

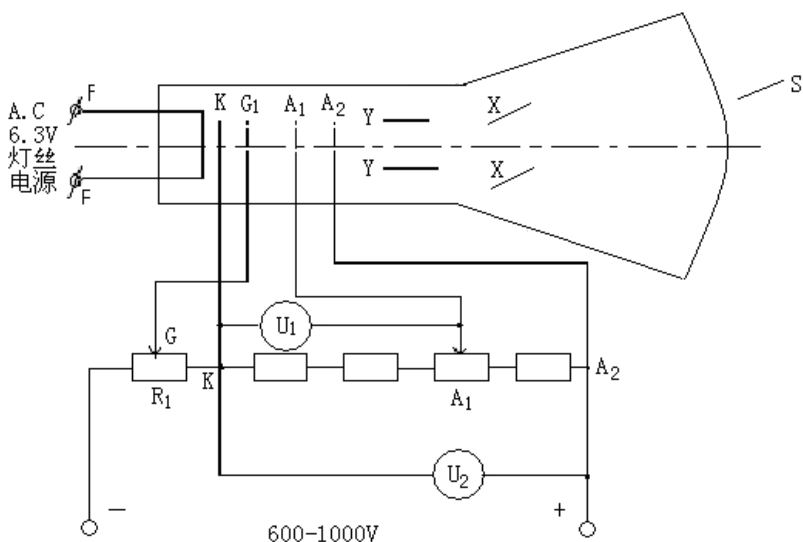
电子束偏转

电子束测试仪用来研究电子在电场、磁场中的运动规律。该仪器采用一体式设计，便于学生操作，五个表头分别显示电偏转电压、磁偏转电流、阳极电压、聚焦电压及磁聚焦电流，性能稳定可靠，结构更加合理。内置电偏转电源、磁偏转电源及磁聚焦电源。不需附加任何仪器，即可完成电偏转、磁偏转、电聚焦、磁聚焦等实验内容。

一、电偏转

1. 原理

在阴极射线管中，如图一所示。



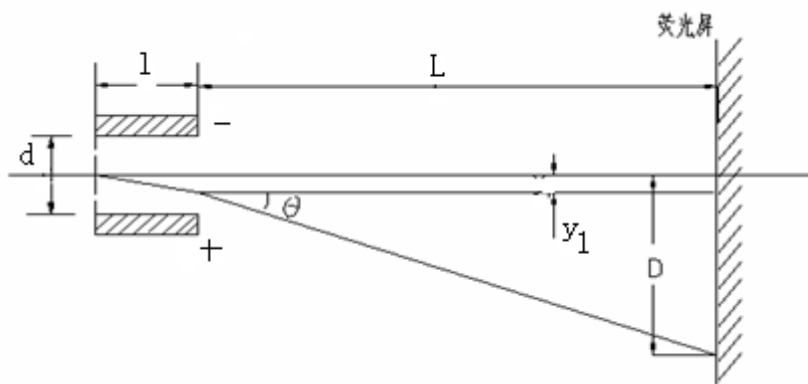
图一

K.阴极 G.栅极 A₁.聚焦阳极 A₂.第二阳极 Y.垂直偏转板 X.水平偏转板 S.荧光屏。由阴极K，控制栅极G，阳极A₁、A₂…组成电子枪。阴极被灯丝加热而发射电子，电子受阳极的作用而加速。

电子从阴极发射出来时，可以认为它的初速度为零。电子枪内阳极A₂相对阴极K具有几百甚至几千伏的加速正电位U₂。它产生的电场使电子沿轴向加速。电子从速度为0到达A₂时速度为v。由能量关系有：

$$\frac{1}{2}mv^2 = eU_2 \quad \text{所以} \quad v = \sqrt{\frac{2eU_2}{m}} \quad (1)$$

过阳极A₂的电子具有v的速度进入两个相对平行的偏转板间。若在两个偏转板上加上电压U_d，两个平行板间距离为d。则平行板间的电场强度 $E = \frac{U_d}{d}$ ，电场强度的方向与电子速度v的方向相互垂直。如图二所示：



图二

设电子的速度方向为Z，电场方向为Y（或X）轴。当电子进入平行板空间时， $t_0=0$ ，电子速度为v，此时有 $v_z=v$ ， $v_y=0$ 。设平行板的长度为l，电子通过l所需的时间为t，则有

$$t = \frac{l}{v_z} = \frac{l}{v} \quad (2)$$

电子在平行板间受电场力的作用，电子在与电场平行的方向产生的加速度为 $a_y = \frac{-eE}{m}$ 。其中e为电子的电量，m为电子的质量。负号表示 A_y 方向与电场方向相反。当电子射出平行板时，在y方向电子偏离轴的距离

$$y_1 = \frac{1}{2} a_y t^2 = \frac{1}{2} \frac{eE}{m} t^2 \quad \text{将 } t = \frac{l}{v} \text{ 代入得}$$

$$y_1 = \frac{1}{2} \frac{eE}{m} \frac{l^2}{v^2}, \quad \text{再将 } v = \sqrt{\frac{2eU_2}{m}} \text{ 代入得}$$

$$y_1 = \frac{1}{4} \frac{U_d}{U_2} \frac{l^2}{d} \quad (3)$$

由图二可以看出，电子在荧光屏上偏转距离D为

$$D = y_1 + L \tan \theta, \quad \text{又} \quad \tan \theta = \frac{v_y}{v_z} = \frac{a_y t}{v} = \frac{U_d l}{2U_2 d} \quad (4)$$

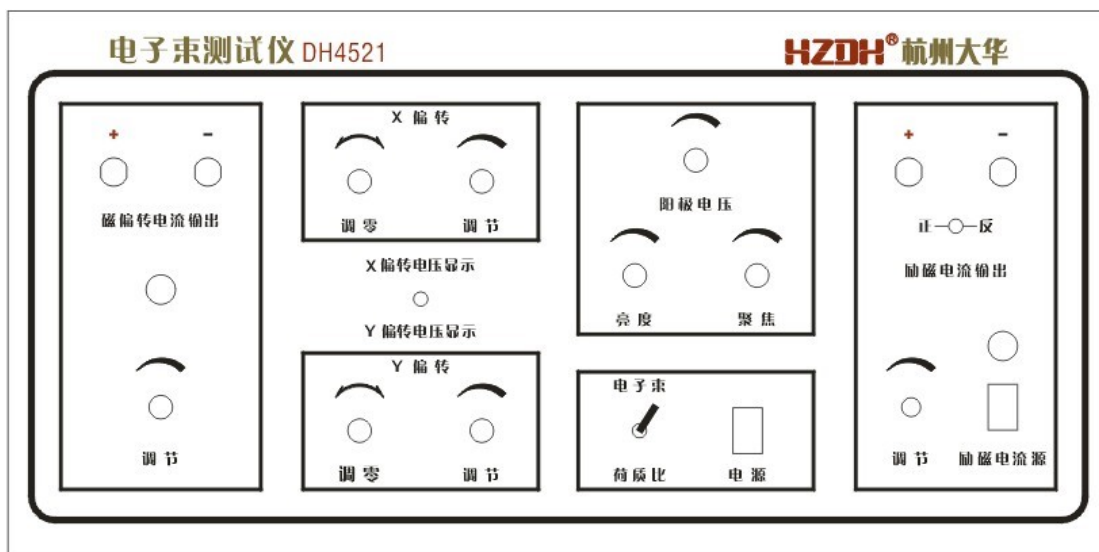
将（3）、（4）式代入得：

$$D = \frac{1}{2} \frac{U_d l}{U_2 d} \left(\frac{l}{2} + L \right) \quad (5)$$

从⑤式可看出,偏转量 D 随 U_d 增加而增加,与 $\frac{l}{2} + L$ 成正比。偏转量与 U_2 和 d 成反比。

2. 实验步骤:

实验装置仪器面板如下图三所示。



图三

①先用专用 10 芯电缆连接测试仪和示波管,再开启电源开关,将“电子束—荷质比”选择开关打向电子束位置,辉度适当调节,并调节聚焦,使屏上光点聚成一细点。应注意:光点不能太亮,以免烧坏荧光屏。

②光点调零,将面板上钮子开关打向 x 偏转电压显示,调节“X 调节”旋钮,使电压表的指针在零位,再调节 x 调零旋钮,使光点位于示波管垂直中线上;同 x 调零一样,将面板上钮子开关打向 Y 偏转电压显示,将 y 调节后,光点位于示波管的中心原点。

3. 测量偏转量 D 随电偏转电压 U_d 变化:调节阳极电压旋钮,给定阳极电压 U_2 。将电偏转电压表显示打到显示 Y 偏转调节(垂直电压),改变 U_d 测一组 D 值。改变 U_2 后再测 $D-U_d$ 变化。(U_2 : 600-1000V)

4. 求 y 轴电偏转灵敏度 D/U_d 。并说明为什么 U_2 不同, D/U_d 不同。

5. 同 y 轴一样,也可以测量 X 轴的电偏转灵敏度。

二、磁偏转

1. 原理

电子通过 A_2 后,若在垂直于 z 轴的 X 方向放置一个均匀磁场,那么以速度 v 飞越的电子在 Y 方向上也将发生偏转。由于电子受洛伦兹力 $F = eBv$, 大小不变,方向与速

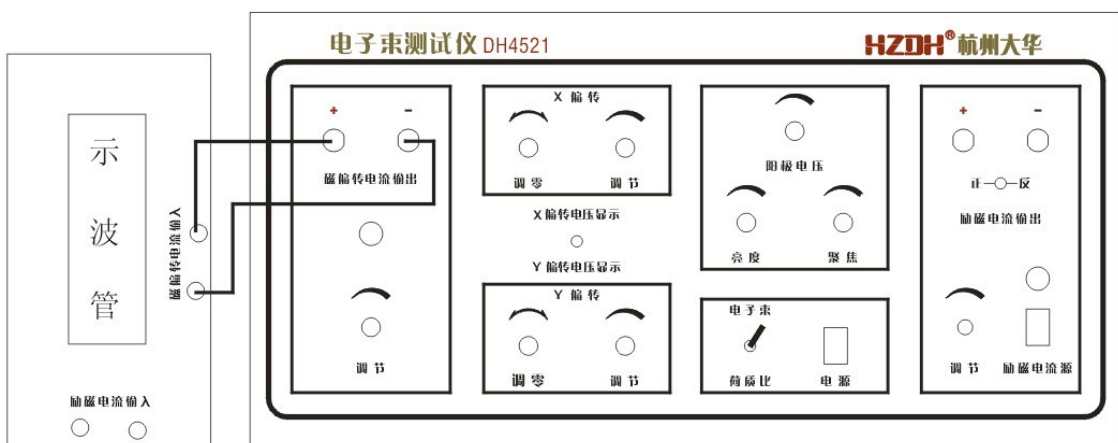
度方向垂直，因此电子在 F 的作用下作匀速圆周运动，洛伦兹力就是向心力，

有 $evB = \frac{mv^2}{R}$ ，所以 $R = \frac{mv}{eB}$ 。

电子离开磁场将沿切线方向飞出，直射荧光屏。

2. 实验步骤

依照图四完成以下步骤：



图四

①开启电源开关，将“电子束—荷质比”选择开关打向电子束位置，辉度适当调节，并调节聚焦，使屏上光点聚成一细点，应注意：光点不能太亮，以免烧坏荧光屏。

②光点调零，通过调节“X调节”和“Y调节”旋钮，使光点位于Y轴的中心原点。

③测量偏转量 D 随磁偏转电流 I 的变化，给定 U_2 ，将磁偏转电流输出与磁偏转电流输入相连，调节磁偏转电流调节旋钮（改变磁偏转线圈电流的大小）测量一组 D 值。改变磁偏转电流方向，再测一组 $D - I$ 值。改变 U_2 ，再测两组 $D - I$ 数据。（ U_2 ：600-1000V）。通过扭子开关切换磁偏转电流方向，再次实验。

④求磁偏转灵敏度 D/I ，并解释为什么 U_2 不同， D/I 不同。

三、电聚焦

1. 原理

电子射线束的聚焦是所有射线管如示波管、显象管和电子显微镜等都必须解决的问题。在阴极射线管中，阳极被灯丝加热发射电子。电子受阳极产生的正电场作用而加速运动，同时又受栅极产生的负电场作用只有一部分电子能通过栅极小孔而飞向阳极。改变栅极电位能控制通过栅极小孔的电子数目，从而控制荧光屏上的辉度。当栅极上的电位负到一定的程度时，可使电子射线截止，辉度为零。

聚焦阳极和第二阳极是由同轴的金属圆筒组成。由于各电极上的电位不同，在它们之间形成了弯曲的等位面、电力线。这样就使电子束的路径发生弯曲，类似光线通

过透镜那样产生了会聚和发散，这种电子组合称为电子透镜。改变电极间的电位分布，可以改变等位面的弯曲程度，从而达到了电子透镜的聚焦。

2. 实验步骤

依照图三完成以下步骤：

①开启电源开关，将“电子束—荷质比”选择开关打向电子束位置，辉度适当调节，并调节聚焦，使屏上光点聚成一细点，应注意：光点不能太亮，以免烧坏荧光屏。

②光点调零，通过调节“X调节”和“Y调节”旋钮，使光点位于Y轴的中心原点。

③调节阳极电压 U_2 分别为 600–1000V，对应的调节聚焦旋钮（改变聚焦电压）使光点达到最佳的聚焦效果，测量出各对应的聚焦电压 U_1 。

④求出 U_2/U_1 。

四、磁聚焦和电子荷质比的测量

1. 原理

置于长直螺线管中的示波管，在不受任何偏转电压的情况下，示波管正常工作时，调节亮度和聚焦，可在荧光屏上得到一个小亮点。若第二加速阳极 A_2 的电压为 U_2 ，则电子的轴向运动速度用 $v_{//}$ 表示。

则有：

$$V_{//} = \sqrt{\frac{2eU_2}{m}} \quad (6)$$

当给其中一对偏转板加上交变电压时，电子将获得垂直于轴向的分速度（用 V_{\perp} 表示），此时荧光屏上便出现一条直线，随后给长直螺线管通一直流电流 I ，于是螺线管内便产生磁场，其磁场感应强度用 B 表示。众所周知，运动电子在磁场中要受到洛伦兹力 $F = eV_{\perp}B$ 的作用，显然 $V_{//}$ 受力为零，电子继续向前作直线运动，而 V_{\perp} 受力最大为 $F = eV_{\perp}B$ ，这个力使电子在垂直于磁场（也垂直于螺线管轴线）的平面内作圆周运动，设其圆周运动的半径为 R ，则有：

$$eV_{\perp}B = \frac{mV_{\perp}^2}{R} \quad R = \frac{mV_{\perp}^2}{eV_{\perp}B} \quad (7)$$

$$\text{圆周运动的周期为：} \quad T = \frac{2\pi R}{V_{\perp}} = \frac{2\pi \cdot m}{e \cdot B} \quad (8)$$

电子既在轴线方面作直线运动，又在垂直于轴线的平面内作圆周运动。它的轨道是一条螺旋线，其螺距用 h 表示，则有

$$h = V_{//}T = \frac{2\pi}{B} \sqrt{\frac{2mU_2}{e}} \quad (9)$$

有趣的是，我们从（8）、（9）两式可以看出，电子运动的周期和螺距均与 V_{\perp} 无关。不难想象，电子在作螺线运动时，它们从同一点出发，尽管各个电子的 V_{\perp} 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，这就是磁聚焦的基本原理。由（9）式可得：

$$e/m = 8\pi^2 U_2 / h^2 B^2 \quad (10)$$

长直螺线管的磁感应强度 B ，可以由下式计算。

$$B = \frac{\mu_0 NI}{\sqrt{L^2 + D_0^2}} \quad (11)$$

将（11）代入（10），可得电子荷质比为：

$$e/m = 8\pi^2 U_2 (L^2 + D_0^2) / (\mu_0 N I h)^2 \quad (12)$$

μ_0 为真空中的磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ 亨利/米

本仪器的其它参数如下：

螺线管内的线圈匝数： $N=535 \pm 1$ （具体以螺丝管上标注为准）

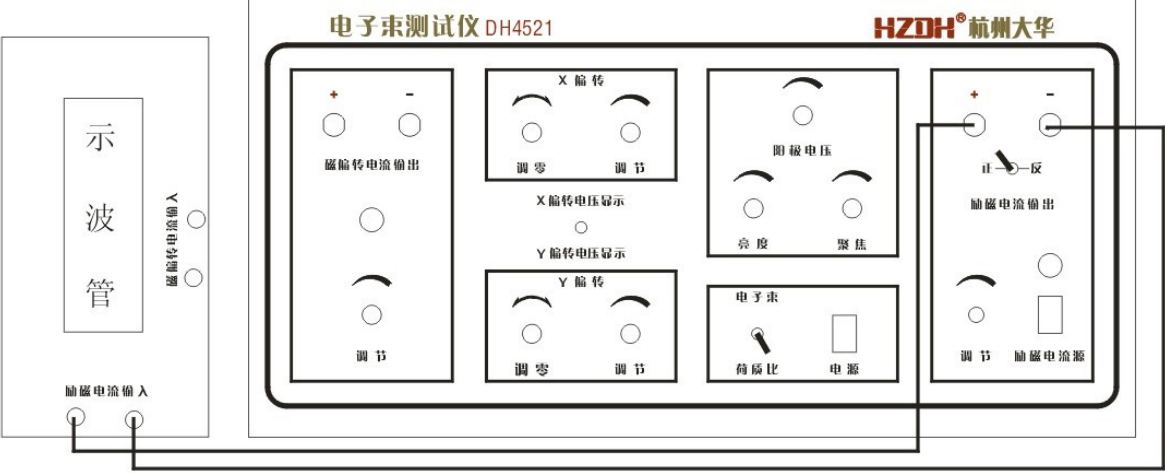
螺线管的长度： $L=0.235\text{m}$

螺线管的直径： $D_0=0.092\text{m}$

螺距(Y 偏转板至荧光屏距离) $h=0.135\text{m}$

2. 实验步骤

依照图六完成以下步骤：



图六

①开启电子束测试仪电源开关，“电子束——荷质比”开关置于荷质比方向，此时荧光屏上出现一条直线，阳极电压调到 700V。

②将励磁电流部分的调节旋钮逆时针方向调节到头，并将励磁电流输出与励磁电流输入相连（螺线管）。

③电流换向开关打向正向，调节输出调节旋钮，逐渐加大电流使荧光屏上的直线一边旋转一边缩短，直到出现第一个小光点，读取此时对应的电流值 $I_{\text{正}}$ ，然后将电流调为零。再将电流换向开关打向反向（改变螺线管中磁场方向），重新从零开始增加电流使屏上的直线反方向旋转并缩短，直到再得到一个小光点，读取此时电流值 $I_{\text{反}}$ 。

④改变阳极电压为 800V, 重复步骤③, 直到阳极电压调到 1000V 为止。

⑤数据记录和处理。

将所测各数据记入表中，通过（12）式，计算出电子荷质比 e/m 。

五、数据记录与处理

1、电偏转

（1）不同阳极电压下，X 轴电偏转灵敏度测量表：

V_d (600V)									
D									
V_d (700V)									
D									

（2）作 $D-V_d$ 图，求出曲线斜率，即为不同阳极电压下 X 轴电偏转灵敏度；

（3）同理，记录不同阳极电压下，Y 轴电偏转灵敏度测量表；

（4）作 $D-V_d$ 图，求出曲线斜率，即为不同阳极电压下 Y 轴电偏转灵敏度；

2、电聚焦

记录不同 V_2 下的 V_1 值，填入下表：

V_2 (V)	600	700	800	900	1000
V_1 (V)					
V_2/V_1					

3、磁偏转

（1）记录不同 V_2 时磁偏转数据：

$V_2=600V$									
D (mm)									
I (mA)									
$V_2=700V$									
D (mm)									
I (mA)									

（2）作 $D-I$ 图，求出曲线斜率，即为不同阳极电压下磁偏转灵敏度；

4、电子荷质比测量

阳极电压 励磁电流	700V	800V	900V	1000V
I _正 (A)				
I _反 (A)				
I _{平均} (A)				
电子荷质比 e/m (C/Kg)				

五、注意事项

1. 在实验过程中，光点不能太亮，以免烧坏荧光屏。
2. 实验通电前，用专用 10 芯电缆连接测试仪和示波管。
3. 在改变螺线管励磁电流方向或磁偏转电流方向时，应先将电流调到最小后再换向。
4. 改变阳极电压 U_2 后，光点亮度会改变，这时应重新调节亮度，若调节亮度后加速电压有变化，再调到现定的电压值。
5. 励磁电流输出中有 10A 保险丝，磁偏转电流输出和输入有 0.75A 保险丝用于保护。
6. 切勿在通电的情况下拆卸面板对电路进行查看或维修，以免发生意外。