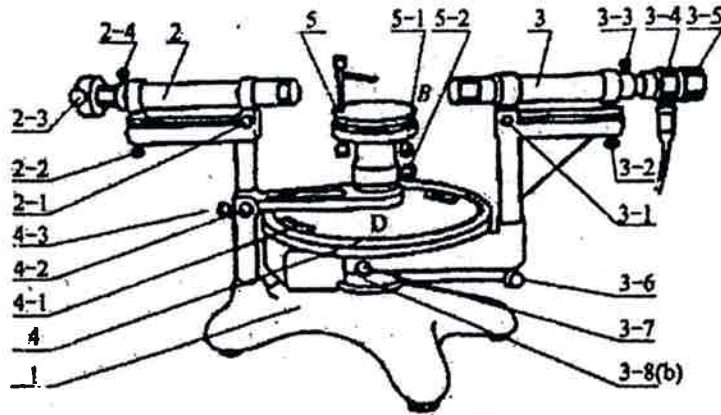


## 第二十四届

### 实验部分

一、以钠光波长  $\lambda_0 = 589.3 \text{ nm}$  (钠双线的平均值) 为标准, 用光栅和分光计测定汞双黄谱线的波长  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$ 。

仪器: 分光计(如图 48 所示), 光栅, 钠光灯, 汞灯, 平面镜。



1. 三角底座; 2. 平行光管; 2-1 水平方向调节螺钉, 2-2 倾角调节螺钉, 2-3 狭缝调节螺钉; 2-4 狭缝套筒锁定螺钉; 3. 望远镜; 3-1 水平方向调节螺钉, 3-2 倾角调节螺钉, 3-3 套筒锁定螺钉, 3-4 照明灯筒, 3-5 目镜, 3-6 望远镜微调螺钉, 3-7 望远镜与刻度盘锁定螺钉, 3-8(b) 望远镜止动螺钉(在图的背面); 4. 刻度盘; 4-1 角游标, 4-2 游标盘微调螺钉, 4-3 游标盘止动螺钉; 5. 载物平台; 5-1 载物台调平螺钉(三个), 5-2 载物台与游标盘锁定螺钉

图 48

要求:

1. 写出测量原理和公式成立条件;
2. 写出仪器调整和实验的操作步骤,并说明每一个步骤的目的;
3. 数据处理(原始数据记录与处理,求出汞双黄谱线的测定结果  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$ ).

注:只按卷面评分.

二、利用黑盒子的元件和含有交、直流成分的电源  $E$  (输出电压的波形如图 49 所示) 设计一电路,使发光二极管(LED)正常发光,并要求电源  $E$  的极性交换后发光二极管仍能正常发光.

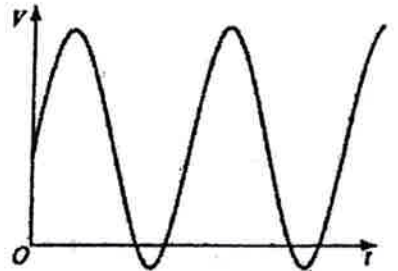


图 49

器材: 500 型指针式多用电表一只,黑盒子一只(其面板如图 50 所示,面板上左侧有两个不与任何元件连接的接线柱);黑盒子内的元件是二极管、电容、一个发光二极管(LED)和一个可变电阻器,且已知元件间互不相连,一个接线插孔只和一个元件的一端相连.含有交直流成分的电源  $E$  一个;双刀双掷开关一只;导线若干根.

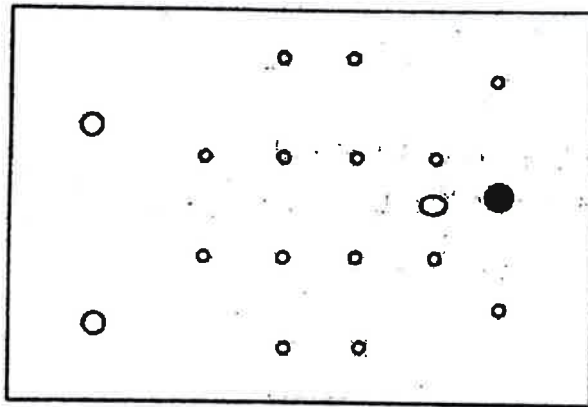


图 50

要求:

1. 用多用电表判别黑盒子中各元器件,并用元件符号把判别出的元器件画在图 51 中.

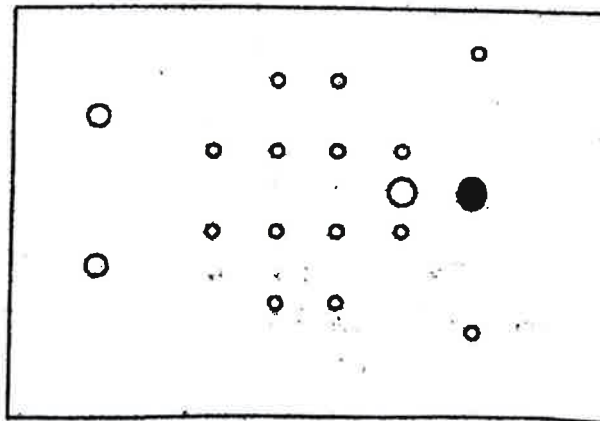


图 51

2. 测出开路时电源  $E$  的直流电压值和交流电压值(提示: 可以借用黑盒子中的电学元件), 把测得的直流电压值和交流电压值填在空格中: 直流电压值是 \_\_\_\_\_, 交流电压值是 \_\_\_\_\_.

3. 用电源  $E$  和黑盒子中的所有元器件连接一电路, 使发光二极管正常发光.

(1) 把电路原理图画在下面的方框(图 52)中.

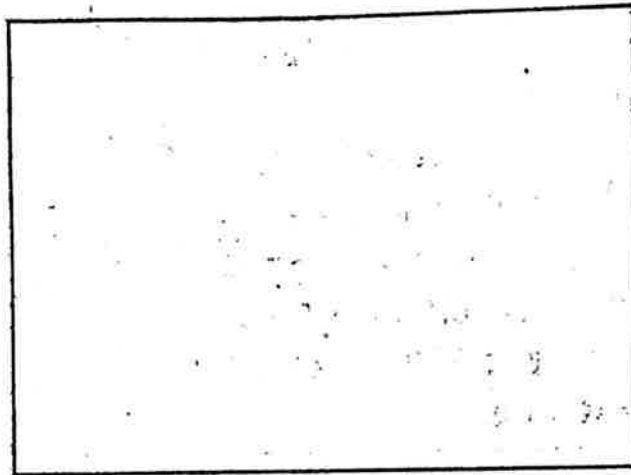


图 52

(2) 把判断出的元器件用元件符号画在下图给出的有关接线柱之间; 根据电路原理图和元器件的分布图在图 53 的接线柱之间画出连线, 使它成为能使发光二极管正常发光还能测量通过发光二极管的电流的电路.

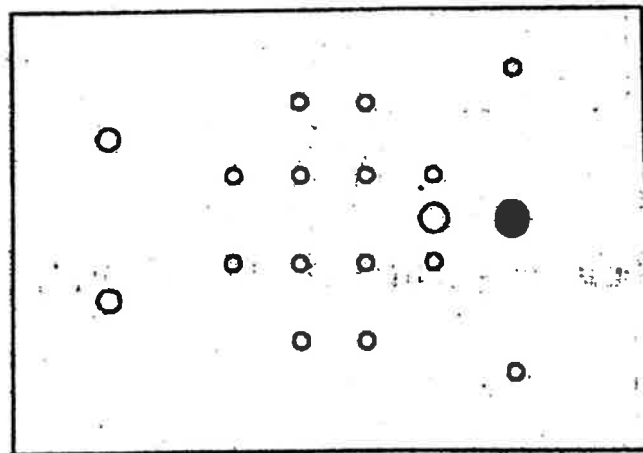


图 53

(3) 对实物连线, 使它成为能使发光二极管发光的实际电路. 调节可变电阻器使发光二极管正常发光, 测得此时通过发光二极管的电流值为 \_\_\_\_\_.

4. 观察电源  $E$  的极性改变对发光二极管正常发光的影响.

(1) 在图 54 给出的双刀双掷开关的示意图上画出连线, 使它成为换向开关.

(2) 把双刀双掷开关接成为换向开关,并接入电路.用换向开关改变电源的极性测出在换向前后通过发光二极管的电流:换向前,通过发光二极管的电流是\_\_\_\_\_,换向后,通过发光二极管的电流是\_\_\_\_\_.

注意:接好电路后,只有在监考老师允许的情况下,才能接通电源(老师只检查电路的安全性,不检查电路是否正确);可申请提示卡(申请提示卡将扣6分),提示卡的内容为黑盒子中的元器件的分布图.

注:按卷面评分.

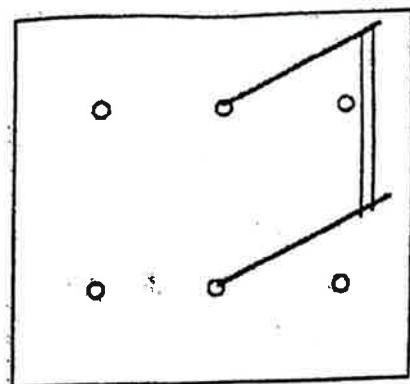


图 54

## 实验部分参考解答

一、1. 测量原理和公式为:

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

成立条件为: 平行光入射, 且垂直入射于光栅平面; 成像在透镜的焦平面上. 通过

$$\lambda_0 = \sin \varphi_0, \quad \lambda_1 = \sin \varphi_1, \quad \lambda_2 = \sin \varphi_2,$$

可求得

$$\lambda_1 = \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_0} \lambda_0, \quad \lambda_2 = \frac{\sin \varphi_2}{\sin \varphi_0} \lambda_0.$$

2. 仪器调整和实验的操作步骤以及每一步骤的目的可叙述如下:

(1) 调整分光计的操作步骤和目的:

- ① 调节目镜叉丝, 使其位于明视距离; 在旋转望远镜的目镜中可看清楚分划板上的叉丝.
- ② 调节望远镜聚焦到无穷远状态. 把平面镜置于载物台上, 如图 61 所示. 拉动望远镜的目镜镜筒与物镜间的距离, 看清楚反射回来的“+”字叉丝像, 使像和叉丝(或分划板)位于同一平面内, 即无视差.
- ③ 调节望远镜光轴, 使和转轴垂直; 并调节平台螺丝  $a, b$  以及望远镜的倾斜度螺丝, 使平面镜旋转  $180^\circ$  时, “+”字叉丝像始终落在望远镜分划板的  $MN$  线上. 调节时, 要重复调整, 逐步逼近, 直到“+”字叉丝处于  $MN$  线上, 如图 62 所示.

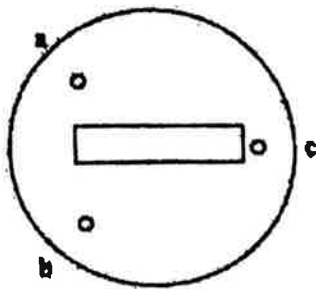


图 61

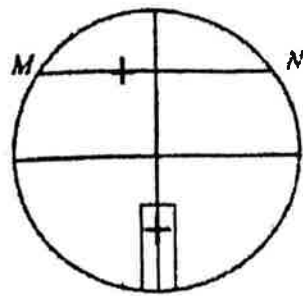


图 62

④ 调节平行光管. 在望远镜中看到平行光管的狭缝像, 用已调整到无穷远的望远镜来判别平行光管出来的是否已是平行光, 即拉动狭缝到透镜的距离, 使望远镜中看到清晰的狭缝像, 且无视差, 证明已是平行光. 调节平行光管的倾斜程度, 使水平狭缝像与望远镜分划板上的中心水平线重合; 再转动  $90^\circ$ , 令细狭缝与望远镜分划板上的中心垂直线重合, 表明平行光管光轴与望远镜光轴重合.

(2) 调节光栅, 使其满足实验条件,

① 调节光栅平面与转轴平行. 放置光栅于载物台上如图 61 所示, 再微调平台螺丝  $a, b$  使“+”字叉丝像落在望远镜分划板的  $MN$  线上, 如图 62 所示.

② 调节入射平行光垂直入射光栅平面. 由于计算公式的前提是平行光垂直入射光栅平面, 因而不仅要令细狭缝与望远镜分划板上的中心垂直线重合, 还要令从光栅反射回来的“+”字像亦与中心线重合(称为“三重合”), 说明此时入射平行光与光栅平面处于垂直状态, 使实验的理论条件成立, 如图 63 所示. 调节时, 要使狭缝宽度很细, 细到能看得清楚汞的双黄谱线.

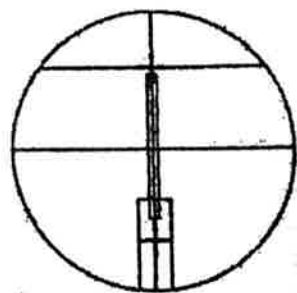


图 63

③ 调整光栅衍射条纹与分光计的转轴平行. 微调平台螺丝  $c$ , 调整光栅衍射条纹平行于分光计的转轴, 即当旋转望远镜时, 衍射条纹处于等高(相对于  $MN$  线等高).

3. 数据记录, 处理的方法一和方法二及其相应实验结果分别如表 4, 5 所列.

表 4

谱线	望远镜位置				左 <sub>A</sub> -右 <sub>A</sub>	左 <sub>B</sub> -右 <sub>B</sub>	$\varphi$	$\lambda/nm$
	左		右					
	A窗	B窗	A窗	B窗				
钠( $k=\pm 1$ )	$109^\circ 58'$	$289^\circ 58'$	$89^\circ 33'$	$269^\circ 35'$	$20^\circ 25'$	$20^\circ 23'$	$10^\circ 12'$	—
汞( $\lambda_1$ )( $k=\pm 1$ )	$109^\circ 41'$	$289^\circ 41'$	$89^\circ 45'$	$269^\circ 45'$	$19^\circ 56'$	$19^\circ 56'$	$9^\circ 58'$	576.0
汞( $\lambda_2$ )( $k=\pm 1$ )	$109^\circ 45'$	$289^\circ 45'$	$89^\circ 44'$	$269^\circ 44'$	$20^\circ 1'$	$20^\circ 1'$	$10^\circ 1'$	578.8

表 5

谱线	k	左游标读数		右游标读数		左、右游标 读数平均值	$\lambda/\text{nm}$
		$\theta'$	$\varphi' = \theta' - \theta_0$	$\theta''$	$\varphi'' = \theta'' - \theta_0$	$\varphi = (\varphi' + \varphi'')/2$	
钠 ( $\lambda_0 = 589.3 \text{ nm}$ )	+1	109°58'	10°14'	289°58'	10°14'	$\varphi_{+1} = 10°14'$	—
	0	99°44'	—	279°44'	—	—	—
	-1	89°33'	10°11'	269°35'	10°9'	$\varphi_{-1} = -10°10'$	—
汞( $\lambda_1$ )	+1	109°41'	9°58'	289°41'	9°58'	$\varphi_{+1} = 9°58'$	$\lambda_1 = 574.1$
	0	99°43'	—	279°43'	—	—	—
	-1	89°45'	9°58'	269°45'	9°58'	$\varphi_{-1} = -9°58'$	$\lambda_1 = 577.8$
汞( $\lambda_2$ )	+1	109°45'	10°2'	289°45'	10°2'	$\varphi_{+1} = 10°2'$	$\lambda_2 = 577.9$
	0	99°43'	—	279°43'	—	—	—
	-1	89°44'	9°58'	269°44'	9°59'	$\varphi_{-1} = -9°59'$	$\lambda_2 = 578.7$

由表中数据,得

$$\lambda_1 = \frac{1}{2}(574.1 \text{ nm} + 577.8 \text{ nm}) = 576.0 \text{ nm},$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{2}(577.9 \text{ nm} + 578.7 \text{ nm}) = 578.3 \text{ nm}.$$

注:分光计的原始状态如下,

(1) 望远镜. 旋动目镜并把目镜筒往前推, 改变望远镜倾斜度, 即无法看清分划板上的叉丝, 望远镜没有聚焦到无穷远处, 望远镜光轴垂直于转轴的状态被破坏.

(2) 平行光管. 可调节狭缝倾斜放置如“/”且略宽, 一级汞双黄谱线难辨, 狭缝偏离焦平面.

(3) 载物台平台. 可调载物台平台, 使其下降在托台上(但在望远镜中仍能看到从平面镜反射回来的“+”字叉丝像).

二、1. 可以判别的元器件如图 64 所示. 2. 2V, 3V.

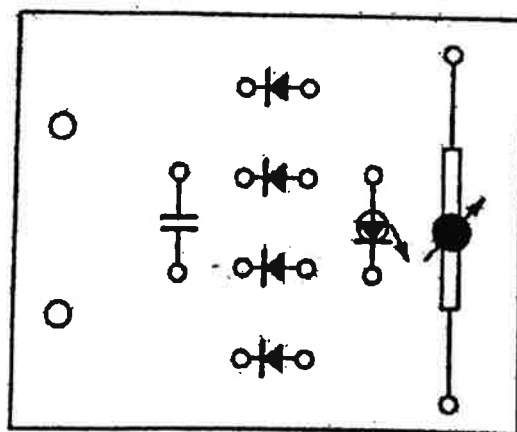


图 64

3. (1) 电路原理图如图 65 所示。(2) 电路连线图如图 66 所示。(3) 10 mA.

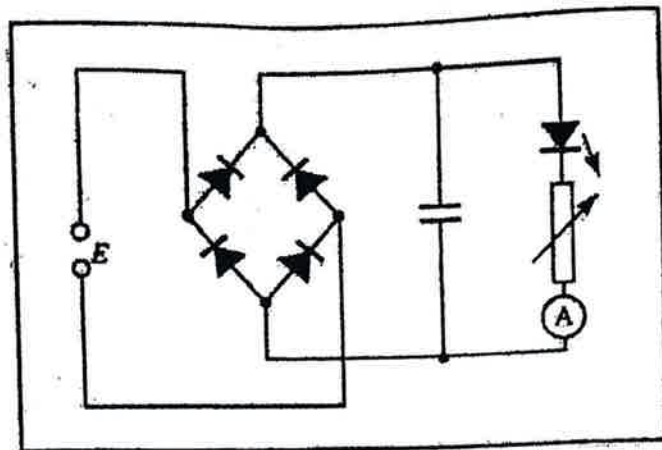


图 65

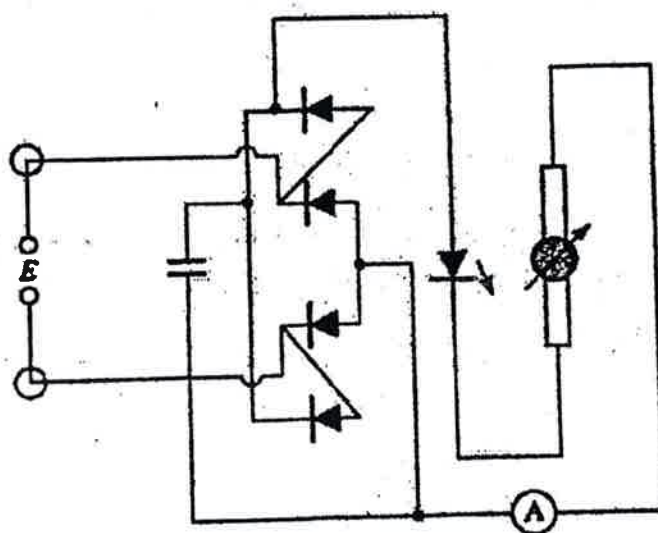


图 66

4. (1) 换向开关如图 67 所示。(2) 10 mA; 10 mA.

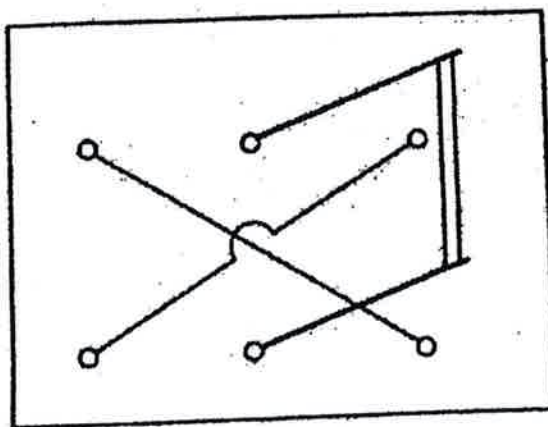


图 67



# 第二十五届

## 实验部分

### 实验一：研究硅光电池的特性

#### 一、实验目的

测量光电池的输出特性与光照的关系。

#### 二、实验原理

当光照射在 pn 结上时，入射光的光子会产生电子与空穴对，这些电子和空穴对在 pn 结的内部电场作用下，分别向 n 区和 p 区集结，从而使 pn 结两端产生光生电动势。这一现象称为光伏效应。

光电池是根据光伏效应制成的 pn 结光电器件。它不需要加偏压就可以把光能转化为电能。光电池的用途，一是用做探测器；二是作为太阳能电池，将太阳能转化为电能。光电池的结构示意图及应用电路分别如图 43(a)和(b)所示。在没有光照时，光电池特性可视为一个二极管；有光照时，光电池产生光生电动势，外接负载后就有光生电流。光生电流与光照有关，随光照增强而增大；当负载为零(或较小)时，两者呈正比关系。

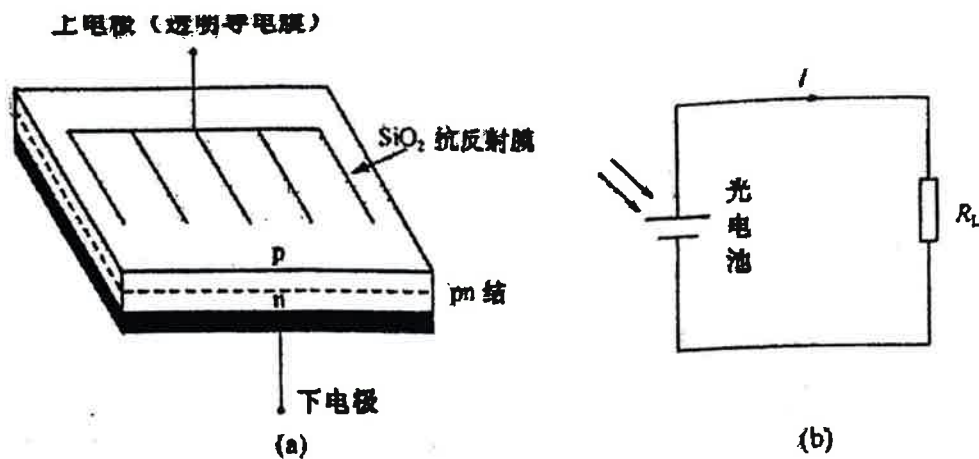


图 43

通常,衡量光电池的光电特性主要有以下三个参数:短路电流  $I_{sc}$ ,是指当外电路被短路,即负载为零时,光电池的输出电流.开路电压  $U_{oc}$ ,是指当外电路开路,即负载无穷大时,光电池的输出电压.填充因子  $FF$ ,其定义为

$$FF = \frac{P_m}{U_{oc} I_{sc}} = \frac{U_m I_m}{U_{oc} I_{sc}}$$

式中  $P_m$  为最大输出功率,  $U_m$  和  $I_m$  是相应的工作电压和工作电流.

### 三、仪器用具

1. 一个光电池及接线盒.
2. 一块数字万用电表(VC9806+型,4位半;直流电压各量程的输入阻抗为  $10\text{ M}\Omega$ ;直流电压各量程挡的基本误差为  $\pm(0.05\% \times \text{读数} + 3 \times \text{分辨率})$ .本题中只允许使用电压挡.
3. 一个电阻箱(ZX-21型;总阻值为  $99\,999.9\ \Omega$ ,0.1级,额定功率为  $0.2\text{ W}$ ).
4. 一个卤素灯泡( $6\text{ V}$ , $5\text{ W}$ )及灯座,附带一个稳压电源.
5. 一个双刀双掷开关,导线若干.
6. 两块挡光黑屏:一块有孔;另一块无孔.
7. 一张定位用的大坐标纸( $35\text{ cm} \times 50\text{ cm}$ ).
8. 两张作图用的小坐标纸( $17\text{ cm} \times 25\text{ cm}$ ).
9. 一把钢尺(量程为  $30\text{ cm}$ ;分度为  $0.1\text{ cm}$ ).
10. 透明胶条,用来固定大坐标纸.
11. 一个含线性拟合功能的计算器(卡西欧 fx-82ES 型).

### 四、实验要求

研究不加偏压时,硅光电池的光电特性.

1. 用卤素灯泡作为光源,固定光电池和光源的距离为  $10\text{ cm}$ .为使灯泡亮度稳定,测量之前须将其预热  $5\text{ min}$ .

(1) 画出测量电路图.若使用数字万用电表或电阻箱,请说明所使用的数字万用电表的量程和电阻箱的阻值(或范围).

(2) 测光电池外接不同负载时的电路输出电流  $I$  和路端电压  $U$ ,将测量数据列表,并在坐标纸上绘  $U-I$  图.

(3) 确定上述条件下光电池的短路电流  $I_{sc}$ ,并说明确定的方法.

(4) 测上述条件下光电池的开路电压  $U_m$ , 说明测量的方法, 并估计结果的不确定度。

(5) 求出光电池最大输出功率  $P_m$  以及相应的负载电阻  $R_m$ , 并求填充因子  $FF$ ; 说明确定最大输出功率的方法; 估计  $P_m$  的不确定度。

2. 测量短路电流和开路电压与光强的关系。通过实验证明, 通过光电池的短路电流  $I_m$  与照到光电池上的光强是成正比的; 并研究开路电压  $U_m$  和相对光强  $L$  之间的近似关系。本题要求最大光强达到最小光强的 9 倍以上。

(1) 简要叙述验证方法, 并画出实验光路图, 标明所用关键元件、用具的相对位置。在示意图上, 需标出元件、用具的名称以及各元件相对距离。(提示: 注意背景光的影响。)

(2) 画出测量电路图。若使用数字万用表或电阻箱, 说明所使用的数字万用电表的量程和电阻箱的阻值。

(3) 将测量数据列表。对于数据表格中的字母变量名, 请说明其指代的具体对象, 并交待清楚其测量或计算方法。

(4) 定义相对光强  $L$ , 描绘  $I_m$  和相对光强  $L$  关系图; 对  $I_m-L$  关系作线性拟合, 并确定拟合方程和拟合的相关系数(可用计算器)。

(5) 求  $U_m$  与相对光强  $L$  之间的近似函数关系。

注: 除非特别要求, 测量数据不需要给出不确定度。

## 实验二: 光栅自成像现象的实验研究

### 一、基础知识介绍

光栅是一种应用广泛的光学元件。一块涂有等间距、不透明(或透明)线条的玻璃板就是一种光栅。光栅上相邻的不透明线条之间的距离称为光栅常数。当平面光波垂直入射在光栅上时, 透射光波的传播会与入射光波非常不同。一个有趣的现象是: 透射光波在随后的传播过程中会以一定的空间距离为周期, 重复再现光栅的结构, 即光栅的像。这种不借助于其他光学元件的光栅成像方式称为光栅的自成像。图 44 描述的是光栅常数为  $d$  的光栅在波长为  $\lambda$  的平面光波垂直照射下的自成像现象, 所成的像到光栅的距离可表示成  $x_m = c_0 m d^2 / \lambda$ , 其中  $c_0$  为一常数,  $m$  为正整数。



图 44

需要指出的是, 在每个光栅自成像出现的前后, 都会出现密度随观察位置而变化的直条纹, 要特别留意光栅自成像与这些条纹的不同。仔细分析这些条纹的分布, 可以获得光栅的精细结构, 但这不是本次实验的研究内容。

### 二、有待研究的问题

1. 平面光波照明条件下的自成像问题。严格的理论推导得出, 在平面波照明的光栅自成像公式  $x_m = c_0 m d^2 / \lambda$  中,  $c_0$  为常数(整数)。试用实验室提供的光栅做定量的实验观测, 确定常

数  $c_0$  的值。

2. 球面光波照明条件下的自成像问题。用球面波照明光栅，透过的光波也能在空间重复形成光栅的像，且有放大或缩小效应，只是像在空间的重复并不是等间距的。试用实验室提供的光栅做定量的实验测量和分析，总结出球面光波照明条件下光栅的自成像规律。

### 三、实验装置

1. 读数显微镜：用来观察和测量所使用的光栅。

2. 光具座：由导轨和在导轨上滑动的滑块组成。所用的光学元件已分别装在光具座的滑块上，滑块可在光具座的导轨上滑动，滑块的位置由其上的标记线指在导轨上标尺的读数确定，导轨上标尺的最小刻度为 mm。光学元件的高低及左右偏转可通过调整光学元件上的立杆插在滑块立筒中的位置来进行；其横向平移可通过滑块上的微调装置来实现。实验中使用的所有滑块都已标明所装置的光学器件，不允许调换。

3. 氦氖激光器：输出波长为 633 nm。安装在光具座的滑块上后，其光束的俯仰可由其下方托盘上的螺丝来调节。

4. 扩束镜及小孔光阑组件：扩束镜为一种显微镜的物镜镜头，装在一个可前后微调移动的支架上，它将激光束聚焦后形成一个发散的球面波。小孔光阑为一块金属薄板，其上带有直径为  $25\ \mu\text{m}$  的通光圆孔，用磁铁吸在上下、左右二维可调的支架上。扩束镜和小孔光阑合在一起构成一个组件，装在一个滑块上。调节扩束镜和小孔光阑使扩束镜将激光束聚焦在小孔光阑的通光孔内，这样可以滤掉杂散光，得到均匀、明亮的照明光场。调节时，可先移开扩束镜，取下小孔光阑，单独调节扩束镜的位置使激光扩束，然后再装上小孔光阑，仔细调节出均匀的光场。

5. 准直透镜：焦距为 250 mm，用于产生平面光波。

6. 通光光阑：通光孔直径为 30 mm，用于限制光斑尺寸。

7. 待测光栅：用于自成像实验。

8. 成像镜头：焦距约为 50 mm，用于将光栅本身及其自成的像再成像于 CCD<sup>①</sup> 上。

9. CCD 阵列感光探头：用于接收照射在其感光面上的光强分布。

10. 监视器：已与 CCD 阵列感光探头相连，用于显示 CCD 所接收到的光强分布。

11. 其他：光屏、三角尺、手电筒、台灯、计算器等。其中，光屏上贴有坐标纸，中间有一个标记点；三角尺用作简单的测量；台灯和手电筒供照明用。

实验装置如图 45 所示。

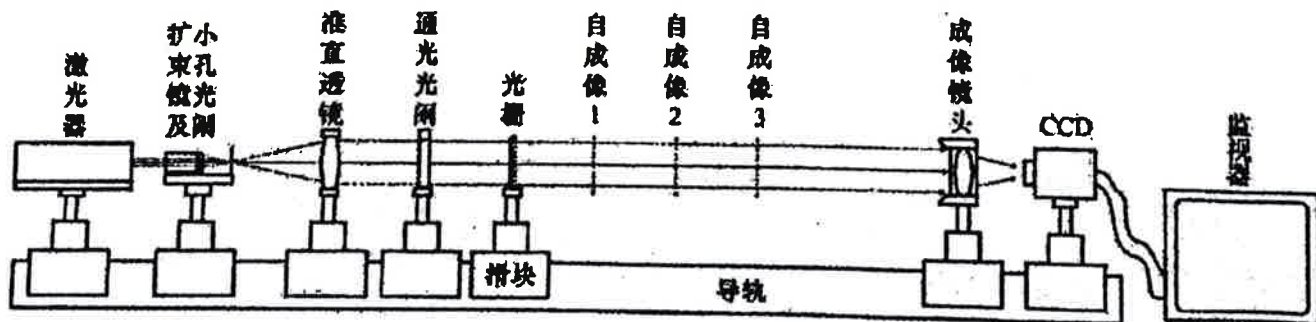


图 45

① “CCD”是“电荷耦合器件”(charge-coupled device)的简称。

#### 四、实验要求

1. 用读数显微镜观察光栅,按表 3 要求测定光栅常数  $d$ ,并定性描述光栅的透光特征。

表 3

(单位: mm)

初读数	末读数	周期数	周期 $d$	$d$ 的测量结果
光栅的透光特征:				

2. 按图 45 所示,将激光器安装在光具座导轨的一端,然后依次放置扩束透镜及小孔光阑组件、准直透镜、通光光阑和光屏,搭建产生平面光波的光路,并具体说明如何调节来确保:

(1) 未扩束的激光束与光具座导轨平行.以光屏上的标记点为基准点,说明调解激光束与光具座导轨平行的步骤: \_\_\_\_\_

(2) 扩束后的激光束经准直透镜后变成平面光波.以光屏上的标记点为基准点,说明产生球面波并将其调节成平面光波的步骤: \_\_\_\_\_

3. 按图 45 所示,在光具座导轨的另一端放置两个滑块,其上安装成像镜头和 CCD 阵列感光探头,使得准直透镜和成像透镜之间的距离尽量大一些.去掉光屏,装上光栅,做下面的测试和观测:

(1) 移动光栅,直到在监视器上最清楚地看到成像透镜对光栅本身所成的像,即满足透镜成像公式的像,记下此时光栅的位置  $x_0$ . 描述监视器上显示的像的特征以及光栅偏离位置  $x_0$  时像的变化.

(2) 在表 4 中记录装有所列元件的滑块在光具座导轨上的位置.

表 4

(单位: cm)

激光器	扩束镜	准直透镜	通光光阑	光栅( $x_0$ )	成像透镜	CCD

(3) 移动光栅,离开成像透镜,观察监视器上所显示的图像,寻找光栅自成的像,确定自成像的个数、像位置不确定的平均范围,并说明判定为光栅自成像的依据.

4. 在上述光路中,保持除光栅以外装置的位置不变,完成以下的观测:

(1) 移动光栅,离开成像透镜,在监视器上依次找到光栅的前 7 个自成像,记录每个像所对应的光栅的位置  $x_0$ ,确定像到光栅的距离  $x_m$  ( $m=1,2,\dots,7$ ),并将结果填入表 5.

表 5

(单位: cm)

自成像	1	2	3	4	5	6	7
$x_0$							
$x_m$							

(2) 确定成像公式  $x_m = c_0 m d^2 / \lambda$  中的  $c_0$  值.

5. 在上述光路的基础上,去掉准直透镜和通光光阑,用发散的球面光波直接照射光栅,保

持扩束镜及小孔光阑组件、成像镜头和 CCD 阵列感光探头以及其他元件的位置不变(按表 4 中的数值所确定),然后移动光栅,观察光栅的自成像现象。

- (1) 确定观察到的自成像的数目;
- (2) 定性描述所看到的自成像现象。

6. 在上述定性观察的基础上,定量确定发散球面波照明条件下光栅自成像所处的位置。

(1) 确定发出球面波的点光源位置  $x_0$ 、光栅本身经成像透镜成清晰像时的位置  $x_1$  以及这两个位置之间的距离  $A$ 。

(2) 保持  $x_0$  和  $x_1$  不变,移动光栅,依次确定光栅的位置  $x_2$ ,使得在监视器上可以清楚地看到光栅的自成像,给出每个  $x_2$  的最大不确定范围  $\Delta x_2$ ,并将结果填入表 6。

表 6

(单位: cm)

自成像	1	2	3	4	5	6	7
$x_2$							
$\Delta x_2$							

7. 利用上述定量测量的数据,确定发散球面波照明条件下光栅自成像的规律。

(1) 设  $a = |x_2 - x_0|$ ,  $b = |x_1 - x_2|$ ,  $E = d^2/\lambda$ . 按表 7 的要求作计算,并将结果填入表内。

表 7

(单位: cm)

自成像	1	2	3	4	5	6	7
$a$							
$b$							
$ab$							
$\frac{ab/A}{E}$							
$E =$							

(2) 确定  $a$  和  $b$  之间所隐含的数量关系,即发散球面光波照明条件下光栅的自成像公式。

### 实验部分参考解答

#### 实验一: 研究硅光电池的特性

1. (1) 测量电路图如图 46. 当测  $U-I$  关系(见第(2)小题)时,数字万用电表的量程为 2 V (或 2 V 和 200 mV),电阻箱的阻值范围为  $250 \sim 9.000 \times 10^4 \Omega$  (至少应包括  $2000 \sim 4.000 \times 10^4 \Omega$ ); 当测  $U_{oc}$ (见第(4)小题)时,数字万用电表的量程为 2 V。

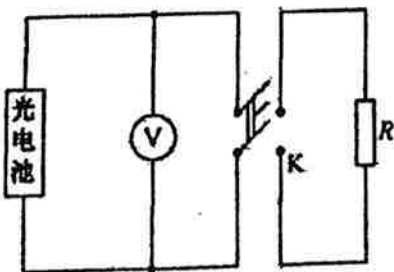


图 46

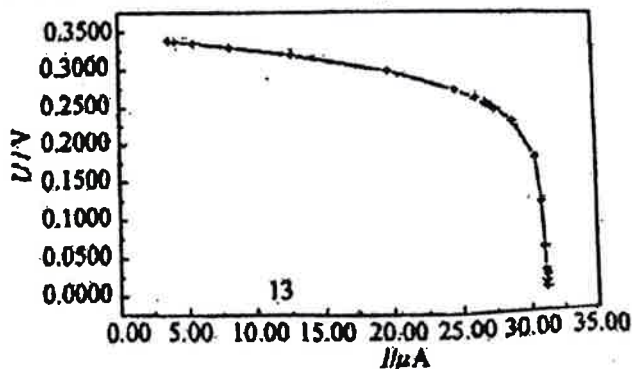


图 47



(2) 改变光电池负载的测量数据见表 8. 当光电池作为电源时, 负载上的  $U-I$  取线如图 47 (图中“+”表示数据测量点).

表 8

$R/\Omega$	$U/V$	$I = \frac{U}{R} / \mu A$	$P = \frac{U^2}{R} / \mu W$
250.0	0.0078	31.2	0.243
500.0	0.0156	31.2	0.487
750.0	0.0234	31.2	0.730
1000	0.0311	31.1	0.967
2000	0.0621	31.05	1.928
4000	0.1237	30.93	3.825
6000	0.1830	30.50	5.582
8000	0.2316	28.95	6.705
9000	0.2491	27.68	6.895
9200	0.2521	27.40	6.908
9300	0.2535	27.26	6.910
9400	0.2549	27.12	6.912
9500	0.2562	26.97	6.909
$1.000 \times 10^4$	0.2625	26.25	6.891
$1.100 \times 10^4$	0.2729	24.81	6.770
$1.500 \times 10^4$	0.2974	19.83	5.896
$2.500 \times 10^4$	0.3191	12.76	4.073
$4.000 \times 10^4$	0.3292	8.230	2.709
$6.000 \times 10^4$	0.3344	5.573	1.864
$8.000 \times 10^4$	0.3368	4.210	1.418
$9.000 \times 10^4$	0.3375	3.750	1.266

(3) 短路电流  $I_{sc} = 31.2 \mu A$ , 确定方法为: 根据  $U-I$  关系(表 8), 由  $U \rightarrow 0$  的数据外推, 得到  $U=0$  所对应的  $I$  值, 即  $I_{sc}$ .

(4) 开路电压(含不确定度)  $U_{oc} = (0.3426 \pm 0.0005) V$ ; 确定方法为: 打开开关  $K$ , 读取数字电压表的示值  $U$ . 因为数字电压表内阻非常大, 所以其测量结果应近似为  $U_{oc}$ ; 或者由  $U-I$  关系外推, 得到  $I=0$  时的  $U$  值, 即  $U_{oc}$ .  $U_{oc}$  的不确定度

$$\Delta U_{oc} = 0.05\% \times 0.3426 V + 0.0003 V \approx 0.0005 V.$$

(5) 由表 8 可作出总电池输出功率  $P$  与负载电阻  $R$  的关系曲线(图 48). 最大输出功率(含不确定度)  $P_m = (6.91 \pm 0.03) \mu W$ ; 所对应的负载电阻  $R_m = 9.4 k\Omega$ . 填充因子

$$FF = \frac{P_m}{U_{oc} I_{sc}} = \frac{6.91 \mu W}{0.3426 V \times 31.2 \mu A} \approx 0.646 = 64.6\%.$$

确定最大输出功率时, 先求各个负载电阻值  $R$  对应的负载功率  $P$ , 找到最大的负载功率  $P_m$  和相应的负载电阻值  $R_m$ , 或者作  $P-R$  图, 直接从图中读取  $P_m$  和  $R_m$  值.  $P_m$  的不确定度可计算如下: 由于  $P = U^2/R$ , 且

$$\Delta U = 0.05\% \times 0.2549 V + 0.0003 V \approx 0.0004 V,$$

所以 
$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{2\Delta U}{U} + \frac{\Delta R}{R} = \frac{2 \times 0.0004 V}{0.2549 V} + 0.1\% \approx 0.4\%,$$

即  $\Delta P = 0.03 \text{ mW}$ .

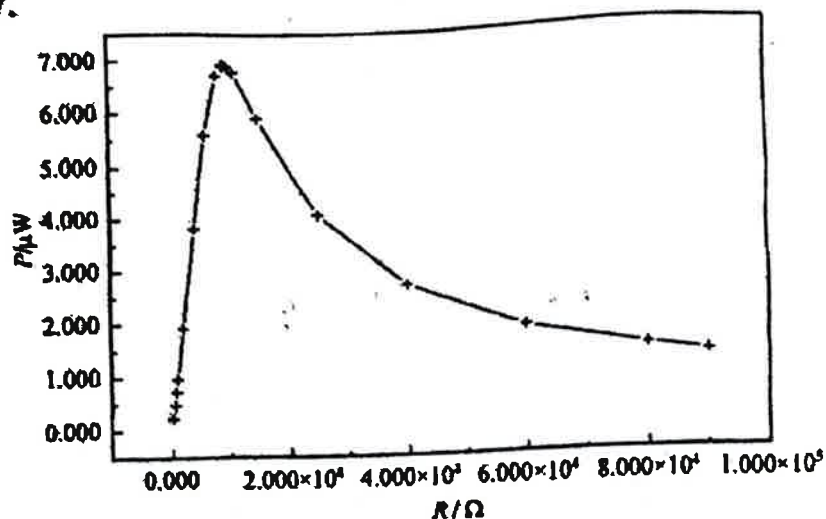


图 48

2. (1) 验证光电池短路电流与光强呈线性关系的光路见图 49, 图中  $d_3 \approx 1 \text{ cm}$ ,  $d_4 \approx 25 \text{ cm}$ ; A 和 B 屏应距灯泡足够近, 以尽量减少灯泡照射光电池前方物体所产生的散射光。

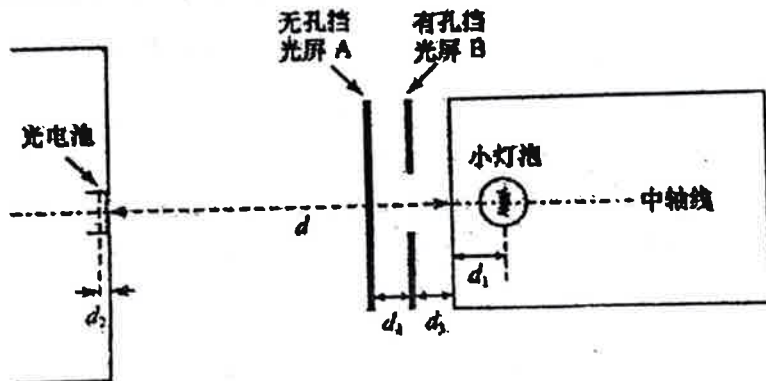


图 49

验证方法如下: 点光源辐射场的光强与距点源的距离呈平方反比关系, 这样可根据距离计算出光强的相对大小, 但是, 因为光电池接收到的背景散射光成分与它和光源间的距离不呈平方反比关系, 所以需要消除背景散射光的影响。使用 B 屏作为光阑, 以减少小灯泡射到周围物体上产生散射光对光电池的影响; 同时, 为消除室内恒定照明产生散射光的影响, 每改变一个距离值, 需要用无孔挡光屏 A 放在 B 屏之前挡光, 以测量室内恒定照明产生的散射光, 并从总的光电流值中扣除这一部分 (因为光电流与光强值成正比)。若扣除背景之后的光电流值与距光源的距离呈平方反比关系, 那么可以证明光电池产生的短路电流与它接收到的光强成正比。

(2) 测量电路图如图 50。当测短路电流  $I_{sc}$  时, 数字万用电表的量程为 200  $\mu\text{V}$ , 电阻箱的阻值为 1000  $\Omega$ ; 当测开路电压  $U_{oc}$  时, 数字万用电表的量程为 2 V。

(3) 改变光强的测量数据见表 9; 其中的变量名称及其测量或计算方法见表 10。

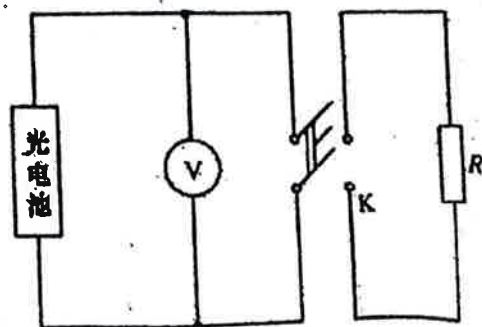


图 50



表 9

$d/cm$	$D/cm$	$\frac{1}{D^2}/10^{-4} cm^{-2}$	$U_{sd}/mV$	$U_{so}/mV$	$U_{s0}/V$	$I_{s0} = \frac{U_{sd}}{R}/\mu A$	$I_{so} = \frac{U_{so}}{R}/\mu A$	$I_x = I_{s0} - I_{so}/\mu A$	$\ln(I_{s0}/\mu A)$
10.0	12.0	69.4	21.43	0.48	0.3315	21.43	0.48	20.95	3.0421
12.0	14.0	51.0	16.95	0.55	0.3201	16.95	0.55	16.40	2.7344
14.0	16.0	39.1	12.37	0.60	0.3106	12.37	0.60	11.77	2.4656
16.0	18.0	30.8	9.92	0.64	0.3025	9.92	0.64	9.28	2.2279
18.0	20.0	25.0	8.18	0.68	0.2956	8.18	0.68	7.50	2.0149
20.0	22.0	20.7	6.90	0.71	0.2896	6.90	0.71	6.19	1.8229
22.0	24.0	17.4	5.94	0.73	0.2843	5.94	0.73	5.21	1.6506
24.0	26.0	14.8	5.18	0.75	0.2795	5.18	0.75	4.43	1.4884
26.0	28.0	12.8	4.58	0.76	0.2753	4.58	0.76	3.82	1.3403
28.0	30.0	11.1	4.10	0.76	0.2714	4.10	0.76	3.34	1.2060
30.0	32.0	9.77	3.69	0.76	0.2679	3.69	0.76	2.93	1.0750
32.0	34.0	8.65	3.36	0.76	0.2642	3.36	0.76	2.60	0.9555
34.0	36.0	7.72	3.08	0.76	0.2612	3.08	0.76	2.32	0.8416
36.0	38.0	6.93	2.84	0.76	0.2580	2.84	0.76	2.08	0.7324

表 10

变量	定义及测量或计算方法
$d$	各元件已调共轴后, 光电池座和灯座相对的边缘之间的距离, 可从粘在桌上的坐标纸上读出
$D$	光源和光电池接收面之间的距离 ( $D=d_1+d_2+d$ , 其中 $d_1$ 是灯泡中心到灯座前缘的垂直距离, $d_2$ 是光电池接收面到元件盒前缘的垂直距离), 用钢尺测得 $d_1=1.8 cm$ , 目测得 $d_2=0.2 cm$
$U_{sd}$	未用 A 屏遮光, 闭合开关 K 时电阻 R 上的电压
$U_{so}$	用 A 屏遮光, 闭合开关 K 时电阻 R 上的电压
$U_{s0}$	未用 A 屏遮光时的开路电压
$I_{s0}$	对应于 $U_{sd}$ , 未用 A 屏遮光时的短路电流 ( $I_{s0}=U_{sd}/R$ )
$I_{so}$	对应于 $U_{so}$ , 用 A 屏遮光时的短路电流 ( $I_{so}=U_{so}/R$ )
$I_x$	扣除背景光后的短路电流 ( $I_x=I_{s0}-I_{so}$ )

(4) 定义相对光强(给出代表相对光强的物理量)  $L$  时, 可以点光源和光电池之间距离平方的倒数  $1/D^2$  表示相对光强的大小, 即  $L=1/D^2$ .  $I_x-L$  关系的线性拟合曲线如图 51. 拟合方程为  $I_x=A+BL$ , 其中截距  $A=-0.33 \mu A$ , 斜率  $B=0.3021 \times 10^4 \mu A \cdot cm^2$ , 相关系数  $r=0.999993$ .

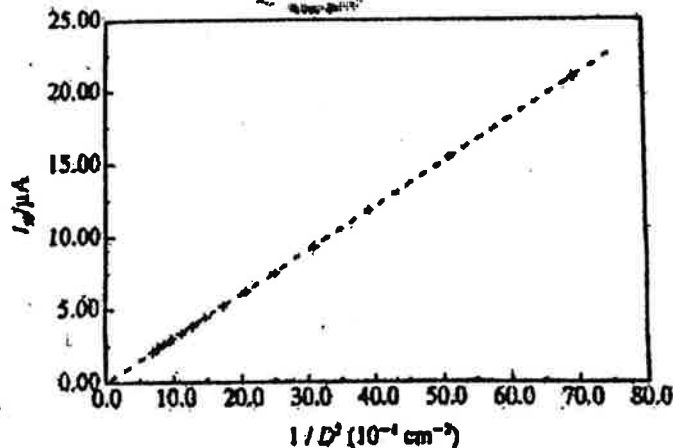


图 51

(5) 定义相对光强(给出代表相对光强的物理量) $L$ 时,用未用A屏遮光时的短路电流 $I_{sc1}$ (或短路电压 $U_{sc1}$ )代表与 $U_{sc}$ 对应的相对光强(因为 $U_{sc}$ 与光强不是正比关系,所以无法通过直接减去背景开路电压来扣除背景光影响,也就不能用 $1/D^2$ 表示相对光强大小). $U_{sc}$ 与相对光强 $L$ 之间的近似函数关系为 $U_{sc} = A + B \ln I_{sc1}$ ,其中 $U_{sc}$ 以V为单位, $I_{sc1}$ 以 $\mu A$ 为单位, $A = 0.2205$  ( $0.1900 \sim 0.2800$ ), $B = 0.0359$  ( $0.0280 \sim 0.0420$ ). $U_{sc} - I_{sc1}$ 和 $U_{sc} - \ln I_{sc1}$ 关系分别如图52和53(此二图不要求).

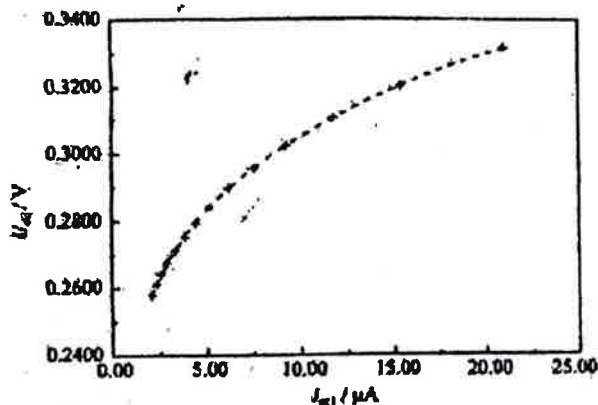


图 52

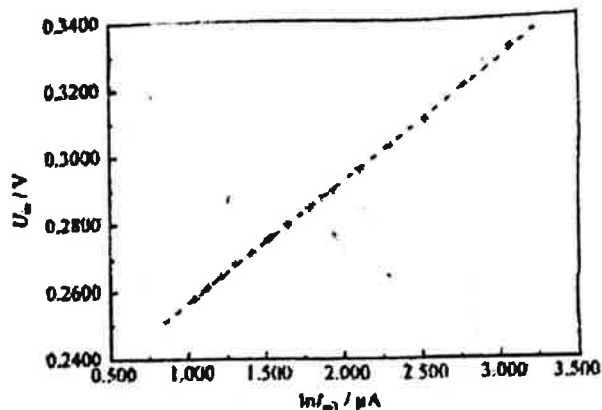


图 53

### 实验二：光栅自成像现象的实验研究

1. 测定光栅常数  $d$ , 并定性描述其透光特征的结果见表 11.

表 11

(单位: mm)

初读数	末读数	周期数	周期 $d$	$d$ 的测量结果
30.651	28.733	10	0.1918	$d = d_{平均} \pm \Delta d_{平均}$ $= 0.1925 \pm 0.0004$
28.738	26.808	10	0.1930	
26.808	24.882	10	0.1926	
光栅的透光特征: 黑白相间, 黑纹宽度明显大于亮纹宽度.				

2. (1) 以光屏上的标记点为基准点, 调解激光束与光具座导轨平行的步骤如下: ① 放置光屏在光具座导轨的右端, 并将其置于适当的高度. ② 放置激光器在导轨的左端, 先调节其下方的螺丝, 使激光器与导轨基本平行; 再调节其高度及左右偏转, 使激光束对准光屏上的标记点. ③ 将光屏移近至激光器, 调节光屏的位置, 使标记点对准激光束的光斑. ④ 将光屏再移到导轨的右端, 调节激光器, 使光斑再次落在标记点上. ⑤ 反复重复③和④.

(2) 以光屏上的标记点为基准点, 产生球面波并将其调节成平面光波的步骤如下: ① 保持光屏上标记点的位置不变; ② 将扩束镜及小孔光阑组件放置在激光器前的适当位置, 调开扩束镜, 取下小孔光阑; ③ 调节组件支架的整体方位, 使激光束照在扩束镜上, 并形成以光屏标记点为中心的光斑; ④ 再装上小孔光阑, 左右、上下调其位置并前后移动扩束镜, 直到在光屏上看到平滑的光斑, 并调节支架整体, 使得光斑的中心落在标记点上; ⑤ 放置准直透镜和通光光阑在适当的位置, 直到在光屏上看到以标记点为中心的圆形光斑的大小不随光屏的位置

改变。

3. (1) 当  $z_1 = 139.30 \text{ cm}$  时, 成像透镜对光栅本身成像, 所成的像与读数显微镜中看到的相似, 粗略估计满足透镜成像公式。偏离这个位置后, 一方面光栅上吸附的一些小颗粒会变成环状; 另一方面, 当光栅移向成像透镜或反过来移动时, 亮纹的边缘会变模糊。

(2) 装有所列元件的滑块在光具座导轨上的位置见表 12。

表 12

(单位: cm)

激光器	扩束镜	准直透镜	通光光阑	光栅( $z_1$ )	成像透镜	CCD
9.00	38.00	65.70	73.50	139.30	151.25	162.00

(3) 自成像的个数为 9, 像位置不确定的平均范围为  $\pm 0.5 \text{ mm}$ ; 判定为光栅自成像的依据为最符合已经看到的光栅本身像的特征。

4. (1) 在光栅的前 7 个自成像中, 每个像所对应的光栅的位置  $z_g$  和像到光栅的距离  $z_m$ , 见表 13。

表 13

(单位: cm)

自成像	1	2	3	4	5	6	7
$z_g$	133.56	127.70	121.80	115.95	110.05	104.15	98.22
$z_m$	5.74	11.60	17.50	23.35	29.25	35.15	41.08

(2) 由于

$$z_m = |z_g - z_1|, \quad \Delta z_m = z_m / m = (5.83 \pm 0.02) \text{ cm};$$

以及  $d = (0.1925 \pm 0.0004) \text{ mm}$ ,  $\lambda = 633 \text{ nm}$ , 则

$$c_0(\text{平均值}) = \frac{\Delta z_m}{(d^2/\lambda)} = \frac{5.83 \text{ cm}}{(0.1925 \text{ mm})^2 / 0.633 \mu\text{m}} \approx 0.096,$$

$$\delta c_0 = \left( \frac{\delta \Delta z_m}{\Delta z_m} + 2 \frac{\delta d}{d} \right) \times c_0 = \left( \frac{0.02 \text{ cm}}{5.83 \text{ cm}} + 2 \times \frac{0.0004 \text{ mm}}{0.1925 \text{ mm}} \right) \approx 0.008.$$

故  $c_0 = 0.996 \pm 0.008$ , 应取为 1。

5. (1) 所观察到的自成像的个数为 7. (2) 与平行光照明所成的像相似, 只是像的大小随光栅到成像透镜的距离增大而增大。

6. (1)  $z_0$  为准直透镜的位置与准直透镜的焦距之差, 即  $z_0 = 65.70 \text{ cm} - 25.00 \text{ cm} = 40.70 \text{ cm}$ ;  $z_1 = 139.30 \text{ cm}$ , (这只是使用表 12 中的参数的情况, 否则必须说明),  $A = z_1 - z_0 = 139.30 \text{ cm} - 40.70 \text{ cm} = 98.60 \text{ cm}$ 。

(2) 光栅的位置  $z_g$  及其对应的最大不确定范围  $\Delta z_g$  见表 14。

表 14

(单位: cm)

自成像	1	2	3	4	5	6	7
$z_g$	133.20	125.97	116.83	102.30	77.50	62.95	53.80
$\Delta z_g$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

7. (1) 计算结果见表 15.

表 15

(单位: cm)

自成像	1	2	3	4	5	6	7
$a$	92.50	85.27	76.13	61.60	36.80	22.25	13.10
$b$	6.10	13.33	22.47	37.00	61.80	76.35	85.50
$ab$	564.3	1136.6	1710.6	2279.2	2274.2	1698.8	1120.1
$\frac{ab/A}{E}$	0.978	1.969	2.964	3.949	3.940	2.943	1.941

$E = (0.1925 \text{ mm})^2 / 0.633 \text{ nm} \approx 5.85 \text{ cm}$

(2) 在发散球面光波照明条件下, 设  $m = ab/A/E$  ( $m$  近似为整数). 由于  $a + b = A$ , 故有

$$\frac{ab}{A} = \frac{ab}{a+b} = mE = m \frac{d^2}{\lambda}.$$

又由于  $1/a + 1/b = 1/f_m$ , 所以  $f_m = m(d^2/\lambda)$ .

# 第二十六届

## 实验部分试题

### 实验一：利用 NTC 热敏电阻设计制作数字温度计

#### 一、实验说明

NTC(负温度系数)热敏电阻是一种用半导体材料制成的体积小巧的电阻,其阻值随温度变化比金属电阻要灵敏得多,因此被广泛用于温度测量、温度控制以及电路中的温度补偿、时间延迟等。

本实验要求测定 NTC 热敏电阻阻值与温度的关系,并设计制作一个数字温度计。(温度范围:35~42℃)

#### 二、实验装置与器材

1. NTC 热敏电阻 1 个(为避免热敏电阻自身发热对实验的影响,流过热敏电阻的电流不能超过 300  $\mu\text{A}$ )。

2. 恒温装置 1 台:室温-80℃,显示分辨率 0.1℃。

仪器使用方法:接通电源后待温度显示值出现“B=.=.”时可按“升温”键,设定用户所需的温度;再按“确定”键,加热指示灯发光,表示加热开始工作,同时显示“A=.=.”为当时水槽的实际温度;再按“确定”键显示“B=.=.”表示水槽温度的设定值;反复按“确定”键可轮换显示 A、B 值,A 为水温值,B 为设定值。按“恢复”键可以重新开始。注意:其他旋钮和接线柱均不使用,请勿乱动。

3. 直流稳压电源 1 台,0~20 V,显示分辨率 0.01 V。

4. 3 位半数字万用表 1 台:

电压挡:量程自动变换,最小量程 200 mV,显示分辨率 0.1 mV,不确定度限值 0.5%+3;

欧姆挡:量程自动变换,最小量程 200  $\Omega$ ,显示分辨率 0.1  $\Omega$ ,不确定度限值 0.8%+3。

5. 电阻箱 2 个:0.1 级,0.0~99999.9  $\Omega$ 。

6. 单刀双掷开关 1 个、导线 6 根。

7. 塑料烧杯 1 个。

8. 30 cm 钢尺 1 把(作图用)、20 cm×25 cm 作图纸 1 张。

9. 计算器 1 个、黑色水笔 1 支、HB 铅笔 1 支、橡皮 1 块。

#### 三、实验内容

1. 测量不同温度  $T$  下 NTC 热敏电阻的阻值  $R$ 。

(1) 设计实验方案,画出实验电路图,标明各元件的参数;

(2) 测量  $R$  和  $T$  的数据记录(自行列表)。

2. 求出  $R$  与  $T^{-1}$  之间的关系.

3. 设计数字体温计的电路.

(1) 利用提供的仪器设备, 设计数字体温计的电路;

(2) 计算出各元件的参数值.

要求: 数字电压表的  $mV$  示数即为温度示值. 如电压表显示  $38.5 mV$ , 即表示此时数字体温计测到的温度为  $38.5 ^\circ C$ .

4. 根据设计的电路图搭建数字温度计, 并进行调试.

(1) 测量不同温度时, 数字体温计的电压示数, 并绘制校准曲线;

(2) 根据校准曲线, 对设计的电路进行改进, 要求使数字体温计的误差不超过  $0.1 ^\circ C$ .

## 实验二: 玻璃材料物理特性的实验研究

### 一、实验目的

研究光学玻璃材料的色散关系及其角色散率(本领)  $D_s$ .

### 二、实验原理

光学材料的色散现象是指该材料折射率  $n$  或吸收系数  $\alpha$  随光波波长  $\lambda$  变化的宏观表现. 由于光与材料相互作用的结果, 一般色散规律或  $n$  值随波长  $\lambda$  值的变化呈非线性变化关系. 在不同波长  $\lambda$  的单色光波下, 利用测角仪(分光计)测出玻璃材料(三棱镜)对应该单色光波的最小偏向角, 进而计算出对应的折射率  $n$  值, 就可以获得折射率  $n$  与波长  $\lambda$  关系的色散曲线.

最小偏向角法测定玻璃材料折射率  $n$  的物理原理, 可参见图 39 所示. 当光线经棱镜两次折射, 其传播方向总的变化可用入射光线  $a$  和出射光线  $t$  延长线的夹角  $\delta$  来表示,  $\delta$  叫做偏向角. 理论上可以证明: 当入射光线  $a$  和出射光线  $t$  对称地“分布”在棱镜两旁时, 偏向角有最小值, 叫最小偏向角, 常用  $\delta_m$  表示. 故其折射率  $n$  可由下式表示:

$$n = \frac{\sin \frac{A + \delta_m}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$$

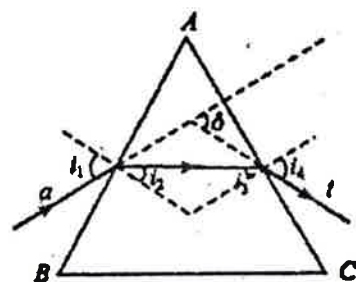


图 39 最小偏向角法测量原理

常用玻璃棱镜的角色散率  $D_s$  来标志其可作为分光色散元件(仪器)的光学性能指标. 它的定义是: 光波长差  $\Delta\lambda$  的两条光谱线经棱镜折射后, 相应最小偏向角差  $\Delta\delta$  与  $\Delta\lambda$  的比值, 即

$$D_s = \frac{\Delta\delta}{\Delta\lambda} \approx \frac{d\delta}{d\lambda}$$

式中单位:  $rad/mm$  或  $(^\circ)/mm$ . 亦即  $D_s$  值越大, 说明波长相差一个单位的两谱线所分开的角度越大, 角色散的本领也越大.

如果光波波长  $\lambda$  增加时, 材料折射率  $n$  和色散率  $\nu = dn/d\lambda$  都减小, 这样的色散现象叫做正常色散现象. 反之, 则叫反常色散现象. 依据一定的物理模型, 可以推导出描述正常色散现象的柯西(Cauchy)经验公式:

$$n = C_1 + \frac{C_2}{\lambda^2} + \frac{C_3}{\lambda^4}$$

式中  $C_1$ 、 $C_2$  和  $C_3$  是表征材料特性的常数.



### 三、实验装置及材料

1. 玻璃样品 1 个(利用 ZF1 光学玻璃制成的三棱镜,其顶角为  $60^{\circ}00'$ ,误差为  $2.0'$ ).
2. 小型光栅单色仪 1 个(波长范围,  $200\sim 800\text{ nm}$ ,焦距  $72.5\text{ mm}$ ,相对口径  $1:4$ ,光栅,  $1200\text{ L/mm}$ ,波长精度,  $\pm 3\text{ nm}$ ,波长重复性,  $\pm 1\text{ nm}$ ,外形尺寸,  $90\text{ mm}\times 68\text{ mm}\times 62\text{ mm}$ ),出射狭缝处附带有可插入测角仪(分光计)之平行光管的套筒.
3. 发光光源(已经将其与小型光栅单色仪固定在一起,且对准后者的人射狭缝),由 4 个发光二极管(LED)(白光,  $3.0\text{ V}$ ,  $5\text{ W}$ )及其灯座, 1 个 CX-4403A 型直流电源变压器(附带 1 个输出端插头和 1 个输出端插座,后者与 LED 灯座相连)组成.
4. 测角仪(分光计)1 台,由五部分组成(详见以下说明部分).
5. 平面镜 1 个.
6. 直钢尺 1 个(量程  $30\text{ cm}$ ,分度  $0.1\text{ cm}$ ).
7. 2 张坐标纸( $20\text{ cm}\times 25\text{ cm}$ ),供作图用.
8. 黑色水笔 1 支、HB 铅笔 1 支、橡皮 1 块.
9. 含线性拟合功能的计算器 1 个(CASIO,  $f_x-82\text{ ES}$  型).

说明:

#### 1. 小型光栅单色仪的波长读数

该光栅单色仪的波长值是由波长读数头(鼓轮)直接读取的,其结构如图 40 所示.通过动尺的旋转改变输出单色光的波长,动尺上的每一小格表示为  $1\text{ nm}$ ,定尺上的每一大(小)格表示为  $100(50)\text{ nm}$ .当动尺移动到定尺刻度“0”线时,光栅单色仪输出的波长为“零级”的光谱.(注意,实验过程中,动尺的移动不宜超出  $350\sim 750\text{ nm}$  范围.)



图 40 波长读数头的结构

#### 2. 测角仪(分光计)

所用的测角仪(分光计)为 JJY 型,测量精度  $1'$ ,图 41 是它的结构图.

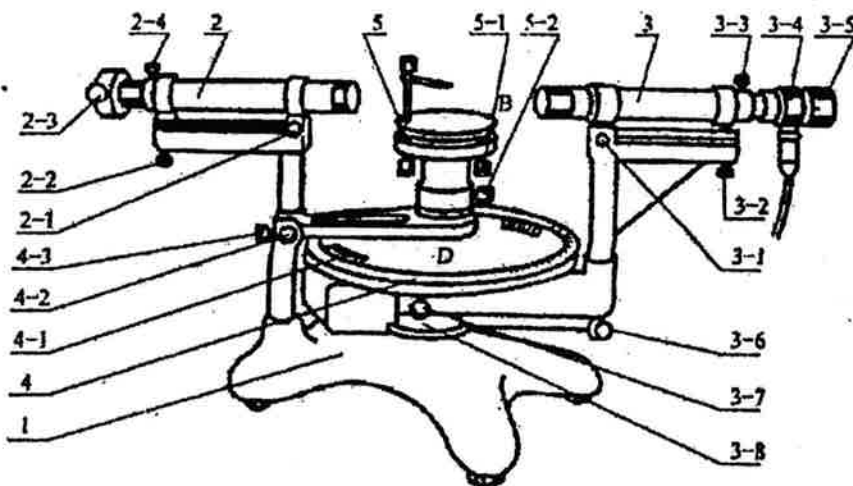


图 41 测角仪(分光计)结构示意图

1. 三角底座.
2. 平行光管, 2-1 水平方向调节螺钉, 2-2 倾角调节螺钉, 2-3 宽度可调节的狭缝及其套筒(这里用“小型光栅单色仪”上“出射缝处的套筒”替代), 2-4 狭缝位置锁定螺钉.
3. 望远镜, 3-1 水平方向调节螺钉, 3-2 倾角调节螺钉, 3-3 套筒位置锁定螺钉, 3-4 照明灯筒, 3-5 目镜清晰度调节手轮, 3-6 望远镜微调螺钉, 3-7 望远镜与刻度盘联动螺钉, 3-8 望远镜止动螺钉(位于图的背面).
4. 圆刻度盘, 4-1 角游标, 4-2 游标盘微调螺钉, 4-3 游标盘止动螺钉.
5. 载物平台, 5-1 载物台调平螺钉(3 个), 5-2 载物台锁定螺钉.

### 3. 最小偏向角 $\delta_m$ 的测定

在调好测角仪(分光计)和三棱镜位置的基础上,用 LED 照亮光栅单色仪的人射狭缝,转动游标盘(游标盘与待测物之间不可有丝毫相对位移),使棱镜处在如图 42 所示的位置. 通过转动游标盘,以改变入射角  $i$ ,使光谱线朝偏向角减少的方向移动,同时转动望远镜跟踪该光谱线,直到棱镜继续沿着同方向转动时,该光谱线不再向前移动却往相反方向移动为止. 此光谱线反方向移动的转折位置就是棱镜对该光谱线的最小偏向角位置.

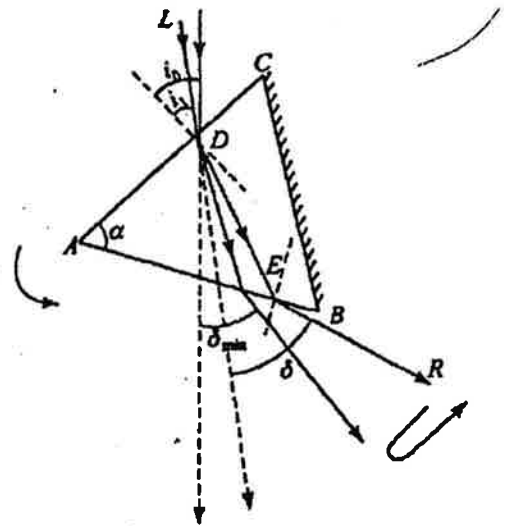


图 42 偏向角的移动示意图

### 四、实验要求

在初步调好测角仪(分光计)的基础上,首先,将光栅单色仪出射狭缝处的套筒插入分光计的平行光管中,接通电源、点亮 LED 后,接着前后调节该狭缝的位置以保证其发出平行光,亦即通过测角仪(分光计)的望远镜可观察到出射狭缝清晰的两侧刀口.

此时,已经完全能够将小型光栅单色仪与 LED 的有机组合视为一个平行线光源. 转动光栅单色仪的鼓轮(注意: 测量过程中应该顺着同一个方向转动),即可得到由平行光管射出的波长连续可变的单色平行光. 记下鼓轮上的读数刻度值,放大 100 倍后,就是光栅单色仪输出光所对应光谱线的波长( $\lambda$ )数值(单位: nm). 根据上述该组合光源的特点,就可以实现仅仅利用气体光源(如: 高压汞灯等)时所不能进行的角色散率与波长  $\lambda$  的关系曲线的测量.

1. 多次测量谱线波长为 579.0 nm 的最小偏向角(要求: 测量次数不少于 3 次)且计算所对应的折射率,最后用不确定度表示该测量结果.

(1) 在表 1 中填入所测得的实验数据.

实验所用的三棱镜的顶角  $A \pm \Delta A = 60^\circ 00' \pm 2'$ .

表 1 最小偏向角  $\delta_m$  的测量(三棱镜编号: \_\_\_\_\_)

测量次数	“左”游标读数			“右”游标读数			$\delta_m = (\delta'_m + \delta''_m) / 2$
	$\theta'_1$ (出射光)	$\theta'_2$ (入射光)	$\delta'_m = \theta'_1 - \theta'_2$	$\theta''_1$ (出射光)	$\theta''_2$ (入射光)	$\delta''_m = \theta''_1 - \theta''_2$	
总平均值	-	-	-	-	-	-	-

(2) 实验数据的处理: (在下划线上填写你的计算过程和结果)

测角仪(分光计)的最大允许误差为  $\Delta\theta_{\alpha} = 1' \approx$  \_\_\_\_\_ rad.

最小偏向角算术平均值的标准不确定度:

$$\Delta\theta_m = \Delta\delta_m = \text{_____} \approx \text{_____} \text{ rad.}$$

$$\Delta\theta = \sqrt{(\Delta\theta_m)^2 + (\Delta\theta_{\alpha})^2} / 3 = \text{_____} \text{ rad.}$$

$$\Delta A = 2' \approx \text{_____} \text{ rad.}$$





拟合的相关系数  $\gamma =$  \_\_\_\_\_

3. 利用自己在上面的实验过程中已经获得的实验数据值, 绘出所求光学玻璃材料的角色散率与波长  $\lambda$  的关系曲线.

(1) 在可见光范围内, 将两条相近的单色光谱线 (设其波长差为  $\Delta\lambda = 10 \text{ nm}$ ) 作为一组光谱线对 (实验中至少需要 10 组线对), 且取其中心波长 (指光谱线对的平均波长) 作为该光谱线对的波长值. 测量所选光谱线对的相应 2 个最小偏向角, 即可得到该光谱线对最小偏向角的差值  $\Delta\delta$ , 进而可以算得各中心波长的  $\Delta\delta/\Delta\lambda$  值. 将全部测定的中心波长  $\lambda$  对应的  $\Delta\delta/\Delta\lambda$  值列成数据表格. 在表 3 内记录实验数据 (根据需要画竖格线).

表 3


(2) 以中心波长  $\lambda$  为横坐标, 角色散率  $\Delta\delta/\Delta\lambda$  为纵坐标, 画出  $(\Delta\delta/\Delta\lambda) - \lambda$  关系曲线.

说明: 测角仪的下列部件已经调节好, 亦即: ① 望远镜聚焦于无穷远处, 实验过程中可以微调目镜; ② 平行光管的光轴与仪器转轴垂直; ③ 望远镜的光轴与仪器转轴垂直, 故在测量过程中, 尽量不要再调节它们.

### 实验部分参考解答

#### 实验一: 利用 NTC 热敏电阻设计制作数字体温计

1. (1) 先用数字万用表的欧姆挡粗测热敏电阻的阻值:  $33^\circ\text{C}$  时,  $R_x = 6.4 \text{ k}\Omega$ .

实验电路图如图 43 所示:

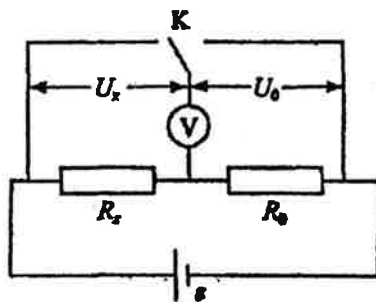


图 43

取  $R_0 = 5000 \Omega$ ,  $e = 1.5 \text{ V}$ .

(2) 测量  $R$  和  $T$  的数据记录见表 4.

实验条件:  $R_0 = 5000 \Omega$ ,  $e = 2.25 \text{ V}$ .

表 4

$T/^\circ\text{C}$	$T^{-1}/^\circ\text{C}^{-1}$	$U_0/\text{V}$	$U_x/\text{V}$	$R_x/\Omega$
35.8	0.0279	1.000	1.257	6285
36.6	0.0273	1.020	1.237	6064
37.3	0.0268	1.041	1.214	5831

续表

$T/^\circ\text{C}$	$T^{-1}/^\circ\text{C}^{-1}$	$U_1/\text{V}$	$U_2/\text{V}$	$R_x/\Omega$
38.4	0.0260	1.072	1.184	5522
39.1	0.0256	1.087	1.169	5377
40.2	0.0249	1.112	1.143	5139
40.9	0.0244	1.129	1.127	4991
42.0	0.0238	1.142	1.114	4877

2.

表 5

$T^{-1}/^\circ\text{C}^{-1}$	$R_x/\Omega$
0.0279	6285
0.0273	6064
0.0268	5831
0.0260	5522
0.0256	5377
0.0249	5139
0.0244	4991
0.0238	4877

由表 5, 用计算器拟合函数关系:

$$R_x = -3622 \Omega + \frac{3.53 \times 10^5 \Omega \cdot ^\circ\text{C}}{T}$$

3. (1) 设计的数字体温计电路图如图 44 所示:

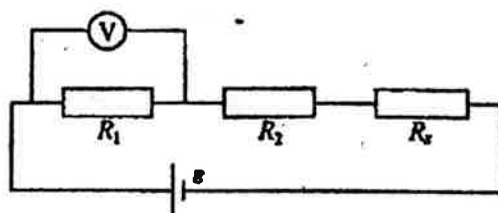


图 44

$$(2) \text{ 因 } R_x = -3622 \Omega + \frac{3.53 \times 10^5 \Omega \cdot ^\circ\text{C}}{T} \Rightarrow T = \frac{3.53 \times 10^5 \Omega \cdot ^\circ\text{C}}{R_x + 3622 \Omega}$$

由设计的电路可得:  $V = \frac{\varepsilon \cdot R_1}{R_x + R_1 + R_2}$ 故有:  $\varepsilon \cdot R_1 = 3.53 \times 10^5 \text{ mV} \cdot \Omega, R_1 + R_2 = 3622 \Omega$ .选取电源电压 2.00 V, 则  $R_1 = 176 \Omega, R_2 = 3446 \Omega$ .

4. (1) 不同温度时, 数字温度计的电压示数如表 6 所示, 校准曲线如图 45 所示.

实验条件: 电源电压 1.960 V, 则  $R_1 = 180.0 \Omega, R_2 = 3442.0 \Omega$ .

表 6

T/°C	U/mV
35.6	35.5
36.9	36.8
38.1	37.9
39.6	39.4
40.9	40.6
42.0	41.5

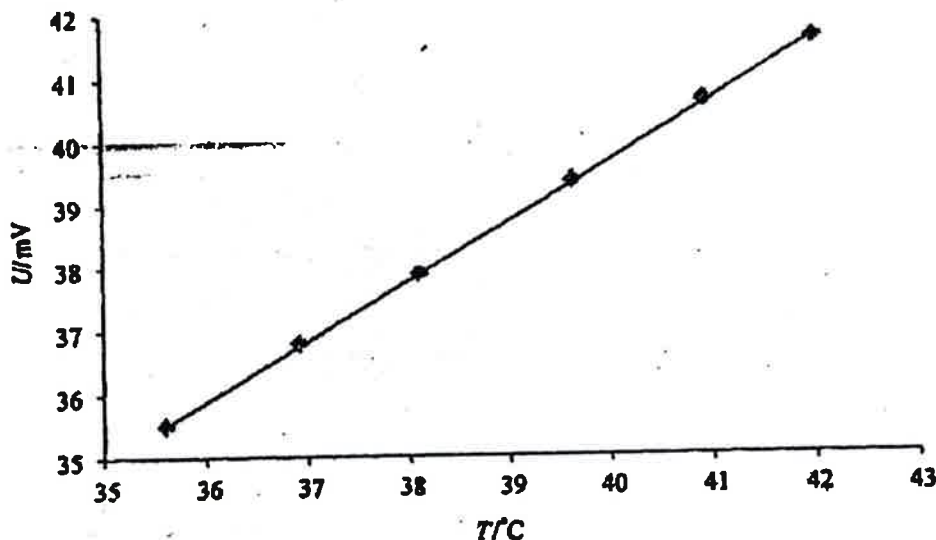


图 45

(2) 对数据作线性拟合, 结果为:  $U = 0.944 \text{ mV} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot T + 1.96 \text{ mV}$ .

发现当斜率偏小 5% 左右, 截距偏大 1.96 mV. 因此, 在不改变电源电压的前提下,  $R_1$  应增大 5%, 即改为  $190.6 \Omega$ ;  $R_2$  应减小为  $3431.4 \Omega$  (具体数值应在某个温度, 如  $38.0^\circ\text{C}$  时, 进行实际调节, 使电压表示数为  $38.0 \text{ mV}$ ).

## 实验二: 玻璃材料物理特性的实验研究

1. (1) 测得的实验数据如表 7 所示.

表 7 最小偏向角  $\delta_m$  的测量 (三棱镜编号: \_\_\_\_\_)

测量次数	“左”游标读数			“右”游标读数			$\delta_m = (\delta'_m + \delta''_m) / 2$
	$\theta'_1$ (出射光)	$\theta'_2$ (入射光)	$\delta'_m = \theta'_1 - \theta'_2$	$\theta''_1$ (出射光)	$\theta''_2$ (入射光)	$\delta''_m = \theta''_1 - \theta''_2$	
1	$155^\circ 16'$	$104^\circ 19'$	$50^\circ 57'$	$335^\circ 17'$	$284^\circ 20'$	$50^\circ 57'$	$50^\circ 57'$
2	$155^\circ 6'$	$104^\circ 10'$	$50^\circ 56'$	$335^\circ 7'$	$284^\circ 11'$	$50^\circ 56'$	$50^\circ 56'$
3	$154^\circ 57'$	$104^\circ 00'$	$50^\circ 57'$	$334^\circ 59'$	$284^\circ 1'$	$50^\circ 58'$	$50^\circ 57.5'$
4	$155^\circ 5'$	$104^\circ 8'$	$50^\circ 57'$	$335^\circ 6'$	$284^\circ 8'$	$50^\circ 58'$	$50^\circ 57.5'$
5	$155^\circ 15'$	$104^\circ 18'$	$50^\circ 57'$	$335^\circ 16'$	$284^\circ 19'$	$50^\circ 57'$	$50^\circ 57'$
/	/	/	/	/	/	/	/
总平均值	—	—	—	—	—	—	$50^\circ 57'$

(2) 测角仪(分光计)的最大允许误差为  $\Delta\theta_{\alpha} = 1' \approx 0.00029 \text{ rad}$ .

最小偏向角算术平均值的标准不确定度:

$$\Delta\theta_m = \Delta\delta_m$$

$$= \sqrt{[2 \times (50'57' - 50'57')^2 + (50'56' - 50'57')^2 + \frac{2 \times (50'57.5' - 50'57')^2}{5(5-1)}]}$$

$$\approx 17'' = 0.000082 \text{ rad}.$$

$$\Delta\theta = \sqrt{(\Delta\theta_m)^2 + (\Delta\theta_{\alpha})^2} / 3 = 0.00019 \text{ rad}.$$

$$\Delta A = 2' \approx 0.00058 \text{ rad}.$$

棱镜材料的折射率  $n$  为:

$$n = \frac{\sin \frac{\delta_m + 60'00'}{2}}{\sin \frac{60'00'}{2}} = \frac{\sin \frac{50'57' + 60'00'}{2}}{\sin \frac{60'00'}{2}} = 1.647757938.$$

折射率  $n$  的不确定度为:

$$\Delta n = \sqrt{\left(\frac{\partial n}{\partial \delta_m}\right)^2 \cdot \Delta\theta^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial A}\right)^2 \cdot \Delta A^2}.$$

其中:

$$\frac{\partial n}{\partial \delta_m} = \frac{1}{2} \times \frac{\cos\left(\frac{\delta_m + A}{2}\right)}{\sin \frac{A}{2}} = \frac{0.566765775}{2 \times 0.5} = 0.566765775.$$

$$\frac{\partial n}{\partial A} = \frac{1}{2} \times \frac{\cos\left(\frac{\delta_m + A}{2}\right) \sin\left(\frac{A}{2}\right) - \sin\left(\frac{\delta_m + A}{2}\right) \cos\left(\frac{A}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{A}{2}\right)} = \frac{1}{2} \times \frac{\sin\left(-\frac{\delta_m}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{A}{2}\right)} = (-0.4301172287) / (2 \times 0.25) = -0.860234457.$$

$$\Delta n = \sqrt{0.566765775^2 \times 0.00019^2 + (-0.860234457)^2 \times 0.00058^2} = 0.000512.$$

$$(3) n = 1.647757938, \Delta n = 0.000512.$$

光学玻璃材料的折射率是  $n = 1.6478 \pm 0.0005$ .

2. (1) 记录的实验数据如表 8 所示.

表 8 光波长值、最小偏向角及折射率

波长/nm	波长 <sup>-2</sup> /10 <sup>-6</sup> nm <sup>-2</sup>	最小偏向角/(°)	折射率 $n$
405.0	6.0960	54.483	1.6819
410.0	5.9488	54.308	1.6803
420.0	5.6689	53.950	1.6769
430.0	5.4083	53.658	1.6741
440.0	5.1653	53.375	1.6714
450.0	4.9383	53.167	1.6694

波长/nm	波长 <sup>-2</sup> /10 <sup>-6</sup> nm <sup>-2</sup>	最小偏向角/(°)	折射率 n
460.0	4.7259	52.883	1.6666
470.0	4.5269	52.667	1.6646
480.0	4.3403	52.442	1.6624
490.0	4.1643	52.258	1.6606
500.0	4.0000	52.075	1.6588
510.0	3.8447	51.917	1.6573
520.0	3.6982	51.783	1.6560
530.0	3.5600	51.650	1.6547
540.0	3.4294	51.508	1.6533
550.0	3.3058	51.400	1.6522
560.0	3.1888	51.267	1.6509
570.0	3.0779	51.142	1.6497
580.0	2.9727	51.033	1.6486
590.0	2.8727	50.933	1.6476
600.0	2.7778	50.858	1.6469
610.0	2.6874	50.767	1.6459
620.0	2.6015	50.675	1.6450
630.0	2.5195	50.592	1.6442
640.0	2.4414	50.508	1.6434
650.0	2.3669	50.433	1.6426
660.0	2.2957	50.375	1.6420
670.0	2.2277	50.308	1.6414
680.0	2.1626	50.242	1.6407
690.0	2.1004	50.158	1.6399
700.0	2.0408	50.100	1.6393

(2) 根据表 8 中所测量的最小偏向角而计算出的折射率数值, 绘制其色散关系曲线(如图 46 所示)。

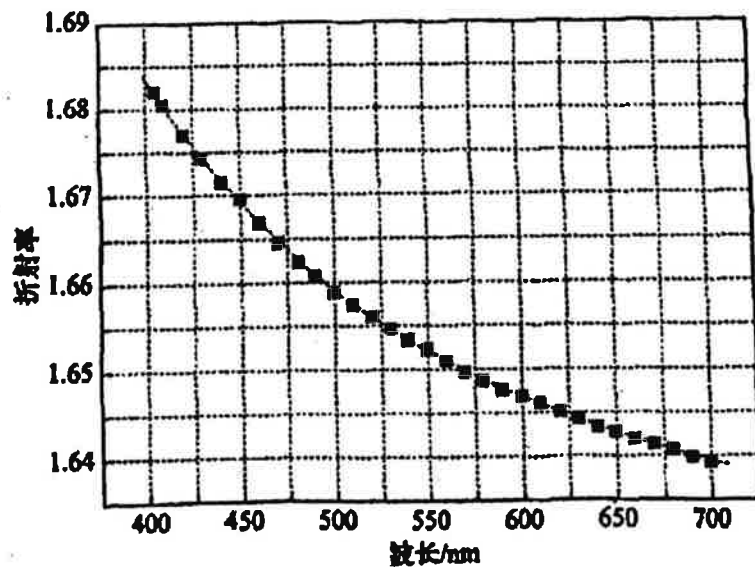


图 46 光学玻璃 ZF1 材料的色散关系曲线

(3) 按照考生自带的(或考场提供的)科学型计算器的回归功能要求,分别输入  $1/\lambda^2$  数值和  $n$  数值;然后,通过计算器的相关输出功能,得到的所需截距和斜率,亦即为玻璃材料的特征常数  $C_1$  和  $C_2$  值,以及拟合的相关系数  $\gamma$ .

$C_1 = 1.6181, C_2 = 10322 \text{ nm}^2$ , 拟合的相关系数  $\gamma = 0.9997$ .

3. (1) 利用上面表 8 中的数值,可以得到表 9 中的具体数值,进而得到角色散率.

表 9 中心波长值、最小偏向角差值及折射率

中心波长/nm	最小偏向角的差值 $\Delta\delta/(')$	角色散率 $(\Delta\delta/\Delta\lambda)/(rad/nm)$
415.0	21.5	$-6.254 \times 10^{-4}$
425.0	17.5	$-5.091 \times 10^{-4}$
435.0	17.0	$-4.945 \times 10^{-4}$
445.0	15.5	$-4.509 \times 10^{-4}$
455.0	14.0	$-4.072 \times 10^{-4}$
465.0	13.0	$-3.782 \times 10^{-4}$
475.0	13.5	$-3.927 \times 10^{-4}$
485.0	11.0	$-3.200 \times 10^{-4}$
495.0	11.0	$-3.199 \times 10^{-4}$
505.0	9.5	$-2.763 \times 10^{-4}$
515.0	8.0	$-2.327 \times 10^{-4}$
525.0	8.0	$-2.327 \times 10^{-4}$
535.0	8.5	$-2.473 \times 10^{-4}$
545.0	6.5	$-1.891 \times 10^{-4}$
555.0	8.0	$-2.327 \times 10^{-4}$
565.0	7.5	$-2.182 \times 10^{-4}$
575.0	6.5	$-1.891 \times 10^{-4}$
585.0	6.0	$-1.745 \times 10^{-4}$
595.0	4.5	$-1.309 \times 10^{-4}$
605.0	5.5	$-1.600 \times 10^{-4}$
615.0	5.5	$-1.600 \times 10^{-4}$
625.0	5.0	$-1.454 \times 10^{-4}$
635.0	5.0	$-1.454 \times 10^{-4}$
645.0	4.5	$-1.309 \times 10^{-4}$
655.0	3.5	$-1.018 \times 10^{-4}$
665.0	4.0	$-1.164 \times 10^{-4}$
675.0	4.0	$-1.164 \times 10^{-4}$
685.0	5.0	$-1.454 \times 10^{-4}$
695.0	3.5	$-1.018 \times 10^{-4}$

(2) 根据表 9 中的相关数据,可以绘制出如图 47 所示的光学玻璃材料的角色散率关系曲线图.

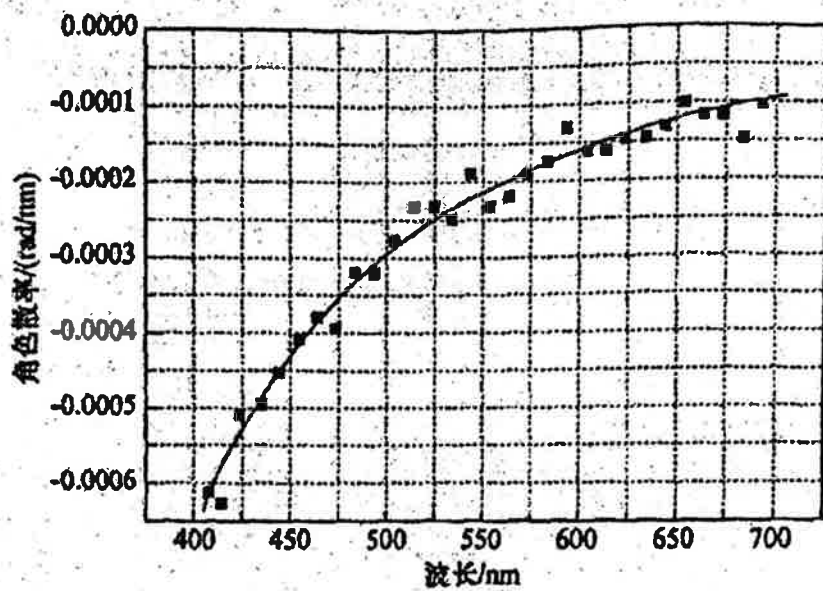


图 47 光学玻璃材料的角色散率关系曲线



## 第二十七届

## 实验部分试题

## 实验一 发光二极管光电特性研究

## 一、介绍

半导体发光二极管(LED)是一种电致发光器件,具有一般pn结二极管的特性.当发光二极管的正向电压超过阈值后就会发光.不同材料制成的发光二极管可发出不同波长(颜色)的光.

分光计是一种精确测量光线偏折角度的光学仪器,常用以测量折射率、光波波长、色散率及观测光谱等一些光学参数.光栅是根据多缝衍射原理制成的一种分光元件,可把人射光中不同波长的光区分开来,用于研究谱线结构、波长和强度等.

本实验通过测量红色高亮发光二极管的光电特性,学习正确使用发光二极管,了解发光二极管的工作原理,认识半导体发光二极管的重要应用.了解分光计的构造,熟悉分光计的调节和使用,正确使用分光计和光栅测量波长.

## 二、仪器

1. 红色发光二极管 1 只(长管脚为正极).
  2. 数字万用电表 2 个(限用电压挡,准确度  $0.5\%+3$  字).
  3. 5 号电池 2 节,带开关的电池盒 1 个.
  4. 可调电阻 1 只,阻值已知的固定电阻 1 只.
  5. 接线柱面板,连接线.
  6. 分光计 1 台(如图 59 所示).
  7. 光栅( $d=1.67\times 10^{-6}$  m),反射镜,可调固定支架.
- (自备计算器,普朗克常数  $h=4.13\times 10^{-15}$  eV·s,光速  $c=3.00\times 10^8$  m/s)

### 三、要求

1. 测量红色发光二极管的正向伏安特性(正向电流测量范围为  $0 \sim 20 \text{ mA}$ ): (1) 画出测量电路图。(2) 记录测量的原始数据, 画出完整的伏安特性曲线。(3) 由伏安特性曲线获得正向阈值电压  $U_D$  (在特性曲线上标示), 列出用  $U_D$  估算发光波长的公式, 并算出发光波长。

2. 利用分光计, 采用光栅衍射方法测量  $20 \text{ mA}$  电流下 LED 的峰值发光波长及其光谱范围: (1) 调整分光计和光栅, 并写出分光计及光栅调节的具体要求。(2) 记录测量的原始数据。(3) 列出计算公式, 并算出 LED 峰值发光波长及其光谱范围。(4) 定性说明实验结果误差的主要来源。

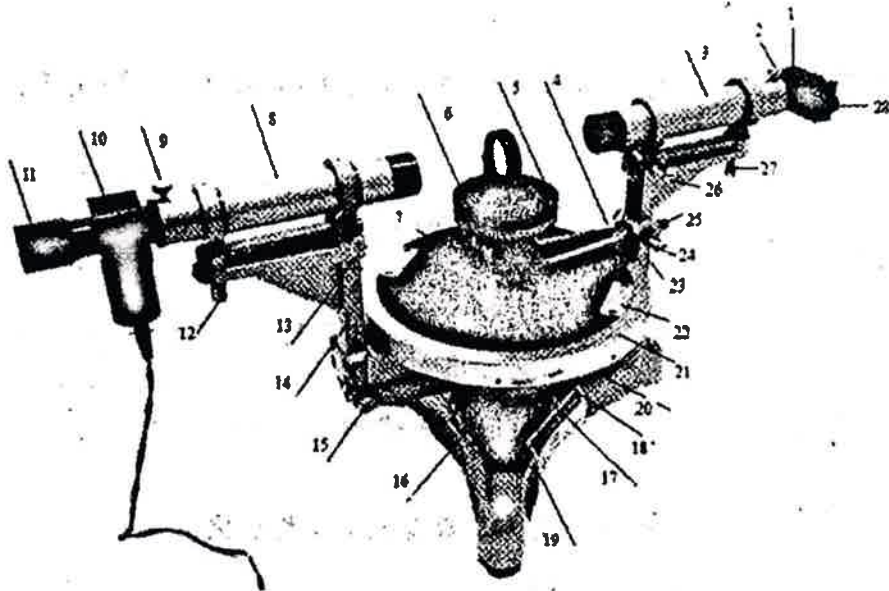


图 59 分光计结构图

1. 狭缝装置 2. 狭缝装置锁紧螺钉 3. 平行光管部分 4. 制动架(一) 5. 载物台 6. 载物台调节螺钉(3只) 7. 载物台锁紧螺钉 8. 望远镜部件 9. 目镜锁紧螺钉 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. 转座与度盘止动螺钉 17. 望远镜止动螺钉 18. 制动架(二) 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钉 28. 狭缝宽度调节手轮

## 实验二 电感等效电阻的测量研究

### 一、RLC 串联电路的基本知识

如图 60 所示, RLC 串联电路由电阻器  $R_0$ 、电感器  $L$ 、电容器  $C$  和交流信号源  $u$  串联而成,  $U_m$  代表电压的幅值, 信号源的频率为  $f$ , 其角频率为  $\omega = 2\pi f$ ,  $u = U_m \sin \omega t$ . 图中  $r_L$  为电感器  $L$  的等效电阻, 电容器  $C$  的等效损耗电阻可以忽略, 电路总电阻为  $R = R_0 + r_L$ . 回路中电感的感抗为  $\omega L$ , 电容的容抗为  $\frac{1}{\omega C}$ . 当  $R, L, C$  串联时, 电路回路中电压有效值  $U$  与电流有效值  $I$  的关系式为:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (1)$$

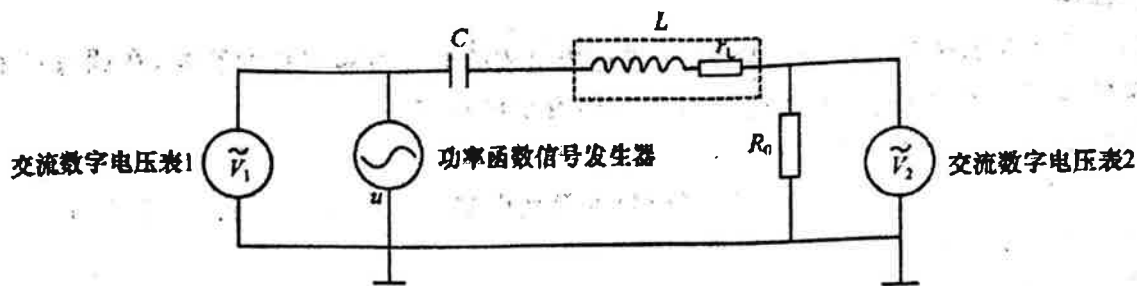


图 60 RLC 串联电路连线图

## 二、实验仪器

1. 0.1 级 ZX21 型可调直流电阻箱 2 个。
2. 0.1 级 ZX38A/11 交直流可调电阻箱 1 个。
3. GX9/3 型可调电感箱 1 个。
4. 最小步级为  $0.0001 \mu\text{F}$  的步进式可调电容箱 1 个。
5. DF1636 功率函数信号发生器 1 台(见附件中图 61)。
6. UT56 数字式万用表 2 台(见附件中图 62, 限用交流电压挡, 准确度为  $0.5\% + 10$  字)。
7. 导线若干。

## 三、实验要求

1. 观察 RLC 串联电路出现的谐振现象。

(1) 按图 60 连接电路, 测量谐振曲线。

图 60 中,  $C=0.0500 \mu\text{F}$ ,  $L=0.100 \text{ H}$ ,  $r_L$  为电感的等效电阻,  $R_0$  采用 ZX38A/11 电阻箱取值  $100.0 \Omega$ , 电路的输入端(功率函数信号发生器的两端)和电阻  $R_0$  两端分别接有 UT56 交流数字式电压表各一个。

固定输入正弦信号的电压值为  $0.90 \text{ V}$ , 频率  $f$  的改变范围为  $1.70 \sim 2.80 \text{ kHz}$ , 测量  $R_0$  上的电压, 计算电路电流  $I$ , 将数据填入表中。

(2) 在所提供的坐标纸上作出电流  $I$  与频率  $f$  的关系曲线。

(3) 从  $I-f$  关系曲线图确定谐振频率  $f_0$ , 并与利用(1)式计算出的谐振频率结果进行比较。

(4) 利用谐振点数据估算电感的等效电阻  $r_L$ 。

提示: 为使不同频率的输入信号都保持信号电压值为  $0.90 \text{ V}$ , 可先调整信号频率再调整信号电压值为  $0.90 \text{ V}$  (指交流数字电压表 1 的显示值)。

2. 应用惠斯通直流电桥的基本知识, 将惠斯通直流电桥作少许改造: 将电感器  $L$  (含  $r_L$ ) 和电容器  $C$  串联起来作为惠斯通电桥的一个桥臂, 以功率正弦函数信号发生器代替直流电源, 以交流数字电压表代替检流计作平衡指示器。改装后的电桥只有在 RLC 谐振时才能平衡, 故称为谐振电桥。

(1) 画出实验电路图, 并列出各元件的初始值(在估算各桥臂数值时, 可参考上一题中测出的  $r_L$  值)。

(2) 写出谐振电桥的谐振频率与电路电感和电容的关系式。

(3) 写出求  $r_L$  的基本公式。

电路连完后须先举手报告。由老师设定功率函数信号发生器的输出频率在  $880 \sim 1120 \text{ Hz}$  范围内、输出电压为  $V_{p-p}=4.0 \text{ V}$  的正弦输入信号, 并将其用封条封住, 考生不得撕开封条, 否

则视为作弊。

(4) 用谐振电桥测出该未知频率(由于交流电表受环境电磁干扰的影响,在调电桥平衡时要多次反复调节,且平衡指示往往调不到0,但有个极小值)。

(5) 写出电桥平衡时测得的平衡指示器读数。

(6) 测量并计算出  $L=0.100\text{ H}$  时电感的等效电阻  $r_L$ 。

(7) 最后标明你所确定的各元件数值。

提示:  $L$  取  $0.100\text{ H}$ ,不必调。

#### 四、附件

频率范围选择,与“频率调节”、“频率微调”配合选择信号的工作频率  
电压显示器,用于指示功率输出、电压输出  
频率显示器, Hz、kHz灯亮有效  
电压的峰值。 $V_{pp}$ 、 $mV_{pp}$ 指示灯亮有效

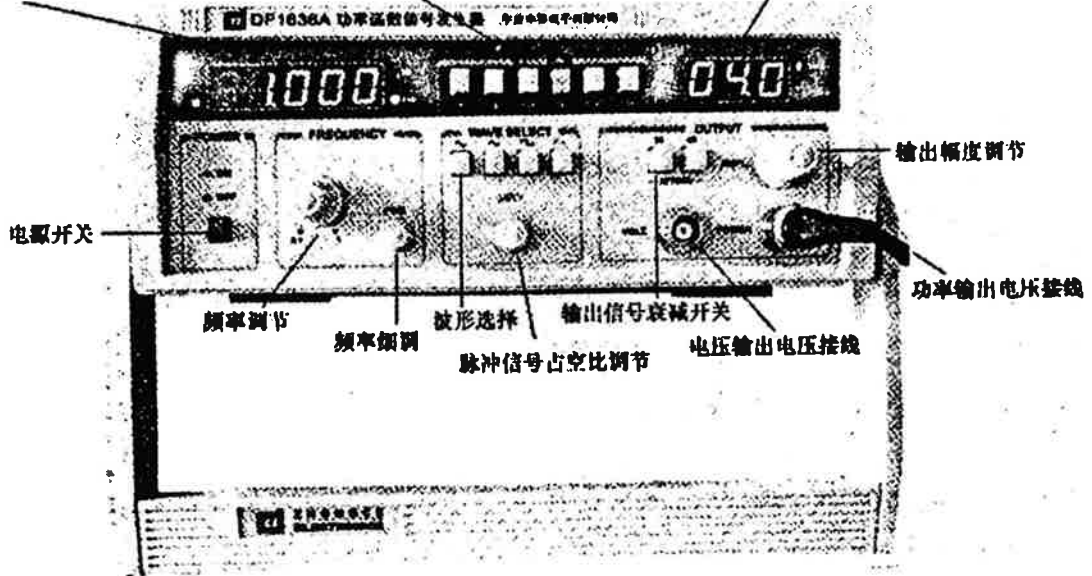


图 61 DF1636A 功率函数信号发生器示意图

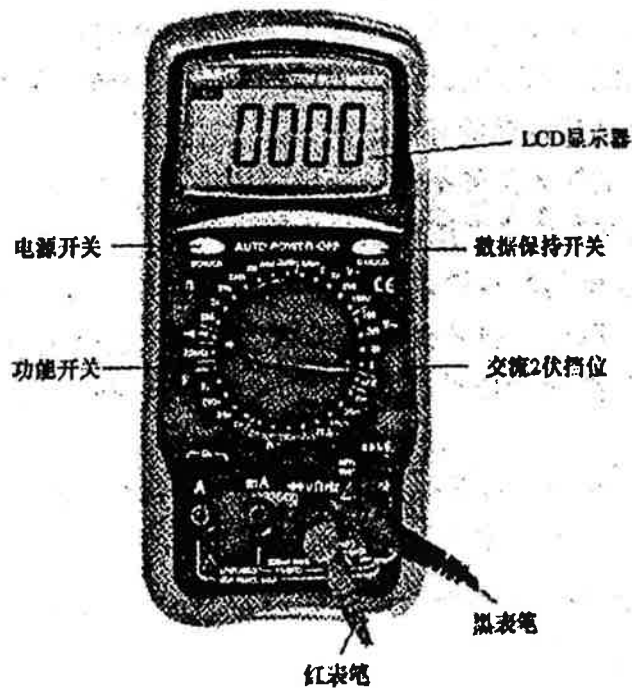


图 62 4位半数字式万用表示意图

# 实验部分参考解答

## 实验一 发光二极管光电特性研究

1. (1) 测量电路图如图 63 所示:

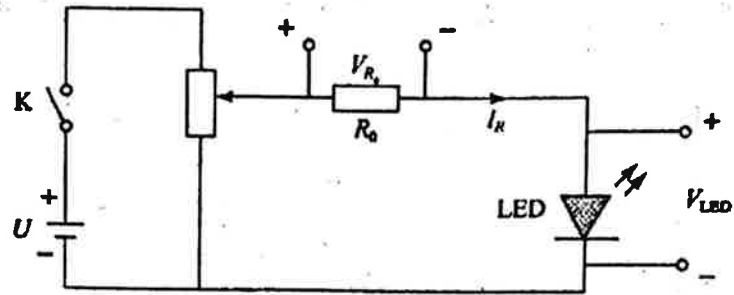


图 63

(2) 正向伏安特性曲线 ( $R_0 = 50.9 \Omega$ )

表 2

$V_{R_0}/\text{mV}$	$V_{\text{LED}}/\text{V}$	计算 $I_R/\text{mA}$
1026	2.07	20.2
871	2.05	17.1
728	2.03	14.3
611	2.01	12.0
515	1.99	10.1
401	1.97	7.88
336	1.95	6.60
263	1.93	5.17
197	1.91	3.88
132	1.88	2.60
80.3	1.84	1.58
36.2	1.80	0.710
13.1	1.75	0.260
6.9	1.69	0.14
2.1	1.64	0.041

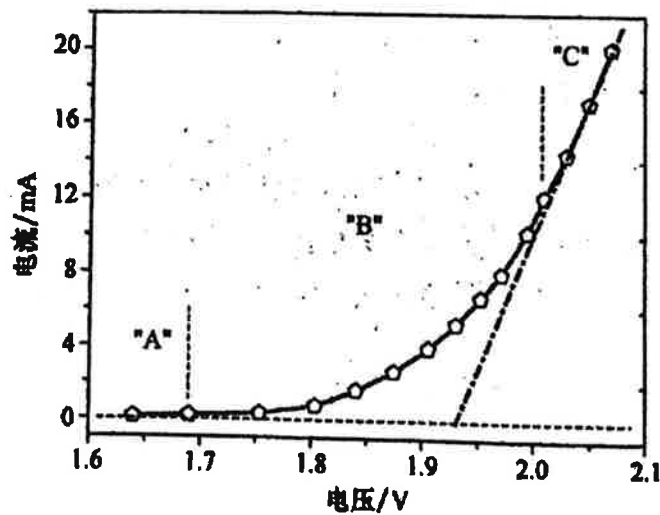


图 64

(3) 由伏安特性曲线可得正向阈值电压  $U_D$  约为 1.93 V

发光波长估算:  $\lambda = hc/\Delta E \approx 1240/(eU_D) = 642 \text{ nm}$ .

2. (1) 分光计及光栅调节的具体要求:

a) 分划板叉丝通过目镜成清晰虚像, 望远镜聚焦于无穷远. b) 平行光管发射平行光, 狭缝宽度较小. c) 平行光管及望远镜的光轴等高、共轴, 并与仪器转轴垂直. d) 光栅置于载物台中心, 其刻线平行于仪器转轴; 平行光束垂直入射光栅平面, 衍射条纹与分光计转轴平行.

(2) 数据记录与处理.

记录分光计零级条纹位置的读数: 左游标 27°0' 右游标 207°1'

表 3

测量次数	+1 级条纹(左)					
	光谱外边界		峰值波长位置		光谱内边界	
	左游标	右游标	左游标	右游标	左游标	右游标
1	49°34'	229°33'	49°11'	229°11'	48°26'	228°25'
2	49°31'	229°33'	49°8'	229°12'	48°26'	228°28'
3	49°31'	229°31'	49°9'	229°10'	48°24'	228°26'
测量次数	-1 级条纹(右)					
	光谱外边界		峰值波长位置		光谱内边界	
	左游标	右游标	左游标	右游标	左游标	右游标
1	4°12'	184°11'	4°30'	184°33'	5°20'	185°20'
2	4°13'	184°13'	4°34'	184°33'	5°23'	185°23'
3	4°14'	184°13'	4°33'	184°32'	5°22'	185°21'

(3) 由上述数据可得:

±1 级条纹内边界:

夹角平均值:  $43^\circ 4'$ , 平均衍射角:  $21^\circ 32'$ .

峰值发光波长对应的 ±1 级条纹:

夹角平均值:  $44^\circ 38'$ , 平均衍射角:  $22^\circ 19'$ .

±1 级条纹外边界:

夹角平均值:  $45^\circ 20'$ , 平均衍射角:  $22^\circ 40'$ .

根据光栅衍射原理, 衍射条纹满足如下公式:

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

本实验  $k$  为 1,  $d$  为  $1.67 \times 10^{-6} \text{ m}$ , 所以, 条纹内边界对应的波长 613 nm (或  $6.13 \times 10^{-7} \text{ m}$ ), 峰值发光波长 634 nm (或  $6.34 \times 10^{-7} \text{ m}$ ), 条纹外边界对应的波长 643 nm (或  $6.43 \times 10^{-7} \text{ m}$ ), 因此, 峰值发光波长为 634 nm, LED 光谱范围为 613~643 nm.

(4) 实验结果误差的主要来源:

系统误差(与分光计和光栅调节要求有偏差):

a) 入射光束不是理想的平行光;

b) 入射光束没有与光栅平面垂直;

等等.

偶然误差：每次条纹左右边界线界定有偏差，等等。

## 实验二 电感等效电阻的测量研究

1. (1) 按图 60 连接线路，测量谐振曲线(以 29 号机为例)。

表 4  $I-f$  谐振曲线的测量数据表

数值 项目 $f(\times 10^3)/\text{Hz}$	$L=0.100\text{ H}$ $C=0.0500\ \mu\text{F}$	
	输入 0.90 V $R_0=100.0\ \Omega$	
	$U_{R_0}/\text{mV}$	$I=\frac{U_{R_0}}{R_0}/\text{mA}$
1.70	108	1.08
1.80	137	1.37
1.90	181	1.81
2.00	259	2.59
2.05	312	3.12
2.10	398	3.98
2.15	514	5.14
2.20	661	6.61
2.25	727	7.27
2.30	617	5.17
2.35	493	4.93
2.40	378	3.38
2.45	318	3.18
2.50	264	2.64
2.60	199	1.99
2.70	157	1.57
2.80	138	1.38

(2) 谐振曲线如图 65 所示。

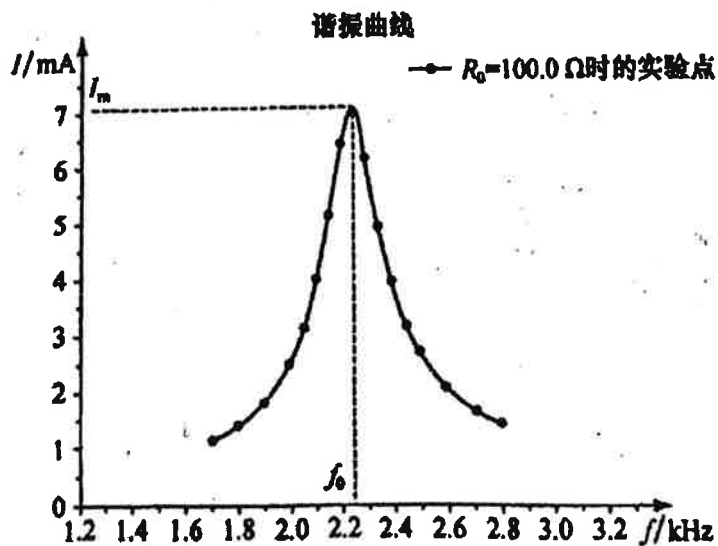


图 65 RLC 串联电路幅频特性曲线

(3) 由实验得出的电流  $I$  与频率  $f$  的关系曲线可知,当电流出现极值(谐振)时,电路的谐振点频率  $f_0$  为 2.25 kHz. 由(1)式可知,电路的谐振频率  $f_0$  与电路电感器  $L$  和电容器  $C$  的关系式为

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 2.25 \text{ kHz.}$$

(4) 利用谐振点的数据估算电感的内阻  $r_L$ :

$$r_L = \left( \frac{U}{I_m} - R_0 \right) = \left( \frac{0.900}{0.00727} - 100.0 \right) \Omega = 23.8 \Omega.$$

2. (1) 设计电路图.

应用惠斯通电桥的基本知识,将直流电桥作少许改造,以功率函数信号发生器代替直流电源,以交流电压表代替检流计作平衡指示器,用  $RLC$  串联谐振电路作为一个桥臂,图 66 为谐振电桥实验电路设计图.

(2) 当电桥平衡(谐振)时,  $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

(3) 当电桥平衡(谐振)时,存在关系式:  $r_L = \frac{R_1}{R_2} R_x$ .

(4) 0.100 H 的电感不动,调整电容  $C$  和电阻  $R_x$ ,使电桥平衡指示器读数为最小,记下此时的电感量和电容量,代入式  $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  中,即可求出未知谐振频率.

数据如下:

老师输入信号源频率  $f = 1080 \text{ Hz}$ ;

考生从实验测得的数据可计算出未知谐振频率和直接得出 0.100 H 电感的直流内阻.

表 5

电感 $L/\text{H}$	电容 $C/\mu\text{F}$	$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}/\text{Hz}$
0.100	0.2165	1082

频率的相对误差  $E = \frac{1082 - 1080}{1080} \times 100\% = 0.2\%$ .

因不知标准值,考生不必求频率的相对误差.

(5) 平衡指示器交流电压表的最小值读数约  $\leq 3 \text{ mV}$ .

(6) 0.100 H 电感的等效电阻

$$r_L = \frac{R_1}{R_2} R_x = \frac{300.0}{300.0} \times 22.1 \Omega = 22.1 \Omega.$$

不同规格的电感箱电阻可能不一样,大致在几十欧范围内.新购入的一批大部分在 20~22  $\Omega$  左右;旧的一批有的为十几欧,有的为二十几欧.(按编号每台有实测参考数据)

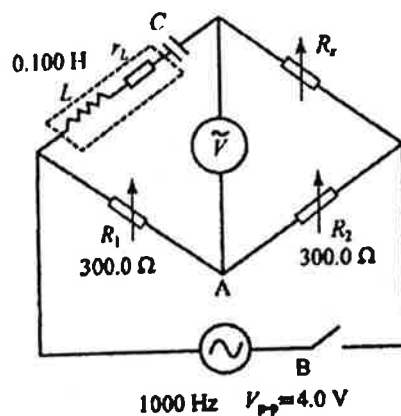


图 66 应用谐振电桥测电源频率和电感直流电阻的电路设计图

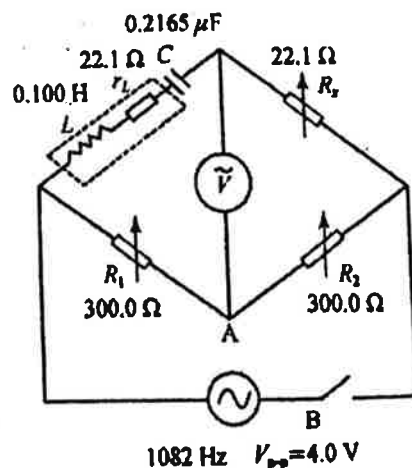


图 67 总览图



注意：交流平衡电桥电路必须谐振，谐振时的电桥是一个全电阻的电桥。作为平衡指示器的交流电压表读数应是一个最小值，求最小值的过程其实就是求极值的过程。实验时，电感  $L=0.100\text{ H}$  不能变动，因为不同的电感量其等效电阻是不一样的，故只可调整可调电容器  $C$  和可调电阻器  $R_x$ ，使平衡指示器电压读数最小，最小值是在比较中获得的。

(7) 表 6 列出了最后电路各元件的数值，具体标注如图 67(见上页)所示。

表 6

$f_0$	$V_{p-p}$	$R_1$	$R_2$	$C$	$L$	$r_L$	$R_x$
1082 Hz	4.0 V	300.0 $\Omega$	300.0 $\Omega$	0.2165 $\mu\text{F}$	0.100 H	22.1 $\Omega$	22.1 $\Omega$

附：

各电感箱等效电阻实测参考数据(设定  $f=1080\text{ Hz}$ ,  $V_{p-p}=4.0\text{ V}$ ,  $L=0.100\text{ H}$ )

序号	$C/\mu\text{F}$	$r_L/\Omega$	平衡时指示器读数 $\angle/\text{mV}$	序号	$C/\mu\text{F}$	$r_L/\Omega$	平衡时指示器读数 $\angle/\text{mV}$
1	0.2151	22.2	1	20	0.2160	21.0	3
2	0.2165	22.1	1	21	0.2170	21.0	3
3	0.2156	23.1	1	22	0.2160	21.0	1
4	0.2171	21.0	1	23	0.2161	21.0	3
5	0.2171	21.9	1	24	0.2167	22.0	3
6	0.2161	21.6	1	25	0.2165	21.3	0
7	0.2177	21.1	1	26	0.2175	18.1	0
8	0.2161	21.5	1	27	0.2168	19.0	4
9	0.2166	21.2	1	28	0.2168	19.1	2
10	0.2165	21.2	2	29	0.2166	19.7	2
11	0.2172	21.8	1	30	0.2168	19.5	3
12	0.2162	21.5	1	31	0.2170	19.3	5
13	0.2170	21.9	2	32	0.2164	19.2	6
14	0.2160	21.8	1	33	0.2170	18.0	4
15	0.2170	21.3	2	34	0.2161	20.0	4
16	0.2161	21.3	1	35	0.2174	17.7	3
17	0.2167	22.2	3	36	0.2175	19.1	1
18	0.2174	21.4	1	37	0.2179	22.0	0
19	0.2166	22.0	2				

# 第二十八届

## 实验部分试题

### 实验一 直流电源特性的研究

#### 一、题目

一直流待测电源  $E_x$ , 开路电压小于 2 V.

1. 利用所给仪器, 自组电压表, 并测量待测电源  $E_x$  的开路电压;
2. 利用所给仪器, 测量待测电源  $E_x$  的短路电流.

#### 二、仪器

1. 直流待测电源  $E_x$ .
2. 六位电阻箱  $R_1, R_2$  2 台.

3. 标称值  $350\ \Omega$  的滑线变阻器 W 1台.
4. 标称值 3 V 直流电压源 E 1台.
5. 准确度等级 0.5 级指针式  $100\ \mu\text{A}$  直流电流表  $A_1$  1台.
6. 准确度等级 0.5 级指针式多量程直流电流表  $A_2$  1台.
7. 准确度等级 1.5 级指针式检流计 G 1台.
8. 开关、导线若干.

### 三、说明

1. 待测电源  $E_x$  具有非线性内阻, 不适合用  $U-I$  曲线外推法测量;
2. 测量中需要的电压表用  $100\ \mu\text{A}$  指针式直流电流表  $A_1$  和电阻箱自组;
3. 标称值 3 V 直流电压源 E 由 2 节 1 号干电池、 $15\ \Omega$  保护电阻串联构成;
4. 所画测量电路中的待测电源  $E_x$ 、3 V 直流电压源 E、电流表  $A_1$ 、电流表  $A_2$  需用“+”和“-”标明其正、负极性;
5. 检流计 G 两接线端子上并联 2 个保护二极管, 作为平衡指示器使用时, 可以不使用串联保护电阻. 如果测试中需要用检流计 G 判断电流是否为 0 时, 应说明检流计 G 指示为 0 的判断方法或者判断过程.

### 四、要求

1. 利用所给器材, 测量  $100\ \mu\text{A}$  电流表内阻, 并将  $100\ \mu\text{A}$  电流表改装成 2.00 V 量程的电压表. 要求画出测量内阻的电路图, 简述测量原理, 给出测量结果; 画出自组电压表的示意图, 并标明元件的数值.
2. 测量待测电源  $E_x$  的开路电压.
  - (1) 画出测量待测电源  $E_x$  的开路电压的电路图, 简述测量待测电源  $E_x$  开路电压的原理和步骤.
  - (2) 连接电路、测量并记录必要的的数据, 标明待测电源  $E_x$  开路电压的测量值.
3. 测量待测电源  $E_x$  的短路电流.
  - (1) 画出测量待测电源  $E_x$  短路电流的电路图, 并简述测量待测电源  $E_x$  短路电流的原理和步骤.
  - (2) 连接电路、测量并记录必要的的数据, 写出待测电源  $E_x$  短路电流的测量值.

## 实验二 光电效应的实验研究

### 一、概述

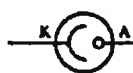
金属及其化合物在光照射下发射电子的现象称为光电效应. 爱因斯坦指出, 一束光就是一束以光速运动的粒子流, 这些粒子称为光子, 频率为  $\nu$  的光的每一个光子所具有的能量为  $h\nu$ , 它不能再分割, 而只能整个地被吸收或产生出来. 根据能量守恒定律, 当金属中的电子从入射光中吸收光子的能量后, 就获得能量  $h\nu$ , 如果  $h\nu$  大于该金属的电子逸出功  $A$ , 这个电子就可以从金属中逸出, 叫做光电子, 且有:

$$h\nu = A + \frac{1}{2}mv_m^2,$$

该式称为爱因斯坦光电效应方程. 逸出功  $A$  是指一个电子脱离金属表面时所需做的最小功,  $\frac{1}{2}mv_m^2$  是光电子从金属表面逸出时所具有的最大初动能.  $h$  是普朗克常数. 由方程可知, 能够

使某种金属产生光电子的入射光,其最低频率  $\nu_0$  应由该金属的逸出功决定,  $\nu_0$  称为截止频率. 而照射光的光强是由单位时间到达单位垂直面积的光子数决定的,光强越大,逸出的光电子数越多.

利用光电效应原理制成的光电管能将光信号转化为电信号. 光电管的示意图为:




其中 K 为阴极,光照后可发射光电子; A 为阳极,加正电压时收集光电子,负电压时阻止光电流. 光电管的主要特性有:


1. 伏安特性: 当照射光的频率和光强一定时,光电流随两极间电压变化的特性称为伏安特性. 用不同强度的光照射光电管时,可得到不同的伏安特性曲线. 极间电压为零时,光电流并不为零. 当光电管加反向电压至一定值  $U_c$  时,光电流才为零,  $|U_c|$  称为截止电压.

2. 光电特性: 当照射光的频率和两极间电压一定时,饱和光电流  $I_H$  随照射光强度变化的特性称为光电特性.

3. 光电管的截止电压  $U_c$  与光照频率  $\nu$  有关,测出不同频率光照射下光电管的截止电压  $U_c$ ,画出  $|U_c| \sim \nu$  的关系图,从而根据光电效应方程,可由图线求出普朗克常数  $h$ 、阴极材料的截止频率  $\nu_0$  和逸出功  $A$ .

## 二、仪器用具

1. 装在暗盒中的光电管  (附有挡光盖) 1 只.

2. 高压汞灯  及其电源 1 套(附有挡光盖).

3. 滤光片 1 组(其透射光的中心波长  $\lambda$  分别为 365 nm, 405 nm, 436 nm, 546 nm, 577 nm).

4. 光阑 1 组(直径  $\phi = 2$  mm, 4 mm, 8 mm).

5. 直流稳压电源  $E_1$  1 个(30 V 稳压恒流电源,已调至稳压状态,显示“CV”).


6. 电位器 R 1 个(3.3 k $\Omega$ , 3 W).

7. 专用微电流计  $\text{G}$  1 个及专用电缆线(它是实验仪中的微电流测量部分,用于测量光电管所产生的光电流. 电缆线实际是两条线. 当用电缆线将实验仪背面的“微电流输入”与光电管暗盒背面的“K”接通时,  $\text{G}$  就串联在电路中,电流量程为  $10^{-8}$ ,  $10^{-9}$ ,  $10^{-10}$ ,  $10^{-11}$ ,  $10^{-12}$ ,  $10^{-13}$  A. 实验仪还有 1 个测量普朗克常数  $h$  时要用到的  $-2 \sim 0$  V 电源  $E_2$  及电压调节旋钮,仪器面板见使用说明.)

8. 直流电压表  $\text{V}$  1 个(0.5 级,  $0 \sim 15 \sim 30$  V).

9. 光具座 1 个(附有标尺).

10. 单刀开关  $K_1$  1 个.

11. 双刀双掷换向开关  $K_2$   1 个.

12. 导线若干.

## 三、实验题目及要求

1. 测定光电管的伏安特性.

(1) 画出实验电路图,注明所用仪器符号.

(2) 简述实验方案(或主要步骤).

(3) 连接电路,选择 436 nm 的滤光片使照射光的波长为 436 nm 的单色光,用  $\phi=8$  mm 的光阑,光源与光电管间的距离  $s$  调为 40.0 cm,改变光电管极间的电压  $U_{AK}$  ( $-3 \sim 30$  V),合理选择电压表和电流计量程(在  $10^{-11} \sim 10^{-9}$  A 范围内选),测量若干组电压  $U_{AK}$  与电流  $I$  的值.

固定照射光的波长仍为 436 nm,改变光强(用 4 mm 和 2 mm 光阑),再测两次  $U_{AK}, I$  值;作数据记录如下:

$\lambda =$  ,  $s =$

$U_{AK}/V$		-3.0	-2.0	-1.0	-0.6	0.0	0.6	1.0	2.0	3.0	4.0
I/	$\phi/8$ mm										
	$\phi/4$ mm										
	$\phi/2$ mm										

$U_{AK}/V$		6.0	8.0	11.0	14.0	17.0	20.0	23.0	26.0	30.0
I/	$\phi/8$ mm									
	$\phi/4$ mm									
	$\phi/2$ mm									

(4) 在直角坐标纸上同一坐标系中作出  $U_{AK} \sim I$  图.

注:测量时不准用实验仪内的  $-2 \sim +30$  V 电源,必须用所给的直流稳压电源等自组测量电路;实验仪中的电流测量部分作微电流计使用.

2. 用“零电流”法测定普朗克常数  $h$ ,及从图线上求出截止频率  $\nu_0$ ,并计算阴极材料的逸出功  $A$ .

“零电流”法是直接将各谱线光照射下测得的电流为零时对应的电压  $U_{AK}$  的绝对值作为截止电压  $U_c$ .

(1) 推导测量普朗克常数的实验公式,简述实验原理.

(2) 光电管用实验仪的  $-2 \sim 0$  V 电压输出端供电,用专用线连接电路,简述实验步骤.

(3) 固定  $s=30.0$  cm,  $\phi=4$  mm,电流计量程用  $10^{-13}$  A 挡,用不同的滤光片以改变照射光的频率,在电流  $I=0$  及其两边各测两组共五组数据,以确定各自对应的截止电压  $U_c$  值.

作数据记录如下:

$s =$  ,  $\phi =$

$\lambda = 365$  nm

$I/10^{-13}$ A			0		
$U_{AK}/V$					

$\lambda = 405$  nm

$I/10^{-13}$ A			0		
$U_{AK}/V$					

$\lambda = 436 \text{ nm}$

$I/10^{-13} \text{ A}$			0		
$U_{AK}/\text{V}$					

$\lambda = 546 \text{ nm}$

$I/10^{-13} \text{ A}$			0		
$U_{AK}/\text{V}$					

$\lambda = 577 \text{ nm}$

$I/10^{-13} \text{ A}$			0		
$U_{AK}/\text{V}$					

$\lambda/\text{nm}$	365	405	436	546	577
$\nu = c/\lambda$ $/10^{14} \text{ Hz}$					
$ U_s /\text{V}$					

- (4) 在直角坐标纸上作出  $|U_s| \sim \nu$  图;
  - (5) 根据  $|U_s| \sim \nu$  图求出普朗克常数  $h$  的值(要有计算过程);
  - (6) 根据  $|U_s| \sim \nu$  图得出截止频率  $\nu_0$ , 并计算光电管阴极材料的逸出功  $A$ .
- 注: 这部分测量时要求用实验仪内的  $-2 \sim 0 \text{ V}$  电源、电压表和电流计。

#### 四、注意事项

- (1) 使用光电管和汞灯光源的挡光盖, 不要使光电管暴露在强光下; 不要用眼睛直视汞灯发出的光! 换光阑和滤光片时, 先将汞灯的遮光盖盖上!
- (2) 防止滤光片及光阑污染或打碎!
- (3) 指针式电压表如接错位置或正负极, 指针反转会损坏仪表!
- (4) 调节到位后, 读取数据宜迅速!

### 实验部分参考解答

#### 实验一 直流电源特性的研究

1. 内阻测量采用电流半偏转法, 电路如图 55 所示,  $R_1$  和  $R_2$  为电阻箱, 先把  $R_1$  调  $30 \text{ k}\Omega$ , 闭合  $S_1$ , 断开  $S_2$ , 调节电阻箱  $R_1$  使得  $100 \mu\text{A}$  电流表满偏, 然后闭合  $S_2$ , 调节  $R_2$  使得  $100 \mu\text{A}$  电流表半偏转, 此时  $R_2$  的阻值为电流表的内阻值  $R_G$ .

实测值电流表半偏时,  $R_2 = 2500 \Omega$ .

严格地说, 当  $S_2$  闭合后, 回路总电阻会降低, 当  $R_2 = R_G$  时, 回路总电阻减小了  $0.5 R_G$ , 应该回路总电阻加上补偿, 即在  $R_1$  上增加  $0.5 R_G$ , 所以在闭合  $S_2$  调节  $R_2$  使得电流表半偏的过程中, 在电阻箱  $R_1$  上增加  $0.5 R_2$ . 此方法称为: 回路总电阻补偿的电流半偏法.

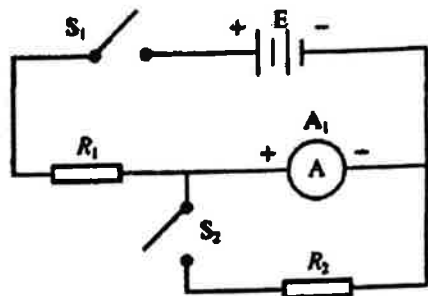


图 55

回路总电阻补偿的电流半偏法实测值： $R_2 = 2700 \Omega$ 。  
 改装后的电压表电路图如图 56 所示（电流表内阻以实际为准）：

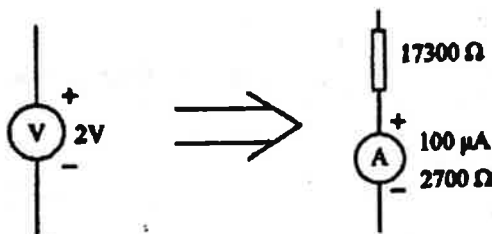


图 56

2. (1) 测量待测电源  $E_x$  开路电压的电路图如图 57 所示。

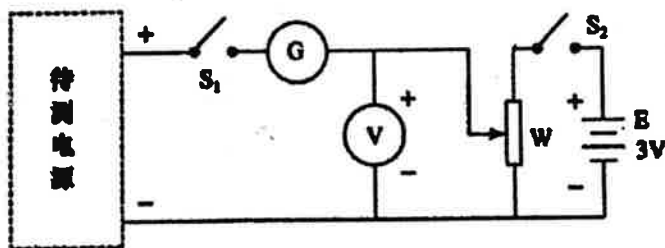


图 57

调节滑线变阻器  $W$ ，当开关  $S_1$  闭合、断开，检流计  $G$  指针不动时（检流计指示为 0），电压表的示值即为测电源  $E_x$  的开路电压值。

(2) 开路电压测量结果： $1.62 \pm 0.04 \text{ V}$ 。

3. (1) 测量电源  $E_x$  短路电流的电路图如图 58 所示。

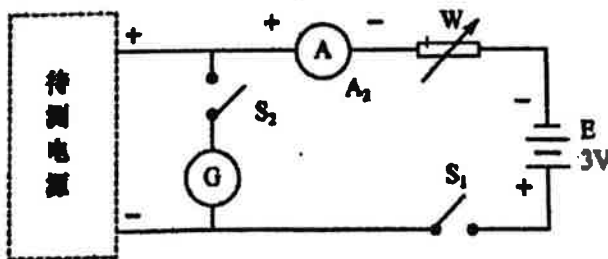


图 58

(2) 短路电流测量结果： $14.5 \pm 0.5 \text{ mA}$ 。

注：电源结构

① 待测电源  $E_x$  为非线性内阻电源，结构如图 59 所示；

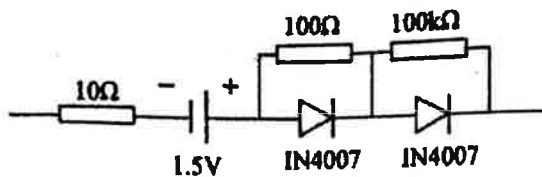


图 59

② 标称值 3 V 直流电压源 E 结构如图 60 所示:

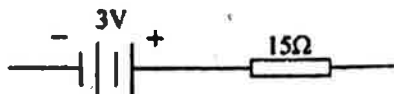


图 60

### 实验二 光电效应的实验研究

1. (1) 实验电路图,如图 61 所示.

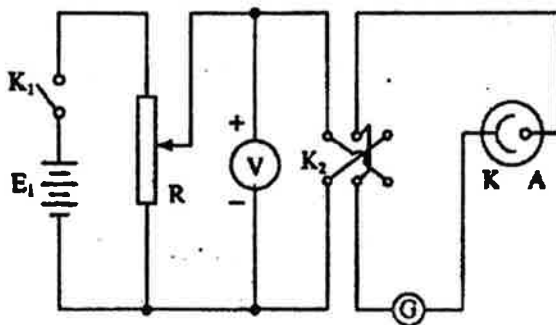


图 61 电路图

#### (2) 实验步骤

① 将加挡光盖的汞灯及光电管安装在光具座上,使二者的输出、输入口正对,测  $s = 40.0 \text{ cm}$ ,用专用电缆线将光电管与实验仪的“微电流输入”连接,接通汞灯及实验仪预热.

② 按电路图接线.电压表选 30 V 档,在光电管入光孔上加  $\phi = 8 \text{ mm}$  光阑及 436 nm 滤光片,选量程最大挡,微电流计调零后开始试测,确定用  $10^{-10} \text{ A}$  (或  $10^{-11} \text{ A}$ ) 挡测量.

③ 用  $K_2$  使光电管加反向电压,改变电位器 R,测量  $U_{AK}$  为  $-3 \sim 0 \text{ V}$  对应的光电流  $I$ ,然后用  $K_2$  加正向电压,测  $0 \sim 30 \text{ V}$  对应的光电流.

④ 将光阑换为  $\phi = 4 \text{ mm}, 2 \text{ mm}$ ,重复③,测量  $U_{AK}, I$  值.

(3) 数据记录,如下表所示.

$\lambda = 436 \text{ nm}, s = 40.0 \text{ cm}$

$U_{AK}/\text{V}$		-3.0	-2.0	-1.0	-0.6	0.0	0.6	1.0	2.0	3.0	4.0
$I/10^{-10} \text{ A}$	$\phi/8 \text{ mm}$	-0.1	-0.1	0.6	3.8	7.4	13.1	18.0	27.5	33.0	36.6
	$\phi/4 \text{ mm}$	0.0	0.0	0.0	0.8	1.7	3.1	4.3	7.0	8.5	9.3
	$\phi/2 \text{ mm}$	0.0	0.0	0.0	0.2	0.5	1.0	1.4	2.2	2.9	3.1



续表

$U_{AK}/V$		6.0	8.0	11.0	14.0	17.0	20.0	23.0	26.0	30.0
$I/10^{-10} A$	$\phi/8 mm$	43.0	51.3	63.0	73.9	83.5	93.3	101.8	109.8	118.4
	$\phi/4 mm$	10.7	12.7	15.8	18.9	21.8	24.5	26.9	29.0	31.4
	$\phi/2 mm$	3.6	4.3	5.4	6.3	7.5	8.4	9.3	10.0	10.5

(4)  $U_{AK} \sim I$  图如图 62 所示。

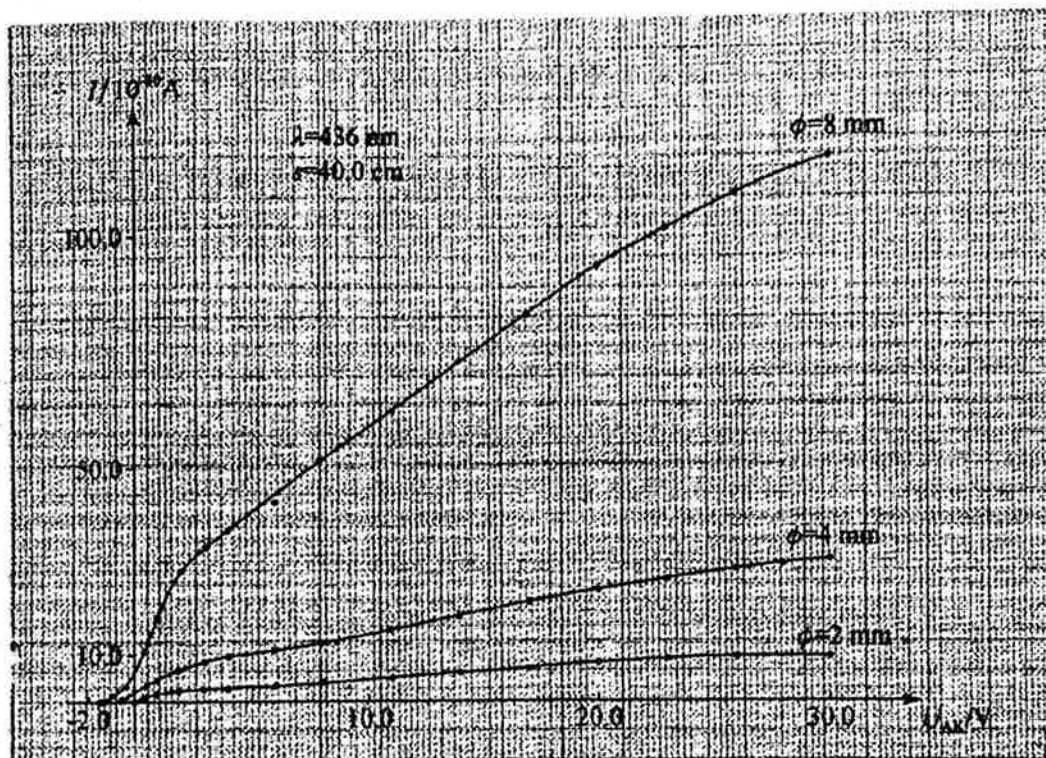


图 62  $U_{AK} \sim I$  图

2. (1) 实验公式推导及原理简述。

光电效应方程为

$$h\nu = \frac{1}{2}mv_m^2 + A. \quad (1)$$

当光电管两极电压达到截止电压时,有

$$\frac{1}{2}mv_m^2 = eU_s. \quad (2)$$

截止频率的定义为

$$A = h\nu_0. \quad (3)$$

将(2),(3)式代入(1)式,则

$$U_s = \frac{h}{e}(\nu - \nu_0), \quad (4)$$

即  $U_s$  与频率  $\nu$  成线性关系。

实验原理: 由(4)式可知, 测出不同频率光照射光电管的截止电压  $U_s$  与照射光频率  $\nu$  的关系直线, 则由直线的斜率  $K$  可以求出普朗克常数  $h = eK$ , 直线与横轴的截距为截止频率  $\nu_0$ ,

s =

光

然后

0  
6  
3  
1

由(3)式可以求出逸出功  $A$ 。

(2) 实验步骤

① 用专用连接线将光电管电压输入端与实验仪电源输出端连接,使用  $-2 \sim +2 \text{ V}$  (或  $-2 \sim 0 \text{ V}$ ) 挡;

② 选定光阑  $\phi = 4 \text{ mm}$ ,  $s = 30.0 \text{ cm}$ . 将光电管与实验仪内的微电流计⑥用专用电缆线连接. 然后断开连接  $A$  的导线, 旋转“电流调零”钮, 使电流指示为零. (或将调零/测量开关切换为“调零”, 旋转“电流调零”钮, 使电流指示为零.)

③ 分别将  $\lambda = 365 \text{ nm}$ ,  $405 \text{ nm}$ ,  $436 \text{ nm}$ ,  $546 \text{ nm}$ ,  $577 \text{ nm}$  的滤光片装在光电管进光口上, 从低到高调节电压, 测量并记录光电流为零及两边的 5 组数据, 确定使光电流为零的截止电压  $U_c$ .

④ 电流计用  $10^{-12} \text{ A}$  (或  $10^{-13} \text{ A}$ ) 挡.

(3) 数据记录, 如下表所示.

$s = 30.0 \text{ cm}$ ,  $\phi = 4 \text{ mm}$

$\lambda = 365 \text{ nm}$

$I/10^{-13} \text{ A}$	-1.2	-1.0	0.0	5.0	10.0
$U_{AK}/\text{V}$	-1.995	-1.978	-1.905	-1.760	-1.705

$\lambda = 405 \text{ nm}$

$I/10^{-13} \text{ A}$	-1.2	-1.0	0.0	5.0	10.0
$U_{AK}/\text{V}$	-1.682	-1.643	-1.548	-1.354	-1.288

$\lambda = 436 \text{ nm}$

$I/10^{-13} \text{ A}$	-1.2	-1.0	0.0	5.0	10.0
$U_{AK}/\text{V}$	-1.366	-1.335	-1.299	-1.213	-1.168

$\lambda = 546 \text{ nm}$

$I/10^{-13} \text{ A}$	-1.2	-1.0	0.0	5.0	10.0
$U_{AK}/\text{V}$	-0.754	-0.750	-0.730	0.684	-0.639

$\lambda = 577 \text{ nm}$

$I/10^{-13} \text{ A}$	-1.2	-1.0	0.0	5.0	10.0
$U_{AK}/\text{V}$	-0.661	-0.651	-0.590	0.478	-0.421

根据以上数据, 得:

$\lambda/\text{nm}$	365	405	436	546	577
$\nu = c/\lambda$ $/10^{14} \text{ Hz}$	8.22	7.41	6.88	5.49	5.20
$ U_c /\text{V}$	1.905	1.548	1.299	0.730	0.590

(4)  $|U_s| \sim \nu$  图如图 63 所示。

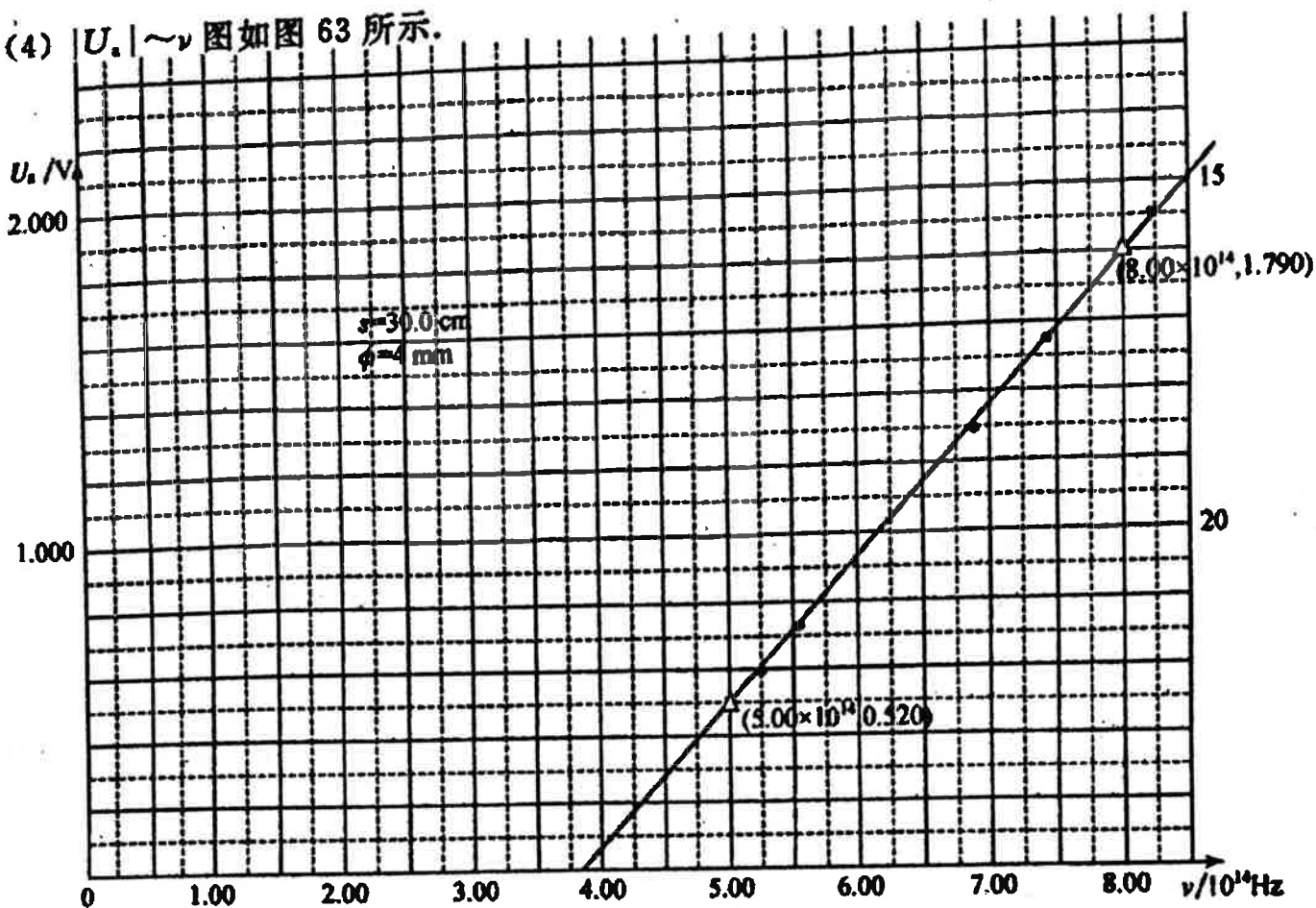


图 63  $|U_s| \sim \nu$  图

(5) 计算普朗克常数  $h$

斜率:

$$K = \frac{1.790 - 0.520}{(8.00 - 5.00) \times 10^{14}} \text{ V/Hz} = \frac{1.270}{3.00 \times 10^{14}} \text{ V/Hz} = 4.23 \times 10^{-15} \text{ V/Hz},$$

$$h = eK = 1.60 \times 10^{-19} \times 4.23 \times 10^{-15} \text{ J} \cdot \text{s} = 6.77 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}.$$

(6) 读取光电管阴极材料的  $\nu_0$  及计算逸出功  $A$

从  $|U_s| \sim \nu$  图线的横轴截距得:

$$\nu_0 = 3.76 \times 10^{14} \text{ Hz}, \quad A = h\nu_0 = 2.55 \times 10^{-19} \text{ J} = 1.59 \text{ eV}.$$

## 第二十九届

### 实验部分试题

#### 实验 测定金属丝材料的杨氏模量

##### 一、概述

长度为  $L$ 、截面积为  $S$  的均匀金属丝,在受到拉力  $F$  时伸长  $\Delta L$ ,金属丝单位长度的伸长量  $\Delta L/L$  叫做应变,金属丝单位截面积所受的外力  $F/S$  叫做胁强.胡克定律指出:在弹性限度内,应变与胁强成正比,其比例系数  $E$  叫做杨氏模量,即

$$E = \frac{FL}{S\Delta L}$$

## 二、实验目的

用伸长法测量待测金属丝的杨氏模量  $E$ ，其中金属丝长度  $L$  和伸长量  $\Delta L$  分别用电学和光学方法测出。

## 三、实验器材(参见封3彩图)

### 1. 杨氏模量测量仪及其附件。

杨氏模量测量仪 1 台；砝码 7 个；与光杠杆  $b$  连接的平面反射镜 1 个(角度已调整为与光轴成近似  $45^\circ$ ，平面反射镜下面配有小铅坠以确定平面反射镜在光导轨上的位置)。

注意：待测金属丝  $L_2$  已固定在杨氏模量仪的铁架上，不要移动或撞动铁架。

### 2. 组装式双臂电桥 1 套(请仔细阅读附件中“关于双臂电桥的说明”)

### 3. 光具座及可用的光学附件。

光具座 1 个(已调好水平，位置固定在实验台面上，请勿移动)；滑块 5 个(其中可横向微调的二维滑块 3 个)；凸透镜 1 个；平面反射镜 1 个(角度已调整为与光轴成近似竖直)；孔屏 1 个；测微目镜 1 个(量程为 8 mm)；半导体激光器 1 个(固定在光具座顶端，高度已固定，方位和俯仰角可微调)；读数用小放大镜(带照明)1 个。

4. 各光学元件均需在光具座上调节共轴(参见图 1)，除激光器和光杠杆平面反射镜的位置不变外，其他光学元件位置依测量需要摆放。

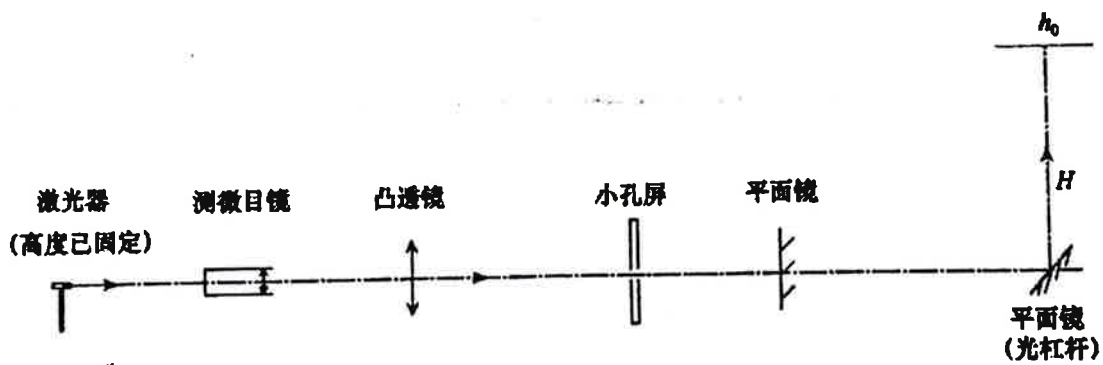


图 1 各光学元件需调节共轴

5. 由相同材料制成且直径相同的两段金属丝  $L_1$  和  $L_2$ ，其中  $L_1$  固定在四端电阻的架子上，标有“P”的是电压接头，标有“C”的是电流接头；待测金属丝  $L_2$  固定在杨氏模量仪的铁架上，已接有测量电阻的连线且下端已作绝缘处理，红色导线连接电压端，黄色导线连接电流端。

6. 顶棚上画有“工”字型刻线作为镜尺组的“标尺”，平行于导轨方向的刻线可用于光路调整，垂直于导轨方向的刻线  $A, B, C, D, E$  的间距值已知。

## 四、注意事项

1. 眼睛不要直视激光。
2. 激光束的平行性很好，其宽度忽略不计。
3. 不要把光学器件从滑块或支架上拆下，不要用手触摸光学器件表面，损坏仪器后果自负。
4. 拆装滑块时，必须双手拿住滑块底部并置于光导轨里侧，以免滑落或不小心中坠地造成伤害。

5. 调整光杠杆的  $b$  值时, 注意不要把反射镜从架子上解下来, 要轻拿轻放, 防止摔坏磕破.
6. 增减砝码时要轻拿轻放, 防止弄断金属丝或金属丝颤动造成读数困难.
7. 只能采用实验室提供的器材进行测量.
8. 在解答每个问题时, 需写明原理和测量方法, 给出必要的测量光路示意图(或电路图)

以及测量公式.

9. 写出必要的实验操作步骤和调节方法.
10. 电路安全检查: 连接好电路后, 必须经老师检查, 确认安全后, 方可接通电源.
11. 实验完毕时, 不要关闭激光器电源及双臂电桥的电源、检流计电源.
12. 实验结束后, 要把各元件放回原位, 经监考老师检查仪器无损坏并复查数据后, 方可离开.

### 五、可能用到的数据

1. 重力加速度  $g = 9.8048 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .
2. 金属丝  $L_1$  的有效长度  $L_1 = 453.0 \text{ mm}$ , 直径  $d = 0.305 \text{ mm}$ .
3. 每个砝码质量  $m = 1.000 \text{ kg}$ .
4. 顶棚上标尺刻线  $A, B, C, D, E$  的间距值为  $AB = BC = CD = DE = 70.00 \text{ mm}$ , 其余  $a_1, a_2, a_3, \dots$ , 间距值未知.
5. 请同学参照图 2(所给 1:1 图), 将光杠杆的后足至两前足连线的距离调整为  $b = 76.00 \text{ mm}$ , 并固定.



图 2

### 六、实验内容

#### 1. 用电学方法测量待测金属丝 $L_2$ 的长度

(1) 双臂电桥电原理图如图 3 所示. 请在图上标出各支路电流, 导出  $R_x$  的最简表达式, 并说明在什么条件下等效电阻  $r$  对测量  $R_x$  值没有影响? (可申请提示卡 1, 内有  $R_x$  的最简表达式, 但扣分.)

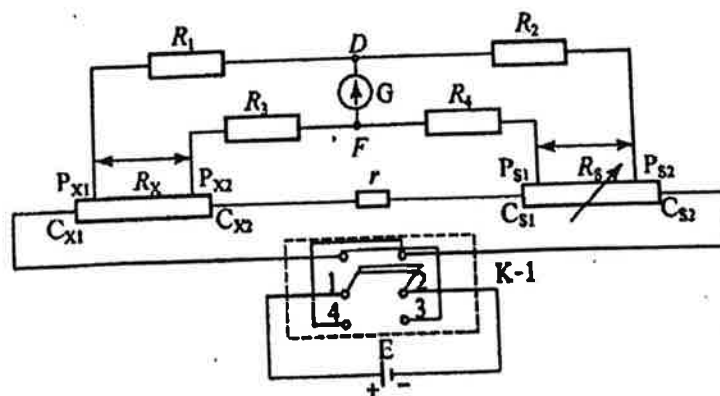


图 3 双臂电桥电原理图

(2) 测量四端电阻架子上的金属丝  $L_1$  的电阻值  $R_{x1}$ , 其电阻值约  $1 \Omega$  量级。

(3) 测量待测金属丝  $L_2$  的电阻值  $R_{x2}$ , 其电阻值约为  $1 \Omega$  量级。

注意: 测  $R_{x2}$  时, 要把光杠杆的反射镜移开, 以防止待测金属丝  $L_2$  下端与铁架子之间短路。

(4) 计算待测金属丝  $L_2$  的长度值  $L_2$ 。(可申请提示卡 2, 内有  $R_{x1}$ ,  $R_{x2}$  值和长度值  $L_2$ , 但扣分。)

2. 用光学方法测量待测金属丝  $L_2$  的伸长量  $\Delta L$ 。

(1) 利用光杠杆原理, 导出待测金属丝  $L_2$  的伸长量  $\Delta L$  与其他可测量量的关系式。

(2) 测量透镜焦距  $f$ 。(可申请提示卡 3, 内有  $f$  值, 但扣分。)

(3) 测量光轴到顶棚的距离  $H$ 。

提示: 由凸透镜成像规律可知, 当物距远大于透镜的焦距  $f$  时, 物距的较大改变而引起的像距改变很小。所以, 通过测量像距去计算物距, 会有很大的误差。(可申请提示卡 4, 内有  $H$  值, 但扣分。)

(4) 测量待测金属丝  $L_2$  在改变 2 个砝码时的伸长量  $\Delta L$ 。

从 7 个砝码开始, 先减少 2 个砝码, 再增加 2 个砝码, 测出标尺的相关读数。

提示: 因标尺上刻线 A, B, C, D, E 的间距值很大, 故不能直接在标尺上读数。

3. 测量金属丝  $L_2$  的杨氏模量  $E$ 。

改变金属丝  $L_2$  下端悬挂的砝码数量。从  $m = m_0 + 7 \text{ kg}$  开始 ( $m_0$  是托盘的质量), 先逐个减少砝码, 直至  $m = m_0 + 2 \text{ kg}$ ; 再从  $m_0 + 2 \text{ kg}$  开始, 逐个增加砝码, 直至  $m = m_0 + 7 \text{ kg}$ ; 测出相关读数。

提示: 因标尺上刻线 A, B, C, D, E 的间距值很大, 故不能直接在标尺上读数。

用逐差法计算出每增减 1 kg 砝码时, 待测金属丝  $L_2$  的伸长量  $\Delta L$ , 并计算待测金属丝  $L_2$  的杨氏模量  $E$ 。

#### 附: 关于双臂电桥的说明

在实际电路中, 导线不是理想导体, 存在电阻, 称为导线电阻; 接线点不是理想接触, 存在电阻, 称为接触电阻。二者统称为等效电阻, 其阻值一般为  $10^{-5} \sim 10^{-2} \Omega$  量级。

用单臂电桥(又称惠斯通电桥)测量中等电阻时, 忽略了等效电阻的影响; 但在测量  $1 \Omega$  以下的低电阻时, 等效电阻相对被测电阻来说不可忽略。为避免等效电阻的影响, 引入了四端引线法, 组成了双臂电桥(又称开尔文电桥), 是一种常用的测量低电阻的方法。

##### 1. 四端引线法

测量中等阻值的电阻, 伏安法是比较容易的方法, 惠斯通电桥法是一种精密的测量方法, 但在测量低电阻时都发生了困难, 这是因为等效电阻的存在。

图 1 为伏安法测电阻的线路图, 待测电阻  $R_x$  两侧的接触电阻和导线电阻分别等效为等效电阻  $r_1, r_2, r_3, r_4$ 。通常电压表内阻较大,  $r_1$  和  $r_4$  对测量的影响不大, 而  $r_2$  和  $r_3$  与  $R_x$  串联在一起, 被测电阻为  $r_2 + R_x + r_3$ 。若  $r_2$  和  $r_3$  数值与  $R_x$  为相近数量级, 或超过  $R_x$ , 则显然不能用此电路来测量  $R_x$ 。

若在测量电路的设计上改为如图 2 所示的电路, 将待测低电阻  $R_x$  两侧的接点分为两个电流接点 C-C 和两个电压接点 P-P, C-C 在 P-P 的外侧。显然电压表测量的是低电阻 P-P 两端



之间一段(称有效长度)的电压,消除了  $r_2, r_3$  对  $R_x$  测量的影响. 这种测量低电阻或低电阻两端电压的方法叫做四端引线法. 低值标准电阻也是为了减小接触电阻和接线电阻而设有四个端钮.

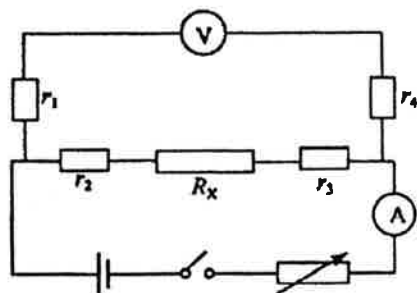


图1 伏安法测电阻

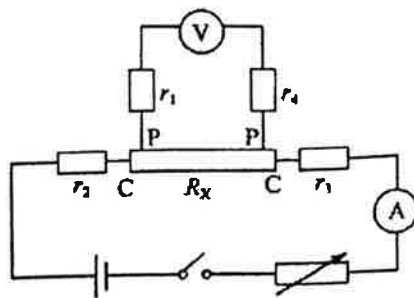


图2 四端引线法测电阻

## 2. 双臂电桥测量低电阻

6105 型组装式双臂电桥电路如图 3 所示, 其中  $r$  是等效电阻,  $R_1 \sim R_4$  为桥臂电阻;  $R_s$  为可变标准电阻;  $R_x$  为待测四端电阻;  $G$  为直流检流计;  $E$  为直流电源;  $K-1$  为电源换向开关; 此外还有接线若干.

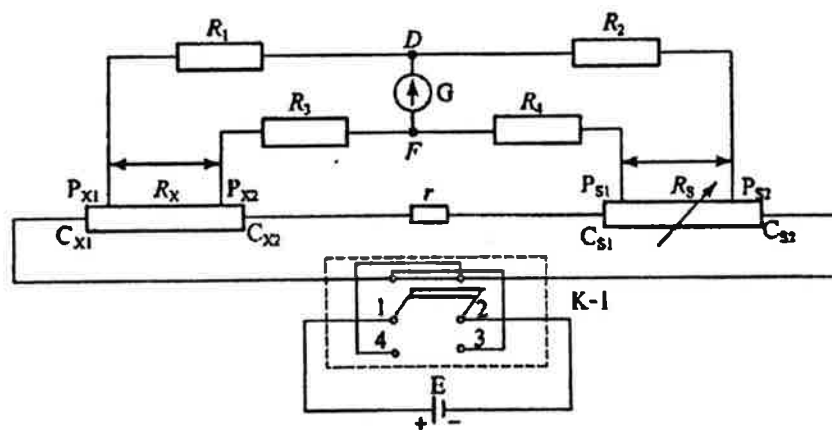


图3 双臂电桥电路图

## 3. 实验仪器的技术参数

- (1) 桥臂电阻 4 个:  $R_1, R_2, R_3$  和  $R_4$ , 阻值可分别取  $100 \Omega, 1000 \Omega, 10\,000 \Omega$ .
- (2) 可变标准电阻  $R_s$  有  $C_1, C_2, P_1, P_2$  四个引出端, 由  $10 \times 0.01 \Omega + 10 \times 0.001 \Omega$  组成, 其中  $10 \times 0.001 \Omega$  是一个 100 分度的划线盘.
- (3) 电源:  $1.5 \text{ V}$  输出, 电流随负载阻抗的变化而不同, 最大电流  $1.5 \text{ A}$ , 由指针式  $2 \text{ A}$  电流表指示输出电流大小.
- (4) 电流换向开关  $K-1$ , 具有“断”、“正向接通”、“反向接通”等 3 挡功能.
- (5) 检流计, 用于指示电桥是否平衡, 灵敏度可调. 灵敏度不要过高, 否则不易平衡, 导致测量时间过长.
- (6) 总有效量程  $0.0001 \sim 11 \Omega$ , 量程可以自由设置. 典型的整数倍的有效量程如表 1 所示:

表 1

量程倍率 $M$	有效量程/ $\Omega$	测量精度/(%)
100	1~11	0.2
10	0.1~1.1	0.2
1	0.01~0.11	0.5
0.1	0.001~0.011	1
0.01	0.0001~0.0011	5

## 4. 操作步骤:

(1) 如图 3 所示接线. 将被测电阻  $R_x$  及可调标准电阻  $R_s$  按四端连接法, 与  $R_1, R_2, R_3$  和  $R_4$  连接, 注意  $C_{x2}, C_{s1}$  之间要用粗连线.

(2) 将电流换向开关 K-1 置“断”状态, 打开直流电源, 打开检流计电源, 预热 5 分钟.

(3) 调零: 检流计量程开关打到“调零”挡, 旋转“调零”旋钮, 使检流计指针指零.

(4) 补偿: 检流计量程开关打到“补偿”挡, 旋转“补偿”旋钮, 使检流计指针指零.

(5) 选择灵敏度: 各挡灵敏度从低到高依次为“非线性”、“10 mV”、“3 mV”、“1 mV”、“300  $\mu\text{V}$ ”、“100  $\mu\text{V}$ ”、“30  $\mu\text{V}$ ”; 为保护检流计指针不被打坏, 检流计的灵敏度首先选择最低挡“非线性”, 待电桥初步平衡后再逐步增加灵敏度.

(6) 当改变检流计灵敏度, 或环境等因素变化时, 有时会引起检流计指针偏离原位. 因此在每次读数之前, 都应调节“调零”旋钮和“补偿”旋钮, 使检流计指零.

(7) 旋转标准电阻  $R_s$  读数盘, 使读数盘值为测量估计值.

(8) 将电流换向开关 K-1 扳向“正向接通”, 观察指针是否指零(注意: 测量低阻时, 工作电流较大, 由于存在热效应, 会引起被测电阻的变化. 所以电源应该间歇使用, 电源开关接通时间应尽量短. 能看清指针“动”或“不动”即可, 一般不超过 1 秒钟. 每次通电后, 要断电使被测电阻冷却 1 分钟, 再进行下次测量).

(9) 指针若不指零, 则回到步骤 7 至 8 重复进行, 直至指针指零.

(10) 增加检流计灵敏度, 重复步骤 6 至 9, 直至灵敏度挡位在“300  $\mu\text{V}$ ”或“100  $\mu\text{V}$ ”时, 检流计指针指零.

(11) 保持测量精度不变, 将电流换向开关 K-1 扳向“反向接通”, 重新微调划线读数盘, 使检流计指针重新指在零位上, 可视为电桥平衡. 这样做的目的是消减接触电势和热电势对测量的影响.

(12) 记录  $R_1, R_2, R_3, R_4$  和  $R_s$  值及灵敏度.

(13) 把检流计量程开关打到“表头保护”挡(本实验中, 不用关闭检流计电源和直流电源).

## 实验部分参考解答

## 实验 测定金属丝材料的杨氏模量

1. 用电学方法测量待测金属丝  $L_2$  的长度

(1) 双臂电桥电原理图上标出的各支路电流如图 1 所示.

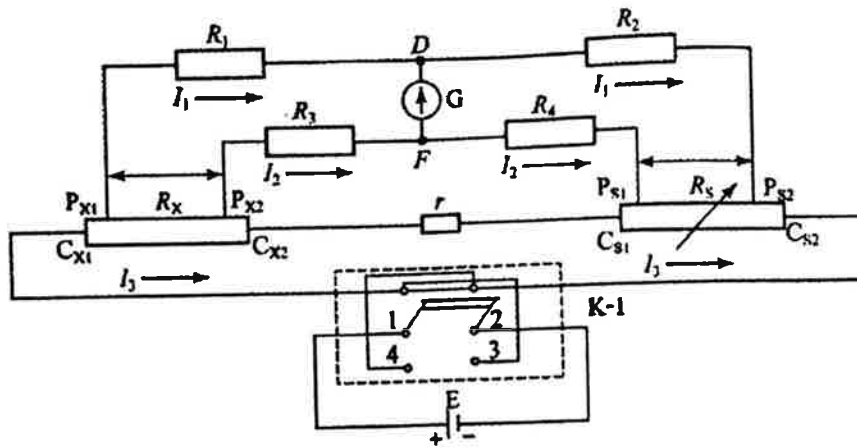


图1 双臂电桥电原理图

$R_x$  的最简式推导如下:

标定电流方向如图1. 当电桥平衡时,  $I_G = 0$ , 根据基尔霍夫定律可得

$$\begin{cases} I_1 R_1 = I_3 R_x + I_2 R_3, \\ I_1 R_2 = I_3 R_s + I_2 R_4, \\ (I_3 - I_2)r = I_2(R_3 + R_4). \end{cases} \quad (1)$$

联立求解, 得

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_s + \frac{r R_4}{R_3 + R_4 + r} \left( \frac{R_1}{R_2} - \frac{R_3}{R_4} \right). \quad (2)$$

当

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (3)$$

时,  $r$  对测量  $R_x$  没有影响, 则得  $R_x$  的最简式为

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_s. \quad (4)$$

(2) 如图1所示接线, 操作步骤如下:

- ① 将被测电阻  $R_{x1}$  及可调标准电阻  $R_s$  按四端连接法, 与  $R_1, R_2, R_3$  和  $R_4$  连接, 注意  $C_{x1}, C_{x2}$  之间要用粗短连线.
- ② 将电流换向开关 K-1 置“断”状态, 打开直流电源, 打开检流计电源, 预热 5 分钟.
- ③ 调零.
- ④ 补偿.
- ⑤ 检流计的灵敏度首先选择最低挡“非线性”, 待电桥初步平衡后再逐步增加灵敏度.
- ⑥ 电桥调节平衡后, 在读取测量电阻值之前, 应调节“调零”旋钮和“补偿”旋钮, 使检流计指零.
- ⑦ 旋转标准电阻  $R_s$  读数盘, 使读数盘值为测量估计值.
- ⑧ 将电流换向开关 K-1 扳向“正向接通”, 观察指针是否指零. (每次通电不超过 1 秒钟. 每次通电后, 要断电使被测电阻冷却 1 分钟, 再进行下次测量.)
- ⑨ 指针若不指零, 则回到步骤 7 至 8 重复进行, 直至指针指零.
- ⑩ 增加检流计灵敏度, 重复步骤 6 至 9, 直至灵敏度挡位在“ $100 \mu V$ ”时, 检流计指针指零.

⑩ 保持测量精度不变,将电流换向开关 K-1 扳向“反向接通”,重新微调划线读数盘,使检流计指针重新指在零位上,可视为电桥平衡,这样做的目的是消减接触电势和热电势对测量的影响。

⑪ 记录  $R_1, R_2, R_3, R_4$  和  $R_5$  值及灵敏度于表 1。

⑫ 把检流计量程开关打到“表头保护”挡,关检流计电源,关直流电源。

表 1 测量金属丝  $L_1$  的电阻  $R_{x1}$

单位:  $\Omega$

次数	$R_1$ 和 $R_3$	$R_2$ 和 $R_4$	$M=R_1/R_2$	$R_5$	电阻 $R_{x1}$	灵敏度(量程挡)	平衡时检流计的读数
1	10 000	100	100	0.011 99	1.199	100 $\mu$ V	
2	10 000	100	100	0.011 98	1.198	100 $\mu$ V	
3	10 000	100	100	0.011 99	1.199	100 $\mu$ V	
平均值				0.011 987	1.1987		

$$R_{x1} = 1.1987 \Omega$$

(3) 测得数据记入表 2。

表 2 测  $L_2$  的的电阻  $R_{x2}$

单位:  $\Omega$

次数	$R_1$ 和 $R_3$	$R_2$ 和 $R_4$	$M=R_1/R_2$	$R_5$	电阻 $R_{x2}$	灵敏度(量程挡)	平衡时检流计的读数
1	10 000	100	100	0.018 38	1.838	100 $\mu$ V	
2	10 000	100	100	0.018 37	1.837	100 $\mu$ V	
3	10 000	100	100	0.018 37	1.837	100 $\mu$ V	
平均值				0.018 373	1.8373		

$$R_{x2} = 1.8373 \Omega$$

(4) 由

$$R_{x1} = \rho \frac{L_1}{S}, \quad R_{x2} = \rho \frac{L_2}{S},$$

得

$$L_2 = \frac{R_{x2}}{R_{x1}} L_1. \quad (5)$$

即

$$L_2 = \frac{1.8373}{1.1987} \times 453.0 \text{ mm} = 694.33 \text{ mm}$$

2. 用光学方法测量待测金属丝  $L_2$  的伸长量  $\Delta L$ 。

(1) 利用光杠杆原理导出待测金属丝  $L_2$  的伸长量  $\Delta L$  与其他可测量量的关系式。

① 光杠杆光路图及公式。

$\Delta L$  的量值很小,需用光杠杆法测量。如图 2 所示,当金属丝在重力作用下伸长  $\Delta L$  时,光杠杆的后足也随之下降  $\Delta L$ ,平面反射镜旋转  $\theta$  角。当  $\Delta L \ll b$  时,有

$$\theta = \frac{\Delta L}{b}, \quad (6)$$

其中  $b$  是光杠杆的后足至两前足连线的距离。

② 利用顶棚上的标记作为镜尺组的“尺”,导出待测金属丝  $L_2$  的伸长量  $\Delta L$  与其他可测

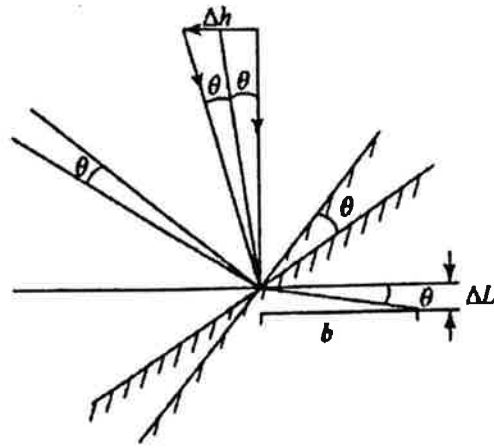


图2 光杠杆示意图

量的关系式。

由凸透镜和测微目镜组成望远镜。测微目镜叉丝原来对准顶棚标记上的位置为  $h_0$ ，平面反射镜转动  $\theta$  角后，根据光的反射定律，反射线将旋转  $2\theta$  角，这时叉丝对准的新位置为  $h_1$ 。  $\Delta h = h_1 - h_0$ 。当  $\Delta h \ll H$  时，有

$$2\theta = \frac{\Delta h}{H}, \quad (7)$$

其中  $H$  是光轴至顶棚上的标尺的距离。

由(6),(7)两式，有伸长量

$$\Delta L = \frac{b\Delta h}{2H}, \quad (8)$$

其中  $\Delta h = h_1 - h_0$ ，是不能直接测量的量，但  $\Delta h$  通过透镜在测微目镜上成的像  $\Delta h'$  是可测的，并可导出  $\Delta h$  的公式。

③ 测量  $\Delta h$  的原理、光路图及公式。

如图3所示，在光学系统满足准直条件下，微调  $45^\circ$  平面反射镜，使激光经其反射后，投射到顶棚标线  $h_0$  位置。凸透镜与测微目镜组成望远测量系统，即测微目镜的叉丝对准  $h_0$  位置。在测微目镜上读出  $h_0$  的像的位置读数  $h'_1$ 。

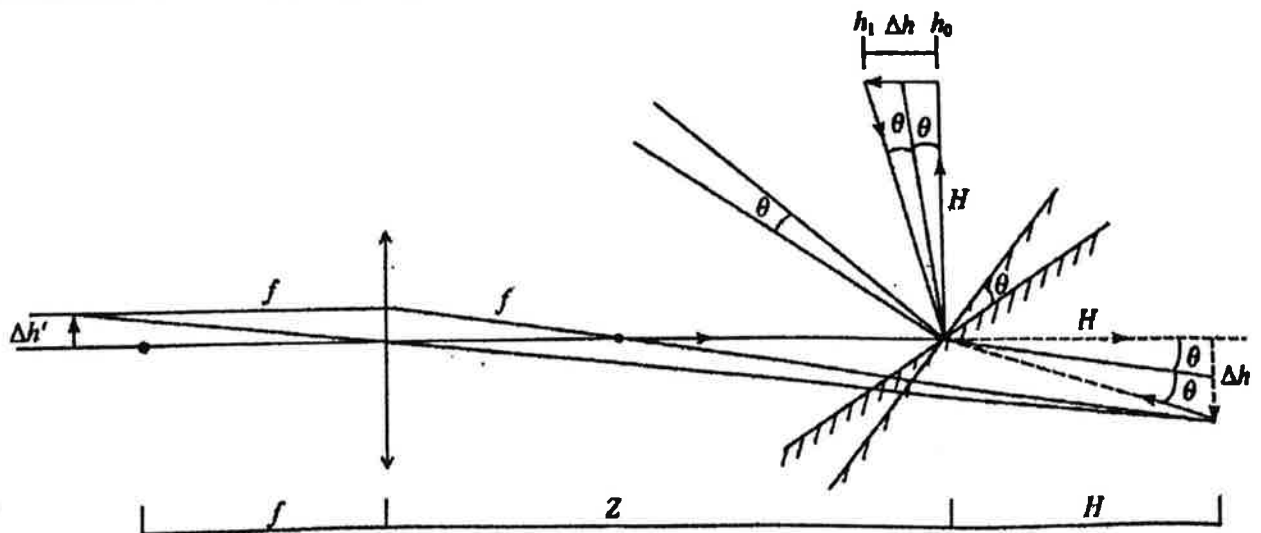


图3

因金属丝所受拉力改变而使杨氏模量仪上的  $45^\circ$  平面反射镜改变  $\theta$  角度, 测微目镜的叉丝则对准顶棚标线  $h_1$  位置. 拧动测微目镜鼓轮, 使叉丝对准  $h_0$  的像, 读数  $h'_2$ , 则  $\Delta h' = h'_2 - h'_1$ . 由图 3 中几何关系, 有

$$\Delta h = \frac{(Z + H - f)\Delta h'}{f}, \quad (9)$$

其中  $Z$  是透镜至  $45^\circ$  平面反射镜的距离,  $f$  是透镜的焦距. 将 (9) 式代入 (8) 式, 得伸长量

$$\Delta L = \frac{b\Delta h}{2H} = \frac{b(Z + H - f)\Delta h'}{2Hf}, \quad (10)$$

可见, 要测出  $\Delta L$  还需测出  $f$  和  $H$ .

## (2) 测量透镜焦距 $f$

① 测量  $f$  的光路图如图 4 所示.

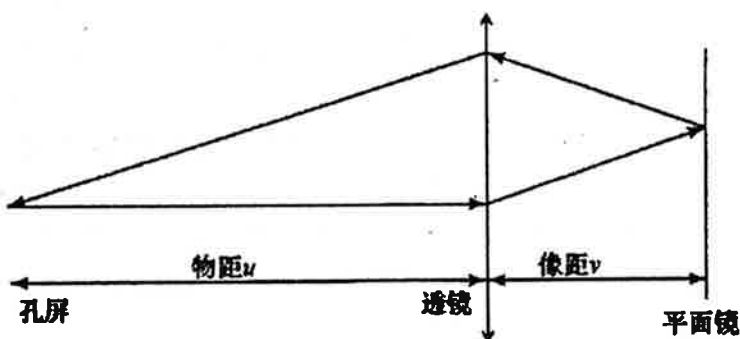


图 4 透镜焦距  $f$  测量光路示意图

在透镜共轴情况下, 首先使透镜横向移动离轴, 光线经透镜折射后由位于其后的平面反射镜反射, 再次经透镜回到孔屏上. 通过调整透镜、孔屏和平面反射镜彼此之间距离, 使光线回到孔屏的小孔中形成闭合的光线. 孔屏上小孔与平面反射镜上的光点可视为等效的物、像. 利用透镜成像公式

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}, \quad (11)$$

测量出物距、像距, 则可计算出透镜焦距  $f$ .

② 测量  $f$  的实验步骤如下:

- i. 在光导轨放置激光器、孔屏、透镜、竖直反射镜, 调节共轴.
- ii. 微调滑块的水平方向, 使透镜水平方向离轴一段距离, 在保证实验现象明显、观察方便基础上, 注意离轴距离大小适当, 使其满足近轴成像条件.
- iii. 考虑到焦距测量准确性要求, 实验测量时采用孔屏和透镜位置固定, 只调整平面反射镜位置, 使从孔屏的小孔中射出的激光经透镜折射后再经平面反射镜反射后, 又再次经透镜折射回到孔屏上的小孔中, 形成闭合的光线.

iv. 从光导轨的标尺上读出孔屏位置、透镜位置和平面反射镜位置, 记录于表 3.

v. 为较好满足近轴成像条件, 采用物距  $u$  大于像距  $v$  的条件.

③  $f$  的测量数据及计算结果见表 3.

表3 凸透镜焦距  $f$  的测量数据及计算结果

单位: mm

次数	孔屏位置	透镜位置	平面镜位置	等效物距 $u$	等效像距 $v$	焦距 $f$
1	217.0	577.1	756.1	360.1	179.0	119.6
2	217.0	576.3	756.1	359.3	179.8	119.8
3	217.0	577.3	756.1	360.3	178.8	119.5
4	217.0	576.0	756.1	359.0	180.1	119.9
5	217.0	575.9	756.1	358.9	180.2	120.0
均值						119.76

凸透镜焦距  $f=119.76$  mm.

(3) 测量光轴到顶棚的距离  $H$

① 图5为测量  $H$  的光路图

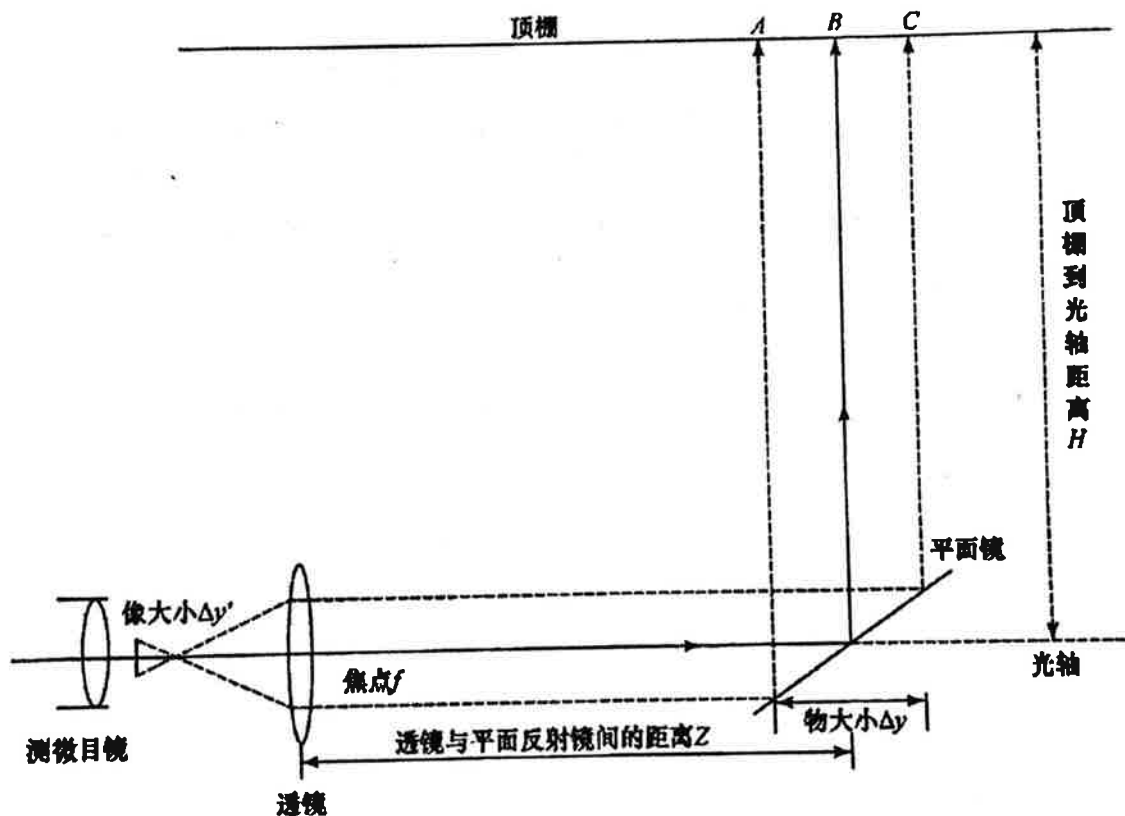


图5 测量  $H$  光路图

用测微目镜和凸透镜组成望远镜系统,利用杨氏模量仪上与光轴成  $45^\circ$  的平面反射镜,观测天花板顶棚上目标 A, C 刻线(刻线间距 140 mm, 即物高  $\Delta y=140$  mm). 通过测量刻线目标物  $\Delta y$  在测微目镜里像的大小  $\Delta y'$ , 以及透镜与平面反射镜距离  $Z$ , 最后计算出距离  $H$ .

由横向放大率公式, 有

$$\frac{H+Z-f}{\Delta y} = \frac{f}{\Delta y'}, \quad (12)$$

可得

$$H = \frac{f\Delta y}{\Delta y'} - Z + f, \quad (13)$$



其中  $H$  为光轴到顶棚的距离,  $Z$  为透镜与平面反射镜间的距离.

② 具体实验步骤如下:

- i. 调整测微目镜共轴, 调整方法与透镜共轴调节相同.
- ii. 调整测微目镜与透镜间距离, 使顶棚刻线成像清晰, 与叉丝无视差.
- iii. 记录透镜和平面反射镜在导轨上的位置, 得到透镜与平面反射镜距离  $Z$ .
- iv. 以顶棚  $A, C$  刻线作为物(即物高  $\Delta y = 140 \text{ mm}$ ), 在测微目镜中测量  $\Delta y$  所成像  $\Delta y'$  的大小, 记录在表 4 中.

表 4 顶棚  $A, C$  刻线的像  $\Delta y'$  测量数据

单位: mm

次数	像初值 $\Delta y'_1$	像末值 $\Delta y'_2$	像大小 $\Delta y'$
1	0.374	7.583	7.209
2	0.370	7.578	7.208
3	0.377	7.586	7.209
4	0.373	7.582	7.209
5	0.375	7.584	7.209
均值			7.2088

③ 测量数据及实验结果:

选取顶棚上  $A, C$  刻线作为物, 物高  $\Delta y = 140 \text{ mm}$ .

按表 5,

$$H = \frac{f\Delta y}{\Delta y'} - Z + f = \left( \frac{119.76 \times 140}{7.2088} - 260.3 + 119.76 \right) \text{ mm} = 2185.3 \text{ mm}$$

表 5 计算顶棚到光轴距离  $H$

单位: mm

透镜位置 $Z_1$	平面镜位置 $Z_2$	透镜与平面镜距离 $Z$	物大小 $\Delta y$	像大小 $\Delta y'$	透镜焦距 $f$	顶棚到光轴距离 $H$
1257.2	1517.5	260.3	140	7.2088	119.76	2185.3

(4) 测量待测金属丝  $L_2$  改变 2 个砝码的伸长量  $\Delta L$ .

① 方法一:

$$\text{由(10)式, 得待测金属丝 } L_2 \text{ 伸长量 } \Delta L = \frac{b\Delta h}{2H} = \frac{b(Z+H-f)\Delta h'}{2Hf}.$$

方法二(在不改变透镜位置  $Z_1$ 、平面反射镜位置  $Z_2$  前提下):

由“ $H$  的测量”中已知此望远镜系统的放大倍数是  $(\Delta y/\Delta y')$ , 因而

$$\Delta h = (\Delta y/\Delta y')\Delta h' = (140/7.2088)\Delta h' = 19.42\Delta h',$$

得待测金属丝  $L_2$  伸长量

$$\Delta L = \frac{b\Delta h}{2H} = \frac{b \times 19.42 \times \Delta h'}{2H}. \quad (14)$$

② 测量改变 2 个砝码时标线位置  $h_0$  像的位移量  $\Delta h'$ .

从质量为  $m_0 + 7 \text{ kg}$  开始, 调整  $45^\circ$  平面反射镜, 使激光经其反射后, 对准顶棚标线位置  $L_1$ . 用测微目镜叉丝对准  $h_0$  成像位置, 读数为  $h'_{11}$ ; 减少 2 个砝码, 记录顶棚标线位置  $h_0$  的像位置  $h'_{12}$  ( $=h'_{22}$ ); 再增加 2 个砝码至  $m_0 + 7 \text{ kg}$ , 记录顶棚标线位置  $h_0$  的像位置  $h'_{21}$ . 数据记录于表 6 中.

表 6 标线位置  $h_0$  的像位移量  $\Delta h'$  的测量

测量次数 $i$	砝码质量	减砝码标线 $h_0$ 的像位置 $h'_{1i}/\text{mm}$	增砝码标线 $h_0$ 的像位置 $h'_{2i}/\text{mm}$	$h'_i = (h'_{1i} + h'_{2i})/2$ /mm	每增减 2 个砝码标线位置 $h_0$ 的像位移量 $\Delta h'$
1	$m_0 + 7 \text{ kg}$	0.393	0.389	0.391	$\Delta h' = (3.113 - 0.391) \text{ mm} = 2.722 \text{ mm}$
2	$m_0 + 5 \text{ kg}$	3.113	3.113	3.113	

每改变 2 个砝码时标线位置  $h_0$  的像位置位移:

$$\Delta h' = (3.113 - 0.391) \text{ mm} = 2.722 \text{ mm}$$

③ 计算待测金属丝  $L_2$  改变 2 个砝码的伸长量  $\Delta L$

方法一:

由(10)式得

$$\Delta L = \frac{b\Delta h}{2H} = \frac{b(Z+H-f)\Delta h'}{2Hf} = \frac{76.00 \times (260.3 + 2185.3 - 119.76) \times 2.722}{2 \times 2185.3 \times 119.76} \text{ mm}$$

$$= 0.9192 \text{ mm}$$

方法二(在不改变透镜位置  $Z_1$ 、平面反射镜位置  $Z_2$  前提下):

由(14)式得

$$\Delta L = \frac{b\Delta h}{2H} = \frac{b \times 19.42 \times \Delta h'}{2H} = \frac{76.00 \times 19.42 \times 2.722}{2 \times 2185.3} \text{ mm}$$

$$= 0.9192 \text{ mm}$$

3. 测量金属丝  $L_2$  的杨氏模量  $E$ .

(1) 杨氏模量测量原理

一长度为  $L$ 、横截面积为  $S$  的均匀金属丝,受到沿长度方向上的外力  $F$  作用时,伸长量为  $\Delta L$ ,在弹性形变的限度内,根据胡克定律,其受到的拉伸应力  $F/S$  与伸长的应变  $\Delta L/L$  成正比,即

$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta L}{L}, \quad (15)$$

其中  $E$  为杨氏模量,

$$E = \frac{FL}{S\Delta L}. \quad (16)$$

(2) 从  $m = m_0 + 7 \text{ kg}$  开始,调整平面反射镜,使激光经平面反射镜反射后,对准顶棚标线位置  $h_0$ . 用测微目镜叉丝对准  $h_0$  成像位置,读数为  $h'_{1i}$ ;以后每减少 1 个砝码均记录顶棚标线位置  $h_0$  的像位置  $h'_{1i}$ ,直至  $m = m_0 + 2 \text{ kg}$ ;以后开始逐个增加砝码,均记录顶棚标线位置  $h_0$  的像位置  $h'_{2i}$ ,直至  $m = m_0 + 7 \text{ kg}$ . 数据记录于表 7 中.

表 7 标线位置  $h_0$  的像位移量  $\Delta h'$  的测量

测量次数 $i$	砝码质量	减砝码标线 $h_0$ 的像位置 $h'_{1i}/\text{mm}$	增砝码标线 $h_0$ 的像位置 $h'_{2i}/\text{mm}$	$h'_i = (h'_{1i} + h'_{2i})/2$ /mm	每增减 1 kg 砝码标线位置 $h_0$ 的像位移量 $\Delta h'$
1	$m_0 + 7 \text{ kg}$	0.393	0.380	0.387	逐差法 $\Delta h' = \sum_{i=1}^5 (h'_{i+1} - h'_i) / 9$ $= 1.3644 \text{ mm}$
2	$m_0 + 6 \text{ kg}$	1.745	1.730	1.738	
3	$m_0 + 5 \text{ kg}$	3.113	3.105	3.109	
4	$m_0 + 4 \text{ kg}$	4.495	4.475	4.485	
5	$m_0 + 3 \text{ kg}$	5.857	5.818	5.838	
6	$m_0 + 2 \text{ kg}$	7.200	7.180	7.190	

用逐差法计算每增减 1 kg 砝码标线位置  $h_0$  的像位置位移  $\Delta h'$ , 写出所用的公式, 代入数据, 算出结果:

$$\begin{aligned}\Delta h' &= \sum_{i=1}^3 (h'_{i+3} - h'_i) / 9 \\ &= (7.190 - 3.109 + 5.838 - 1.738 + 4.485 - 0.387) \text{ (mm)} / 9 \\ &= 1.3644 \text{ mm.}\end{aligned}$$

(3) 计算伸长量  $\Delta L$ , 写出所用的公式, 代入数据, 算出结果.

方法一: 由式(10),

$$\begin{aligned}\Delta L &= \frac{b\Delta h}{2H} = \frac{b(Z+H-f)\Delta h'}{2Hf} = \frac{76.00 \times (260.3 + 2185.3 - 119.76) \times 1.3644}{2 \times 2185.3 \times 119.76} \text{ (mm)} \\ &= 0.46077 \text{ mm.}\end{aligned}$$

方法二(在不改变透镜位置  $Z_1$ 、平面反射镜位置  $Z_2$  前提下):

由(14)式:

$$\begin{aligned}\Delta L &= \frac{b\Delta h}{2H} = \frac{b \times 19.4208 \times \Delta h'}{2H} = \frac{76.00 \times 19.4208 \times 1.3644}{2 \times 2185.3} \text{ (mm)} \\ &= 0.46077 \text{ mm.}\end{aligned}$$

(4) 计算  $L_2$  的杨氏模量  $E$ , 写出所用的公式, 代入数据, 算出结果.

$$E = \frac{FL}{S\Delta L} = \frac{1 \times 9.8408 \times 694.33 \times 4}{3.14159 \times 0.308^2 \times 0.46077} \text{ (N/mm}^2\text{)} = 1.99 \times 10^5 \text{ N/mm}^2.$$

## 第三十届

### 实验部分参考解答

#### 实验一 用超声光栅测定超声波在水中的声速

【问题 1】1. (见图 1 和表 1)

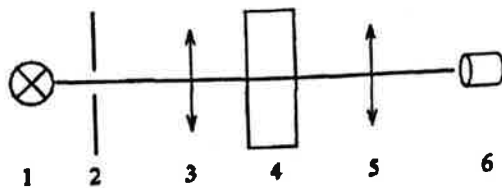


图 1 实验光路图

表 1 各元件的作用

序号	名称	作用
1	钠光灯	提供波长 589.3 nm 的光源
2	狭缝	钠灯光经狭缝可视其为发光物体
3	薄透镜	使单缝光源处于透镜的焦平面上, 形成平行光
4	超声池	形成超声光栅
5	薄透镜	超声光栅出射的平行光经过此透镜汇聚, 将成像在其焦平面上
6	测微目镜	用于观察和测量衍射条纹间距

2. 实验步骤和调节要求:

(1) 调钠光灯(元件 1)与狭缝(元件 2)等高.

(2) 透镜  $L_2$  (元件 5) 与狭缝的等高共轴(粗调)及两次成像法(细调), 即物与像大于 4 倍的焦距时, 固定物屏和像屏, 调节透镜位置会呈现一大一小的两个像, 调整中心重合即可; 并通过自准直法测其焦距后, 连同滑块一起从导轨上取下.

(3) 同理对透镜  $L_1$  (元件 3) 进行粗调和细调使之与狭缝等高共轴, 并通过自准直法产生平行光.

(4) 安装透镜  $L_2$  及测微目镜(元件 6), 调节使之与狭缝等高共轴, 调清晰测微目镜分划板, 并使测微目镜看到清晰的狭缝像.

(5) 安装超声池(元件 4), 调整合适高度并使光线垂直入射.

(6) 观察到衍射条纹.

注: 如果只用一块透镜自准直调焦、测焦距, 而认为两个透镜焦距一致(即不测元件 5 的焦距, 只测元件 3)也可以.

3.

当超声波频率增大时, 光衍射条纹间距增大; 反之频率减小时, 条纹间距随之减小. 这是因为当超声频率变大时, 超声波长变小, 即光栅常数  $d$  变小, 由  $d \sin \theta = k \lambda$  知  $\sin \theta$  会变大, 而在小

角度下  $\sin \theta \approx \tan \theta = \frac{s}{f}$ , 条纹间距  $s$  变大; 反之, 条纹间距变小.

记录最佳状态的超声频率.

【问题 2】1.

光栅方程  $d\sin\theta = k\lambda$ , 式中  $d$  为光栅常数,  $\theta$  为衍射角. 若  $L_k$  为  $k$  级条纹至零级条纹的距离,  $f$  为透镜焦距, 由于  $L_k \ll f$ , 则

$$\sin\theta \approx \theta \approx \tan\theta = \frac{L_k}{f},$$

即

$$\sin\theta = \frac{L_k}{f}.$$

由上可知

$$d = \frac{k\lambda f}{L_k} = \frac{\lambda f}{\Delta L_k},$$

光栅常数  $d$  即为超声波长, 因此超声波声速

$$V = d\nu,$$

其中  $\nu$  为超声波频率,  $f$  为透镜焦距,  $\lambda$  为钠光波长,  $\Delta L_k$  为衍射条纹间距.

2. 方法一: 逐差法——去掉  $L_0$  分组逐差.

$k$	$X_k/\text{mm}$	$(X_{k+1} - X_k)/\text{mm}$	$\Delta L_k/\text{mm}$
-3	2.053	2.602	0.6505
-2	2.710	2.595	0.6487
-1	3.360	2.579	0.6448
0	4.012		
1	4.655		
2	5.305		
3	5.939		

$$\Delta \bar{L}_k = 0.6480 \text{ mm.}$$

方法二:

$k$	$X_k/\text{mm}$	$(X_{+1} - X_{-1})/\text{mm}$	$(X_{+2} - X_{-2})/\text{mm}$	$(X_{+3} - X_{-3})/\text{mm}$
-3	2.053	3.886	2.595	1.295
-2	2.710			
-1	3.360			
0	4.012			
1	4.655			
2	5.305			
3	5.939			

$$\overline{\Delta L_k} = \frac{1}{3} \left( \frac{3.866}{6} + \frac{2.595}{4} + \frac{1.295}{2} \right) \text{ mm} = 0.6469 \text{ mm}.$$

3.

方法一:

透镜焦距

$$f = 149.80 \text{ mm},$$

超声波频率

$$\nu = 10.718 \text{ MHz}, \text{ 室温 } 17.5 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\text{超声光栅常数 } d = \frac{\lambda f}{\Delta L_k} = \frac{589.3 \times 10^{-9} \times 149.80}{0.6480 \times 10^{-3}} \text{ mm} = 0.1362 \text{ mm},$$

超声声速

$$V = d\nu = 0.1362 \times 10.718 \times 10^6 \text{ m/s} = 1460 \text{ m/s}.$$

方法二:

透镜焦距

$$f = 149.80 \text{ mm},$$

超声波频率

$$\nu = 10.718 \text{ MHz}, \text{ 室温 } 17.5 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\text{超声光栅常数 } d = \frac{\lambda f}{\Delta L_k} = \frac{589.3 \times 10^{-9} \times 149.80}{0.6469 \times 10^{-3}} \text{ mm} = 0.1365 \text{ mm},$$

超声声速

$$V = \frac{\lambda f \nu}{\Delta L_k} = d\nu = 0.1365 \times 10.718 \times 10^6 \text{ m/s} = 1463 \text{ m/s}.$$

## 实验二 研究小灯泡的发光问题

【问题 1】1.

测量原理电路图如图 1 所示.

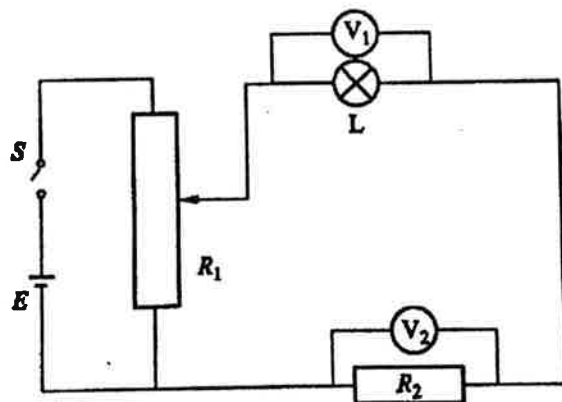


图 1 测量灯丝环境温度下电阻的线路图

### 2. (1) 测量原理

通过测量在环境温度(室温)下灯泡的灯丝电阻,由公式  $T = aR^{0.63}$  计算得出  $a$ ,即可确定灯泡的灯丝温度与其电阻的关系.小灯泡由于其通电之后的热效应,其环境温度下的电阻不能直接测量.可能出现以下三种答案:

答案 1:

利用小功率下的灯丝电阻与电功率关系外推到零功率的情况下获得环境温度下的电阻.该测量线路如图 1 所示.图中  $R_1$  为电位器,  $R_2$  为标准电阻,  $L$  是小灯泡.记录灯丝电压及标阻

电压,从而获得灯丝电阻与其电功率的关系,画出它的关系曲线,外推到功率为零即可获得环境温度下的电阻。

为测出环境温度下的灯丝电阻,可不必进行大功率范围的测量,只测量小功率下的即可。

答案 2:

利用低电流下的灯丝电阻与电流关系外推到零电流的情况下获得环境温度下的电阻,该测量线路如图 1 所示. 图中  $R_1$  为电位器,  $R_2$  为标准电阻,  $L$  是小灯泡. 记录灯丝电压及标阻电压,从而获得灯丝电阻与其电流的关系,画出它的关系曲线,外推到电流为零即可获得环境温度下的电阻。

为测出环境温度下的灯丝电阻,可不必进行大电流范围的测量,只测量小电流下的即可。

答案 3:

利用低电压下的灯丝电阻与电压关系外推到零电压的情况下获得环境温度下的电阻,该测量线路如图 1 所示. 图中  $R_1$  为电位器,  $R_2$  为标准电阻,  $L$  是小灯泡. 记录灯丝电压及标阻电压,从而获得灯丝电阻与其电压的关系,画出它们的关系曲线,外推到电压为零即可获得环境温度下的电阻。

为测出环境温度下的灯丝电阻,可不必进行大电压范围的测量,只测量低电压下的即可。

## (2) 实验步骤

① 连接线路,将电位器  $R_1$  滑到图 1 中的下端,使与灯泡部分并联的电阻较小。

② 检查无误后,按下开关。

③ 记录灯泡电压与标值电阻的电压,具体测量数据见表 1。

3. (1) 直流稳压电源的输出电压为 1.0V(可自行设定固定电压的数值,但应能够满足测量要求)。(2) 室温  $t_0 = 17.9^\circ\text{C}$ 。(3) 标准电阻阻值为  $20.0\Omega$ (或  $100\Omega$ ,此时标阻电压是下面列表的 5 倍)。

表 1 测量环境温度下电阻  $R_0$

序号	测量数据		计算所得数据		
	灯丝电压/mV	标阻电压/mV	灯丝电流/mA	灯丝电阻/ $\Omega$	灯丝电功率/mW
1	21.1	40.0	2.00	10.55	0.042
2	31.8	60.0	3.00	10.60	0.095
3	42.8	79.9	4.00	10.71	0.171
4	54.4	100.1	5.01	10.87	0.272
5	66.3	120.0	6.00	11.05	0.398
6	79.1	140.4	7.02	11.27	0.555
7	92.6	160.4	8.02	11.55	0.743
8	107.3	180.5	9.03	11.89	0.968



答案 1: 测量电阻与功率的关系, 实验数据如图 2 所示.

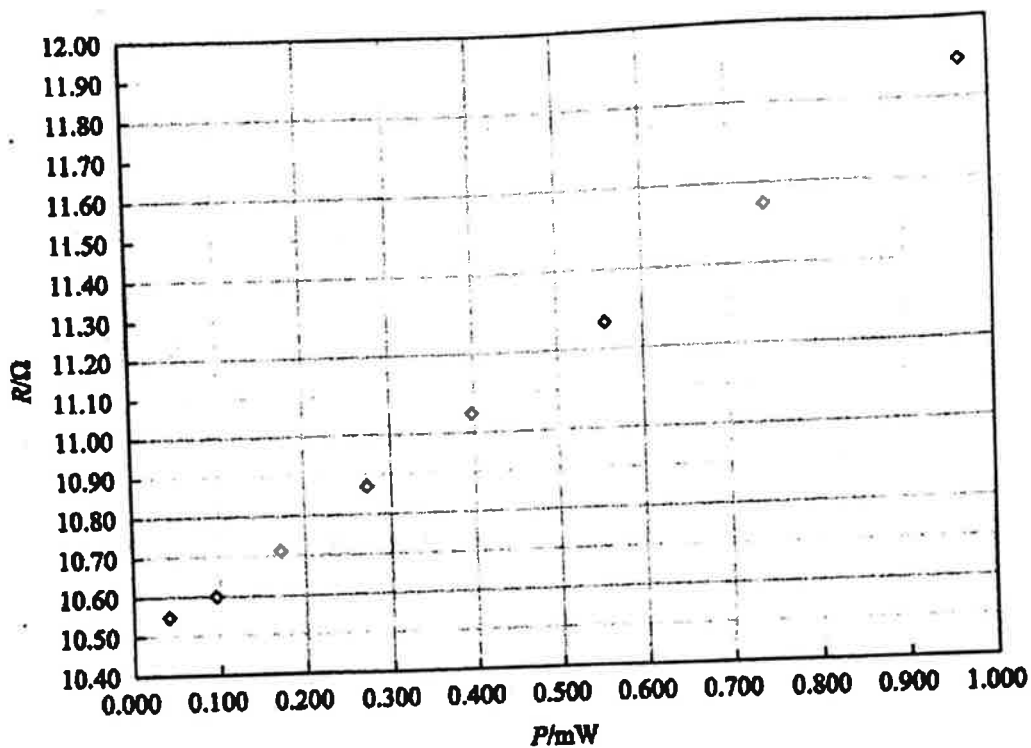


图 2 灯丝电阻与灯丝电动率的关系

答案 2: 测量电阻与电流的关系, 实验数据如图 3 所示.

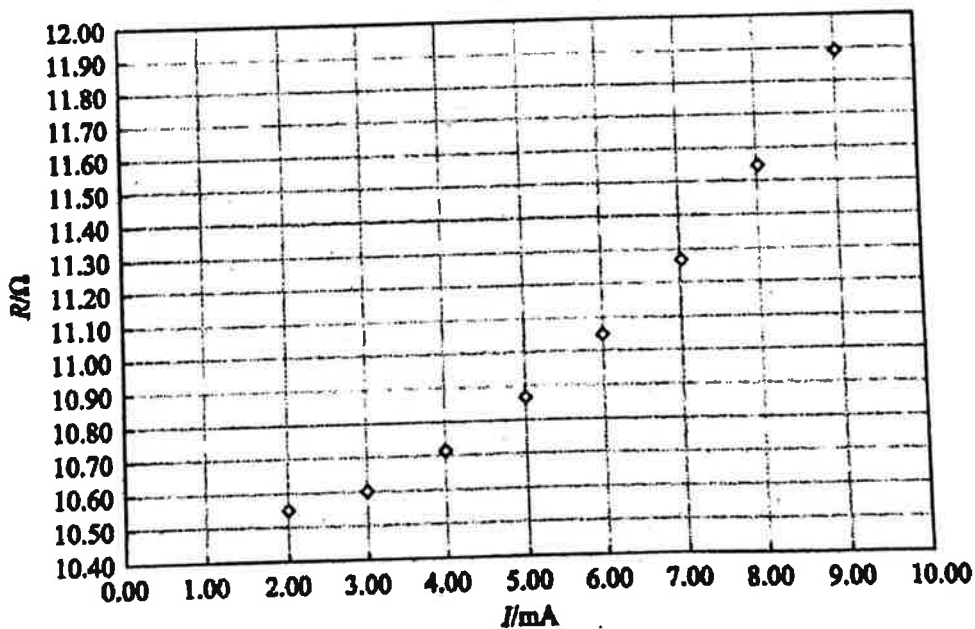


图 3 灯丝电阻与灯丝电流的关系

答案 3: 测量电阻与电压的关系, 实验数据如图 4 所示.

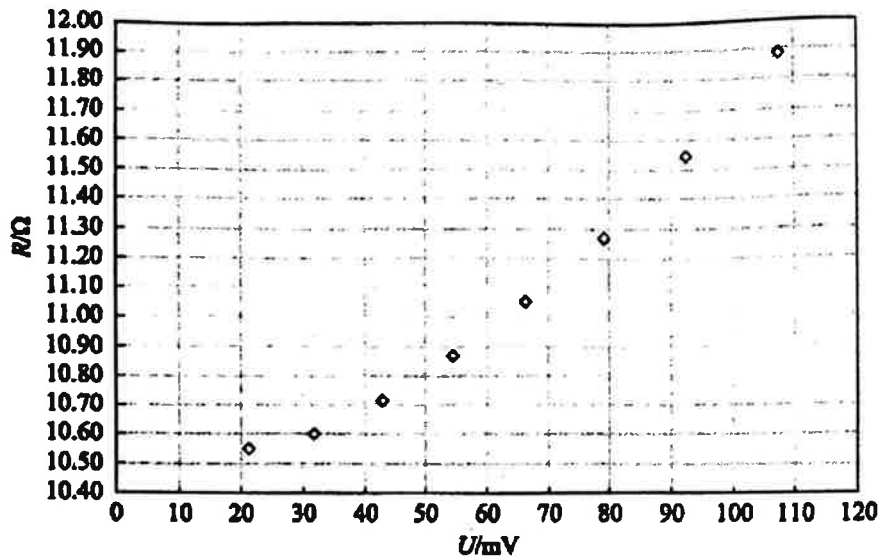


图4 灯丝电阻与灯丝电压的关系

$R_0 = 10.45\Omega$  (由灯丝电阻与电功率关系外推得出)。

室内温度为  $17.9^\circ\text{C}$ , 由  $290.9 = a \cdot 10.45^{0.83}$ , 计算可得  $a = 41.48$ , 故而小灯泡温度与电阻的关系为  $T = 41.48 \cdot R^{0.83}$ , 当我们测得小灯泡的电阻即可获得其温度值。

【问题2】1. 线路图如图5所示。

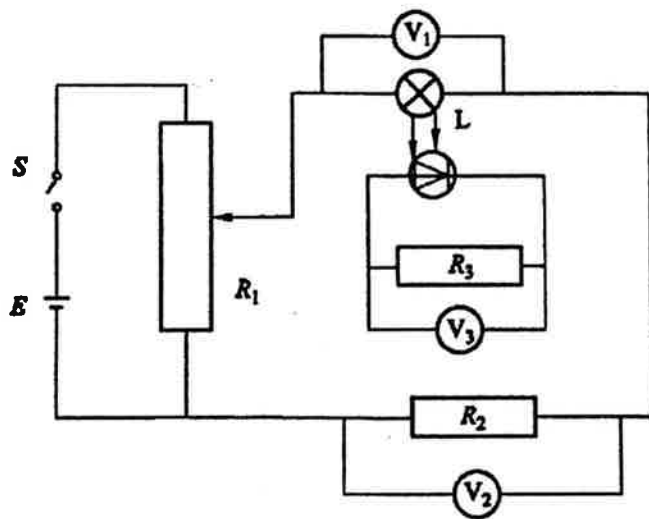


图5 测量灯泡发光强度与灯丝温度关系的线路图

工作原理: (1) 由  $V_3$  和  $R_3$  可得出光电流, 虽然光电池不能接收到灯泡发出的所有光线, 但光电流仍可以线性地反映出灯泡发光强度; (2) 由  $V_2$  和  $R_2$  可知通过小灯泡的电流, 利用  $V_1$  的测量值可进而得出此时的灯泡电阻, 由  $T = aR^{0.83}$  可求出灯泡的温度, 最终可获得灯泡的温度与其发光强度的关系。

步骤:

- (1) 用文具夹子将样品板与光电池板固定好, 保持两者之间位置不变。
- (2) 在未闭合开关之前, 记录下  $V_3$ , 并在计算中扣除本底电流。

(3) 调节电位器增大标阻电压,从灯泡发光开始测量.

(4) 调节电位器,记录灯泡灯丝的电压、标准电阻的电压、光电池的电压.

## 2. 相关参数

直流电源电压值为 15.0V.

标阻阻值为 20.0 $\Omega$ .

光电池并联定值电阻为 100 $\Omega$ . (注:以上两只电阻不能换位)

灯泡的本底电流电压很小,近似为零,可以忽略.

记录测量数据如表 2 所示.

表 2

序号	灯丝电压/V	标阻电压/V	灯丝电阻/ $\Omega$	灯丝温度/K	光电池电压/mV	光电流/mA
1	1.290	0.600	43.00	941	0.1	0.001
2	1.740	0.701	49.64	1060	0.2	0.002
3	2.21	0.800	55.25	1159	0.6	0.006
4	2.73	0.900	60.67	1252	1.4	0.014
5	3.29	1.001	65.73	1338	2.6	0.026
6	3.88	1.101	70.48	1418	4.5	0.045
7	4.50	1.201	74.94	1492	7.2	0.072
8	5.17	1.301	79.48	1567	11.1	0.111
9	5.87	1.401	83.80	1637	16.4	0.164
10	6.60	1.501	87.94	1704	23.2	0.232
11	7.36	1.601	91.94	1768	31.9	0.319
12	8.19	1.703	96.18	1836	43.2	0.432
13	9.03	1.803	100.17	1899	56.8	0.568
14	9.91	1.903	104.15	1961	73.3	0.733
15	10.74	1.995	107.67	2016	91.0	0.910
16	12.00	2.12	113.21	2102	122.3	1.223

利用表 2 中灯丝温度与光电流的数据绘出图 6.

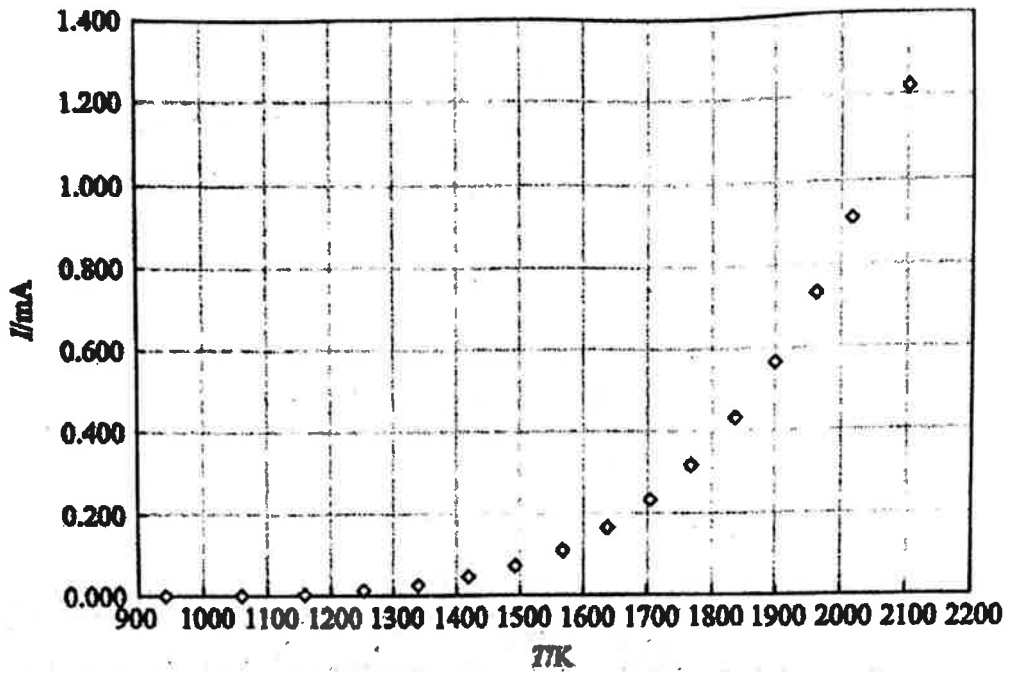


图 6 发光强度与灯丝温度的关系

3. 当我们测得小灯泡的电阻即可获得其温度值. 当小灯泡电压  $U=12.0V$  时, 小灯泡温度  $T=2102K$ .

# 第三十一届

## 实验一 光学

### 一、实验题目

光线通过三棱镜后将发生偏折,其偏向角  $\theta$  (出射光与入射光的夹角) 与入射角  $i$  (入射光线与入射平面法线的夹角) 有关,随着入射角的变化,偏向角会出现一个极小值,称为最小偏向角  $\theta_m$ 。

用分光计(如图 1 所示)测得三棱镜的顶角  $A$  和最小偏向角  $\theta_m$  后,可用公式计算出三棱镜材料的折射率  $n$ ,即

$$n = \frac{\sin[(A + \theta_m)/2]}{\sin(A/2)}$$

式中  $A$  为三棱镜的顶角,  $\theta_m$  为光线通过该三棱镜后的最小偏向角。折射率  $n$  与光的波长  $\lambda$  有关,因而  $\theta_m$  也与入射光的波长  $\lambda$  有关。

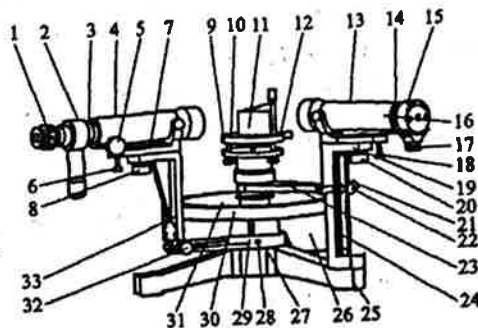


图 1 JJY1'-Ⅱ型分光计

1. 目镜视度调节手轮 2. 阿贝式自准直目镜 3. 目镜锁紧螺钉 4. 望远镜 5. 望远镜调焦手轮
6. 望远镜光轴高低调节螺钉 7. 望远镜光轴水平调节螺钉(背面) 8. 望远镜光轴水平锁紧螺钉
9. 载物台 10. 载物台调平螺钉(3只) 11. 三棱镜 12. 载物台锁紧螺钉(背面) 13. 平行光管
14. 狭缝装置锁紧螺钉 15. 狭缝装置 16. 平行光管调焦手轮(背面) 17. 狭缝宽度调节手轮
18. 平行光管光轴高低调节螺钉 19. 平行光管光轴水平调节螺钉 20. 平行光管光轴水平锁紧螺钉
21. 游标盘微动螺钉 22. 游标盘止动螺钉 23. 制动架(二) 24. 立柱 25. 底座 26. 转座
27. 转座与度盘止动螺钉(背面) 28. 制动架(一)与底座止动螺钉 29. 制动架(一) 30. 度盘
31. 游标盘 32. 望远镜微动螺钉 33. 支臂

试讨论是否可以用该原理测量盛在用三片表面平行的光学平板玻璃围成三棱镜状容器内液体的折射率  $n'$ ? 为什么? 测定被测液体对单色光的折射率  $n'$ 。

### 二、实验器材

1. 由厚薄均匀的玻璃片构成的三棱镜状容器(内盛被测液体) 1只;
2. 分光计 1台;
3. 节能灯 1只;
4. 单面镀膜的小平面镜 1只。

说明:节能灯光谱与纯汞灯光谱两者之间是有区别的。节能灯光谱除了有汞灯所具有的蓝色谱线、绿色谱线以及黄色谱线外,还有红色谱线,在这些谱线边上还存在较宽的背景光谱带。节能灯中蓝、绿、黄光谱线的波长与汞灯相应的光谱线的波长是一致的,因此可以将节能灯光谱中相对较亮的蓝、绿、黄、红光谱线作为相应单色光的认定依据。

### 三、实验要求

1. 试分析题目中折射率  $n$  的测量公式是否适用于测量本实验玻璃容器中液体的折射率  $n'$ ? 玻璃容器壁的折射率和厚度对测量结果是否有影响? 为什么?

2. 调整分光计和被测棱镜。

(1) 调整分光计的望远镜时首先调整什么? 如何调整分光计的望远镜聚焦到无穷远,并使望远镜光轴与仪器转轴垂直? 如何调整分光计的平行光管出平行光,并使平行光管光轴与仪器转轴垂直?

(2) 为便于调节三棱镜的主截面与分光计的主轴相垂直,三棱镜相对载物平台的三只调节螺钉该如何放置和调节?用图表示。

3. 用自准直法测出液体三棱镜顶角  $A$ 。

(1) 写出被测液体三棱镜顶角的测量原理,用光路图表示,并写出计算公式。

(2) 设计数据记录表格,用分光计测出液体三棱镜顶角  $A$  的平均值  $\bar{A}$ 。

4. 测量液体对绿光(546.1nm)的最小偏向角  $\theta_{\min}$ 。

(1) 画出测量的光路图,分别写出入射角及偏向角的计算公式。

(2) 列表记录三棱镜状被测液体对节能灯光源中绿色光(546.1nm)的偏向角  $\theta_e$  随入射角  $i$  的变化数据。

(3) 利用实验数据画出  $\theta_e-i$  曲线,并从曲线上得出液体对绿光的最小偏向角  $\theta_{\min}$ 。

5. 利用最小偏向角的实验现象,直接测量被测液体对蓝光(435.8nm)的最小偏向角  $\theta_{\min}$ 。

6. 计算被测液体对绿光和蓝光两种单色光的折射率  $n_g$  与  $n_b$  (有效数字保留四位),并分析测量结果的误差来源。

## 实验二 电 学

### 一、实验题目

利用“组装电源元件盒”中的电子元件,设计一个能最大效率地将交流电压转变为直流电压的整流滤波电路,对设计的电路进行连接组装,使其成为一个直流电源。用电流表测量该电源的特征参数——开路电压、最大输出功率及电源内阻,研究该电源输出的交流电压与直流电压的比值随负载电阻变化的关系;然后用该直流电源及标准电阻箱,采用电桥法精确测定“待测电阻”盒中三个未知电阻的阻值。

### 二、实验器材

1. 组装电源元件盒 1 只(内有交流电源、二极管、电解电容、电阻等供选用);

2. 数字式电流表 1 只(仅电流挡可用);

3. 标准电阻箱 1 只(准确度等级为 0.1 级);

4. 待测电阻盒 1 只(内含  $R_1, R_2$  及  $R_3$  三个待测电阻);

5. 连接导线若干。

### 三、实验要求

1. 画出设计电路图,组装电路并测量。

(1) 用 12V 交流电源作为输入,设计将交流转换为直流的桥式整流加  $\pi$  型滤波的电源电路,画出电源与测试电路原理图,用文字说明电路的工作原理,并说明各元件在电路中起到的作用。

(2) 用导线连接组装设计的电路,制成一个直流电源。用所给的电阻箱和数字式直流毫安表研究该电源的开路输出电压  $U_0$  及毫安表的内阻  $r_a$  (电压挡无法使用),分别写出它们的测量方法和测量结果。

(3) 用毫安表研究负载电阻  $R_L$  在 50~1000 $\Omega$  范围内变化时电源的交流、直流输出电流,列表记录测试数据并计算电源在不同负载时相应的纹波系数  $K_u$  值。

[注:此处定义纹波系数  $K_u = (\text{交流电压有效值} / \text{直流电压值}) \times 100\%$ ]

2. 利用实验数据画出纹波系数  $K_u$  值随负载  $R_L$  的变化曲线,说明该电源在什么负载条件

下可以达到  $K_0 \leq 1\%$ . 在图中曲线上标注  $K_0 = 1\%$  的点, 说明该点的物理含义.

3. 利用实验数据, 确定负载电阻  $R_L$  为何值时电源的输出功率达到最大, 说明理由; 测量此时电源的等效内阻  $r$  和  $K_0$  值.

4. 用上述组装直流电源、标准电阻箱、电流表及待测电阻盒上的三个未知电阻, 采用直流电桥法精确测量三个电阻的阻值.

(1) 写出测量方法与主要过程, 画出测量原理图.

(2) 写出电阻测量的计算公式.

(3) 自行列表记录测量数据.

(4) 测出待测电阻的阻值.

(5) 分析电阻测量的误差.

(6) 得出测量结果.

#### 四、仪器说明

1. 电源元件盒后侧面已有市电接入, 电源开关标有 I/O 符号, I 端按下电源打开, O 端按下电源关闭. 打开电源, 元件盒内的交流变压器供电, 面板上标有交流 12V 的电压端就会有输出, 输出指示灯会点亮. 若操作不当引起该输出两端短路, 交流电源会损坏, 指示灯熄灭. 元件盒中其他元件都用符号标注, 电解电容的正端用矩形、负端用短线标注.

2. 组装电源的输出电压、等效内阻及纹波系数都将随负载的变化而改变, 是本实验需要研究的问题.

3. 数字式万用表是自动量程表, 只需选择测试功能与测量范围, 不用选择量程. 本万用表只有电流挡插孔可用, 其他功能(插孔)不能使用, 该电流表是由数字电压表头改装而成, 它有一定的输入内阻. 万用表上的 [sel] 按键可以切换直流/交流测量功能, 其他功能按键不需使用.

4. 标准电阻箱是六旋钮电阻箱, 电阻调整范围为  $0 \sim 99999.9 \Omega$ , 准确度等级为 0.1 级.

5. “待测电阻”盒, 内有  $R_1, R_2$  及  $R_x$  三个电阻, 电阻阻值未知, 要求通过实验方法精确地测出各电阻的阻值.

## 实验部分参考解答

### 实验一 光学

1. 玻璃容器壁两面若是平行的,光线经过两个面折射后,出射光线与入射光线平行,光线传输方向没有改变,则容器壁厚度与折射率对测量结果无影响,用光路图表示如图 1 所示.

2. (1) 首先观察望远镜目镜内的分划线,调整目镜转轮至分划线清楚.

然后,调节望远镜,使其聚焦至无穷远. 打开阿贝棱镜照明光源,用平面镜辅助观察反射“+”字光标,调节目镜伸缩旋钮,至目镜内看到清晰的反射“+”字光标;将单面镀膜的小平面镜放置于载物台三个调节螺钉任意两个连线的垂直线上,通过对望远镜俯仰的调节、载物台垂直于转轴的调节和转动载物台,使平面镜转动  $180^\circ$  前后,反射“+”字光标都能够成像在分划线的上横线上.

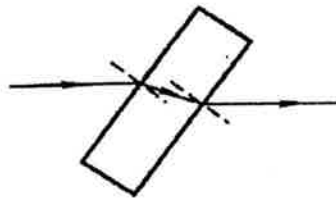


图 1



最后,调节平行光管主轴与分光计主轴垂直,并发射出平行光线,以调整好聚焦到无穷远的望远镜为依据,伸缩狭缝在平行光管的位置使能观察到清晰的狭缝像;将狭缝调成水平方向,调节平行光管的俯仰,使狭缝像的位置处于分划线的中横线上,狭缝宽度调至约 0.5mm,在可见的程度下尽可能的细。

(2) 将装有液体的三棱镜置于载物台上,调节载物台水平调节螺钉,使三棱镜的两个反射面与分光计望远镜的主轴垂直。

三棱镜放法是:令三棱镜光学面的法线与某两个螺钉的连线平行(令光学面与某两个螺钉的连线相垂直),调节第一个光学面时用与该面法线平行的螺钉 A 和 B,调节第二个光学面时只需调节螺钉 C,反复调节几次即可。三棱镜的放置如图 2 所示。

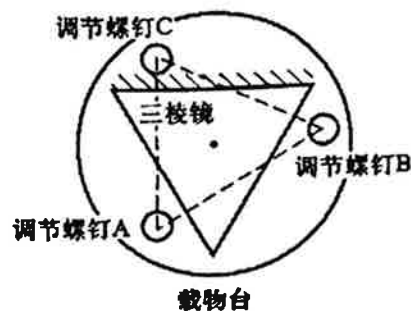


图 2

3. (1) 自准直法——在调整好望远镜主轴与分光计主轴相垂直的条件下,调节载物台的调平螺钉,使望远镜发出的“+”字光标经容器两个侧面垂直反射回来。这种望远镜观察到自身发射的“+”字光标经光学面垂直反射回来的现象称为自准直,其光路图如图 3 所示。测量出望远镜对应的三角形容器左右两侧位置时 A 窗和 B 窗角度值的读数,按下面计算公式:

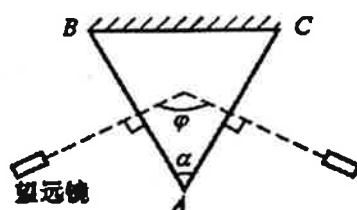


图 3 光路图

$$A = 180^\circ - \varphi,$$

即可求出容器的顶角。

(2) 示例:自准直法测顶角,参见表 1。

表 1

左		右		A 窗读数差	B 窗读数差	$A = 180^\circ - (A \text{ 窗读数差} + B \text{ 窗读数差}) / 2$
A 窗	B 窗	A 窗	B 窗			
141°14'	321°13'	20°22'	200°24'	120°52'	120°49'	59°9'
141°13'	321°13'	20°22'	200°24'	120°51'	120°49'	59°10'
141°14'	321°13'	20°22'	200°23'	120°52'	120°50'	59°9'
顶角 A 的平均值 $\bar{A}$						59°9'

容器编号: . . . , 顶角  $\bar{A} = 59^\circ 9'$ 。

4. (1) 光路图如图 4 或图 5 所示。

分光计角游标读数窗设为 A, B, 对光线 1 的读数记为  $A_1, B_1$ , 其余类同。对应图 4, 入射角

$$i = 90^\circ - |(A_2 - A_1) + (B_2 - B_1)| / 4,$$

或对应图 5, 入射角

$$i = A \pm |(A_2 - A_1) + (B_2 - B_1)| / 2.$$

偏向角

$$\theta = |(A_1 - A_2) + (B_1 - B_2)| / 2.$$

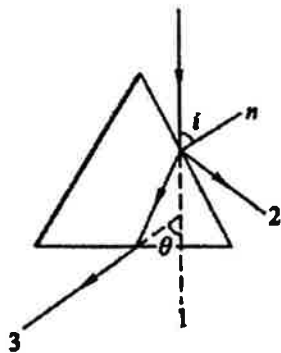


图 4

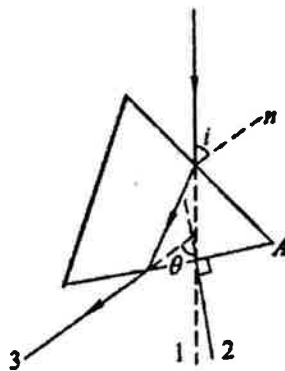


图 5

(2) 示例: 偏向角特性曲线数据(绿光), 参见表 2.

表 2

序号	入射光线 1		反射光线 2		折射光线 3		入射角 $90^\circ - [(A_2 - A_1) + (B_2 - B_1)]/4$	偏向角 $[(A_1 - A_2) + (B_1 - B_2)]/2$
	$A_1$	$B_1$	$A_2$	$B_2$	$A_3$	$B_3$		
1	$67^\circ 30'$	$247^\circ 30'$	$0^\circ 20'$	$180^\circ 0'$	$92^\circ 50'$	$272^\circ 50'$	$24^\circ 30'$	$25^\circ 20'$
2	$67^\circ 30'$	$247^\circ 30'$	$309^\circ 40'$	$129^\circ 47'$	$91^\circ 48'$	$271^\circ 48'$	$31^\circ 7'$	$24^\circ 18'$
3	$67^\circ 30'$	$247^\circ 30'$	$320^\circ 30'$	$140^\circ 30'$	$91^\circ 0'$	$271^\circ 0'$	$36^\circ 30'$	$23^\circ 30'$
4	$67^\circ 30'$	$247^\circ 30'$	$332^\circ 45'$	$152^\circ 45'$	$90^\circ 45'$	$270^\circ 45'$	$42^\circ 37'$	$23^\circ 15'$
5	$67^\circ 30'$	$247^\circ 30'$	$342^\circ 10'$	$162^\circ 10'$	$90^\circ 45'$	$270^\circ 45'$	$47^\circ 20'$	$23^\circ 15'$
6	$67^\circ 30'$	$247^\circ 30'$	$346^\circ 30'$	$166^\circ 30'$	$91^\circ 15'$	$271^\circ 15'$	$49^\circ 30'$	$23^\circ 45'$
7	$67^\circ 30'$	$247^\circ 30'$	$356^\circ 0'$	$176^\circ 0'$	$92^\circ 0'$	$272^\circ 6'$	$54^\circ 15'$	$24^\circ 38'$

(3) 利用实验数据(表 2)画出  $\theta_g - i$  曲线, 如图 6 所示标出绿光最小偏向角  $\theta_{gm}$  的位置点.

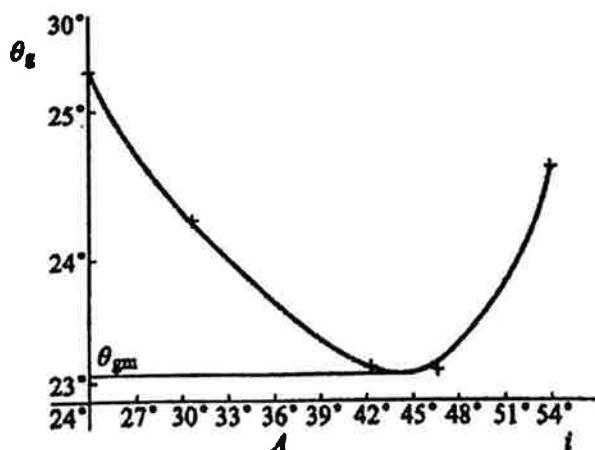


图 6

由图 6 得绿光的最小偏向角  $\theta_{gm} = 23^\circ 14' \pm 2'$ .

5. 示例, 蓝光最小偏向角的测量, 参见表 3.

表 3

入射光 1		折射光 3		A 窗读数差	B 窗读数差	最小偏向角
A 窗	B 窗	A 窗	B 窗			
73°30'	253°30'	97°12'	277°12'	23°42'	23°42'	23°42'
73°31'	253°32'	97°13'	277°16'	23°42'	23°44'	23°43'
73°29'	253°30'	97°11'	277°11'	23°42'	23°41'	23°42'
最小偏向角平均值						23°42'

蓝光的最小偏向角值平均值  $\theta_{\text{bm}} = 23^\circ 42'$ .

6. 计算液体对绿光的折射率  $n_g$  为

$$n_g = \frac{\sin\left(\frac{A + \theta_{\text{gm}}}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)} = \frac{\sin[(59^\circ 8' + 23^\circ 14')/2]}{\sin(59^\circ 8'/2)} = 1.334,$$

计算液体对蓝光的折射率  $n_b$  为

$$n_b = \frac{\sin\left(\frac{A + \theta_{\text{bm}}}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)} = \frac{\sin[(59^\circ 8' + 23^\circ 42')/2]}{\sin(59^\circ 8'/2)} = 1.341.$$

由于分光计存在仪器误差,角度测量又涉及多次测量,因此折射率测量结果的误差来源为角度测量的仪器误差和多次测量的随机误差.

## 实验二 电学

1. (1) 电源电路与测试电路的电路图如图 1 所示. 12V 交流电压经过由 4 个二极管组成的桥式整流电路后成为直流脉动电压,再经过由电解电容和电阻组成的  $\pi$  型滤波电路,电压的脉动幅度大大减小,成为可以供负载使用的直流稳压电源. 用可变电阻箱作为负载电阻,电流表串接在带负载电阻的输出回路中. 其中二极管有单向导通功能,阻止反向电流的流通;电解电容有隔离直流流通和积储电能功能,能够充电与放电,充放电时间与负载有关;电阻有阻碍电流流通的功能,与电解电容组合可以改变电路的充放电时间.

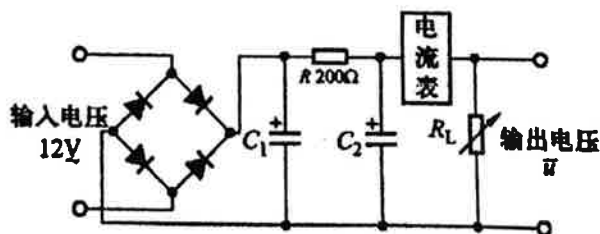


图 1

(2) 由于电流表不能直接测量开路电压,因此通过增大负载至尽可能大,通过测量电流研究电路趋向开路时的电压趋势,计算得到结果. 将  $R_L$  调节至  $80\,000\Omega$  位置,测出输出电流  $I$ , 设电流表内阻为  $r_s$ , 有

$$U_0 = I(r + r_s + R_L);$$

调节电阻箱改变大小至  $R'_L = 90\,000\Omega$ , 使输出电流变为  $I'$ , 有

$$U_0 = I'(r + r_s + R'_L);$$

从而得出内阻

$$r + r_s = \frac{I'R'_L - IR_L}{I - I'}$$

开路输出电压为

$$U_{oc} = \frac{II'}{I - I'}(R'_L - R_L)$$

实际测量值为  $R_L = 80\,000\Omega$  时,  $I = 200.6\mu\text{A}$ ;  $R'_L = 90\,000\Omega$  时,  $I' = 178.5\mu\text{A}$ .

也可以用作图法, 画出  $I-R_L$  关系图, 通过外推方法求  $U_o$ ; 还可以忽略内阻影响, 直接用  $90\,000\Omega \times 178.5\mu\text{A} = 16.1\text{V}$  算得.

因此, 测量结果为  $U_o = (16.4 \pm 0.5)\text{V}$ .

如图 2 所示, 用元件盒上  $2000\Omega$  电阻, 在电源输出端串接一个  $2000\Omega$ , 再串接上电流表与电阻箱  $R_L$  的并联电路. 先断开电阻箱 ( $R_L = \infty$ ), 只有电流表串接, 读出电流  $I$ , 在电流表两端并接上电阻箱  $R_L$ , 调节  $R_L$  至电流显示  $I/2$ , 此时, 由于  $r_s$  远小于  $2000\Omega$ , 可以近似认为  $R_L = r_s$ .

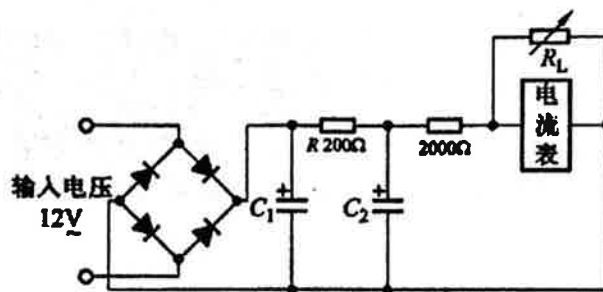


图 2

实际测量值为  $I = 6.98\text{mA}$ , 调节  $R_L = 3.5\Omega$  时,  $I = 3.50\text{mA}$ , 从而得到  $r_s \approx 3.5\Omega$ . 因此, 测量结果为  $r_s = (3.5 \pm 0.5)\Omega$ .

(3) 示例: 数据记录表的设计与数据测量, 参见表 1.

表 1

$R_L/\Omega$	50	150	250	350	450	550	650	750	850	950	1050
直流 $I/\text{mA}$	50.0	37.90	30.47	25.52	21.95	19.27	17.19	15.50	14.12	12.96	12.00
交流 $i/\text{mA}$	5.07	1.68	0.84	0.51	0.34	0.23	0.17	0.13	0.09	0.08	0.06
直流电压/V	2.5	5.7	7.6	8.9	9.9	10.6	11.2	11.6	12.0	12.3	12.6
交流电压 /mV	254	252	210	179	153	127	111	98	77	76	63
纹波系数 $K_s$ 值/%	10.14	4.43	2.76	2.00	1.55	1.19	0.99	0.84	0.64	0.62	0.50

2. 根据实验数据(表 1)作图, 如图 3 所示.

当负载电阻  $R_L \geq 650\Omega$  时, 电源的  $K_s$  值将小于 1%, 直流输出电压有较好的波动稳定性.

3. 利用  $P = I^2 R_L$  计算并找出  $P$  最大值, 由表 2 可知,  $R_L$  在  $250\Omega$  附近时, 电源的输出功率最大.

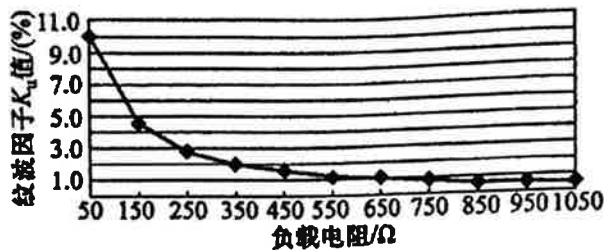


图3 负载电阻-纹波因子曲线

表2

$R_L/\Omega$	50	150	250	350	450	550	650	750	850	950	1050
直流 $I/\text{mA}$	50.0	37.90	30.47	25.52	21.95	19.27	17.19	15.50	14.12	12.96	12.00
纹波系数 $K_u$ 值/%	10.14	4.43	2.76	2.00	1.55	1.19	0.99	0.84	0.64	0.62	0.50
输出功率 /mW	125.0	215.5	232.1	227.9	216.8	204.2	192.1	180.2	169.5	159.6	151.2

按数据表2的值标出数据点,画出曲线,如图4所示.在图中曲线上标注  $P$  值最大的点,由图4可知:负载为  $250\Omega$  时,电源输出功率最大.

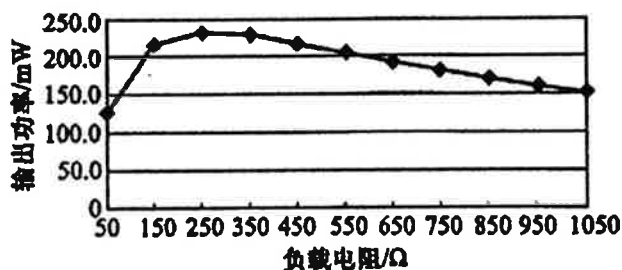


图4 负载电阻-功率曲线

由于输出电压无法直接测量,通过选择负载电阻  $R_L$  在  $250\Omega$  附近,测量负载电流,根据

$$r + r_s = \frac{I' \cdot R_L' - I \cdot R_L}{I - I'}$$

计算获得电源的等效内阻.测量  $R_L = 250\Omega$  附近的两个电流,测量数据参见表3.

表3

$R_L/\Omega$	150	250	350
直流 $I/\text{mA}$	37.90	30.47	25.52

计算得出  $r + r_s = 257.7\Omega$ ,故电源的等效内阻  $r = 254.2\Omega$ .因此,计算结果为  $r = (255 \pm 10)\Omega$ .

若根据输出功率最大时,电源内阻  $r$  与负载电阻  $R_L$  相同的原理,可直接写出电源内阻  $r = R_L = 250\Omega$ ,  $K_u = (2.8 \pm 0.3)\%$ .

4. (1) 自组惠斯通电桥.连接  $R_x, R_1, R_2$  及  $R_0$  (电阻箱),组成电桥电路,在 A, C 两端接入

组装的直流电源,将 B,D 两端接入数字电流表,测量原理图参见图 5.

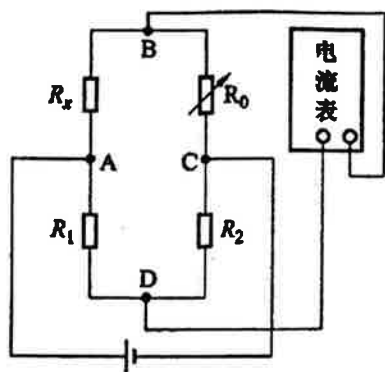


图 5

将电流表测试模式设为直流 mA 档,观察 B,D 两端的电流大小.从大到小调节电阻箱  $R_0$  的各档旋钮,观察电流表中电流值的变化,使其尽量向零靠近,当示值非常接近零时,可旋转量程选择钮至  $\mu\text{A}$  档以减小电流表的量程,直至示值小到  $0\mu\text{V}$  附近,精确判断电桥平衡的状态.读出电桥平衡时  $R_0$  的读数,记为  $R_{01}$ .

如图 6 所示,交换  $R_1, R_2$  位置,重新连接电路.操作方法同上,调节  $R_0$  使电桥平衡.读出电桥平衡时  $R_0$  的读数,记为  $R_{02}$ .

如图 7 所示,交换  $R_1, R_x$  位置,重新连接电路.操作方法同上,调节  $R_0$  使电桥平衡.读出电桥平衡时  $R_0$  的读数,记为  $R_{03}$ .

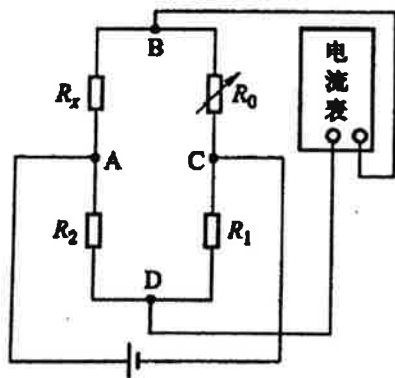


图 6

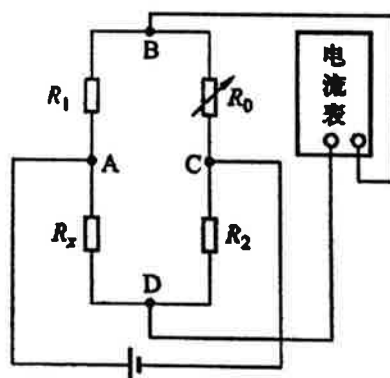


图 7

(2) 根据图 5 得  $R_x/R_{01} = R_1/R_2$ , 根据图 6 得  $R_x/R_{02} = R_2/R_1$ , 则

$$R_x = \sqrt{R_{01} \cdot R_{02}},$$

$$R_1/R_2 = R_x/R_{01} = \sqrt{R_{02}/R_{01}}.$$

根据图 7 得  $R_1/R_{03} = R_x/R_2$ , 即  $R_1 \cdot R_2 = R_x \cdot R_{03}$ , 则

$$R_1 = R_x \sqrt{R_{03}/R_{01}} = \sqrt{R_{02} \cdot R_{03}},$$

$$R_2 = \sqrt{R_{01} \cdot R_{03}}.$$

(3) 列表记录测量数据,参见表 4.

表 4

$R_{01}/\Omega$	$R_{02}/\Omega$	$R_{03}/\Omega$
2248.2	3936.4	249.7

(4) 电阻盒编号: \* \* \*

$$R_1 = 991.4\Omega, R_2 = 749.2\Omega, R_x = 2974.9\Omega.$$

(5) 由电阻箱误差引起的测量误差为

$$\frac{\Delta_{R_x}}{R_x} = \frac{\Delta_{R_0}}{2R_{01}} + \frac{\Delta_{R_0}}{2R_{02}} = 0.1\%, \quad \Delta_{R_x} = 3.0\Omega,$$

$$\frac{\Delta_{R_1}}{R_1} = \frac{\Delta_{R_0}}{2R_{02}} + \frac{\Delta_{R_0}}{2R_{03}} = 0.1\%, \quad \Delta_{R_1} = 1.0\Omega,$$

$$\frac{\Delta_{R_2}}{R_2} = \frac{\Delta_{R_0}}{2R_{01}} + \frac{\Delta_{R_0}}{2R_{03}} = 0.1\%, \quad \Delta_{R_2} = 0.8\Omega.$$

实际还存在平衡调节的判断误差, 但影响较小可以忽略.

(6) 所得测量结果为

$$R_1 = (991.4 \pm 1.0)\Omega, \quad R_2 = (749.2 \pm 0.8)\Omega, \quad R_x = (2974.9 \pm 3.0)\Omega.$$

## 第 32 届全国物理竞赛决赛实验试题

### 实验一 二极管正向伏安特性精确测量 (30 分)

二极管是典型的非线性元件,其伏安特性满足  $I = I_0(e^{\frac{qU}{nkT}} - 1)$ , 其中  $I_0$  为反向饱和电流 (其值取决于材料、温度、掺杂浓度和截面积等),  $q$  为电子电量 ( $q = 1.602 \times 10^{-19} \text{C}$ ),  $k$  为玻尔兹曼常数 ( $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$ ),  $U$  为二极管的外加电压,  $T$  为绝对温度,  $n$  为理想因子。精确测量其伏安特性时, 必须设计合理电路, 以消除电流表和电压表内阻对测量的影响。已知待测二极管为硅管, 正向开启电压约为  $0.5\text{V}$ , 导通时电压约为  $0.6\text{--}0.8\text{V}$ 。

#### 【实验器材】

直流稳压电源 1 台; 数字式万用表 2 只; 电位器 2 只; 标准电阻箱 1 只; 直流检流计 1 台; 恒温水浴锅一台; 待测二极管 (置于封闭的石英管中) 一个; 可编程计算器一台; 导线若干。

#### 【实验要求】

1. 根据所给实验器材设计实验方案, 精确测量在  $t = 27^\circ\text{C}$  时二极管的正向伏安特性 (电流变化范围:  $0.5 \sim 1000 \mu\text{A}$ , 测量不少于 20 组数据):

- (1) 画出实验电路图, 说明实验原理, 写出实验步骤;
- (2) 设计表格并记录实验数据;

(3) 画出二极管正向伏安特性曲线, 用最小二乘法或作图法得出反向饱和电流  $I_0$  和理想因子  $n$ 。

2. 二极管中的电流恒定时, 其两端电压会随温度变化而变化。设定二极管的电流分别为  $5 \mu\text{A}$ 、 $15 \mu\text{A}$  和  $20 \mu\text{A}$ , 确定其电压与温度的关系, 推导出在绝对零度时的二极管电压  $U_{g(0)}$ ; 并在此基础上讨论并消除电流大小对二极管  $U_{g(0)}$  的影响 (建议温度范围  $27^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$ ):

- (1) 说明实验原理, 写出实验步骤;
- (2) 设计表格并记录实验数据;
- (3) 分别画出电流为  $5 \mu\text{A}$ 、 $10 \mu\text{A}$ 、和  $15 \mu\text{A}$  时二极管电压  $U$  与热力学温



度  $T$  的关系曲线、得出  $U$  与  $T$  的关系式、推导出在绝对零度时的二极管电压  $U_g$  (0); 分析不同恒定电流条件下, 所获得绝对零度时二极管正向结电压的特点及其产生原因, 并试图消除。

### 【仪器说明】

1. 直流稳压电压电源后侧面已有市电接入, 打开电源, 输出指示灯会点亮。输出电压已设定为  $5V$ 。
2. 数字式万用表, 除用于判定二极管正负极外, 仅用作直流电流和直流电压表 (内阻未知)。
3. 电位器是十图连续可调电阻器, 其 1、3 接线端为固定端, 2 为滑动端。电阻调节范围分别为  $0\sim 2K\Omega$  和  $0\sim 5K\Omega$ 。
4. 检流计满偏电流约  $0.3\mu A$  (而非表上标示的  $10\mu A$ ), 谨慎使用, 以免烧坏。
5. 恒温水浴锅控温范围: 室温至  $100^\circ C$ ; 控温精度:  $0.5^\circ C$ 。水浴锅已加好适量的水, 待测二极管置于封闭的石英管中, 测量时需尽量靠近测温点。
6. 可编程计算器可用于线性回归计算。

### 【注意事项】

实验过程中请注意电表读数, 以防烧坏电表和器件

求助说明

本实验过程中可有 1 次求助机会。

求助卡 申请提供实验电路图, 扣 7 分。

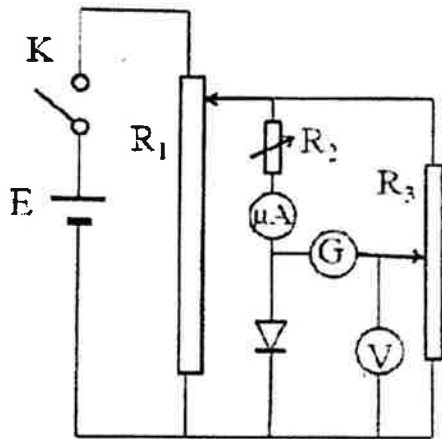
(1) 根据所给实验器材设计实验方案, 以消除直流电流表和直流电压表的未知内阻最测量的影响, 并说明设计原理与实验操作步骤 (7 分)

说明实验原理并画出实验电路图 (5 分)

评分细则:

1. 设计的实验电路图科学合理, 能有效消除电流表、电压表内阻的影响, 并能进行有效的测量操作, 记满分;
2. 采用伏安法直接测量电路, 记零分;
3. 设计的电路出现不规范等错误, 酌情扣分。

【参考测量电路】利用电桥法精确测量二极管伏安特性曲线



实验步骤 (2分)

评分细则:

1. 根据实验电路图, 简要讲述操作过程, 讲述清楚, 叙述完整, 记满分;
2. 如测量电路错误, 记零分;
3. 出现讲述不清晰, 不完整等情况, 酌情扣分。

[参考实验步骤]

1. 设定水浴锅的温度为  $27^{\circ}\text{C}$ ;
2. 按原理图连接电路; 调节电位器  $R_1$  和  $R_3$  的初值, 使分压电路输出电压为零, 设定电阻箱  $R_2$  的值为 10000 欧, 检流计调零;
3. 待温度稳定后, 接通电源, 慢慢调节电位器  $R_1$ , 使电流表读数增加; 反复调节电位器  $R_1$  和  $R_3$  和电阻箱  $R_2$ , 使电桥在设定电压值处于平衡; 依次记录相对应的电压值和电流值。

(2) 设计表格并记录实验数据, 电流范围:  $0.5\sim 1000\mu\text{A}$ 。(2分)

实验测量与数据记录 (2分)

评分细则:

1. 测量数据取值合理, 分布均匀, 测量结果准确, 记满分;
2. 测量数据明显偏离实际情况, 记零分;
3. 测量范围不完整, 取值不合理, 测量点不足等情况, 酌情扣分。

[参考数据]

电压/V	0.430	0.441	0.453	0.461	0.473	0.488	0.502	0.510	0.521
------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

电流/ $\mu\text{A}$	0.52	0.77	1.20	1.63	2.58	4.81	8.14	10.89	16.92
电压/V	0.538	0.547	0.555	0.561	0.578	0.587	0.594	0.606	0.617
电流/ $\mu\text{A}$	31.8	45.0	62.8	76.6	149	212.0	276.0	435.0	675.0
电压/V	0.626								
电流/ $\mu\text{A}$	926.0								

(3) 画出二极管正向伏安特性曲线, 用最小二乘法或作图法得出反方向饱和电流  $I_0$  和理想因子  $n$ 。(6分)

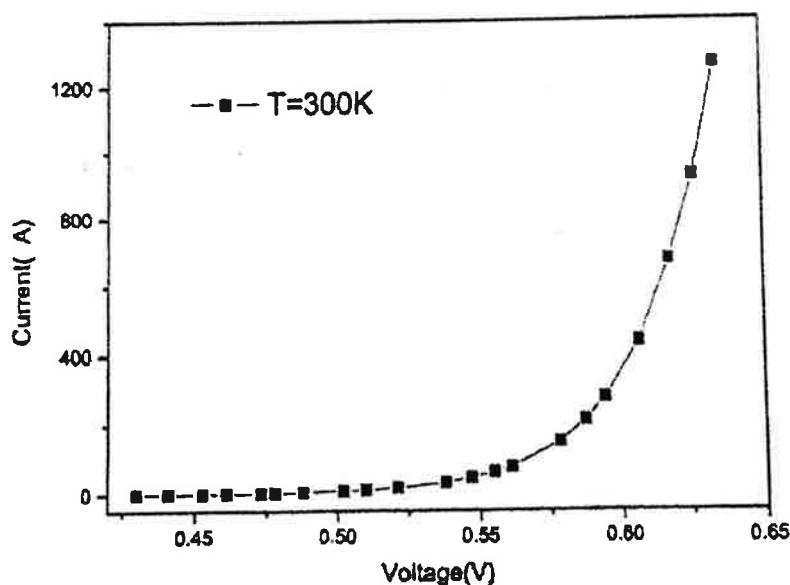
画出二极管正向 I-V 曲线 (1分)

评分细则:

1. 能根据测量数据正确画出 I-V 曲线, 且测量数据准确, 能反映二极管非线性特征, 记满分;

2. 如测量数据错误, 明显偏高实际情况, 记零分。

[参考曲线]



用最小二乘法或作图法得出反向饱和电流  $I_0$  和理想因子  $n$ (5分)

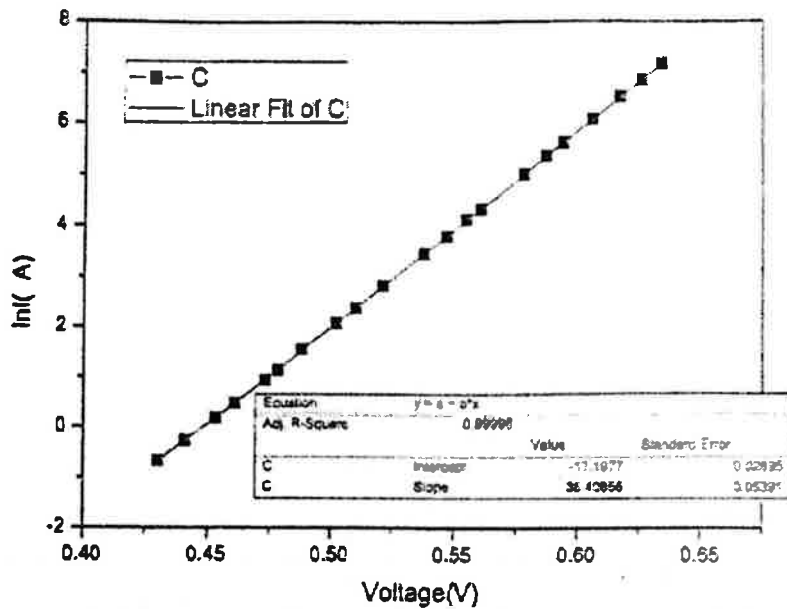
评分细则:

1. 能正确运用最小二乘法或作图法, 处理数据, 记2分;

2. 计算结果准确 ( $0.9 < n < 1.1$   $10^{-15} < I_0 < 10^{-13}$ ), 记3分;

3. 出现计算结果不准确情况, 酌情扣分。

[参考计算结果]



$I_0 = \underline{3.397 \times 10^{-14} \text{ A}}$        $n = \underline{1.001}$

2. 二极管正向结电压与温度的关系 (15 分)。

(1) 分别确定恒定电流为 5、10 和 15 $\mu\text{A}$  时, 二极管正向端电压与温度的关系, 以及二极管在绝对零度时的结电压; 在此基础上讨论并消除电流大小对二极管在绝对零度时端电压的影响。

说明实验原理和实验步骤 (4 分)

评分细则:

1. 设计的实验电路图科学合理, 讲述操作过程清楚完整, 记满分;
2. 出现讲述不清晰, 不完整等情况, 酌情扣分。

[参考实验步骤]

1. 设定水浴锅的温度 27 $^{\circ}\text{C}$ ;
2. 待温度稳定后, 调节电位器 R1 和 R3 和电阻箱 R2, 使电桥在电流表读数为 5 $\mu\text{A}$ 、10 $\mu\text{A}$  和 15 $\mu\text{A}$  处平衡; 分别记录对应的电压值依次记录相对应的电压值;
3. 改变水浴锅的温度分别为 37 $^{\circ}\text{C}$ 、47 $^{\circ}\text{C}$ 、57 $^{\circ}\text{C}$  和 67 $^{\circ}\text{C}$ 。重复第二步测量。

(2) 设计表格并记录实验数据, (建议温度范围 27-70 $^{\circ}\text{C}$ , 至少 5 个温度点)。(3 分)

实验测量与数据记录 (3 分)

评分细则:

1. 测量的数据准确完整, 记满分;
2. 测量数据明显偏离实际情况, 如温度增加二极管电压反而增加等错误情况, 记零分;
3. 测量范围不完整, 二极管温度取值不合理, 测量点不足等情况, 酌情扣分。

[参考数据]

温度/K	303.0	313.0	323.0	333.0	343.0
电压/V (5 $\mu$ A)	0.479	0.461	0.438	0.413	0.387
电压/V (10 $\mu$ A)	0.5	0.479	0.4555	0.431	0.409
电压/V (15 $\mu$ A)	0.515	0.491	0.467	0.445	0.420

(3) 画出二极管正向端电压与温度的特性曲线, 用最小二乘法或作图法得出端电压与温度的关系表达式。(8 分)

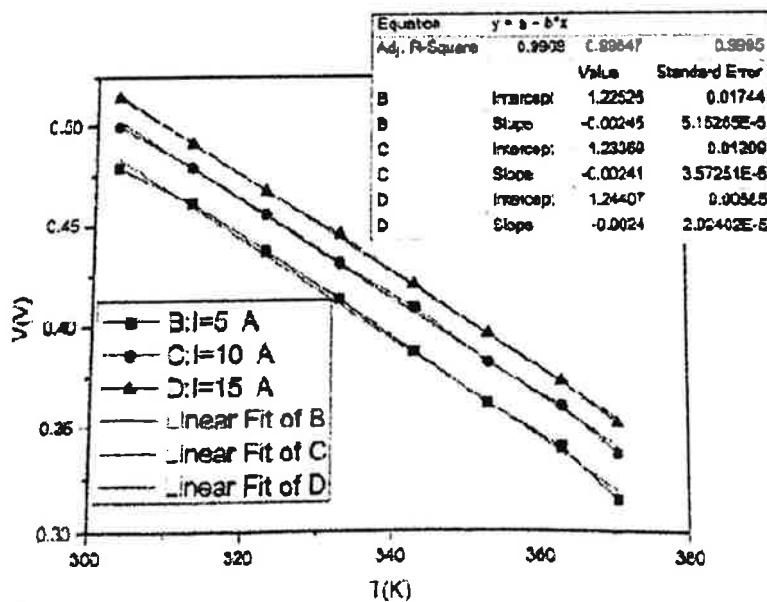
画出恒流 (5 $\mu$ A、10 $\mu$ A 和 15 $\mu$ A) 下二极管正向结电压与温度关系 V-T 曲线 (2 分)

评分细则:

1. 能根据测量数据正确画出 Y-T 曲线, 且测量数据准确, 能反映二极管 V-T 特征, 记满分;

2. 如测量数据错误, 明显偏离实际情况, 记零分。

[参考曲线]



分别得出恒定电流 (5 $\mu$ A、10 $\mu$ A 和 15 $\mu$ A) 下二极管正向端电压与温度的关系表达式和绝对零度时二极管的正向端电压(3 分)

评分细则:

1. 得出  $V = V_{(0)} - ST$  为线性关系记 1 分;
2.  $V_{(0)}$  计算结果准确记 1 分;
3.  $S$  计算结果准确记 1 分。

[参考数据]

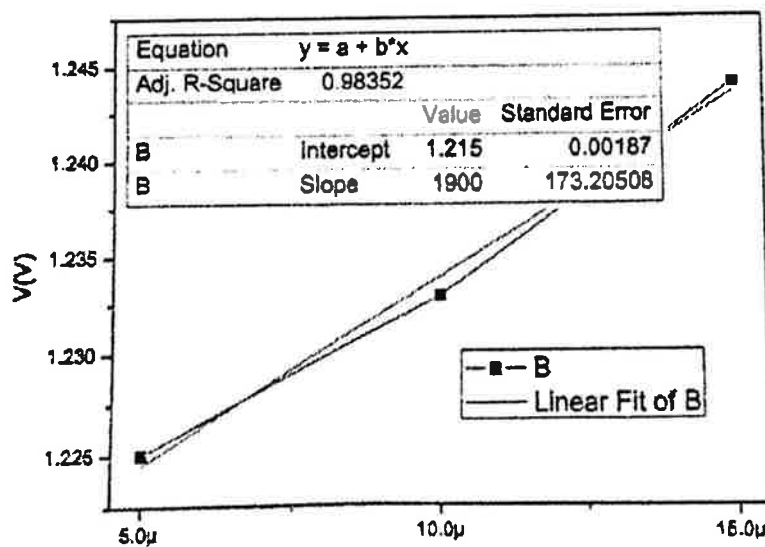
	$V_{g(0)}$ (V)	$-S$ (V/K)
5 ( $\mu\text{A}$ )	1.225	0.00245
10 ( $\mu\text{A}$ )	1.233	0.00241
15 ( $\mu\text{A}$ )	1.244	0.0024

分析在不同恒定电流下, 所获得绝对零度时二极管正向端电压的特点及其产生的原因, 并试图消除 (3 分)

评分细则:

1. 得出  $V_{(0)}$  随电流增大而增大结论记 1 分;
2. 能正确分析是二极管内部存在的电阻或导线电阻造成的原因记 1 分;
3. 能外推出  $I \rightarrow 0$  时  $V_{(0)}$  的值记 1 分。

[参考数据]



$$V(T) = 1.215 - 0.0024T$$

## 光学实验试题参考答案

一、(5分) 不测折射率, 仅比较两只三棱镜折射率的大小, 选出其中折射率较高的三棱镜进行后续实验。要求写出判别折射率大小的方法和操作要点(3分), 写出高折射率三棱镜标号(2分);

答: 1. 判别方法和光路图(1.5分)

根据三棱镜对光的折射现象, 如图1所示(光路图0.5分), 一束光以相同入射角入射到折射率不同的两个三棱镜, 出射光束相对于入射光束偏向角较大的三棱镜的折射率较大(1分)

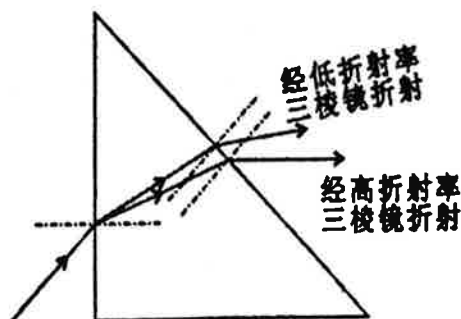


图1

2. 操作要点(1.5分)

1) 调节分光计载物台台面, 使台面与游标盘处于平行状态, 并调节激光笔出射光束垂直于三棱镜某一面(0.5分, 若没有写出光束与三棱镜某一面垂直, 则扣0.2分);

2) 保持光束以相同入射角分别入射到两三棱镜, 观察折射光束的偏向角大小, 偏向角大的, 相应折射率高;

保持入射角相同的方法, 如可以在纸上绘出三棱镜的形状, 并将该纸放置在载物台台面上, 并将三棱镜按所画的形状放置, 保持入射光源、纸、载物台的相对位置不发生改变, 只更换三棱镜, 则可保持入射角几乎不发生变化。(详细写出如何保证入射角相同的方法给1分, 否则给0.5分)

3. 高折射率三棱镜标号(2分)

经判断, B号三棱镜的折射率较大。(2分)

或其他方法, 只要原理正确、给出光路图, 描述详细正确、结果正确都给分。

二、(14分) 测定激光笔的激光波长

1、调节分光计至可测量的最佳状态, 测量高折射率三棱镜顶角角度(标出所测顶角的标号)(若看到绿色十字像有多个像时, 以亮的反射像为准), 记录数据, 测出所使用的顶角  $A$  (4分)

2、解释为什么当望远镜对着三棱镜的非直角面时，转动三棱镜，总能在望远镜视场中看到一个固定的绿色十字像(实验中看到的这个固定十字像会有重影，重影不需要解释)；(2分)

3、写出测量三棱镜折射率的原理、光路图、计算公式、说明操作方法、记录数据和给出结果。(注意：务必将激光束经扩束镜扩束后再照明分光计上的平行光管狭缝)；(6分)

4、求出激光波长 $\lambda$  (2分)

答：1、测量高折射率三棱镜的顶角(4分)

(1) 指出调节分光计应达到的要求(1分，根据学生后面所用的测量方法，若用自准直法只需回答两点，每点0.5分，若用反射法，需回答三点，少一点扣0.5分)

分光计要达到如下要求：望远镜聚焦无穷远且其光轴垂直于仪器主轴(或平行于刻度盘)，构成三棱镜所测角的两个面需平行于主轴(或垂直于刻度盘)，若实验中需要利用平行光管，则平行光管需发出平行光且其光轴垂直于仪器主轴(或平行于刻度盘)

(2) 给出测量方法、画出光路图。(1分，方法和光路各0.5分)

自准直法  $A=180^\circ-\phi$

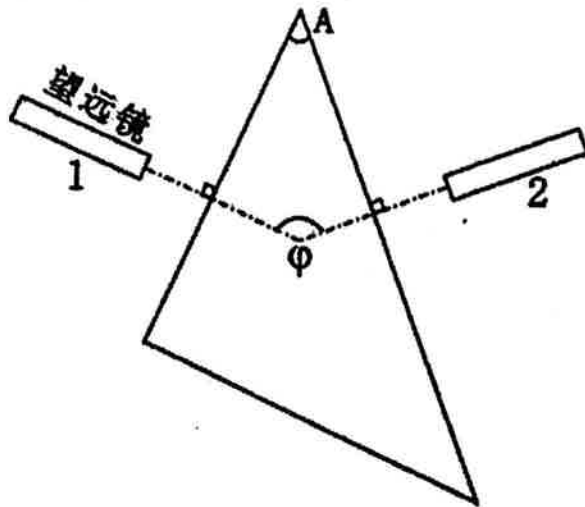


图2 自准直法

或利用反射法  $A=\phi/2$



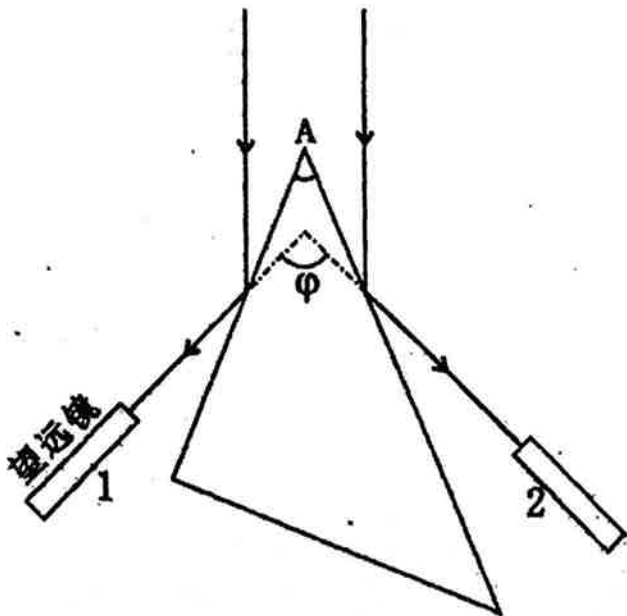


图3 反射法

(3) 记录测量数据 (标出所测顶角的标号), 测出所使用的顶角  $A$ 。(若看到反射的绿色十字像有多个像时, 以亮的反射像为准) (2分)

利用自准直法测量 B-37 号三棱镜的 2 号顶角角度, 测量数据表格如下:

序号	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_1'$	$\theta_2'$
1	$72^\circ 15'$	$252^\circ 12'$	$207^\circ 11'$	$27^\circ 16'$
2	$72^\circ 15'$	$252^\circ 12'$	$207^\circ 12'$	$27^\circ 16'$
3	$72^\circ 15'$	$252^\circ 12'$	$207^\circ 11'$	$27^\circ 15'$
4	$72^\circ 15'$	$252^\circ 12'$	$207^\circ 11'$	$27^\circ 16'$
5	$72^\circ 15'$	$252^\circ 12'$	$207^\circ 11'$	$27^\circ 16'$

利用公式  $A = 180^\circ - (|\theta_1 - \theta_1'| + |\theta_2 - \theta_2'|) / 2$  计算角度, 并求平均值, 得  $\bar{A} = 45^\circ 00'$ , 测量结果的准确性根据仪器误差和测量条件不应超过  $\pm 3'$  (按棱镜编号查实验室提供的附表中数据), 在  $\pm 3'$  以内得 2 分, 在  $\pm 5'$  以内得 1 分, 超过得 0 分。若测量数据少于 5 组扣 0.5 分。

2、解释为什么当望远镜对着三棱镜的非直角面时, 转动三棱镜, 总能在望远镜视场中看到固定的绿色十字像; (2分)

实验中用的三棱镜是直角棱镜, 如图 4 的两各光路图所示, 望远镜所发出的平行光束以任意角度从非直角面入射后经折射入射到直角面 1, 反射到直角面 2, 再由直角面 2 反射到非直角面, 折射后出射, 其出射光束方向与入射的平行光束保持平行, 因此当望远镜对着三棱镜的非直角面时, 转动三棱镜, 总能看到反射回来的绿色十字像。(2分, 最好有画图示意, 如果没画图表述正确也可以)

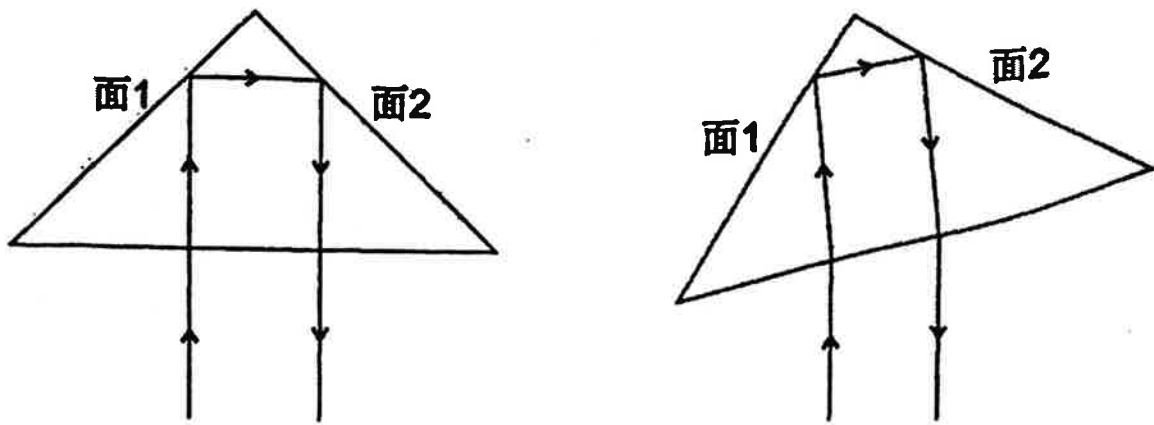


图4

3、写出测量三棱镜折射率的原理、光路图、计算公式、说明操作方法、记录数据和给出结果。(注意：务必将激光束经扩束镜扩束后再照明分光计上的平行光管狭缝)(6分)

1) 原理、光路图、计算公式 (3分, 各1分)

采用最小偏向角法测量三棱镜折射率, 其光路图如下图所示, 该法基本原理: 当平行光束从 AB 面入射到三棱镜, 经折射由 AC 面出射, 出射光线与入射光线之间的夹角  $\delta$  称为偏向角。当入射光线和出射光线处于光路对称的情况下, 即入射角与出射角相等时, 偏向角有极小值, 即为  $\delta_{\min}$ , 可以证明, 棱

镜的材料折射率  $n = \frac{\sin(\frac{A + \delta_{\min}}{2})}{\sin(\frac{A}{2})}$  .

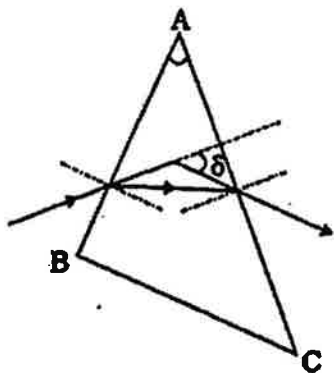


图5 最小偏向角法

2) 操作方法 (1分)

在之前仪器调节的基础上, 首先, 确定要确定出射光线的方位: 如图5所示, 调节入射角, 观察到出射光线, 慢慢转动游标盘改变入射角, 使出射谱线往偏向角减小的方向移动, 同时转动望远镜跟踪谱线, 直到载物台继续沿原方向转动, 该谱线不再向前移反而向相反方向移动为止, 该方向转折的位置即为该谱线最小偏向角的位置, 固定游标盘的位置, 转动望远镜对准出射谱线读出两游标的刻度,  $\theta_1, \theta_2$ 。第二, 确定入射光线的方位: 不取下棱镜, 固定游标盘的位置, 转动望远镜直接对准平行光管, 再次读出两游标刻度  $\theta_1', \theta_2'$ 。

3) 记录数据和给出结果 (2分)

序号	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_1'$	$\theta_2'$
1	61° 01'	240° 58'	99° 22'	279° 18'
2	61° 52'	241° 48'	100° 11'	280° 8'
3	62° 24'	242° 19'	100° 43'	280° 39'
4	61° 32'	241° 27'	100° 51'	280° 47'
5	62° 37'	242° 31'	100° 56'	280° 52'

由公式  $\delta_{\min} = (|\theta_1 - \theta_1'| + |\theta_2 - \theta_2'|) / 2$  计算最小偏向角, 并求平均值, 得  $\overline{\delta_{\min}} = 38'20''$

$\overline{\delta_{\min}}$  在  $38'19''$  的  $\pm 3''$  内给 1 分, 在  $\pm 5''$  内 0.5 分, 测量数据少于 5 组扣 0.5 分, 其它不扣分

根据  $\overline{A}$  和  $\overline{\varphi_{\min}}$  利用  $n = \frac{\sin(\frac{A + \varphi_{\min}}{2})}{\sin(\frac{A}{2})}$

$n = 1.737$  (1分)

4、求出激光波长  $\lambda$  (2分)

已知高折射率三棱镜对 491.61nm 和 579.07nm 两个波长的折射率分别为 1.7453 和 1.7295, 利用简化的柯西公式

$$n = c_1 + \frac{c_2}{\lambda^2}$$

得  $c_1 = 1.6887$ ,  $c_2 = 1.3674 \times 10^{-14} \text{ m}^2$

求得当前激光波长  $\lambda = 532 \text{ nm}$

计算光波长在标准波长 (532nm)  $\pm 12 \text{ nm}$  范围内给 2 分, (根据两个角度的误差范围计算  $n \pm 0.002$  得出这个范围)

$\pm 18 \text{ nm}$  范围内给 1 分,

超出范围给 0 分

三、(11分) 利用光学方法测量细丝直径

1、写出测量原理、画出光路图、列出计算公式。(3分);

2、主要的实验条件在操作中如何保证 (写出具体做法)。(2分)

3、记录测量数据 (3分);

4、求细丝直径  $d$  (写出细丝的标号) (3分)。

答：1、写出测量原理、画出光路图、列出计算公式。（3分）；

此处有一提示卡，用者扣4分

根据巴俾涅夫原理，细丝与单狭缝的衍射具有相同的图样分布。如图6，利用准直激光束照明细丝，可在较远的屏幕上（满足远场条件）观察到衍射条纹，在傍轴近似条件下，当衍射角  $\theta \approx \frac{K\lambda}{d}$  ( $K=1,2,3,\dots$ ， $d$  为细丝直径， $\lambda$  为波长) 时衍射光强度值有极小值，通过测量衍射条纹的暗条纹间距 ( $D$ )，以及细丝与屏的间距 ( $L$ )，可计算相邻暗纹之间的角宽度  $\Delta\theta = \frac{\lambda}{d} = \frac{D}{L}$ ，则细丝直径  $d = \frac{\lambda L}{D}$ 。（3分）

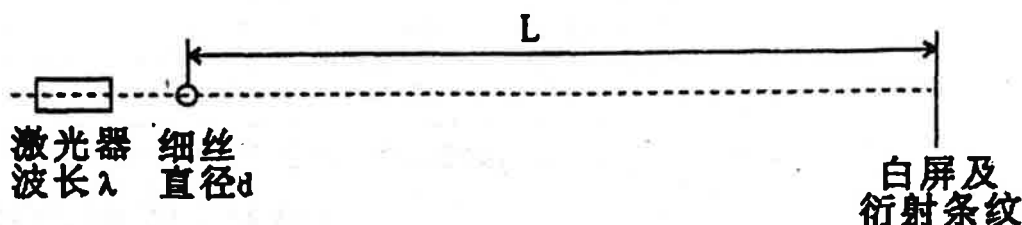


图6

原理、光路图、计算公式各1分

2、主要的实验条件在操作中如何保证（写出具体的做法）。（2分）

1) 调节激光束平行于实验桌面：垂直放置提供的钢尺，若激光照在远近两个位置的钢尺上的高度一致，则平行于台面，否则若远端的照明点较低，则往上微调激光源的倾角，若远端的照明点较高，则往下微调激光源的倾角，直到远近两个位置钢尺上的照明点位置等高。（1分）

2) 调节白屏的平面与激光束传播方向垂直：调节激光束平行于实验桌面后，仍利用钢尺，钢尺垂直放置，在激光传播方向上寻找多个点（这些点是激光束在桌面上的垂直投影），并在桌面上做相应的记号，再将钢尺沿这些点放置，则钢尺的方向即为激光束的传播方向，调节白屏（包括磁性底座）与钢尺方向垂直，则可达到白屏平面与激光束垂直的要求。（1分）

3、记录测量数据（3分）；

序号	1	2	3	4	5	6	7	8
位置 (mm)	5.5	11.2	17	22.5	28.1	33.5	39.5	
序号	9	10	11	12	13	14	15	
位置 (mm)	50.8	56.5	62.2	68	73.8	79.5	85.3	

(1分)

$$D = \frac{\sum_{i=9}^{15} D_i - \sum_{i=1}^7 D_i}{7 \times 8} = 5.69 \text{ mm} \quad (1 \text{ 分})$$

测量  $L = 96.5 \text{ cm}$  (1分)。

4、求细丝直径 (写出细丝的标号) (3分)

4号细丝

$$d = \frac{\lambda L}{D} = \frac{532 \text{ nm} \times 96.5 \text{ cm}}{5.69 \text{ mm}} \approx 0.0902 \text{ mm}$$

测量值在标准值

$\pm 0.0021 \text{ mm}$  给3分

$\pm 0.0030 \text{ mm}$  给2分

$\pm 0.0039 \text{ mm}$  给1分

超出范围不给分

有效数字取2-3位, 若取1位或取 $\geq 4$ 位扣0.5分

数量级与单位不符相应扣1分

细丝标准值附表:

细丝序号	标准值	3分	2分	1分
1	0.0930	0.0909~0.0951	0.0900~0.0960	0.0891~0.0969
10	0.0930	0.0909~0.0951	0.0900~0.0960	0.0891~0.0969
13	0.0930	0.0909~0.0951	0.0900~0.0960	0.0891~0.0969
19	0.0930	0.0909~0.0951	0.0900~0.0960	0.0891~0.0969
22	0.0930	0.0909~0.0951	0.0900~0.0960	0.0891~0.0969
24	0.0930	0.0909~0.0951	0.0900~0.0960	0.0891~0.0969
27	0.0930	0.0909~0.0951	0.0900~0.0960	0.0891~0.0969
28	0.0930	0.0909~0.0951	0.0900~0.0960	0.0891~0.0969
32	0.0930	0.0909~0.0951	0.0900~0.0960	0.0891~0.0969
40	0.0930	0.0909~0.0951	0.0900~0.0960	0.0891~0.0969
49	0.0930	0.0909~0.0951	0.0900~0.0960	0.0891~0.0969
54	0.0930	0.0909~0.0951	0.0900~0.0960	0.0891~0.0969
56	0.0930	0.0909~0.0951	0.0900~0.0960	0.0891~0.0969
58	0.0930	0.0909~0.0951	0.0900~0.0960	0.0891~0.0969
59	0.0930	0.0909~0.0951	0.0900~0.0960	0.0891~0.0969
61	0.0930	0.0909~0.0951	0.0900~0.0960	0.0891~0.0969
62	0.0930	0.0909~0.0951	0.0900~0.0960	0.0891~0.0969
67	0.0930	0.0909~0.0951	0.0900~0.0960	0.0891~0.0969
68	0.0930	0.0909~0.0951	0.0900~0.0960	0.0891~0.0969
77	0.0930	0.0909~0.0951	0.0900~0.0960	0.0891~0.0969
86	0.0930	0.0909~0.0951	0.0900~0.0960	0.0891~0.0969
2	0.0920	0.0899~0.0941	0.0890~0.0950	0.0881~0.0959
3	0.0920	0.0899~0.0941	0.0890~0.0950	0.0881~0.0959
5	0.0920	0.0899~0.0941	0.0890~0.0950	0.0881~0.0959



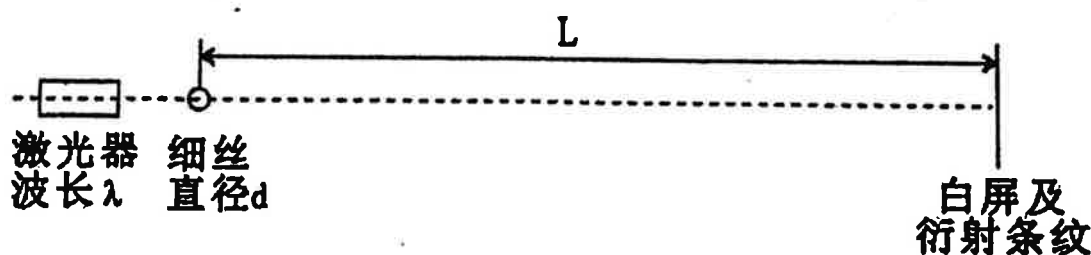
26	0.0910	0.0889~0.0931	0.0880~0.0940	0.0871~0.0949
34	0.0910	0.0889~0.0931	0.0880~0.0940	0.0871~0.0949
35	0.0910	0.0889~0.0931	0.0880~0.0940	0.0871~0.0949
38	0.0910	0.0889~0.0931	0.0880~0.0940	0.0871~0.0949
39	0.0910	0.0889~0.0931	0.0880~0.0940	0.0871~0.0949
41	0.0910	0.0889~0.0931	0.0880~0.0940	0.0871~0.0949
51	0.0910	0.0889~0.0931	0.0880~0.0940	0.0871~0.0949
65	0.0910	0.0889~0.0931	0.0880~0.0940	0.0871~0.0949
74	0.0910	0.0889~0.0931	0.0880~0.0940	0.0871~0.0949
78	0.0910	0.0889~0.0931	0.0880~0.0940	0.0871~0.0949
79	0.0910	0.0889~0.0931	0.0880~0.0940	0.0871~0.0949
84	0.0910	0.0889~0.0931	0.0880~0.0940	0.0871~0.0949
85	0.0910	0.0889~0.0931	0.0880~0.0940	0.0871~0.0949
88	0.0910	0.0889~0.0931	0.0880~0.0940	0.0871~0.0949
90	0.0910	0.0889~0.0931	0.0880~0.0940	0.0871~0.0949
4	0.0900	0.0879~0.0921	0.0870~0.0930	0.0861~0.0939
63	0.0900	0.0879~0.0921	0.0870~0.0930	0.0861~0.0939
70	0.0900	0.0879~0.0921	0.0870~0.0930	0.0861~0.0939
92	0.0900	0.0879~0.0921	0.0870~0.0930	0.0861~0.0939
8	0.0890	0.0869~0.0911	0.0860~0.0920	0.0851~0.0929
14	0.0890	0.0869~0.0911	0.0860~0.0920	0.0851~0.0929
15	0.0890	0.0869~0.0911	0.0860~0.0920	0.0851~0.0929
25	0.0890	0.0869~0.0911	0.0860~0.0920	0.0851~0.0929
31	0.0890	0.0869~0.0911	0.0860~0.0920	0.0851~0.0929
71	0.0890	0.0869~0.0911	0.0860~0.0920	0.0851~0.0929
57	0.0860	0.0839~0.0881	0.0830~0.0890	0.0821~0.0899

# 物理竞赛光学实验提示卡

## 扣四分

[本页需要循环使用，请不要书写任何内容或做任何标记。]

根据巴俾涅夫原理，细丝与单狭缝的衍射具有相同的图样分布。利用准直激光束照明细丝，可在较远的屏幕上（满足远场条件）观察到衍射条纹，在傍轴近似条件下，当衍射角  $\theta \approx \frac{K\lambda}{d}$  ( $K=1,2,3,\dots$ ,  $d$  为细丝直径,  $\lambda$  为波长) 时衍射光强度值有极小值, 通过测量衍射条纹的暗条纹间距 ( $D$ ), 以及细丝与屏的间距 ( $L$ ), 可计算相邻暗纹之间的角宽度  $\Delta\theta = \frac{\lambda}{d} = \frac{D}{L}$ , 则细丝直径  $d = \frac{\lambda L}{D}$ 。





## 电学题 (30 分)

利用提供的实验器材, 设计电路, 测量微安表的内阻; 测量电桥金属丝电阻率; 测量甲种电池的电动势。

滑线式电桥的划线, 如图 1 所示, 记自 0 刻度至长度  $L$  处的电阻大小为  $R(L)$ , 理想情况下,  $R(L)$  与  $L$  呈线性关系。金属丝的总长度  $L_{total}$  为 100.0 cm。

已知: 滑线式电桥两端的接线柱与金属丝之间具有不可忽略的接触电阻  $R_1$  和  $R_2$ , 大小未知。

### 一、实验要求

1、用提供的实验器材, 测量微安表的内阻  $R_i$ ; 画出电路图 (2 分), 写出实验步骤 (2 分), 列出计算公式 (1 分), 记录测量数据 (0.8 分), 测出待测的量 (2.2 分);

2、用提供的实验器材, 测量电桥金属丝电阻率; 测量金属丝直径并估计其不确定度 (4 分), 画出电路图 (2 分), 写出实验步骤 (2 分), 列出计算公式 (2 分), 记录测量数据 (0.8 分), 测出电阻率 (3.2 分);

3、用提供的实验器材, 测量甲种电池的电动势; 画出电路图 (1 分), 写出实验步骤 (2 分), 列出计算公式 (2 分), 记录测量数据 (0.7 分), 测出待测的量 (2.3 分)。

### 二、实验设备

- 1、微安表 1 只;
- 2、滑线式电桥 1 只;
- 3、甲种电池 1 只;
- 4、电阻箱 1 个;
- 5、滑动变阻器 1 个;
- 6、单刀单掷开关、单刀双掷开关各 1 个;
- 7、螺旋测微器 1 个;
- 8、连接导线若干。

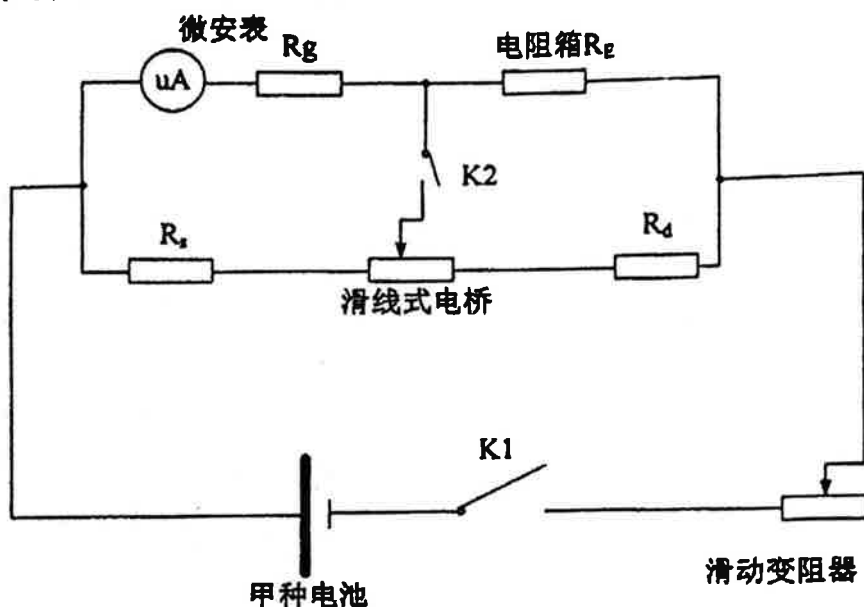
注:

- 1、评分建议作为参考, 解释权归阅卷组;
- 2、每个得分点, 扣完为止, 不倒扣分 (提示卡除外);
- 3、使用提示卡者, 电学实验总分若出现负分, 自动归零。

一、画出设计电路图, 组装电路, 测量微安表的内阻  $R_i$  (本部分 8 分)

### 参考解法：使用电桥法

1、画出电路原理图，写出实验步骤，列出计算公式。(5分)  
画出设计的电路图(2分)：



其中 K1, K2 为开关

注：其中滑动变阻器采用分压连接亦可。

写出实验步骤(2分)：

由于  $R_s$  和  $R_d$  的影响，需要使用交换测量法，利用开关作为示零器。滑动变阻器用于限流(或分压)， $R_E$  为电阻箱的阻值。

① 调节  $R_E$ ，电桥平衡时，记录阻值为  $R_{E1}$ ；

② 交换电阻箱和微安表的位置，在同一刻度处，调节电阻箱阻值，电桥平衡时，记录阻值为  $R_{E2}$ ；

③ 使用开关作为示零器，当闭合、断开开关 K2 时，微安表读数不变，视为电桥平衡。

列出计算公式(1分)：

$$\frac{R_{E1}}{R_g} = \frac{R_g}{R_{E2}}$$

$$R_g = \sqrt{R_{E1} R_{E2}}$$

2、记录测试数据，并计算出微安表的内阻；(3分)

记录数据参考

测量次数	$R_{E1}$ (k $\Omega$ )	$R_{E2}$ (k $\Omega$ )	$R_g$ (k $\Omega$ )
1	3.57	0.610	1.476
2	2.32	0.940	1.477
3	1.56	1.39	1.472
4	1.06	2.05	1.474
5	0.702	3.10	1.475

**测量结果**

$R_g = 1.475 \pm 0.001 \text{ k}\Omega$

或  $R_g = 1.48 \pm 0.01 \text{ k}\Omega$

使用其他方法，只要原理正确、描述详细、结果正确均可。

**二. 画出设计电路图，组装电路，测量电桥金属丝的电阻率（本部分 14 分）。**

（补充：可使用本部分中的电路测出  $R_{total}$  的值，在下一部分中需要使用， $R_{total}$  测量不计分数， $R_{total} = R(100) + R_f + R_s$ ）

**1、测量电桥金属丝的直径并估计其不确定度（4分）**

数据记录参考：

$d_0 = 0.008 \text{ mm}$

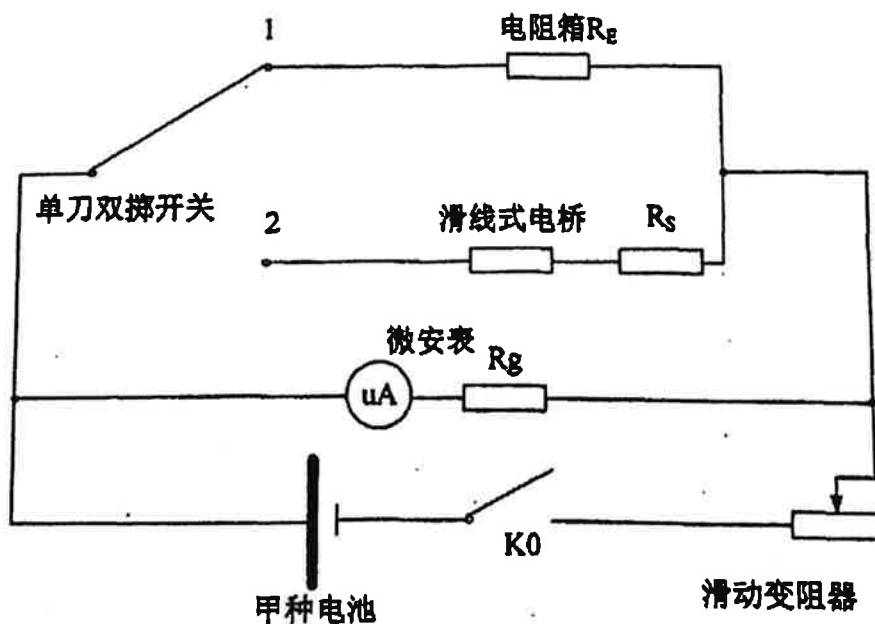
测量次数	1	2	3	4	5	6
直径（毫米）	0.512	0.512	0.510	0.511	0.507	0.499

测量结果：

$d = 0.501 \pm 0.002 \text{ (mm)}$

**2、画出电路原理图，写出实验步骤，列出计算公式（6分）**

画出设计的电路图（2分）：



其中 K0 为开关

写出实验步骤 (2分):

- ①把电桥的滑动点置于不同的  $L$  处, 计入接触电阻  $R_s$ , 则接入电路的电阻为  $R(L)+R_s$ ;
- ②利用单刀双掷开关, 调节电阻箱  $R_E$  的值, 替代法测量电桥电阻  $R(L)+R_s$ ; 把单刀双掷开关分别打到 1, 2 上, 连通电阻箱, 调节电阻箱的值, 使读数与连通电桥时在同一位置, 则有  $R_E=R(L)+R_s$ .

列出计算公式 (2分):

板式电桥的电阻  $R=R_s+R(L)$  与长度  $L$ , 电阻率  $\rho$ , 直径  $d$  的关系为

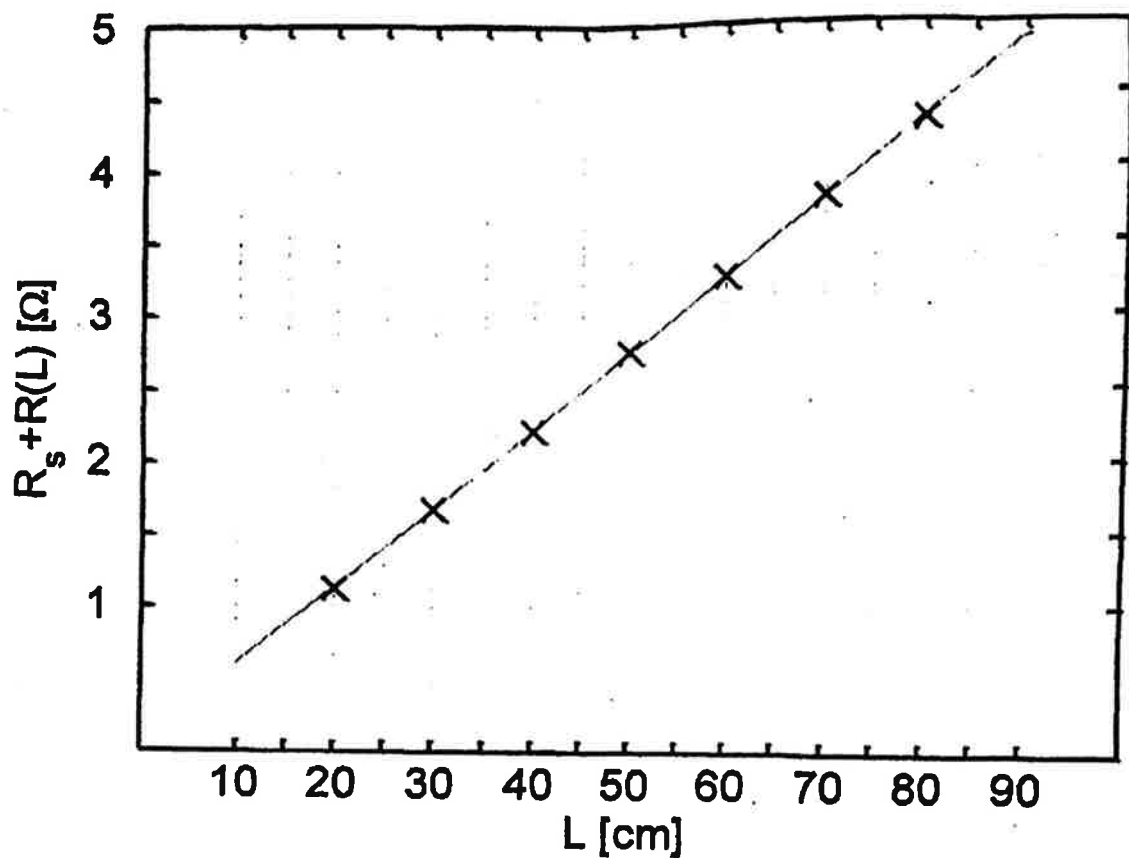
$$R - R_s = R(L) = \frac{L\rho}{S} = \frac{4\rho L}{\pi d^2}$$

$$\text{令 } a = \frac{R(L)}{L} = \frac{4\rho}{\pi d^2}, \text{ 则 } \rho = \frac{\pi a d^2}{4} = \frac{\pi d^2}{4} \frac{R(L)}{L}$$

2、记录测试数据, 并计算出电桥金属丝的电阻率。(4分)

测量数据记录参考:

测量次数/点数	$L$ (cm)	$R(L)+R_s$ ( $\Omega$ )
1	20.0	1.13
2	30.0	1.68
3	40.0	2.21
4	50.0	2.76
5	60.0	3.29
6	70.0	3.83
7	80.0	4.34



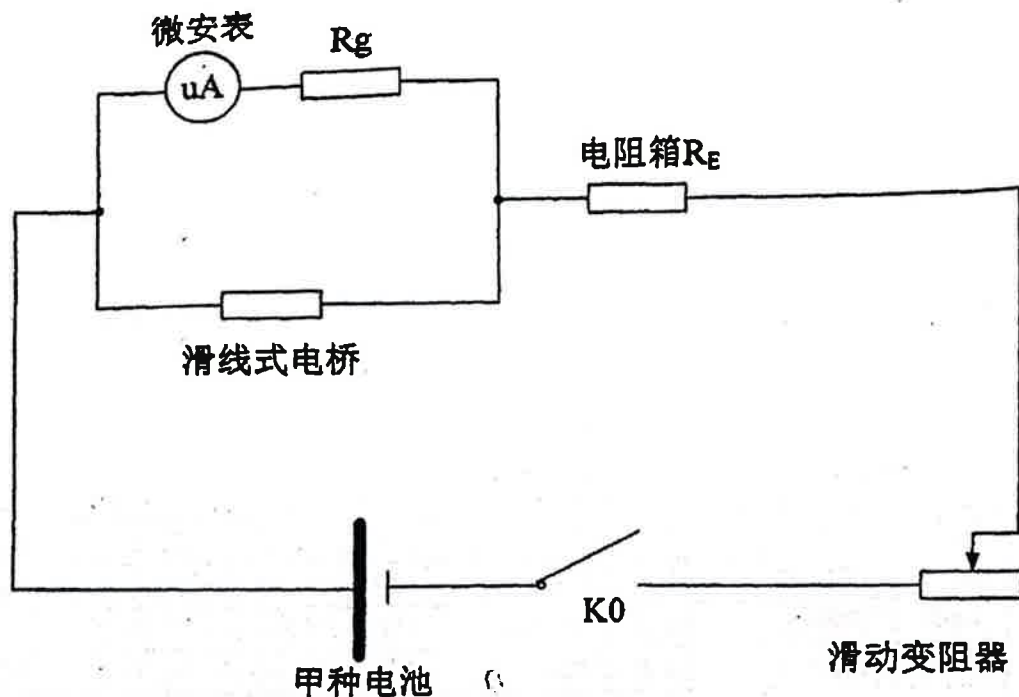
测量结果:

$$\rho = 1.09 \times 10^{-6} \Omega \cdot m$$

三. 画出设计电路图, 组装电路, 测量甲种电池的电动势 (本部分 8 分)。

1、画出电路原理图, 写出实验步骤, 列出计算公式 (5 分)

画出设计的电路图 (1 分):



其中 K0 为开关

写出实验步骤 (2分):

①把电源、滑动变阻器、开关等效为一个电源, 内阻为  $R_r$ , 电动势为  $E$ ;

②记电桥的整个电阻为  $R_{total}$ , 把微安表和电桥并联, 视为一个等效电流表, 内阻为  $R_g \parallel R_{total}$ ,

当读取电流为  $I_{read}$  时, 电流值为  $I_{read} \frac{(R_{total} + R_g)}{R_{total}}$ , 其中  $R_{total}$  可以用前述替换法得到;

③调节电阻箱  $R_E$  为  $R_{Ei}$  ( $i=1, 2, \dots$ ) 记等效微安表的电流读数为  $I_i$  ( $i=1, 2, \dots$ ). 每两组数据联立求解, 得到电源电动势。

列出计算公式 (2分):

$$E = \frac{I_1 I_2 (R_{E1} - R_{E2}) (R_{total} + R_g)}{(I_2 - I_1) R_{total}}$$

使用其他方法, 只要原理正确、描述详细、结果正确均可。

2、记录测试数据, 并计算出待测甲种电池的电动势。(3分)

测量数据记录:

测量次数	微安表读数 ( $\mu A$ )	电阻箱读数 ( $\Omega$ )
1	30.0	124
2	38.0	84.9

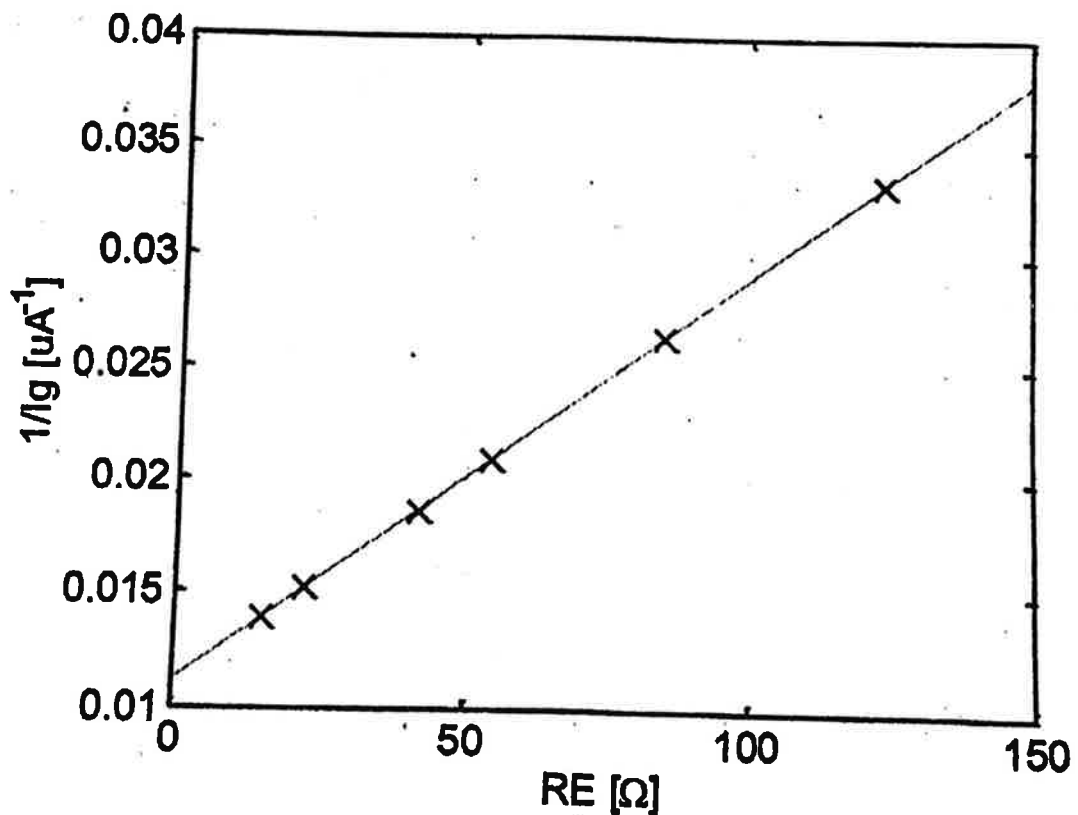
3	48.0	54.2
4	54.0	41.6
5	66.0	22.3
6	72.0	15.1

数据分组	计算结果(V)
1, 4	1.500
2, 5	1.512
3, 6	1.518

测量结果:

$$E = 1.510 \pm 0.004 \text{ V}$$

采用作图法或最小二乘法:



记图中斜率为  $a$ , 则  $E = (R_g + R_{total}) / (R_{total} * a)$ , 从图中得出  $a = 0.000179 \mu\text{V}^{-1}$   
从而  $E = 1.51 \text{ V}$ .

5.4

5.1