

南昌大学物理实验报告

课程名称： 大学物理实验

实验名称： 电子束的偏转与聚焦

学院： 信息工程学院 专业班级： 自动化 153

学生姓名： 廖俊智 学号： 6101215073

实验地点： 基础实验楼 B 区 座位号： 17

实验时间： 第 3 周周四 9:45

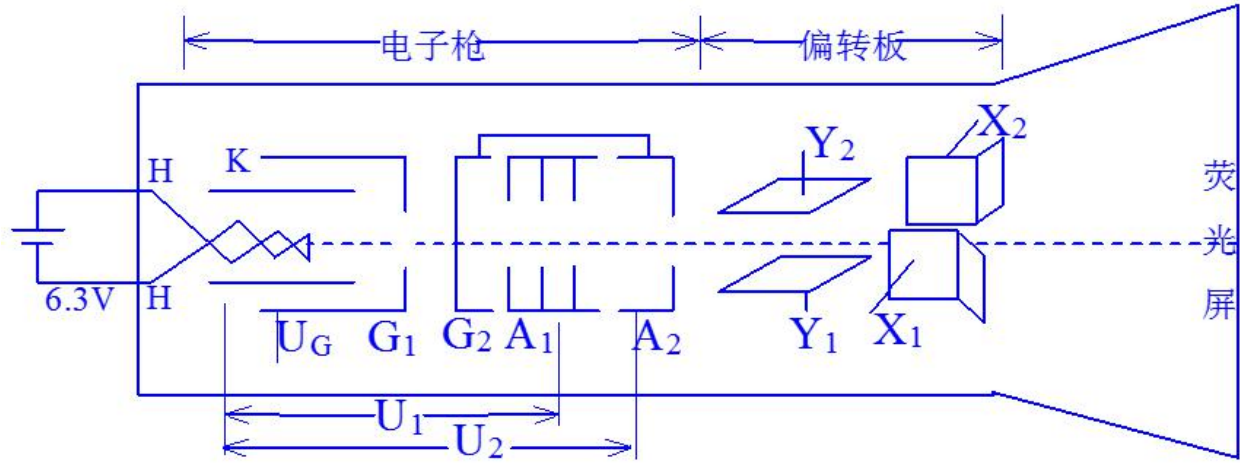
一、实验目的：

- 1、了解示波管的基本结构和工作原理；
- 2、研究带电粒子在电场和磁场中偏转的规律；
- 3、学会规范使用数字万用表；
- 4、通过磁聚焦原理测量电子的荷质比

二、实验原理：

1、示波管的基本结构

示波管的基本结构及原理图



- | | | |
|------------------|------------------|----------------|
| H — 钨丝的热电极 | K — 阴极 | G_1 — 控制栅极 |
| A_1 — 第一加速阳极 | G_2 — 加速栅级 | A_2 — 第二加速阳极 |
| X_1X_2 — 水平偏转板 | Y_1Y_2 — 垂直偏转板 | |

阳极电压 U_2 ：改变电子束的加速电压的大小。

聚焦电压 U_1 ：用以调节聚焦极 A_1 上的电压以调节电极附近区域的电场分布，从而调节电子束的聚焦和散焦。

栅极电压 U_G （辉度）：用以调节加在示波管控制栅极上的电压大小，以控制阴极发射的电子数量，从而控制荧光屏上光点的辉度。

U_{ax} 偏转电压调节：-80V~80V。

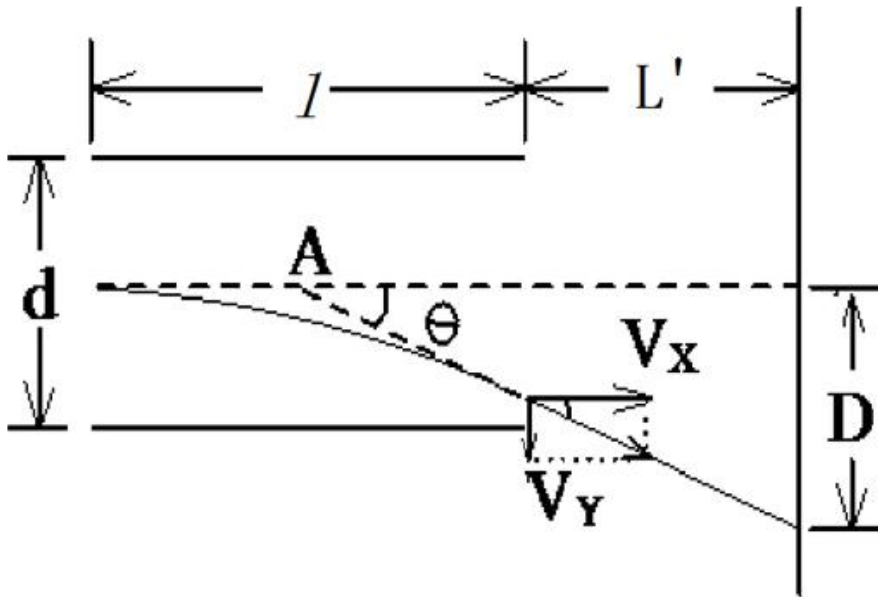
调零 X：用来调节光点水平距离。

U_{ay} 偏转电压调节：-80~80V。

调零 Y：用来调节光点上下距离。

2、电偏转

电子在均匀电场中以从平行于板的方向进入电场，在电场力的作用下，在方向（垂直方向）产生偏离位移。



——偏转电压（平行板间电位差）

——板间距离

——板长

电子离开电场后不受电场力作用，将作匀速直线运动，等效直接从 A 点（板中点位置）直接射出（如图 b 所示），

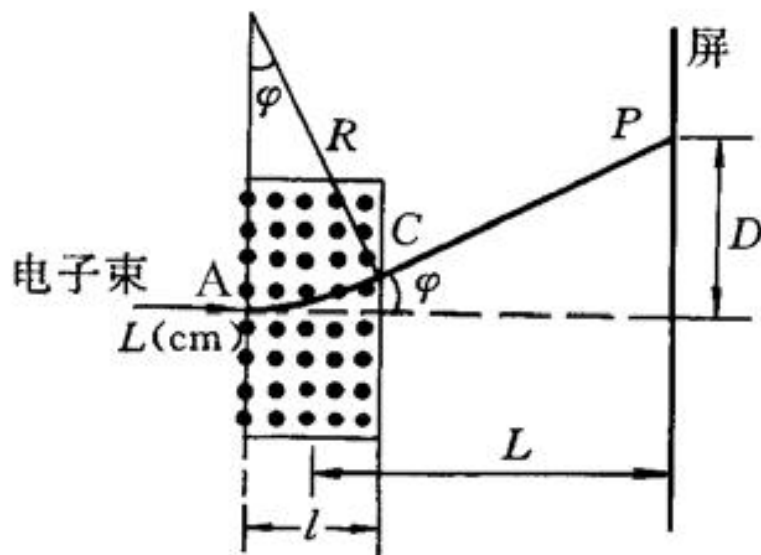
$$\text{故 } D = \left(\frac{l}{2} + L' \right) \tan \theta = \left(\frac{l}{2} + L' \right) \frac{v_y}{v_x} = \left(\frac{l}{2} + L' \right) \cdot \frac{\frac{eU}{md} \left(\frac{L}{v_0} \right)}{v_0} = \left(\frac{l}{2} + L' \right) \frac{eUl}{mdv_0^2}$$

$$\text{令 } \frac{l}{2} + L' = L \quad \text{有} \quad D = \frac{eULl}{mdv_0^2}$$

$$\text{如果加速电压为 } U_2 \text{ 则 } \boxed{eU_2 = \frac{1}{2}mv_0^2} \quad \text{故} \quad D = \frac{ULl}{2U_2d}$$

示波管的 Y 方向电偏转灵敏度: $S_y = \frac{D}{U_y} = \frac{1LU/2U_2d}{U} = \frac{1L}{2dU_2}$ 在 X 方向同理得 $S_x = \frac{D}{U_x} = \frac{1L}{2d_xU_2}$

3、磁偏转



4. 加速场对电子所做的功等于电子动能的增量 $eU_2 = \frac{1}{2}mv_z^2$

电子受洛伦兹力为 $F = ev_zB$

根据洛伦兹力的性质，是一个向心力，则 $ev_zB = m \frac{v_z^2}{R}$

电子偏转的轨道半径为 $R = \frac{mv_z}{eB}$

在偏转角较小时，近似的有 $\tan \varphi = \frac{l}{R} = \frac{D}{L}$

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

由此可得偏转量 D 与外加磁场 B、加速电压 U₂ 等的关系为

实验中的外加横向磁场由一对载流线圈产生，其大小为 $B = K \mu_0 n I$ ，式中 μ_0 为真空中的磁导率，n 为单位长度线圈的匝数，I 为线圈中的激励电流，K 为线圈产生磁场公式的修正系数。

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

由此有

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 U₂ 的平方根成反比。

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

磁偏转灵敏度：

4、磁聚焦

在示波管外套一个同轴的螺线管，当给螺线管通以稳恒直流电时，其内部形成一个轴向磁场。若螺线管足够长，则可认为内部为匀强磁场。

电子进入匀强磁场后，将会以轴向速度作匀速直线运动。同时以径向速度作匀速圆周运动。其合运动是一个螺旋线运动。

由于匀速圆周运动周期与垂直无关。故只要电子的轴向速度相同，经过整数周期后会聚焦于荧光屏上的一点，这就是磁聚焦。

$$h = v_z T = \frac{2\pi m v_z}{Be}$$

电子作螺旋运动的螺距：

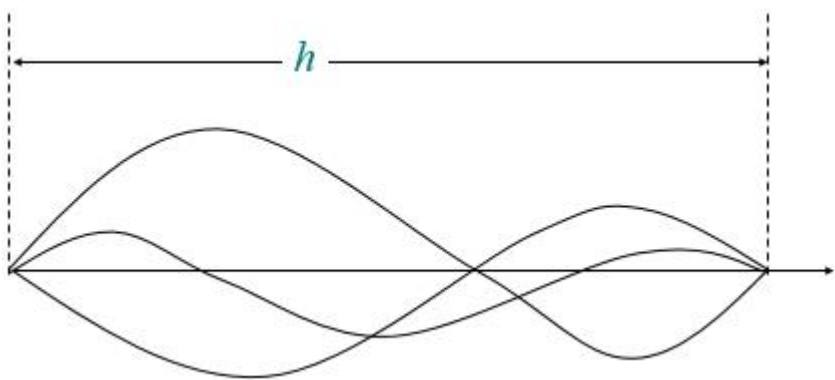
5、电子荷质比的测量

从前面的讨论可知，电子的轴向速度由加速电压决定（电子离开阴极时的初速度相对来说很小，可以忽略），

$$\boxed{\frac{1}{2} m v_z^2 = e U_2} \quad v_z = \sqrt{\frac{2eU_2}{m}}$$

故有 即有

可见电子在匀强磁场中运动时，具有相同的轴向速度，但由于电子发射方向各异，导致径向速度不同。因此他们在磁场中将作半径不同但螺距相同的螺旋运动，经过时间 T 后，在相同的地方聚焦。



调节磁场 B 的大小，使螺距正好等于电子束交叉点到荧光屏的距离 L_0 ，这时荧光屏上的光斑就汇聚成一个小点。

$$L_0 = h = \frac{2\pi m}{eB} v_z = \frac{2\pi m}{eB} \sqrt{\frac{2eU_2}{m}}$$

由于：故电子的荷质比为：

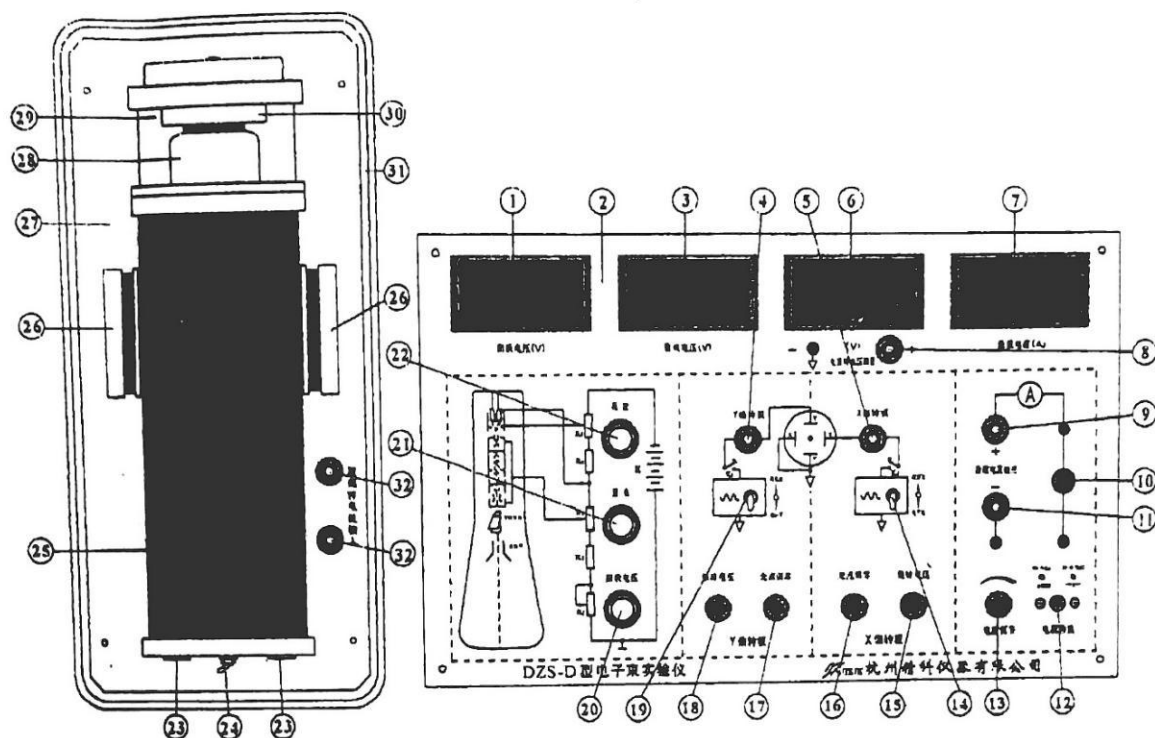
$$\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 U_2}{L_0^2 B^2} = 8\pi^2 \frac{L^2 + D^2}{\mu_0^2 N^2 L_0^2} \cdot \frac{U_2}{I^2} = k \cdot \frac{U_2}{I^2}$$

$$k = 4.8527 \times 10^8$$

三、实验仪器：

DZS-D 电子束实验仪、导线

DZS-D 型电子束实验仪（仪器面板功能分布见下图）



图中：

- 1—阳极电压表 2—实验仪面板 3—聚焦电压表 4—Y 轴偏转极板插座
 5—X 轴偏转极板插座 6—电偏转电压表 7—励磁电流表 8—电偏转电压输入插座
 9、11—励磁电流输出插座 10—保险丝管座 12—磁偏转与磁聚焦电流量程转换按钮
 13—磁偏转与磁聚焦电流调节旋钮 14—电子束与示波器功能转换开关（ K_2 ） 15—电
 子束 X 偏转电压调节 16—电子束 X 轴光点调零 17—电子束 Y 偏转电压调节 18—
 电子束 Y 轴光点调零 19—电子束与示波器功能转换开关（ K_1 ） 20—阳极高压调节
 21—聚焦调节 22—示波管亮度调节 23—磁聚焦电流输入插座 24—磁聚焦电流换
 向开关 25—磁聚焦螺线管 26—磁偏转线圈 27—线圈安装面板 28—示波管
 29—有机玻璃防护罩 30—示波管安装座 31—机箱 32—磁偏转电流输入插座

DZS-D 型电子束实验仪主要参数如下：

螺线管的长度： $L = 0.234\text{m}$ ，螺线管的线圈匝数： $N = 526\text{T}$ ，

螺线管的直径： $D = 0.090\text{m}$ ，螺距：（Y 偏转板至荧光屏距离） $h = 0.145\text{m}$ ，

（X 偏转板至荧光屏距离） $h_x = 0.115\text{m}$ 。

四、实验内容和步骤：

1. 电偏转

(1) 接线图见图 7

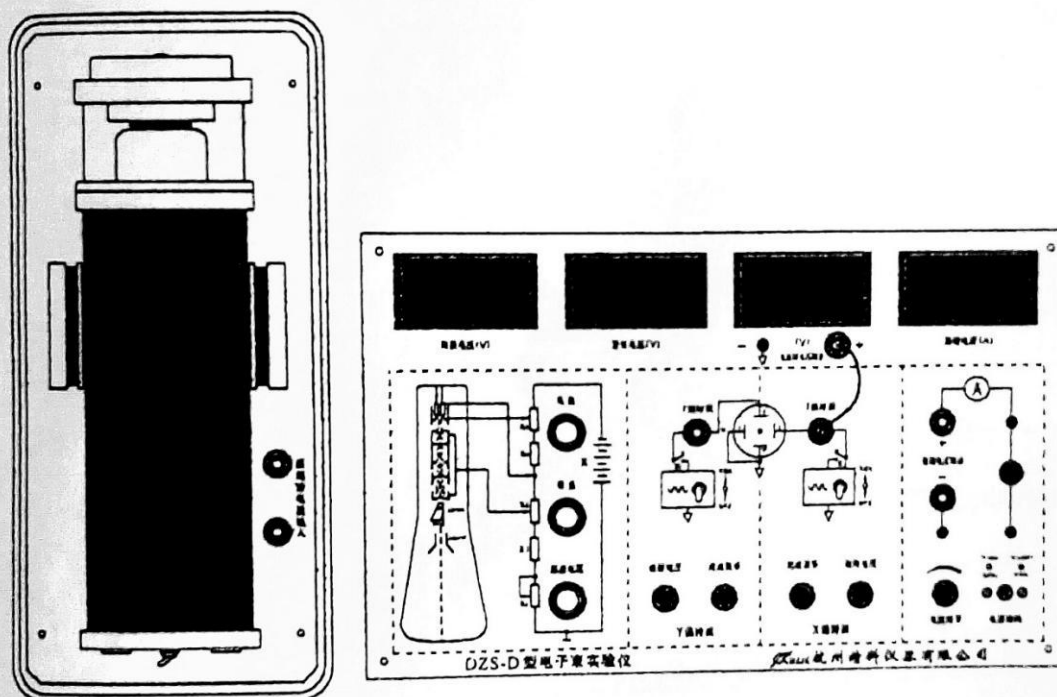


图 7 电偏转实验接线图（仅标出水平偏转接线）

(2) 开启电源开关，将“电子束—荷质比”功能选择开关 K_1 及 K_2 都打到“电子束”位置。适当调节亮度旋钮，使示波管辉度适中，调节聚焦，使示波管显示屏上光点聚成一点，（注意：光点不能太亮，以免烧坏荧光屏。）

(3) 光点调零，如图 7 所示，用导线将 X 偏转板插座与电偏转电压表的输入插座相连接（电源负极内部已连接），调节“X 偏转板”的“偏转电压”旋钮，使电偏转电压表的指示为“零”，再调节“X 偏转板”的“光点调零”旋钮，把光点移动到示波管垂直中线上。

(4) 测量光点移动距离 D 随偏转电压 V_d 大小的变化（X 轴）：调节阳极电压旋钮，使阳极电压固定在 $V_2 = 600V$ 。改变并测量电偏转电压 V_d 值和对应的光点的位移量 D 值，

2. 磁偏转

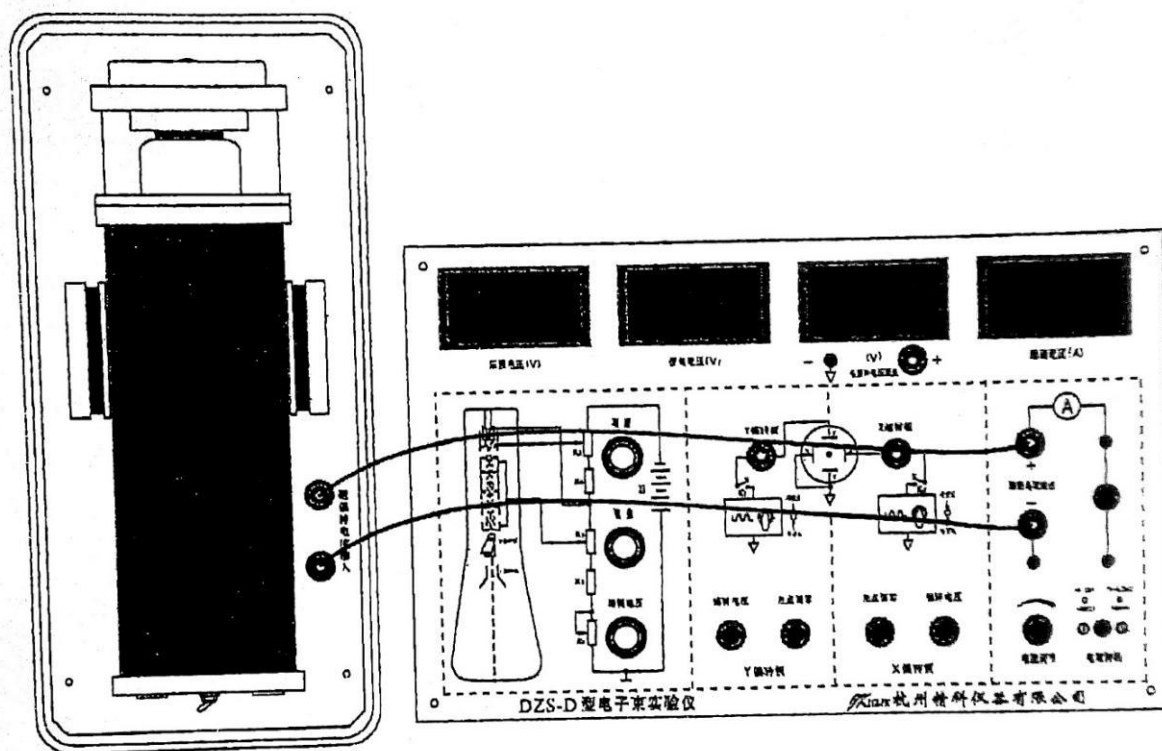


图 8 磁偏转实验接线图

(1) 开启电源开关，将“电子束—荷质比”选择开关 K_1 及 K_2 打向“电子束”位置，适当调节亮度旋钮，使示波管辉度适中，调节聚焦，使示波管显示屏上光点聚成一细点。

(2) 光点调零，在磁偏转输出电流为零时，通过调节“X 偏转”和“Y 偏转”旋钮，使光点位于 Y 轴的中心原点。

(3) 测量偏转量 D 随磁偏电流 I 的变化，给定 $V_2 = 600V$ ，按图 8 所示接线，按下“电流转换”按钮，“0~0.25A”档指示灯亮，调节“电流调节”旋钮（改变磁偏电流的大小），每 10mA 测量一组 D 值，改变 V_2 (700V)，再测一组 $D-I$ 数据，分别记录于表 3-1、3-2 中。

①也可每移动一格(5mm)记录磁偏电流 I 。②电流换何

4. 磁聚焦和电子荷质比的测量：

换接红黑

(1) 按图 9 所示接线

(2) 把主机“励磁电流输出”两插座与螺线管前面板“励磁电流输入”的两插座用导线连接，把“电流调节”旋钮逆时针旋到底。

(3) 开启电子束测试仪电源开关，“电子束—荷质比”转换开关 K_1 置于“荷质比”位

3. 磁聚焦和电子荷质比的测量

置，K₂置于“电子束”位置，此时荧光屏上出现一条直线，把阳极电压调到 700V。

(4) “释放电流转换”按钮，“0~3.5A”档指示灯亮，顺时针转动“电流调节”旋

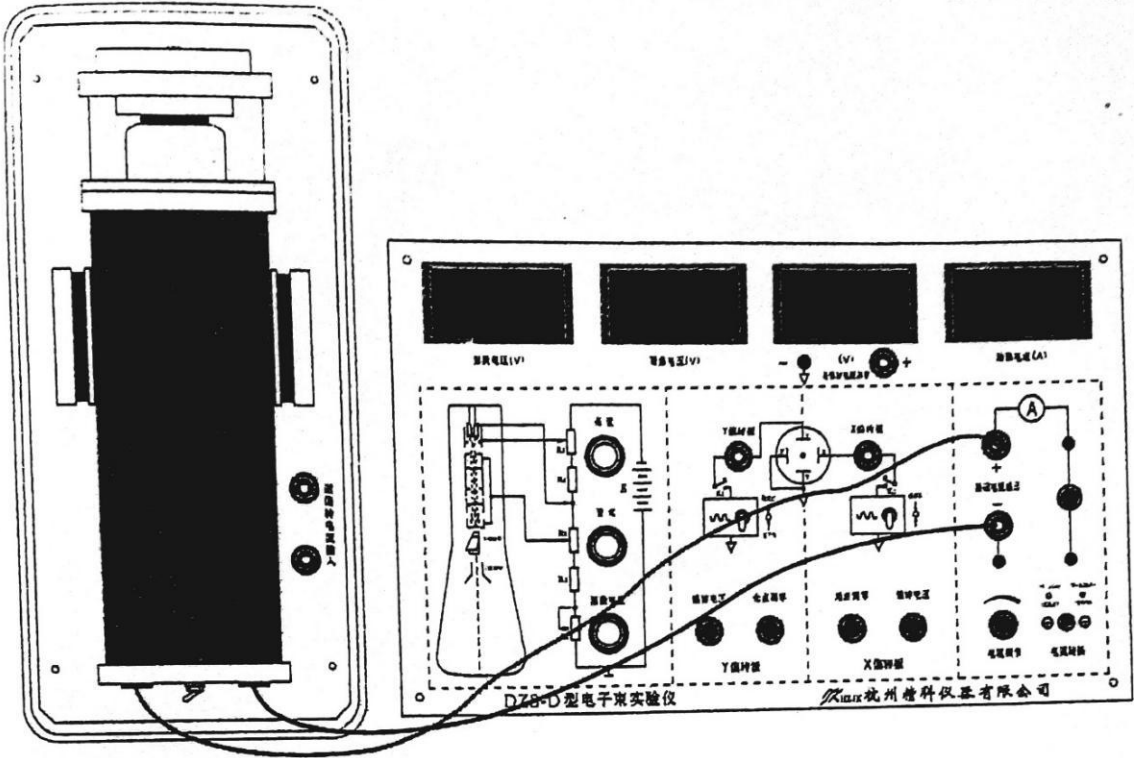


图 9 磁聚焦和电子荷质比的测量接线图

钮，逐渐加大电流使荧光屏上的直线一边旋转一边缩短，直到变成一个小光点。读取电流值，然后将电流值调为零。再将螺线管前面板上的电流换向开关扳到另一方，再从零开始增加电流使屏上的直线反方向旋转并缩短，直到再一次得到一个小光点，读取电流值并记录到表格 4 -1 中。通过计算，求得电子荷质比 e/m 。

(5) 改变阳极电压为 800V，重复步骤 (4)。

(6) 实验结束，请先把励磁电流调节旋钮逆时针旋到底。

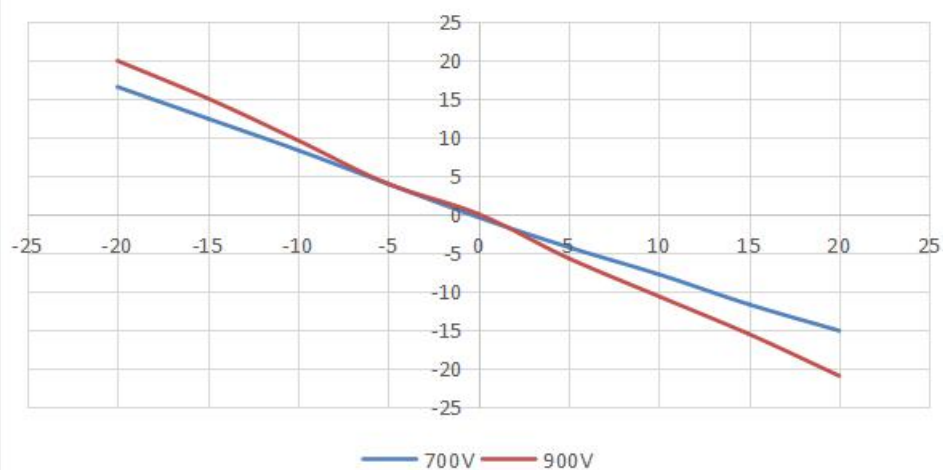
五、实验数据与处理：

1.电偏转

	D	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20
700V	U _d	-15.06	-11.65	-7.75	-4.23	-0.35	3.97	8.35	12.46	16.56
900V	U _d	-20.91	-15.50	-10.6	-5.66	0.074	4.00	9.63	15.07	19.95

灵敏度为 $S_y = \frac{D}{U_y} = \frac{ILU/2U_2d}{U} = \frac{IL}{2dU_2} = 0.54\text{mm/v}$

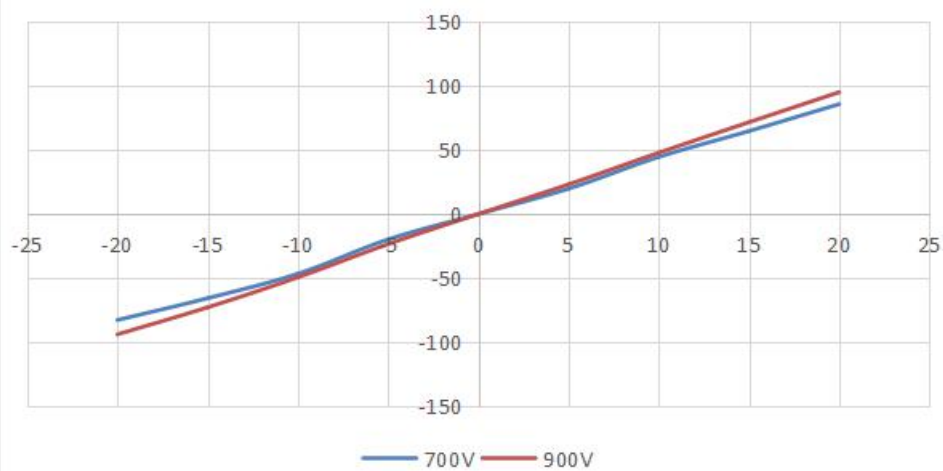
图表标题



2. 磁偏转

	D	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20
700V	I	85.7	64.7	44.5	19.78	0.003	-19.80	-46.5	-65.6	-82.6
900V	I	95.0	71.6	47.8	23.15	0.02	-23.43	-49.3	-72.7	-93.8

图表标题



灵敏度为 $S_m = \frac{D}{I} = K \mu_0 n l L \sqrt{\frac{e}{2mU_2}} = 0.1583$

3. 磁聚焦和电子荷质比的测量

	I 正	I 反
700V	1. 49	1. 40
800V	1. 44	1. 83
900V	1. 61	1. 63
1000V	1. 71	1. 70

$$\frac{e}{m}=\frac{8\pi^2U_2}{L_0^2B^2}=8\pi^2\frac{L^2+D^2}{\mu_0^2N^2L^2}\bullet\frac{U_2}{I^2}=k\bullet\frac{U_2}{I^2}=1.696\times10^{11}\text{ c/kg}$$

六、误差分析

1. 在做电偏转和磁偏转测量实验时，光点的大小易导致读数产生误差。
2. 在做磁聚焦实验时，调节后很难准确判断光点在电流为何值时最小，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 Y 轴调节光点会上下移动？

因为万用电表的 mA 档测量磁偏电流时插入磁偏电流的孔，相当于使产生磁场的电路通路，这时调节磁偏调节光点才动。之前万用电表 V 档测 U_d 时，万用电表接在 X 或 Y 正负两端，产生磁场的电路断开,所以光点不动。

2、测时屏上为什么是一直线？

电子在匀强磁场中运动时，具有相同的轴向速度，但由于电子发射方向各异，导致径向速度不同。因此他们在磁场中将作半径不同但螺距相同的螺线运动，所以屏上是一直线

八、附上原始数据：



南昌大学

NANCHANG UNIVERSITY

700V	V_d	-15.06	-11.65	-7.75	-4.23	-0.35	3.97	8.35	12.46	16.56
	D	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20
900V	V_d	-20.91	-15.50	-10.6	-5.66	0.074	4.00	9.63	15.07	19.75
	D	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20

700V	I	85.7	64.7	44.5	19.78	0.003	19.80	46.5	65.6	82.6
	D	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20
900V	I	95.0	71.6	47.8	23.15	0.002	23.43	49.3	72.7	93.8
	D	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20

	700V	800V	900V	1000V	
I_E	1.49	1.44	1.61	1.71	
I_{CQ}	1.40	1.83	1.63	1.70	

廖俊智 自动化153班 6101215073 座位号17



