

大学物理实验

吉祥如意

电子和场



制作:大学物理实验中心

引言

带电粒子在电场和磁场中运动是在近代物理学的重要研究内容之一，有着广泛的应用，如示波管、显像管、电子显微镜等。通过本实验，使我们更清楚地理解电子在电场和磁场中的运动规律及其实验方法，这对进一步学习物理学的基本理论和深入掌握示波测量技术都是必备的知识。

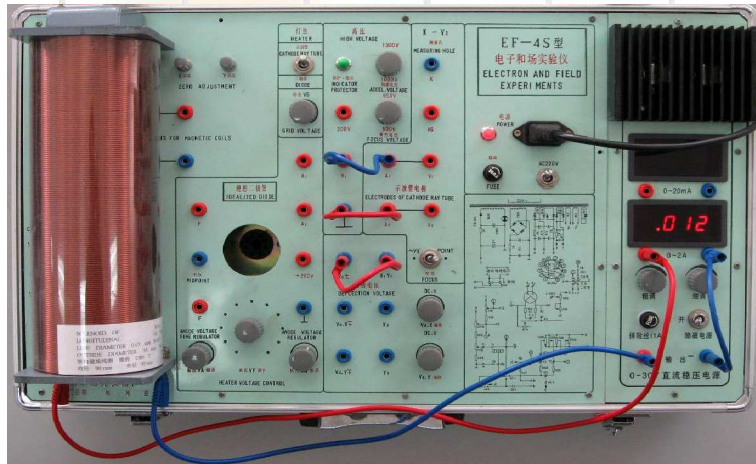
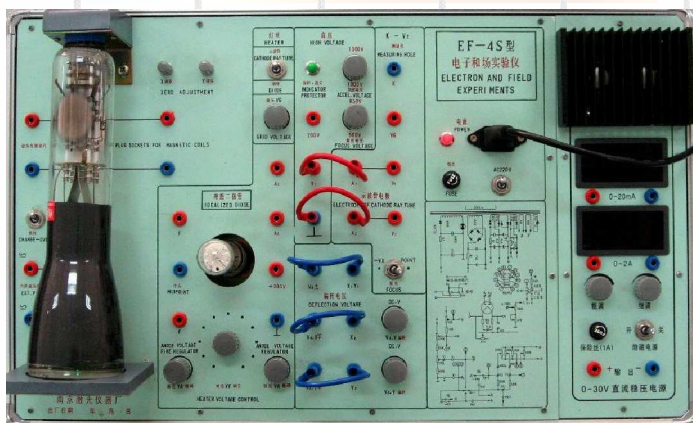
带电粒子的电量与质量的比值叫**荷质比**，是带电微观粒子的基本参量之一。它的测量具有重要的物理意义，是研究物质结构的基础。例如，由密里根实验我们可以确定电子所带的电荷量，再通过电子和场实验测出电子的荷质比，就可以间接测量出电子的质量。

一、实验目的：

- 1.了解示波管的构造和工作原理，研究静电场对电子的加速作用。
- 2.定量分析电子束在横向匀强电场作用下的偏转情况。
- 3.定量分析电子束在纵向磁场作用下螺旋运动，测定荷质比。

二、实验仪器

2.1 仪器照片

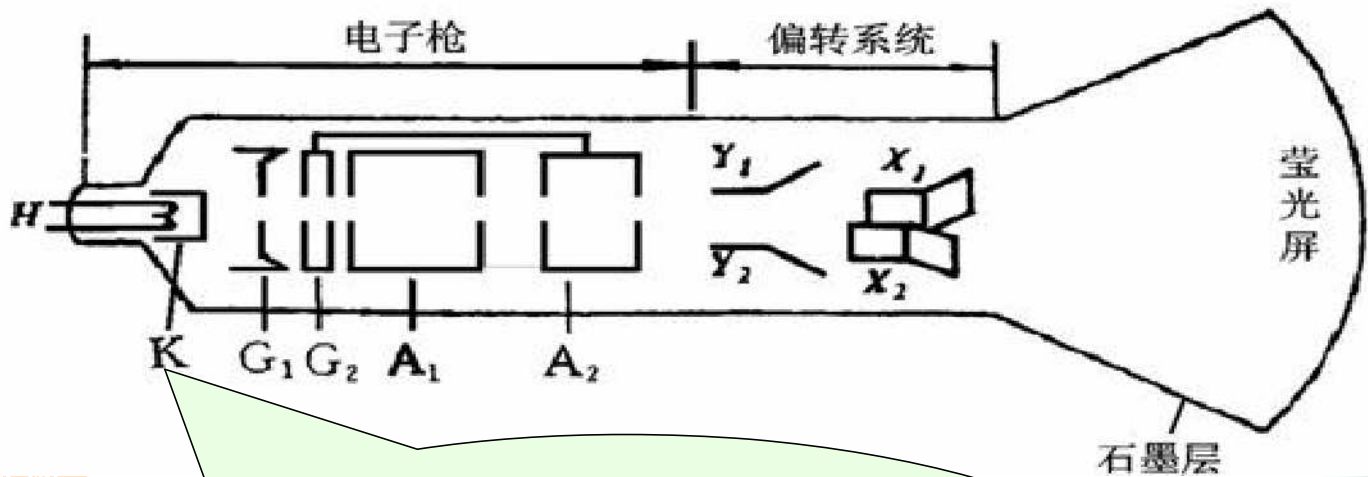


EF-4S型电子和场实验仪

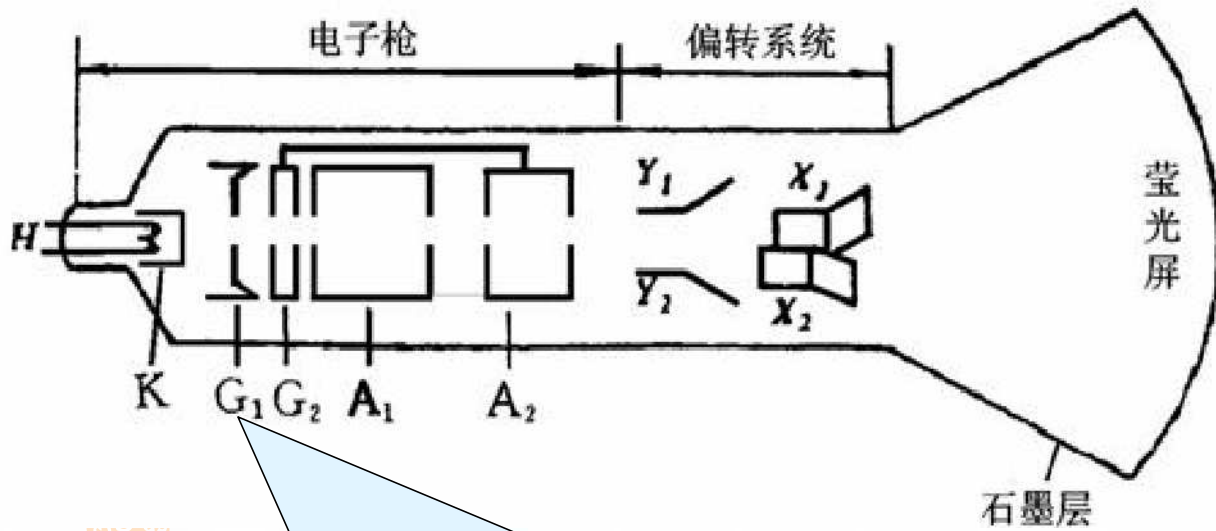
此仪器为广东工业大学与南京激光仪器厂共同研制



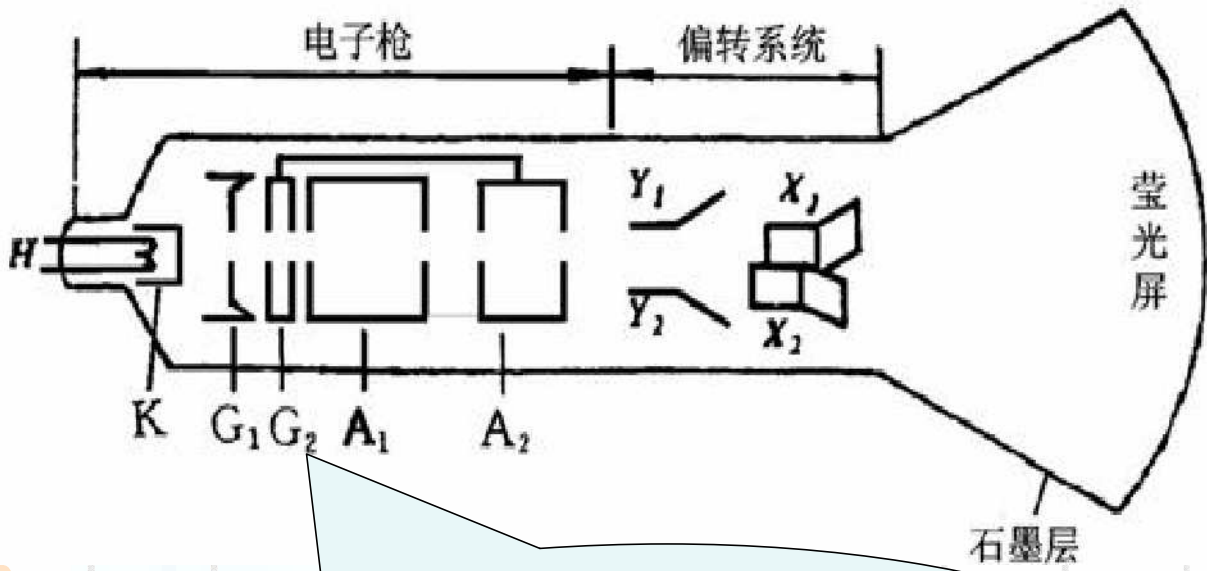
2.2 示波管的构造及工作原理:



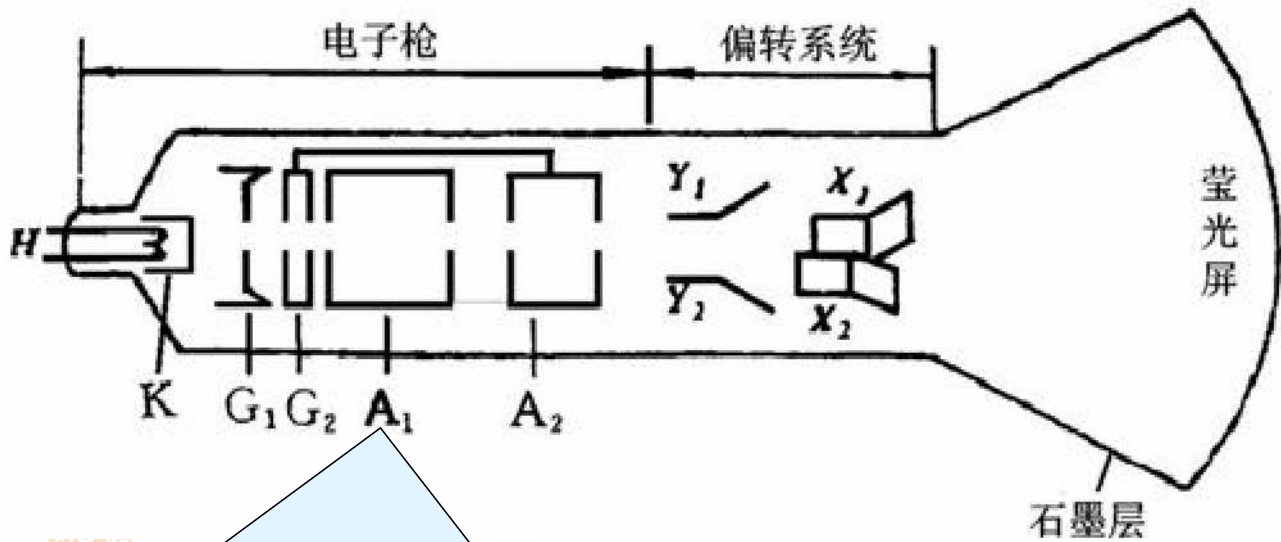
K:阴极, 它是一只金属圆柱筒, 里面装有加热用的灯丝, 两者之间用陶瓷套管绝缘。当灯丝通电时可把阴极加热到很高温度。在圆柱筒端部涂有钨和铯的氧化物, 此材料电子逸出功较小, 在加热时, 就会有大量的电子逸出, 所以也叫发射极。



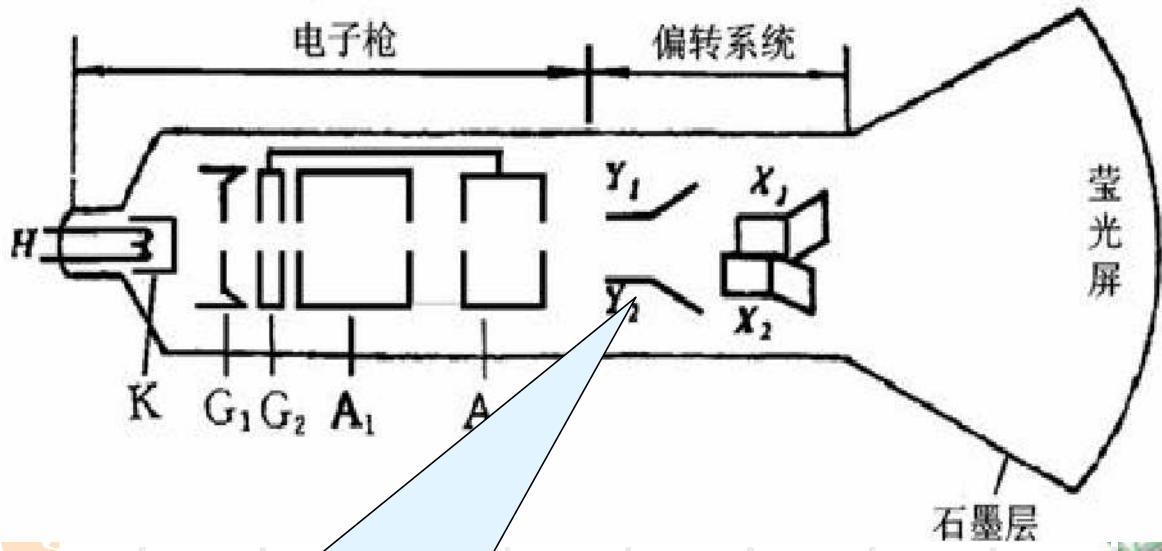
G1: 控制栅极, 正常工作时加有相对于阴极K大约-10~-40伏的负电压, 它产生的电场是要把阴极发射出来的电子推回到阴极去。改变控制栅极的电势可以改变穿过G1上小孔出去的电子数目, 从而可以控制电子束的强度。



加速电极：电极G2与A2联在一起，两者相对于K有约几百伏到1千余伏的正电压。它产生了一个很强的电场使电子沿电子枪轴线方向加速。因此电极A2对K的电压又称加速电压。



聚焦电极 A_1 ：相对于 K 具有正电压 V_1 ，其大小在200伏到400伏之间。由于 K 与 A_1 、 A_1 与 A_2 之间电势不相等，因此使电子束在电极筒内的纵向速度和横向速度发生改变，适当地调整 V_1 和 V_2 的电压比例，可使电子束聚焦成很细的一束电子流，使打在荧光屏上形成很小的一个光斑。聚焦程度的好坏主要取决于 V_1 和 V_2 的大小与比例。



偏转电极Y/X: 每一对电极加上的电压产生的横向电场分别可使电子束在Y方向或X方向发生偏转。



三、实验原理：

3.1 电子在电场中加速及偏转：

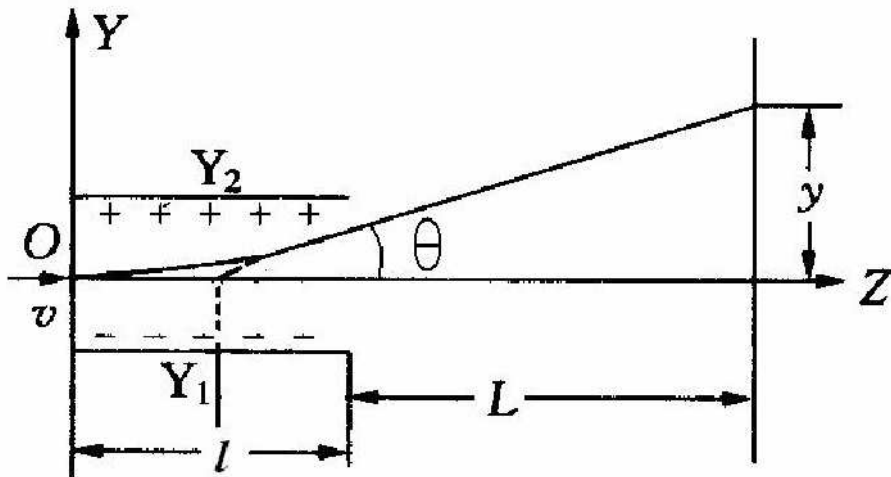


图1

设偏转电极中心到荧光屏距离为 L ，电子在荧光屏上的竖直偏移为 y （图1），则有：

$$y = \frac{l_y L V_d}{2d_y V_2}$$

式中， l 为偏转板长度； d 为偏转板间距离； U_y 为竖直偏转电压； U_2 为电子进入偏转场之前，使电子加速的电压。

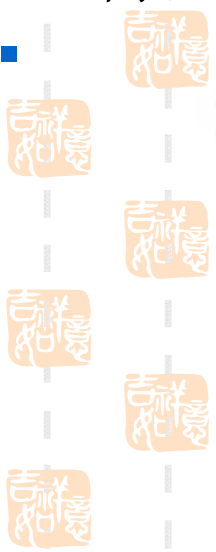


- 电偏转灵敏度定义为偏转板上加单位电压时，所引起的电子束在荧光屏上的偏移，则示波管的Y轴电偏转灵敏度：

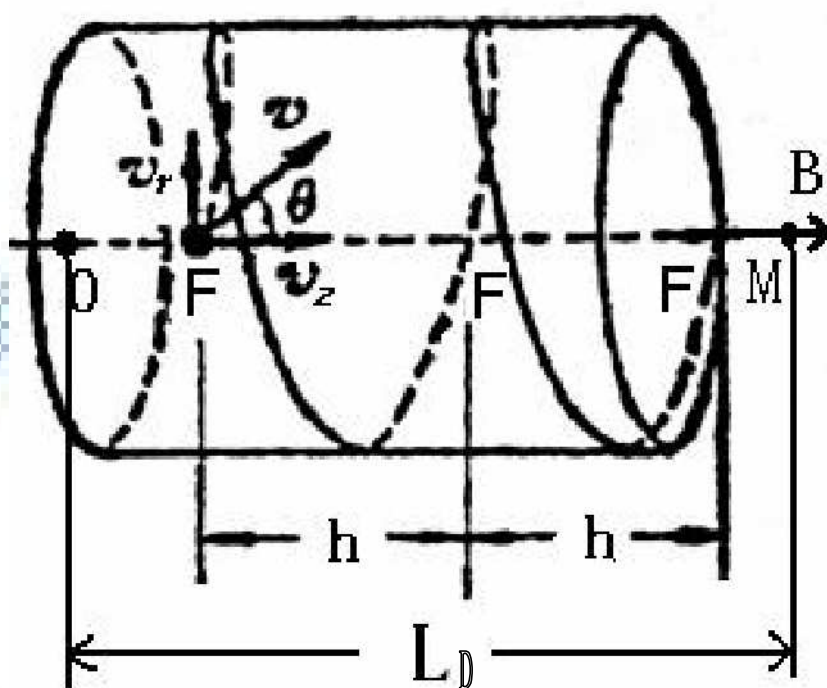
$$S_y = \frac{y}{V_d} = \frac{l_y L}{2d_y V_2} = \frac{y V_2}{V_d} = \frac{l_y L}{2d_y}$$

- 同理，示波管的X轴电偏转灵敏度为：

$$S_x = \frac{x}{V_d} = \frac{l_x L}{2d_x V_2}$$



3.2 电子在纵向磁场作用下的运动规律及荷质比测定：

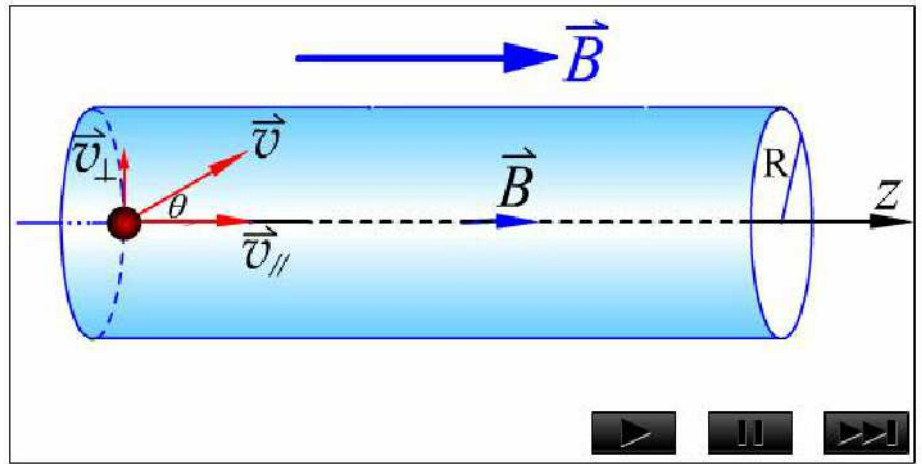


洛仑兹力

$$\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}$$

(洛仑兹力不做功)

\vec{v} 与 \vec{B} 不平行



$$\vec{v} = \vec{v}_{//} + \vec{v}_{\perp}$$

运动轨迹是一条螺旋线

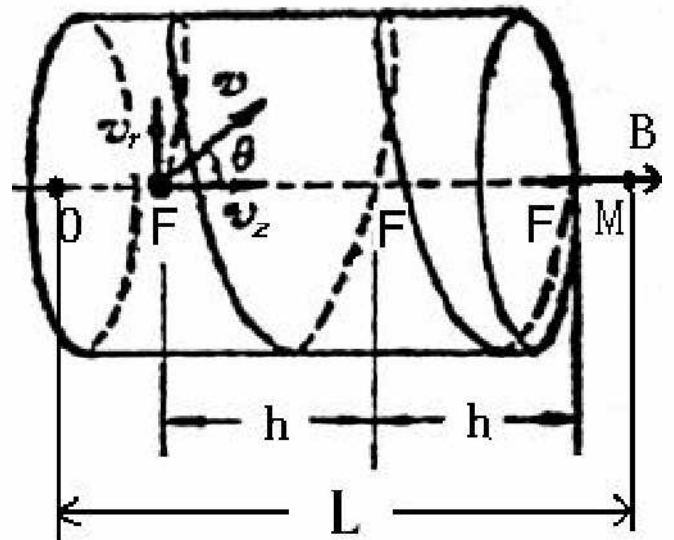
基本实验原理:

$$R = \frac{m v_r}{e B} \quad T = \frac{2 \pi R}{v_r} = \frac{2 \pi m}{e B} \quad h = v_z T = \frac{2 \pi m}{e B} v_z$$

$$B = \frac{\mu_o N I}{\sqrt{l^2 + D^2}}$$

- 其参数可以在螺线管上得到。

$$e/m = 8\pi^2 V_2 / h^2 B^2$$



- 但是在实际测量中，螺距 h 不能直接测量到，这就需要我们测量其它量来间接得到螺距：因为电子沿 Z 轴方向每前进距离 h ，它绕 Z 轴方向正好回旋一周，故有：

$$\Phi = 2 \pi L_D / h$$

与下式

$$e / m = 8 \pi^2 V_2 / h^2 B^2$$

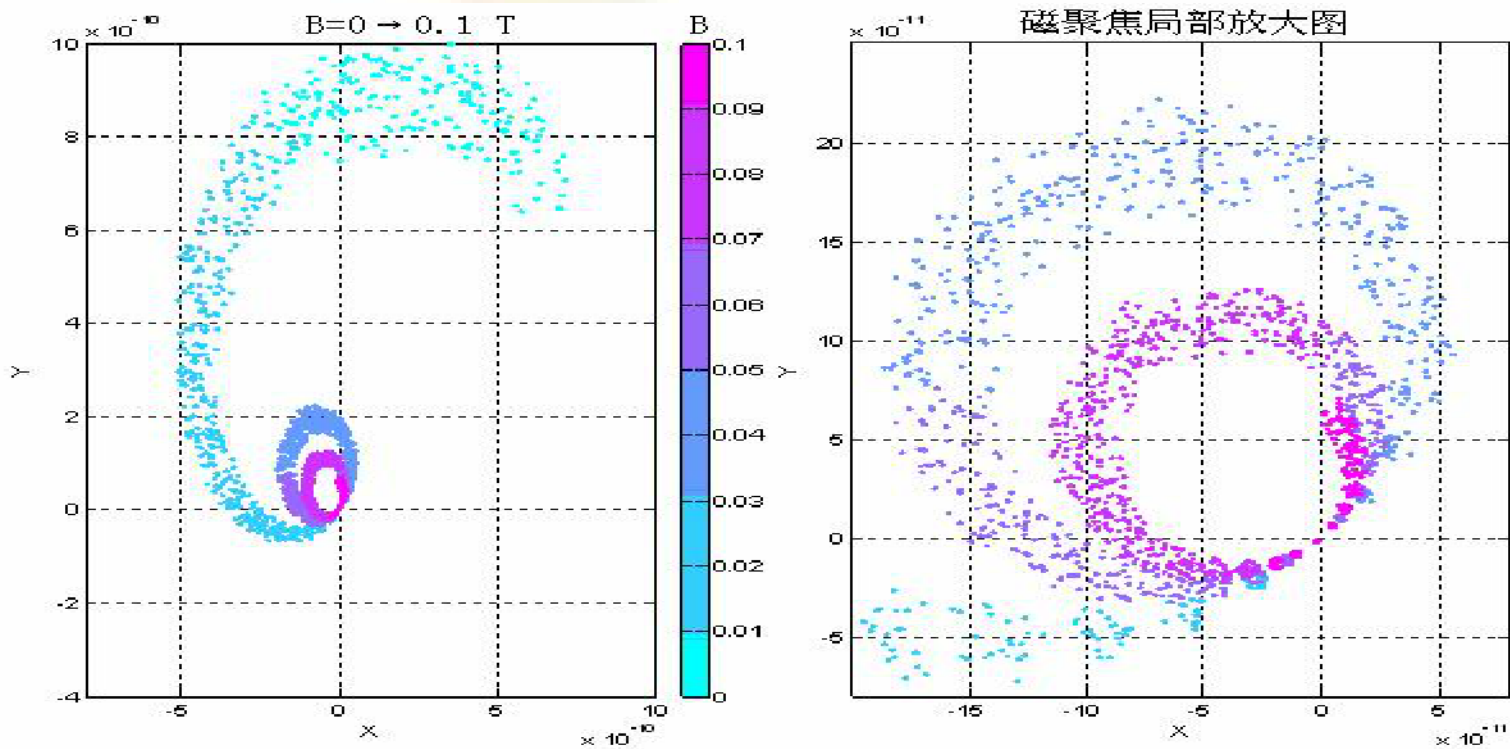
联列可得

$$e / m = 2 V_2 \left(\frac{\phi}{L_D B} \right)^2$$

当改变激励电流的大小，就可以在荧光屏上观察到电子束在做螺旋运动；在做螺旋运动的同时，会出现电子聚焦现象，当角度转动为：

$$\Phi = n \times 2\pi \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

时，散焦电子束就会重新聚焦。

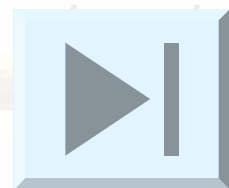


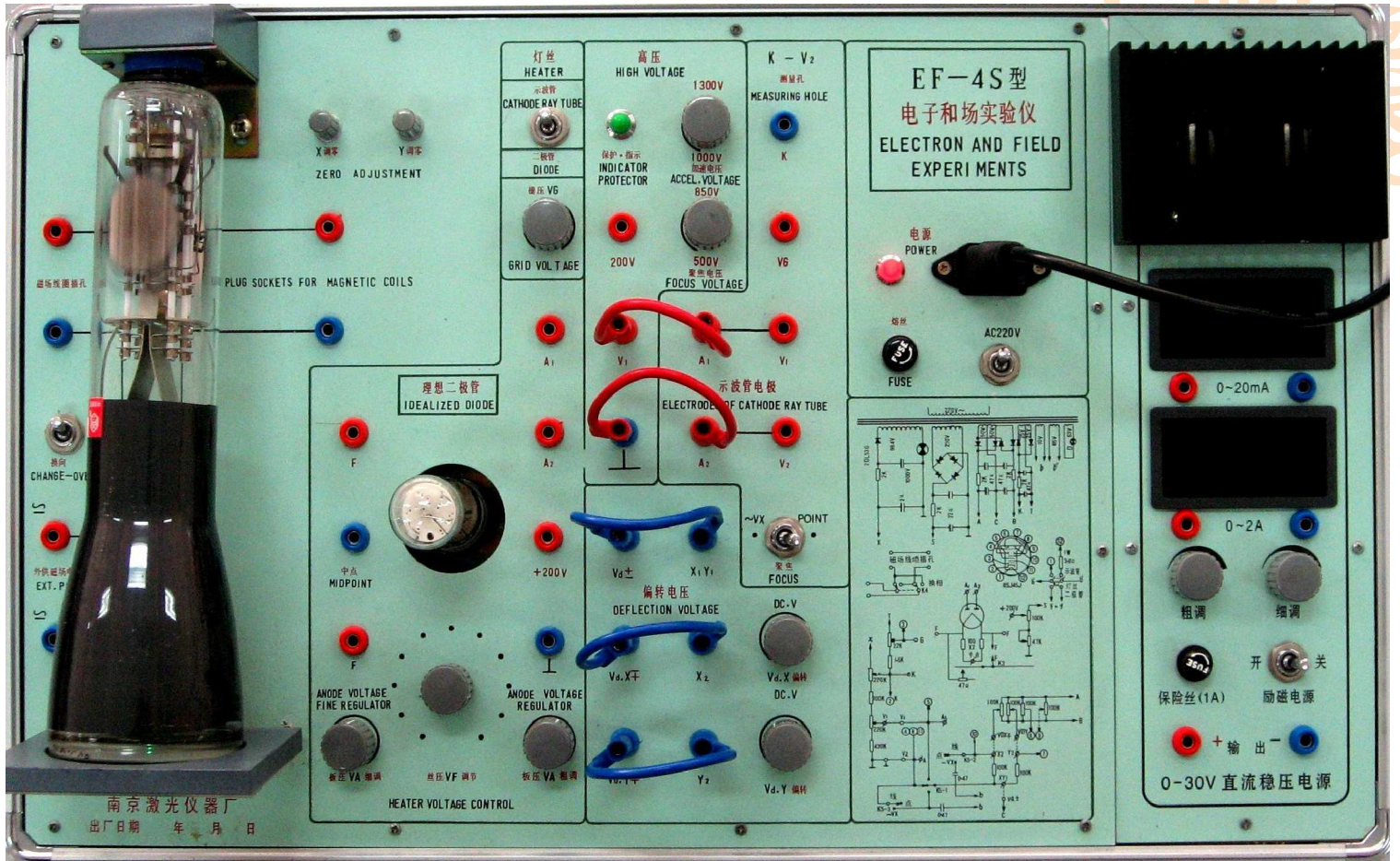
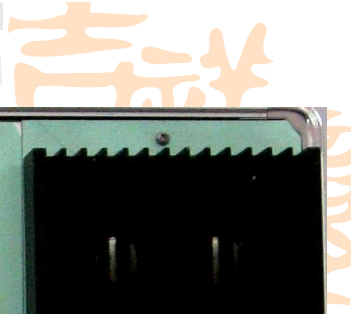
磁聚集的仿真图（加横向电场）

四、实验步骤(可参照仪器演示)

■ 4.1 电子在电场中加速及偏转：

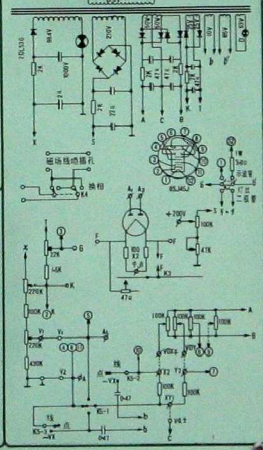
- 1. 仪器面板中部上方的灯丝开关拨向“示波管”一边，打开电源开关，示波管灯丝亮。
- 2. 接插线（用示波管部分）： A_1 —— V_1 ， A_2 —— \perp ， Vd_{\pm} —— $X_1 Y_1$ ， Vd_y_{\pm} —— Y_2 ， Vdx_{\pm} —— X_2 。
- 3. 调焦：把聚焦选择开关置于“point”聚焦位置，辉度（栅压）控制处在适当位置，调节聚焦电压，使屏上光点聚成一细点，光点不要太亮，以免烧坏荧光物质。





EF-4S型
电子和场实验仪
ELECTRON AND FIELD
EXPERIMENTS

灯丝 HEATER	高压 HIGH VOLTAGE	K - V ₂ 测量孔 MEASURING HOLE
示波管 CATHODE RAY TUBE	1300V 1000V 加速电压 ACCEL. VOLTAGE	K
二极管 DIODE	500V 聚焦电压 FOCUS VOLTAGE	V ₆
栅压 V ₆ GRID VOLTAGE	200V	V ₁
A ₁	V ₁	A ₁
A ₂	A ₂	V ₂
+200V	V _a ±	~VX POINT
偏转电压 DEFLECTION VOLTAGE	X ₁ Y ₁	聚焦 FOCUS
V _a , X ₂	X ₂	DC-V
V _d , Y ₂	Y ₂	DC-V
V _d , Y 偏转		



电源
POWER

AC220V

0~20mA

0~2A

粗调 微调

开 关

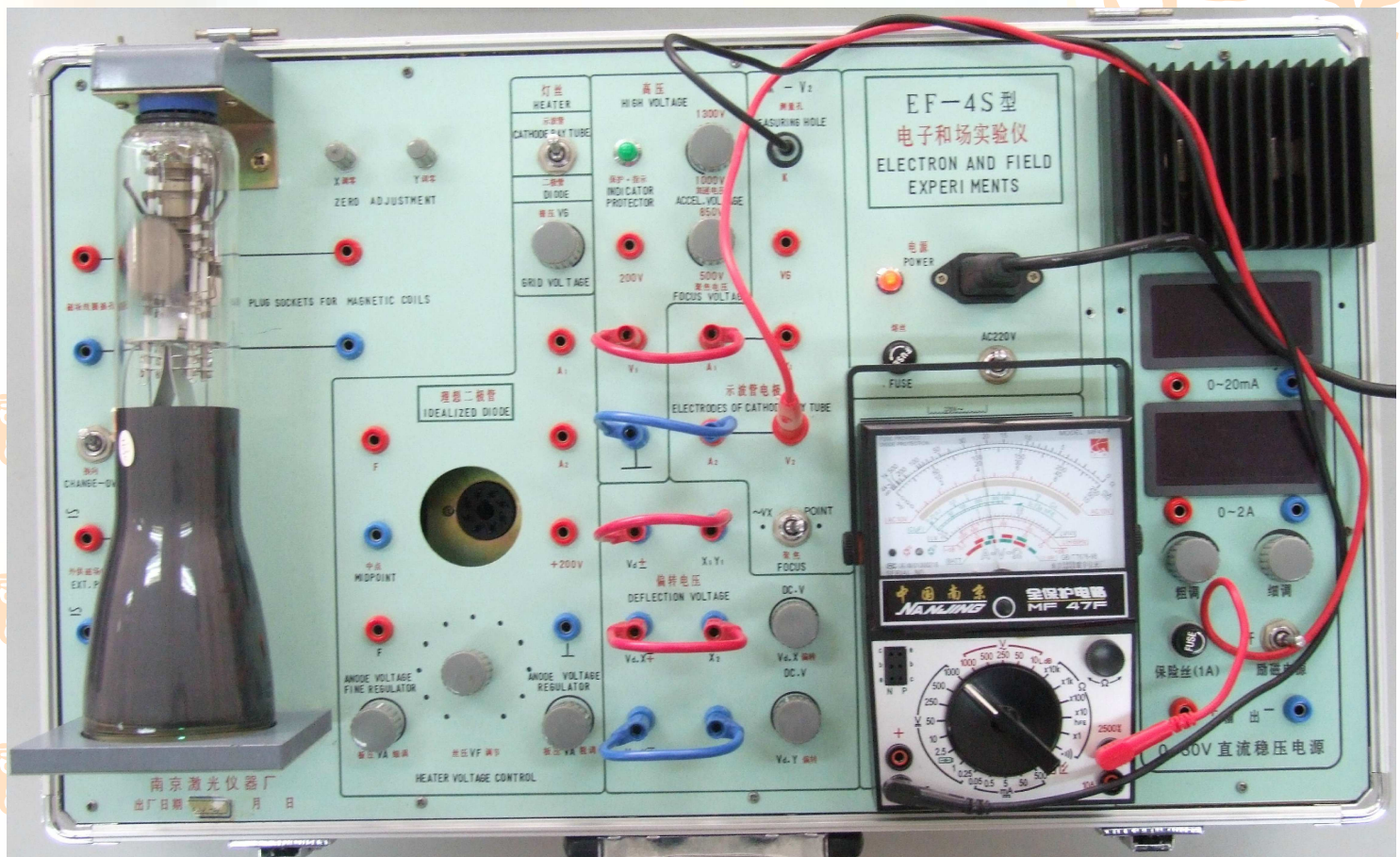
保险丝 (1A) 励磁电源

0-30V 直流稳压电源

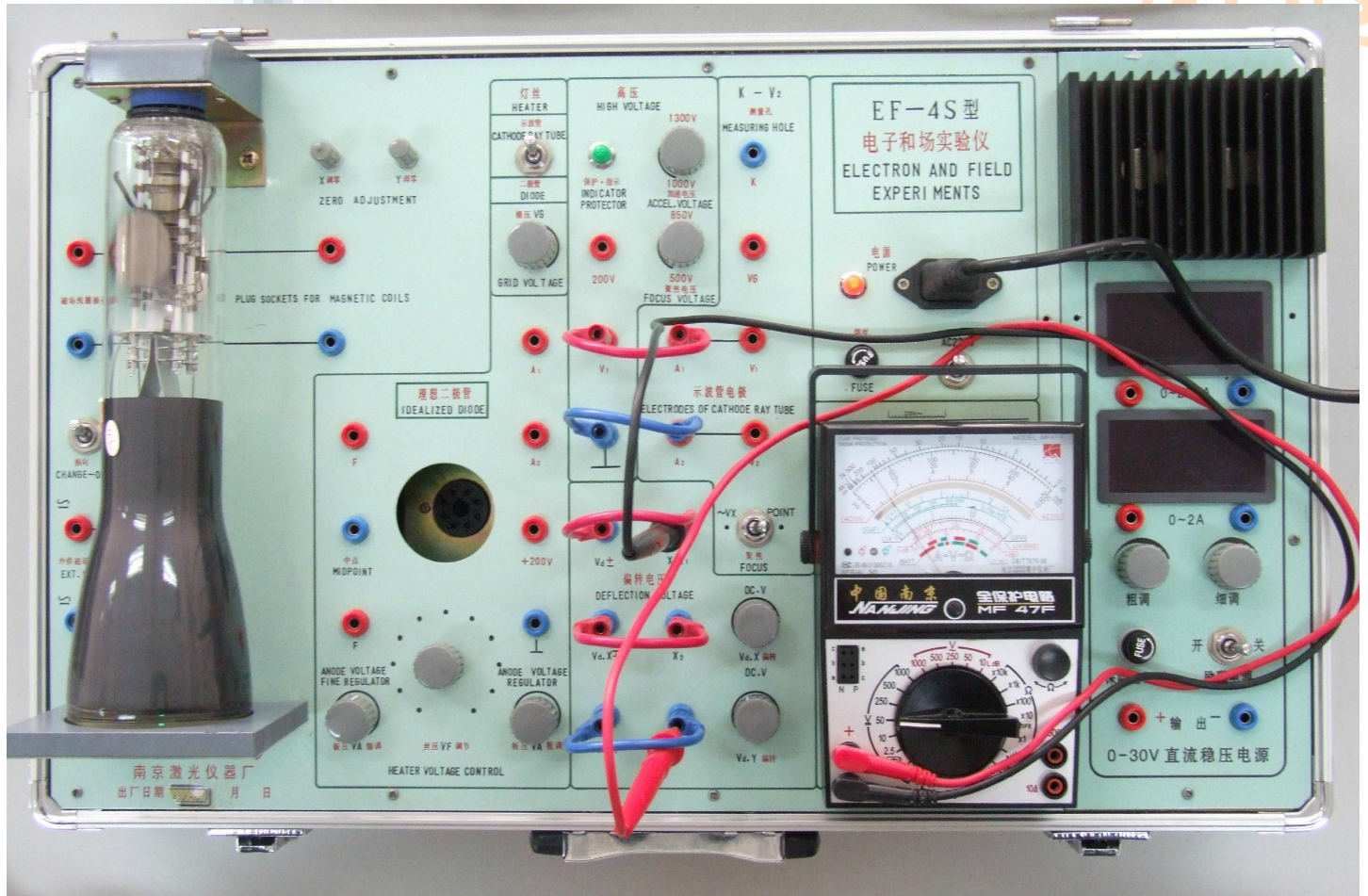
+ 输出 -

南京激光仪器厂
 出厂日期 年 月 日

- 4. 测加速电压 V_2 : 用万用表2500V档 (MF47型, 档位旋至直流1000V档, “+”表笔插2500V插孔, “-”表笔插“-”, 测量时, 负表笔接“K”; “+”接 A_2 。



- 5. 测偏转电压 V_d : 用**直流 50V档**。“-”—— $X_1 Y_1$, “+”—— Y_2 或 X_2 。若发现指针反偏, 立即将正负表笔所插位置调换。



- 6. **调零**：用万用表测 V_d ；调 V_{dy} （或 V_{dx} ）使得偏转电压为 0，这时光点在 y （或 x ）轴上应在中心原点，若不在调Y调零（或X调零）旋钮使光点处在中心原点。

易犯错误：调零仅仅是把光点移到原点位置。

- 7. 测量不同 V_2 时（至少二组）的 y —— V_d （每组至少测6个点）直线(y 从屏外刻度板读出)。

4.2 电子在纵向磁场作用下的运动规律及荷质比测定：

- 1. 接插线（用示波管部分）： A_1 —— V_1 ， A —— \perp ， $Vd\pm$ —— X_1Y_1 。
- 2. 用调零旋钮把光点拉开，使电子束散焦。（即：把聚焦电压调到最小，逆时针调到最小。）。
- 3. 改变激励电流的大小，就可以在荧光屏上观察到电子束在作螺旋运动；在作螺旋运动的同时，会出现电子聚焦现象，当角度转过 2π ，散焦电子束重新聚焦。此时记录激励电流值 I ，和加速电压 V_2 ，继续增大激励电流又重新出现电子束散焦。继续增大电流，电子再次聚焦，此时角度转过 4π ，再次记录 I 。

4. 根据螺线管上的参数和电流计算出磁场强度 B ，再根据前面的公式计算荷质比 e/m 。

荷质比公认值： 1.76×10^{11} 。



五、实验数据记录：



■ 5.1 电子在电场中加速及偏转：

$V_2 =$ V	y (mm)	-16	-12	-8	-4	0	4	8	12	16
	V_d (V)					0				
	$y V_2$ (mm.V)									
$V_2 =$ V	y (mm)	-16	-12	-8	-4	0	4	8	12	16
	V_d (V)									
	$y V_2$ (mm)									



数据处理:

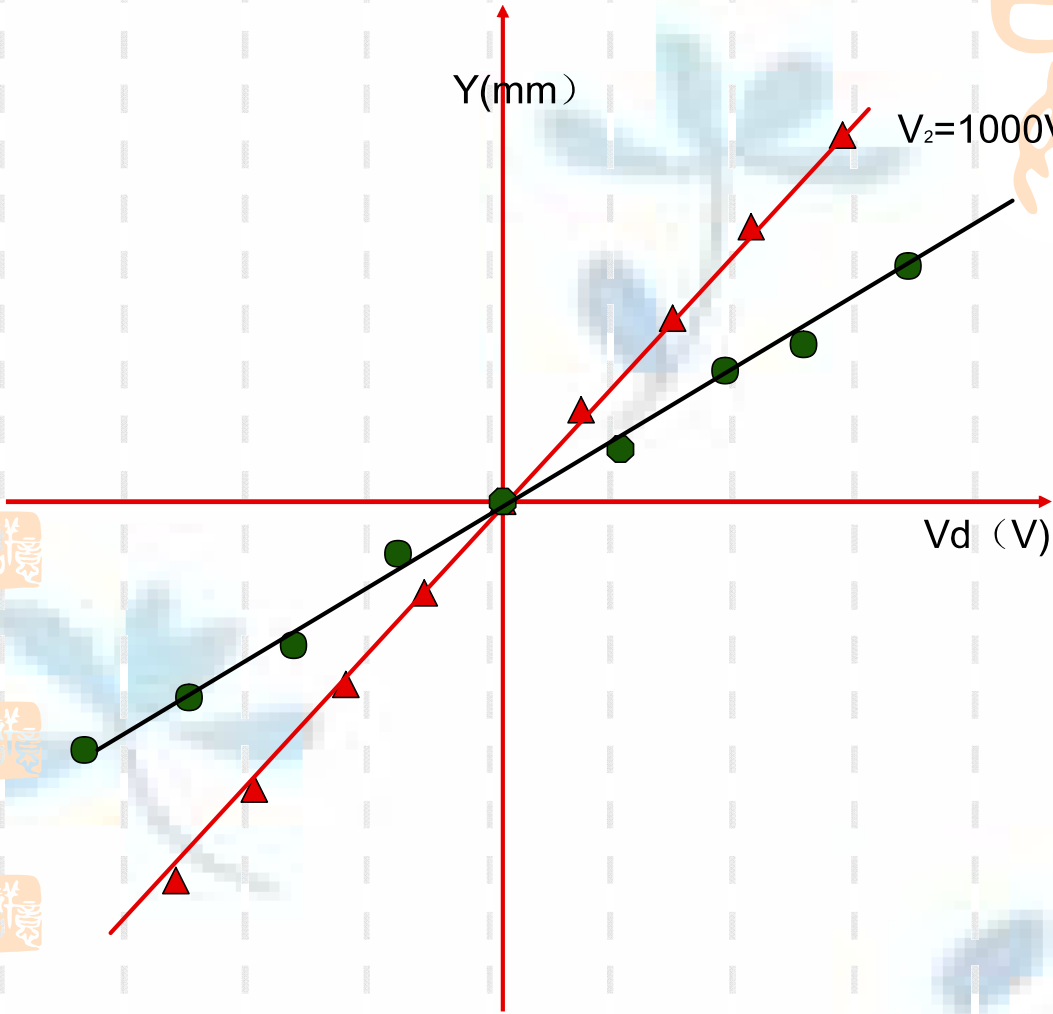
- 1. 在同一坐标纸上画出不同 V_2 条件下的 y — V_d 图线, 计算直线的斜率 (即电偏转灵敏度)。试解释两条图线出现不同的原因。
- 2. 在同一坐标纸上画出不同 V_2 条件下的 V_2 — V_d 图线, 计算直线的斜率。并请比较解释这两条图线。

Y(mm)

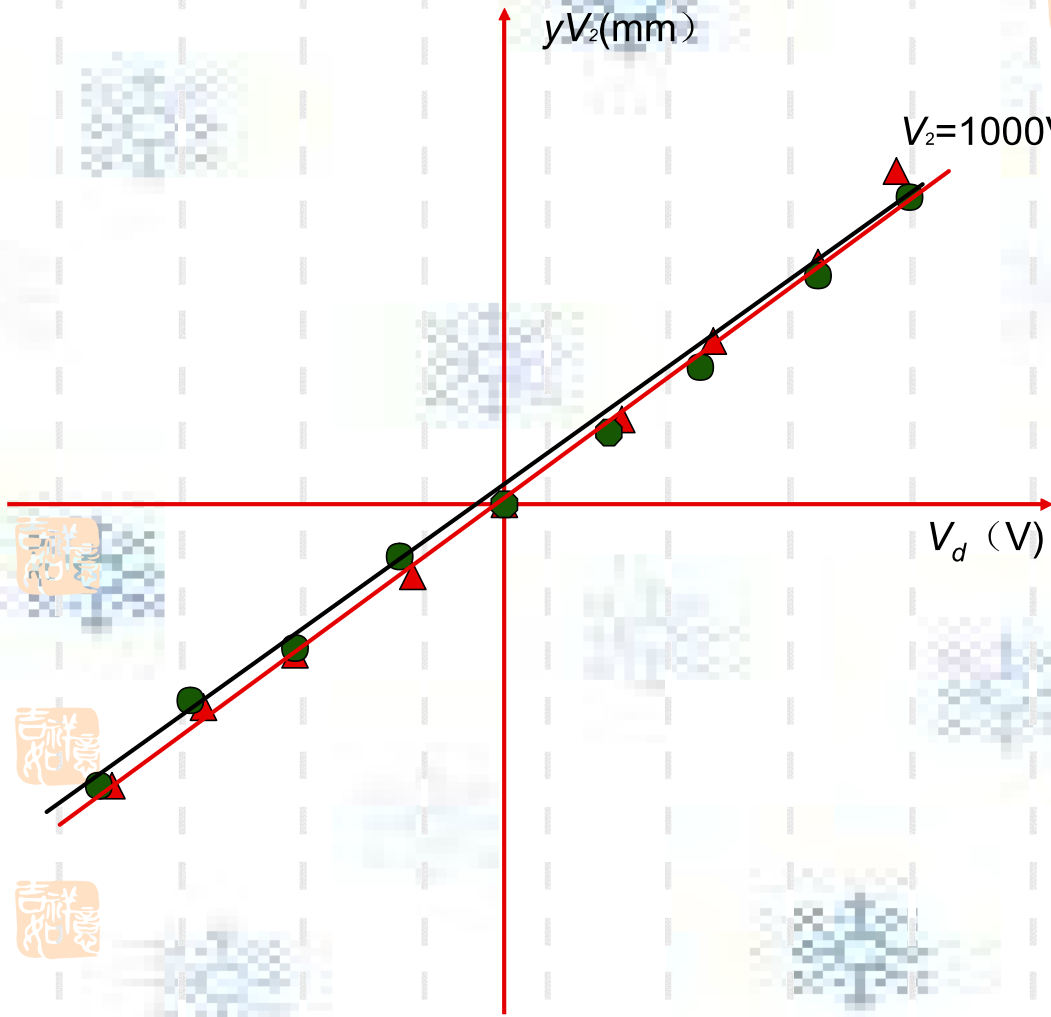
$V_2=1000V$

$V_2=1100V$

Vd (V)



吉祥慶



吉祥慶
吉祥慶
吉祥慶
吉祥慶

5.2 电子在纵向磁场作用下的运动规律及荷质比测定：

$V_2 = V$	Φ	I_a (mA)	B	e/m	e/m平均
	2π				
	4π				
$V_2 = V$	Φ	I_a (mA)	B	e/m	
	2π				
	4π				
$V_2 = V$	Φ	I_a (mA)	B	e/m	
	2π				
	4π				

实验过程中注意的问题：

- 1. 不允许同学私自拆卸螺线管及示波管。使用万用表时，注意量程的选择；若未按规定操作，损坏仪器仪表，需要照价赔偿。
- 2. 在实验过程中，不要接触连线的金属部分，以防触电；
- 3. 加速电压不要调得过高，尽量低于1200V。
(a、过高易损坏仪器；b、过高影响聚焦效果)。尽量从低往高依次增大100V左右。
- 4. 做磁偏转的时候，每次测一组数据，请把右边的激励电流调到最小，长时间加较大电流容易烧坏电路板。

- 5. 独立完成实验。实验过程中，不允许离开自己的实验台及相互讨论。有问题可以举手问教师。
- 6. 整理仪器是实验的一部分。实验完毕，请关闭仪器电源，整理好仪器。
- 7. 请课代表或学习委员，安排值日生。

