能适用。视频信号范围内使用的光电二极管，光敏面很小，为了提高光纤输出端与光电二极管的光耦合效率，要求光纤的出光端面与光电二极管的光敏面对得很准。即使如此，所获得的光电信号还是很弱的，在后续的处理中还需加前置放大。

## 7. 视频信号与音频信号的差异

音频信号是双极性信号，而视频信号是单极性的信号，它具有直流分量。视频信号的直流分量对人眼的视觉影响关系密切。在视频信号传输过程中为了方便，无论在发送端或接收端电信号均采用交流耦合方式传递，这会丢失视频信号原有的直流分量。所以在视频信号光纤传输系统的接收端还应采取视频信号直流分量的恢复和调节措施。

## 实验仪器

本实验使用的仪器是由成都笃创科教仪器有限公司研制的 MXGC-A 型视频/音频信号光纤传输技术实验仪。它由发送器、接收器和光纤信道三部分组成。详情见该仪器的使用说明书。

## 实验内容

### 1. LED 伏安特性及电光特性的测定

LED 伏安特性测量电路如图 A-12-8 示，电光特性测量电路如图 A-12-9 示。所需直流毫安表、电压表和光功率计均安装在 MXGC-A 型视频/音频信号光纤传输技术实验仪发送器前面板上，并且电流表和电压表已按图 A-12-8 示连接方式接入测量电路。具体操作如下：

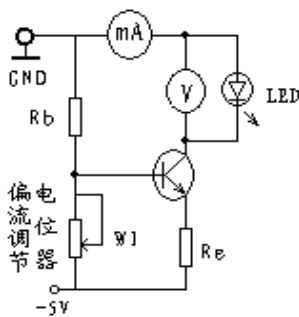


图 A-12-8 LED 伏安特性的测定

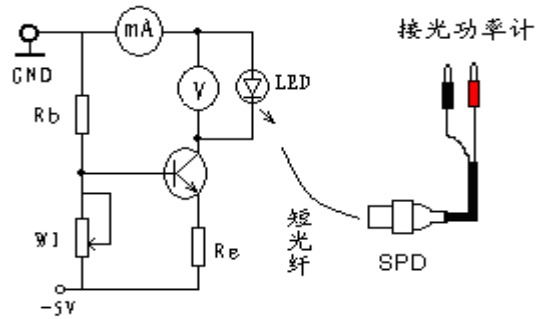


图 A-12-9 LED 电光特性的测定

#### (1) LED 伏安特性的测定

调节图 A-12-8 中的**偏流调节**电位器 W1，并注意直流电压表 V 读数的变化情况。从 1.10V 开始（包括 1.10V），每增加 0.05V 读取和记录一次直流电压表 V 和直流毫安表 mA 的读数，直到电压表的示值为 1.6V 为止。把实验数据记录在表 A-12-1 中。根据实验数据绘制 LED 的伏安特性曲线。

表 A-12-1 LED 伏安特性测定实验数据记录

电压 (V)

电流(mA)

#### (2) LED 电光特性的测定

用一条带 ST 型插头的短光纤，一头插入 MXGC-A 型实验仪发送器前面板“LED”插孔，另一头插入 SPD 光敏面的一端。SPD 两电极的引线接至发送器前面板的光功率计“SPD”输入插孔。接通电源开关，调节图 A-12-9 中“**偏流调节**”电位器 W1 使直流毫安表的读数从零开始增加，每增加 5mA 读取一次光功率的读数，直到毫安表的指示为 50mA 止。把实验测试数据记录在表 A-12-2 中。根据实验数据绘制 LED 电光特性。由 LED 电光特性曲线确定 LED 的最佳偏置电流。

表 A-12-2 LED 电光特性测定实验数据记录

电流(mA)

光功率 ( $\mu\text{W}$ )

## 2. SPD 光电特性的测定

测定 SPD 光电特性的电路如图 A-12-10 所示。LED 在这里仅作光源使用，其光功率由光导纤维输出。以 IC1 为主构成的电路是 I—V 变换电路，它的作用是把流过光电二极管的

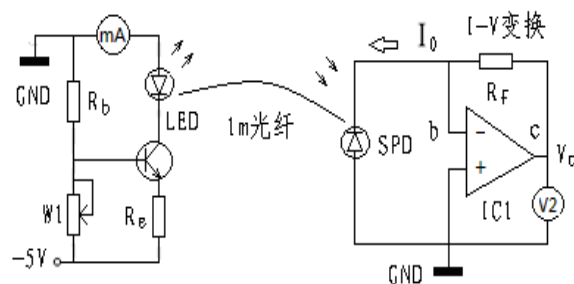


图 A-12-10 SPD 光电特性的测定

光电流  $I_0$  转换为与其成正比的 IC1 输出电压  $V_0$ 。I—V 变换电路的工作原理如下：由于 IC1 的反相输入端具有很大的输入阻抗，光电二极管受光照时产生的光电流  $I_0$  几乎全部流过  $R_f$  并在其上产生电压降  $V_{cb} = I_0 \cdot R_f$ 。另外，又因 IC1 的反相输入端  $b$  具有与同相输入端相同的地电位，故 IC1 的输出电压：

$$V_0 = I_0 \cdot R_f \quad (\text{A-12-2})$$

在本实验仪中， $R_f = 100\text{K}\Omega$ 。所以，根据 (A-12-2) 式由  $V_0$  就可计算出相应的光电流  $I_0$ 。

具体操作如下：

(1) 测完 LED 电光特性后，保持 LED、短光纤、SPD 光电探头之间的光耦合状态不变。把 SPD 两电极的引线插入光功率计的“SPD”插孔，调节图 A-12-10 中的电位器 W1 使光功率计读数分别为 5、10、15、20、.....50 $\mu\text{W}$ ，记录下对应的毫安表读数。

(2) 完成上一项实验后，继续保持 LED、短光纤、SPD 的光耦合状态不变。把 SPD 按图 A-12-10 所示接入 I—V 变换电路，再次调节该图中的电位器 W1，使 LED 通过尾纤输出的光功率值依次为 5、10、15、20、.....50 $\mu\text{W}$ （光功率的这些值根据上一项实验的记录数据，由毫安表读数确定），并依次记录下 I—V 变换电路的输出电压  $V_0$  值。

(3) 根据上一项实验测得的有关 I—V 变换电路输出电压  $V_0$  的数据，由 (A-12-2) 式，计算相应的光电流  $I_0$ 、绘制 SPD 光电特性、求出 SPD 的响应度 R 值。

## 3. 音频信号光纤传输实验

按图 A-12-11 所示，连接好实验系统后，进行以下三项实验：

(1) LED 最佳偏置电流的设定 在调制信号幅度为零的情况下，调节图 A-12-11 中的 W1 电位器，使直流毫安表的读数为由表 A-12-2 实验数据所确定的 LED 最佳偏置电流值。

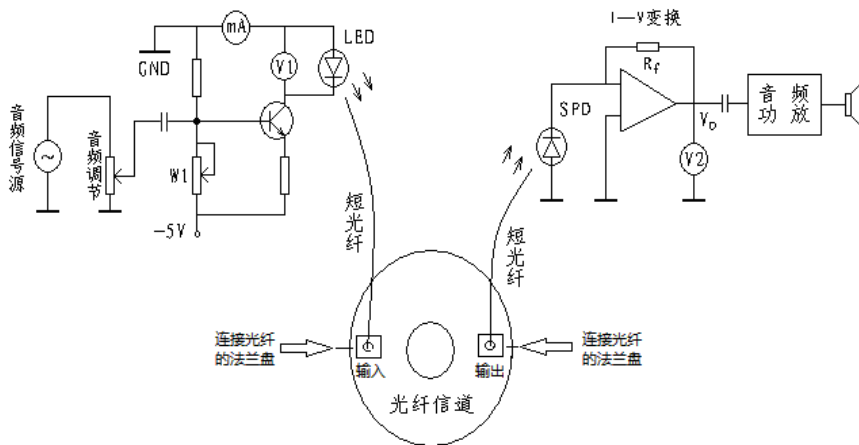


图 A-12-11 音频信号光纤传输实验系统连接

(2) 无非线性失真的最大光信号幅值测定 用 MXGC-A 型实验仪配有的 1kHz 左右的正弦信号源作为图 A-12-11 中的音频信号源，把双踪示波器 CH1 通道接到 I—V 变换电路的输出端。缓慢调节该图中的“音频调节”电位器，观察示波器波形和 I—V 变换电路输出电压  $V_o$  的变化情况。当 I—V 变换电路输出电压的读数偏离原来未加调制信号时的读数 1—2% 时，记录下示波器屏幕上正弦信号的峰—峰值，并根据  $R_f$  值由式 (A-12-2) 计算出无非线性失真的最大光信号幅值。

(3) 语音信号的传输 在图 A-12-11 示联接的基础上，用语音信号源代替正弦信号源。改变语音信号的幅度，观察示波器波形和 I—V 变换电路输出电压的变化情况、认真体验不同调制幅度情况下的听觉效果，并对实验现象进行分析。

## 4. 视频信号光纤传输实验

### (1) 全电视信号结构的示波器观测

参看 MXGC-A 型实验仪使用说明，如图 A-12-12 所示连接好实验系统。用示波器 CH1 通道观察由 CCD 摄像机输出的全电视信号的结构，并把观测结果用波形图表示出来，并在波形图上标示出行同步信号、色同步信号的位置；行、场同步信号的周期。

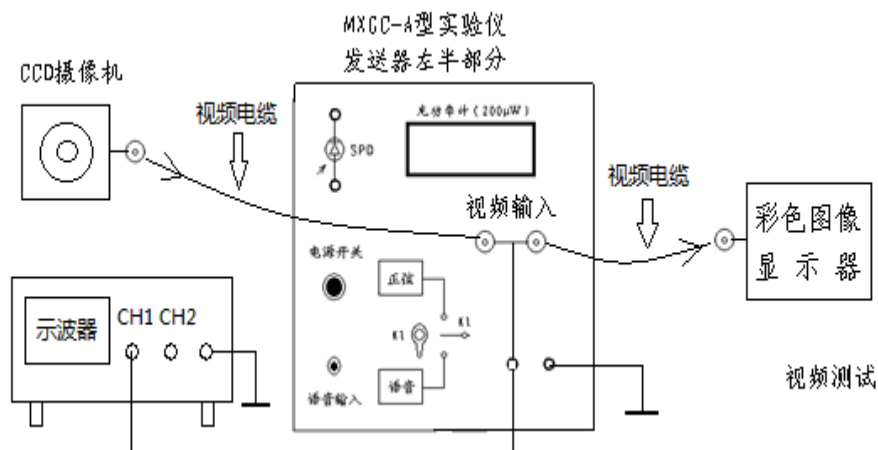


图 A-12-12 全电视信号结构的示波器观测

(2) 视频信号的电光转换

在上一项实验连接不变的基础上，如图 A-12-13 所示，把双踪示波器的 CH2 通道接至 MXGC-A 型实验仪发送器右半部分“LED 电流波形”插孔，观察示波器 CH2 通道波形。在 LED 偏置电流所对应的线性调制范围内，这一波形就对应着视频电信号经 LED 转换后形成的视频光信号的波形。

(3) 视频信号的光纤传输、光电转换和图像再现调节

在上一项实验基础上，如图 A-12-13 中虚线所示，把示波器 CH2 通道转接至 MXGC-A 型实验仪接收器的“视频测试”插孔。彩色图像显示器接至接收器的“视频输出”Q9 插口，并把光纤信道按该图所示接入实验系统。

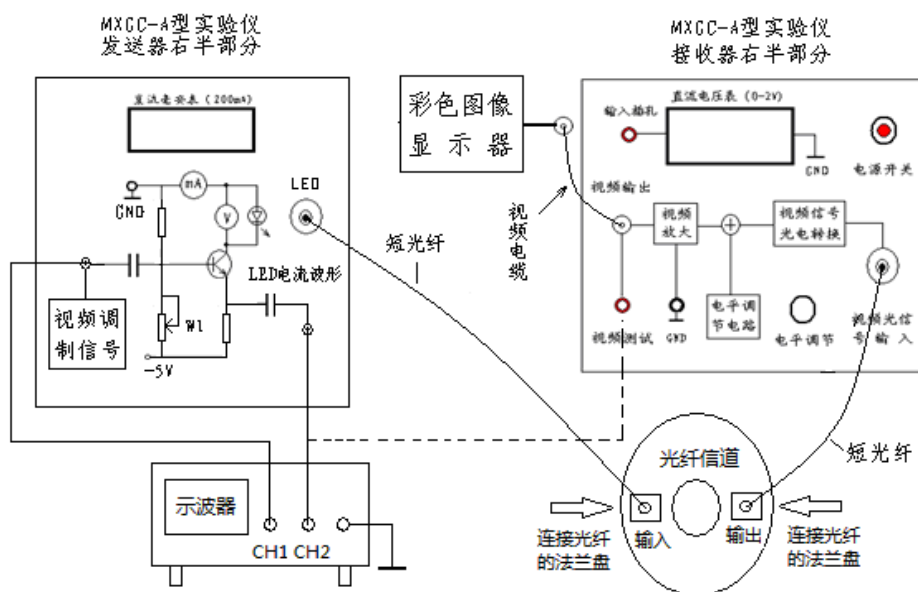


图 A-12-13 视频信号光纤传输系统的连接

完成上述连接后，开启实验系统各单元所需电源。观察示波器 CH1、CH2 两通道的波形和显示器的图像。调节视频调制信号的幅度和 MXGC-A 型实验仪接收器面板上“电平调节”旋钮，观察示波器 CH2 通道波形和彩色图像显示器图像质量的变化情况，直到 CH2 具有与 CH1 相似的波形和彩色图像显示器有质量很好的图像为止。

思考题

- 1、在图 A-12-10 中，SPD 是处于什么工作状态？，其光电流是怎样测定的？
- 2、音频信号光纤传输实验中，在 LED 偏置电流一定情况下,当音频调制信号幅度较小时，指示 LED 偏置电流的毫安表读数与调制信号幅度无关，当调制信号幅度增加到某一程度后，毫安表读数将随着调制信号的幅度而变化，为什麼？

## 一、仪器的组成：

本仪器由以下三部分组成：

- 1、MXGC-A 型模拟（视频/音频）信号光纤传输技术实验仪（发送器）
- 2、MXGC-A 型模拟（视频/音频）信号光纤传输技术实验仪（接收器）
- 3、含连接跳线的光纤信道和 SPD 光电探头各一
- 4、PAL 制式的摄像头和显示屏各一

## 二、各部件的布局

### 1、MXGC-A 型模拟（视频/音频）信号光纤传输技术实验仪（发送器）前面板布局及各插孔、开关和电位器旋钮的功能如图 1.

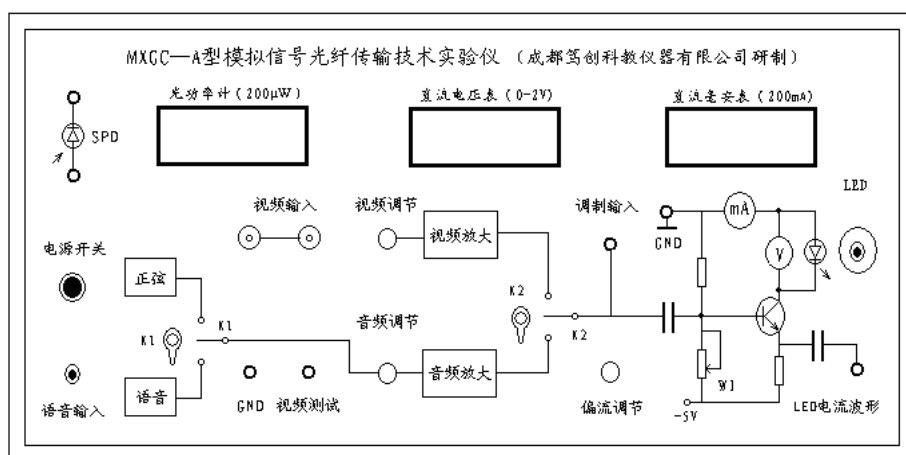


图 1. MXGC-A 型模拟（视频/音频）信号光纤传输技术实验（发送器）前面板布局



2、MXGC-A 型模拟（视频/音频）信号光纤传输技术实验仪（接收器）前面板布局及各插孔和电位器旋钮的功能如图 2 示。

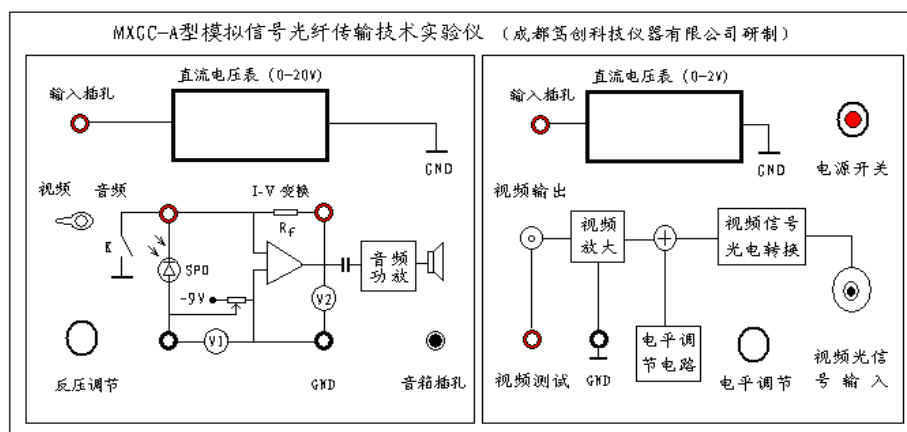


图 2 MXGC-A 型模拟（视频/音频）信号光纤传输技术实验仪（接收器）前面板布局

光纤信道的输入、输出端口的说明如图 3 示。

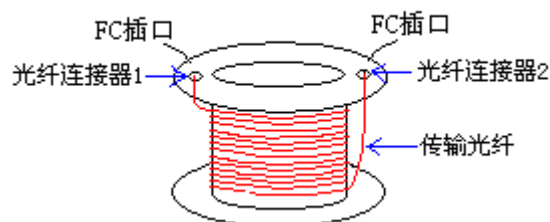


图 3 光纤信道

光电探头的结构如图 4 示

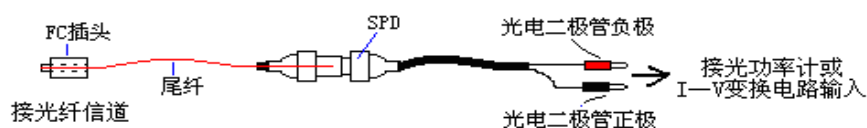


图 4 光电探头的结构



## 1.2 LED 电光特性的测定

按图.7 示方式连接好测量系统。接通电源开关，调节“偏流调节”电位器使直流毫安表的读数为零。在此情况下光功率计的指示应为零，若不为零，记下这一读数，以后在数据处理时把这一读数作为零点扣除。然后继续调节“偏流调节”电位器使直流毫安表的指示从零开始增加，每增加 5mA 读取一次光功率的读数，直到直流毫安表的指示超过 50mA 为止。把实验测试数据记录在表 1.2 中，根据实验数据绘制 LED 的电光特性。由 LED 的电光特性曲线确定 LED 的最佳偏置电流。

表 1. 2 LED 电光特性测定实验数据记录

电流 (mA)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
光功率(μW)										

## SPD 光电二极管光电特性的测定

光电二极管的光电特性是指光电二极管在短路状态下光电流与入照光功率之间的关系。测定光电二极管光电特性的电路如图 8 所示。LED 在这里仅作光源使用，其光功率由光导纤维输出。由 IC1 为主构成的电路是一个电流—电压变换电路，它的作用是把流过光电二极管的光电流  $I_0$  转换成由 IC1 输出端 C 点的输出电压  $V_0$ ，它与光电流成正比。整个测量电路的工作原理依据如下：

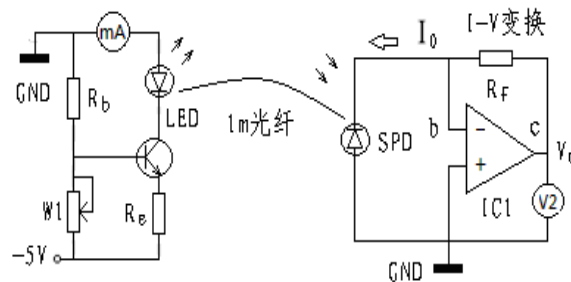


图 8. SPD 光电特性性的测定

由于 IC1 的反相输入端具有很大的输入阻抗，光电二极管受光照时产生的光电流  $I_0$  几乎全部流过  $R_f$  并在其上产生电压降  $V_{cb} = R_f \times I_0$ 。另外，又因 IC1 的反相输入端 b 具有与同相输入端相同的地电位，故 IC1 的输出电压

$$V_0 = R_f \times I_0 \quad (2)$$

在本实验仪中， $R_f = 100K \Omega$ 。所以，根据 (2) 式由  $V_0$  就可计算出相应的光电流  $I_0$ 。

具体操作如下：

2.1 测完 LED 电光特性后，保持图 7 中示的连接不变。

2.2 在不加调制信号的情况下，调节发生器面板上“偏流调节”旋钮，使光功率计读数分别

为 5、10、15、20、.....50 $\mu$ W, 记录下对应的毫安表读数。

- 2.3 完成 2.2 项实验后, 保持 LED、SPD、连接跳线和光纤信道的光耦合状态不变。把 SPD 两电极的引线接至接收器前面板 I—V 变换电路 SPD 的“输入插孔”, 注意插孔颜色对应。把接收器前面板左边的“音频/视频”切换开关拨至“音频”位置、“反压调节”旋钮旋至零位。
- 2.4 用一导线把接收器 I—V 变换电路输出端接至右上方 2V 电压表的输入插孔。
- 2.5 再次调节发生器面板上的“偏流调节”旋钮, 使 LED 的电流指示依次为 2.2 项测量光功率值为 5、10、15、20、....50 $\mu$ W 所对应的电流值, 并依次记录下接收器 I—V 变换电路的输出电压。
- 2.6 用万用表, 测出 I—V 变换电路中的  $R_f$  值, 按 2.5 项实验所得的数据, 由 (2) 式, 计算对应的光电流。绘制 SPD 的光电特性, 并求出 SPD 响应度  $R$  的值。

## 音频信号光纤传输实验

按图 9.示连接好实验系统后, 把发送器面板上音频切换开关拨至“正弦”位置、“音频/视频”切换开关拨至“音频”位置。接收器的 I—V 变换电路的输出端接至面板右上侧的 0-2V 直流电压表。然后进行以下三项实验:

- 3.1 LED 最佳偏置电流的设定——把发送器面板上“音频调节”旋钮往右转到极限位置后,

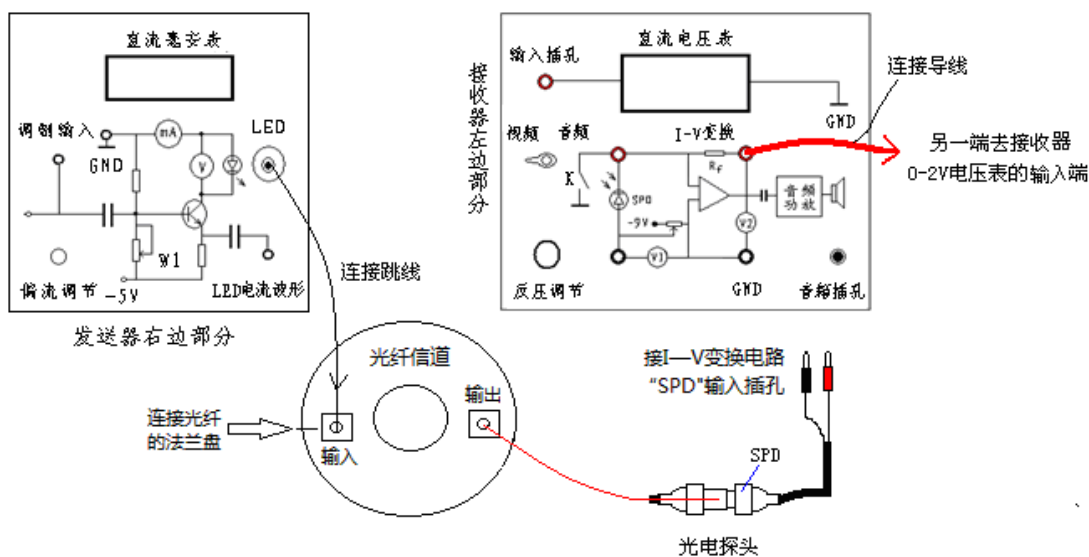


图 9. 音频信号光纤传输实验系统连接

调节发送器面板上的“偏流调节”旋钮, 使直流毫安表的读数为 1.2 项实验确定出的 LED 最佳偏置电流值。

- 3.2 接收端无非线性失真最大光信号幅值的测定 —— 把双踪示波器 CH1 通道接到接收器 I—V 变换电路的输出端。缓慢调节发送器面板上“音频调节”旋钮, 观察示波器波形和接收器 2V 直流电压表显示读数的变化情况。当电压表的读数偏离原来未加调制信号时

的读数 1% 时，记录下示波器屏幕上正弦信号的峰—峰值，并根据  $R_f$  值由 (2) 式计算出接收端无非线性失真的最大光信号幅值。

- 3.3 语音信号的传输**——在图 9 示连接的基础上，把发送器面板上“正弦/语音”切换开关拨至“语音”一边。用另一条电缆连接线（一头为双声道插头，另一头为单声道插头）把外接语音信号源接入实验系统：电缆线双声道一头接语音信号源，单声道一头接发送器前面板的“语音输入”插孔。最后把耳塞插入接收器前面板上标有“喇叭”图标插孔中。调节发送器“音频调节”旋钮，在不同调制信号幅度下观察示波器波形和接收器 2V 电压表示值的变化情况，认真体验对应情况下的听觉效果，并对实验现象进行分析。

## 视频信号光纤传输实验

- 4.1 全电视信号结构及行、场同步信号周期的示波器观测**——实验系统的连接如图 10 示。用示波器观察由 CCD 摄像机输出的全电视信号的结构，从波形图上确定行消隐信号位置及行、场同步信号的周期。并把观测结果用波形图表示出来。

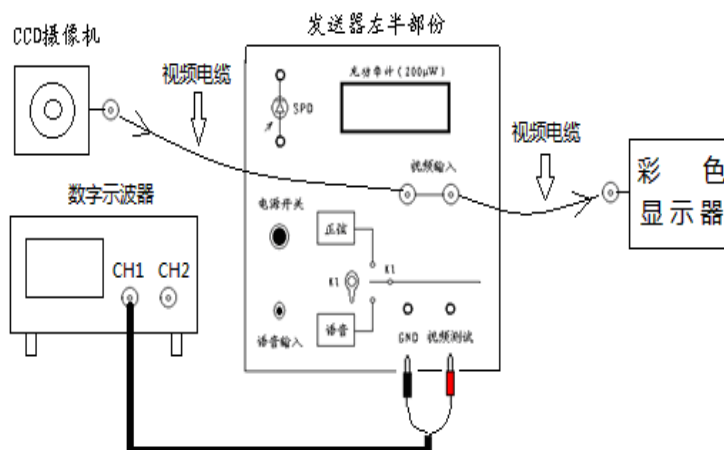


图 10. 全电视信号结构的示波器观测

- 4.2 视频信号的电光转换**——在 4.1 项实验连接不变的基础上，把示波器的 CH2 通道接至发送器右边“LED 电流波形”插孔，并把发送器面板上的“音频/视频”切换开关拨至“视频”位置。观察示波器 CH2 通道波形。在 LED 偏置电流所对应的线性调制范围内，这一波形就是 LED 发出的光信号光功率随时间变化的波形。
- 4.3 视频信号的光纤传输、光电转换、直流电平和图像再现调节**——在 4.2 项实验基础上，把示波器 CH2 通道接至接收器右半部分的“视频测试”和“GND”两个插孔，红、黑对应。彩色显示器接至接收器右半部分的“视频输出”Q9 插口，并按图 11 示方式，把光纤信道接入实验系统。

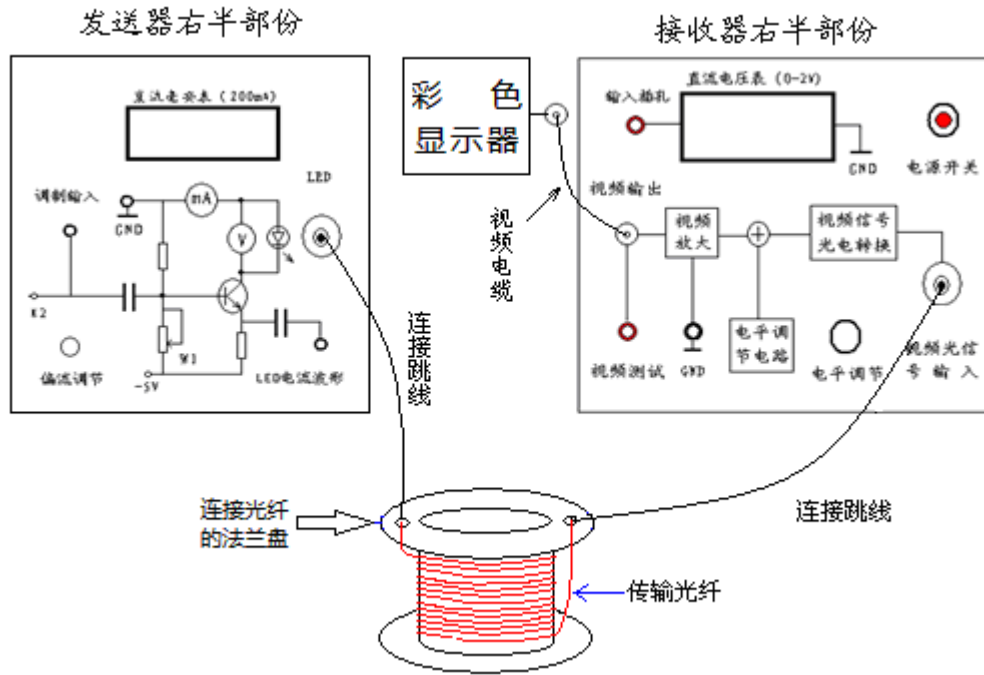


图 11. 视频信号光纤传输系统的连接

完成上述连接后，开启实验系统各单元所需电源。观察示波器 CH1、CH2 两通道的波形和显示器的图像。调节发送器面板上“视频调节”旋钮和接收器面板上“电平调节”旋钮，观察示波器 CH2 通道波形和显示器图像质量的变化情况，直到 CH2 具有与 CH1 相似的波形和显示器有质量很好的图像为止。