

# 南昌大学物理实验报告

课程名称: 普通物理实验 (2)

实验名称: 电子束的偏转与聚焦现象

学院: 理学院 专业班级: 应用物理学 152 班

学生姓名: 马文青 学号: 5502215035

实验地点: 基础实验大楼 B213 座位号: 21

实验时间: 第 2、3 周 星期五 下午 13:50 开始

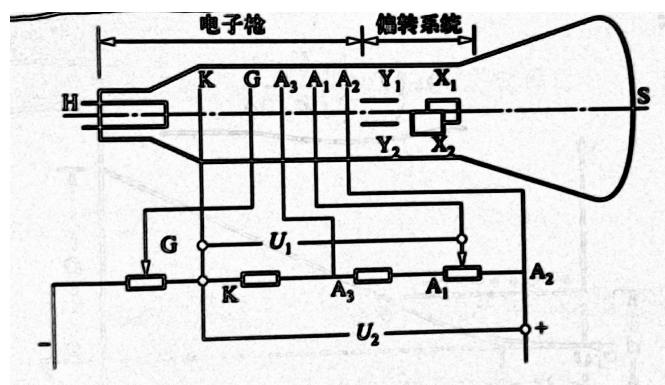
## 一、实验目的：

- 1、了解示波管的构造和工作原理。
- 2、定量分析电子束在匀强电场作用下的偏转情况和在均匀磁场作用下的偏转情况。
- 3、学会规范使用数字多用表。
- 4、学会磁聚焦法测量电子比荷的方法。

## 二、实验原理：

### 1、示波管的结构

示波管的构造如下图所示，主要包括三个部分：前端是荧光屏（S，其用来将电子束的动能转变为光），中间为偏转系统（Y：垂直偏转板，X：水平偏转板），后端为电子枪（K：阴极，G：栅级， $A_1$ ：聚焦阳极， $A_2$ ：第二阳极， $A_3$ ：前加速阳极）。灯丝H用6.3V交流电供电，其作用是将阴极加热，使阴极发射电子，电子受阳极的作用而加速。



### 2、电聚焦原理

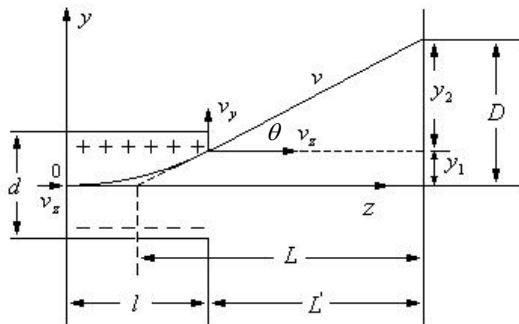
电子射线束的聚焦是电子束管必须解决的问题。调节栅极电压的高低可以控制射向荧光屏的电子数，从而控制荧光屏上的辉度。当栅极上的电压负到一定程度时，可使电子射线截止，辉度为零。且改变电极间的电压分布，可以改变等势面的弯曲程度，从而达到电子束的聚焦。

### 3、电偏转原理

电子沿Z轴运动的速度 $v_z$ 与第二阳极 $A_2$ 的电压 $U_2$ 的平方根成正比，即

$$v_z = \sqrt{\frac{2e}{m} U_2}$$

若在电子运动的垂直方向加一横向电场，电子在该电场作用下将发生如下图的横向偏转：



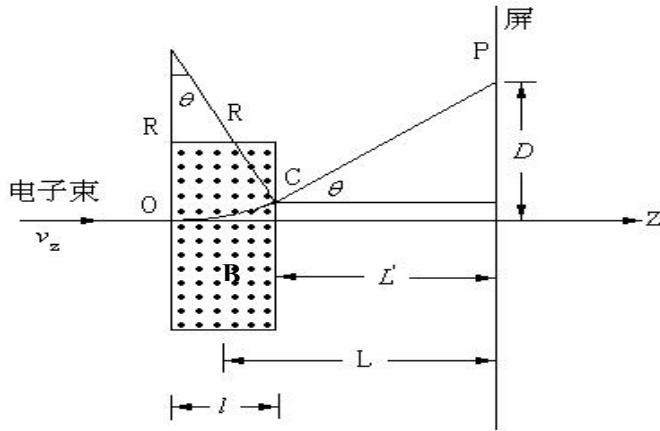
若偏转板板长为l、偏转板末端到屏的距离为L、偏转电极间距离为d、轴向加速电压（即第二阳极 $A_2$ 电压）为 $U_2$ ，横向偏转电压为 $U_d$ ，则荧光屏上光点的横向偏转量D由下式给出：

$$D = \left(L + \frac{l}{2}\right) \frac{U_d}{U_2} \frac{l}{2d}$$

由此可知，当  $U_2$  不变时，偏转量 D 随  $U_d$  的增加而线性增加。所以，根据屏上光点位移与偏转电压的线性关系，可以将示波管做成测量电压的工具。若改变加速电压  $U_2$ ，适当调节  $U_1$  到最佳聚焦，可以测定  $D-U_d$  直线斜率随  $U_2$  改变的变化情况。

#### 4、磁偏转原理

电子通过  $A_2$  后，若在垂直 z 轴的 x 方向外加一个均匀磁场，那么以速度  $v$  飞越的电子在 y 方向上也会发生偏转，如下图所示



$$R = \frac{mv_z}{eB}$$

在偏转角较小的情况下，近似地有

$$\tan \theta = \frac{l}{R} \approx \frac{D}{L}$$

式中 l 为磁场宽度，D 为电子在荧光屏上亮点的偏转量（忽略荧光屏的微小弯曲），L 为从横向磁场中心到荧光屏的距离。

由此可得偏转量 D 与外加磁场 B、加速电压  $U_2$  等的关系为

$$D = lBL \sqrt{\frac{e}{2mU_2}}$$

实验中的外加横向磁场由一对载流线圈产生，其大小为

$$B = K\mu_0 nI$$

式中  $\mu_0$  为真空中的磁导率，n 为单位长度线圈的匝数，I 为线圈中的励磁电流，K 为线圈产生磁场公式的修正系数 ( $0 < K \leq 1$ )。

由此可得偏转量 D 与励磁电流 I、加速电压  $U_2$  等的关系为

$$D = K\mu_0 n I L \sqrt{\frac{e}{2mU_2}}$$

当励磁电流 I (即外加磁场 B) 确定时, 电子束在横向磁场中的偏转量 D 与加速电压  $U_2$  的平方根成反比。

### 5、磁聚焦和电子比荷的测量原理

本实验采用磁聚焦法测定电子比荷。

当示波管放置在一个通电螺旋管内时, 沿示波管轴线方向将有一均匀分布的磁场, 电子运动方向与磁场平行, 因此磁场对电子运动不产生影响, 电子流的轴向速率为

$$v_{//} = \sqrt{\frac{2eU_2}{m}}$$

式中 e、m 分别为电子的电荷量绝对值和质量。若在一对偏转板 Y 上加一个幅值不大的突变电压, 则电子流通过 Y 后就获得一个与管轴垂直的速度分量  $v_{\perp}$ 。不考虑  $v_{//}$ , 电子的旋转周期与轨道半径及速率  $v_{\perp}$  无关; 再考虑  $v_{//}$ , 电子的运动轨迹应为一螺旋线。

在一个周期内, 电子前进的距离 (称螺距) 为

$$h = v_{//} T = \frac{2\pi}{B} \sqrt{\frac{2mU_2}{e}}$$

磁聚焦的基本原理: 电子在做螺旋运动时, 它们从同一点出发, 尽管各个电子的各不相同, 但经过一个周期以后它们又会在距离出发点相距一个螺距的地方重新相遇。

由上式进而得到

$$\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 U_2}{h^2 B^2}$$

长直螺线管的磁感应强度 B, 可以由下式计算:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{\sqrt{L^2 + D^2}}$$

综合可得

$$\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 U_2 (L^2 D^2)}{(\mu_0 N h)^2}$$

或简写为

$$\frac{e}{m} = k \frac{U_2}{I^2}$$

本实验使用的电子束试验仪,  $k = 4.8527 \times 10^8$ 。

### 三、实验仪器:

EB-III 电子束试验仪、直流稳压电源 (30V, 2A)、数字多用表。

### 四、实验内容和步骤:

1、开启电子束试验仪电源开关

将“电子束-比荷”选择开关打向“电子束”位置, 面板上一切可调旋钮都旋至中部, 此时在荧光屏上能看到一亮斑, 适当调节辉度, 并调节聚焦, 使屏上光点聚成一圆点。

注意：光点不要太亮，以免烧坏荧光屏。

## 2、光点调零

X 轴调节 调节“X 轴调节”和“X 轴调零”旋钮，使光点位于 X 轴的中心原点，且左、右偏转的最大距离都接近于满格。

Y 轴调节 用数字多用表直流电压档接于“Y 偏电压表”+、-两端，缓慢调节“Y 轴调节”旋钮使数字多用表的读数为零，然后调节“Y 轴调零”旋钮使光点位于 Y 轴的中心原点。

注意：此步骤调完后，在测电偏转灵敏度 ( $D/U_d$ ) 时，“Y 轴调零”不能再动。

## 3、测量偏转量 D 随偏转电压 $U_d$ 的变化

调节阳极电压旋钮，取定阳极电压  $U_2=700V$ ，用数字多用表电压档分别测出  $D=\pm 5, \pm 10, \pm 15, \pm 20mm$  时的  $U_d$  值，并列表记录。再取  $U_2=900V$ ，重复前面的测量。

## 4、测量偏转量 D 随磁偏电流 I 的变化

使光点回到 Y 轴的中心原点，取  $U_2=700V$ ，用数字多用表的 mA 档测量磁偏电流 I。列表记录  $D=5, 10, 15, 20mm$  时的磁偏电流值，然后改变磁偏电流方向，再测  $D=-5, -10, -15, -20mm$  时的磁偏电流值。再取  $U_2=900V$ ，重复前面的测量。

## 5、电子比荷大小的测量

把直流稳压电源的输出端接到励磁电流的接线柱上，电流值调到零。将“电子束-比荷”开关置于“比荷”位置，此时荧光屏上出现一条直线，阳极电压调到 700V。此时若线较暗，则可将“辉度”旋钮顺时针增大至刚好能看清竖直亮线为止；再增大“阳极电压”至 1000V 位置。若能达到 1000V 位置，则可固定“辉度”旋钮，开始正式测量。若不能到达则需适当调暗辉度，以便能达到 1000V。

注意：正式开始测量时，“辉度”旋钮应固定不动。

(1) 开始测量，逐渐加大励磁电流使荧光屏上的直线一边旋转一边缩短，直到变成一个小亮点。读取电流值，然后将电流调回零。再将电流换向开关扳到另一方，重新从零开始增加电流使屏上直线反方向旋转缩短，直到再得到一个小亮点，读取电流值。取其平均值，以消除地磁等的影响。

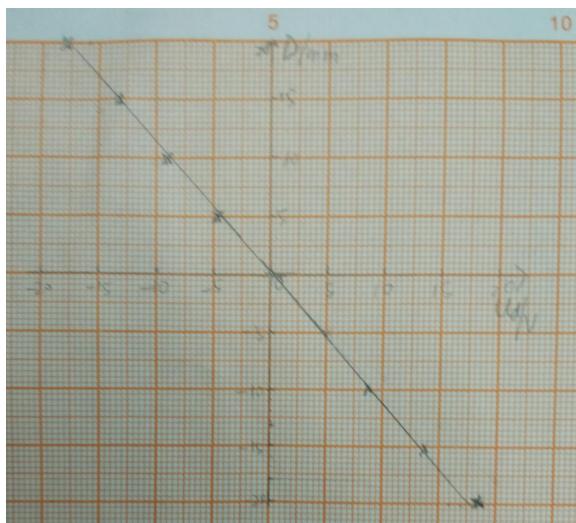
(2) 改变阳极电压 (800V、900V、1000V)，重复上述步骤。

## 五、实验数据与处理：

### 1、电偏转

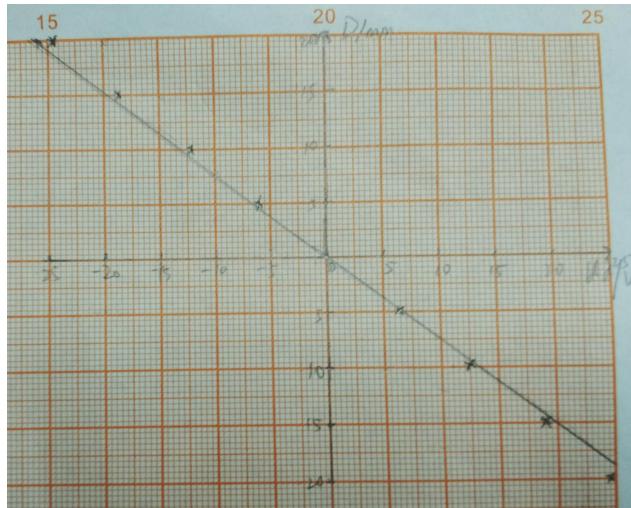
	$U_d$	-18.01	-13.36	-9.10	-4.89	0	5.04	8.85	13.79	18.74
	D	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20
$900V$	$U_d$	-24.65	-18.87	-12.29	-6.16	0	6.65	12.57	19.01	24.74
	D	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20

(1) 当阳极电压为 700V 时，有



由图可知斜率  $k \approx -1.12676 \text{ mm/V}$

(2) 当阳极电压为 900V 时, 有



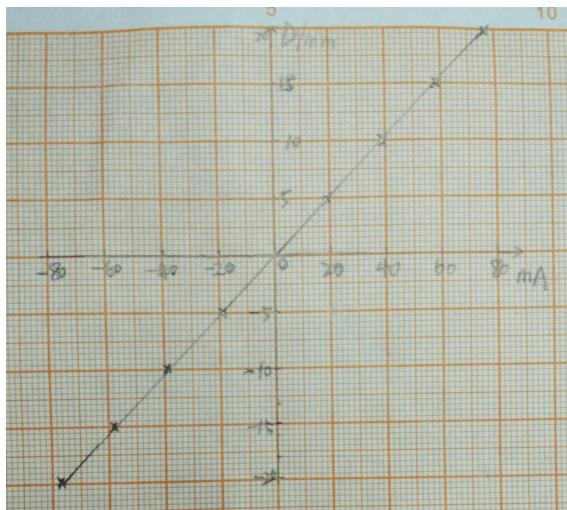
由图可知斜率  $k \approx -0.82609 \text{ mm/V}$

根据 (1)(2) 可得, 阳极电压越高, 曲线斜率的绝对值就越小。由此可推测阳极电压越大, 电偏转灵敏度越高。

## 2、磁偏转

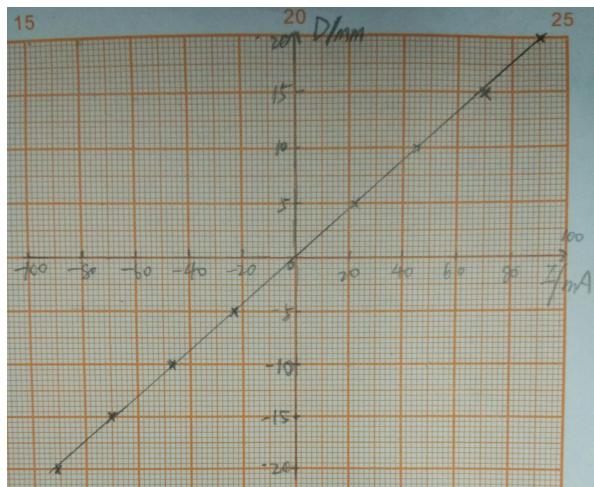
700V	I	76.4	58.3	39.4	18.72	0	18.60	39.6	58.3	77.2
	D	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20
900V	I	89.4	70.0	46.3	21.87	0	23.47	47.0	70.3	91.4
	D	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20

(1) 当阳极电压为 700V 时, 有



由图可知斜率  $k \approx 0.26143 \text{ mm/mA}$

(2) 当阳极电压为 900V 时, 有



由图可知斜率  $k \approx 0.21882 \text{ mm/mA}$

根据(1)(2)可得，阳极电压越高，曲线斜率越小。由式  $D = K\mu_0 n I L \sqrt{\frac{e}{2mU_2}}$  知  $D/I \propto \sqrt{\frac{1}{U_2}}$ ，因此  $U_2$  不

同， $D/I$  也不同

### 3、电子比荷

电压 电流	700V	800V	900V	1000V
$I_{正}$	1.47	1.60	1.73	1.78
$I_{反}$	1.48	1.63	1.71	1.77
$\bar{I}$	1.475	1.615	1.720	1.775
$e/m$	$1.561340 \times 10^{11}$	$1.488429 \times 10^{11}$	$1.476281 \times 10^{11}$	$1.540234 \times 10^{11}$
$\bar{e}/m$	$1.516571 \times 10^{11}$		$\bar{\varepsilon}(\%)$	15.12%

## 六、误差分析：

- 1、仪器使用时间过长，本身就存在系统误差。
- 2、仪器中的螺线管产生的磁场本身不是理想磁场，而我们处理时则将其当成匀强磁场处理。
- 3、地磁场以及周围其他电器产生的磁场也会对实验有所影响。
- 4、观察荧光屏上点的位置时，观察的角度也会对实验产生较大的影响。
- 5、测量电子比荷时“开始测量，逐渐加大励磁电流使荧光屏上的直线一边旋转一边缩短，直到变成一个小亮点。”中，每个人对亮点大小的标准是不同的，这一步极易受实验者的主观意识影响。
- 6、数字多用表非常灵敏，示数经常处于变动状态，因此电表读数易产生误差。

## 七、思考题：

1、为什么在接入万用表之前转动磁偏调节光点不会移动，而转动 Y 轴调节光点会上下移动？

因为数字多用表的 mA 档测量磁偏电流时插入磁偏电流的孔，相当于接入了导线，使仪器内产生磁场的电路变为通路，这时候，调节磁偏调节旋钮就会对磁场产生影响，使光点移动。而之前万用电表 V 档测时，数字多用表接在“Y 偏电压表”+、-两端，产生磁场的电路断开，不产生磁场，所以调节磁偏调节旋钮时光点不会移动。

2、测  $e/m$  时，屏上为什么是一直线？

“电子束-比荷”开关打到“比荷”位置时，会有一对偏转电极连接交流电信号，使电子在不同时刻竖直方向发生的偏移不同，最终电子打在荧光屏上呈一直线。

## 八、实验总结：

本次实验是我第一次进行的设计实验，不同于以往所做的实验，设计实验更多的是由我们自己去摸索着完成。本次实验主要内容是对荧光屏上电子行为的观察与记录，通过所得数据来分析阳极电压与电偏转灵敏度和磁偏转灵敏度的关系。同时在第三个实验中通过改变阳极电压和调节荧光线聚成光点求到的数据来间接求得电子比荷。在实验中，对光点位置和大小的观察成为了影响实验结果的最大因素，使实验结果与理论值相差较大，今后的实验中应吸取此次实验的教训，让实验的结果更加精确。

## 九、附上原始数据：

 南昌大学物理实验报告

学生姓名：马文青 学号：1502215035 专业班级：应用物理学 班级编号：152班  
实验时间：13 时 5 分 第 3 周 星期 五 座位号：101 教师编号： 成绩：  
**实验数据** T011

**1. 电偏转**

	700V	Ud	-18.01	-13.36	-9.10	-4.89	0	-5.04	-8.85	-13.79	-18.74
D	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20		
	900V	Ud	-24.65	-18.87	-12.29	-6.16	0	-6.65	-12.57	-19.01	-24.74
D	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20		

**2. 磁偏转**

	700V	I	76.4	83	39.4	18.72	0	-18.60	-39.6	-58.3	-77.2
D	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20		
	900V	I	89.4	70.0	46.3	21.87	0	-23.47	-47.0	-70.3	-91.4
D	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20		

**3. 电子比荷**

	电压	700V	800V	900V	1000V
电流		1.47			
I <sub>正</sub>		<del>1.47</del>	1.60	1.73	1.78
I <sub>反</sub>		1.48	<del>1.48</del>	1.63	1.71
I					1.77