



南昌大学

2022 ~ 2023 学年春季学期《大学物理实验》报告

得 分	评阅人

题 目： 实验七 电子束偏转与聚焦

学 院： 先进制造学院

专业班级： 智能制造工程 221 班

学生姓名： 朱紫华

学 号： 5908122030

指导老师： 全祖赐老师

二〇二三年六月制

实验目的

1. 研究电子束在匀强电场中和均匀磁场中的运动规律。
2. 研究电子束在纵向磁场中做螺旋运动的规律。
3. 通过磁聚焦原理测定电子质核比

一.实验原理

1. 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。在示波管中，阴极被加热发射电子，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够通过栅极小孔而飞向阳极。栅极 G 的电压一般要比阴极 K 的电压低 20~100V,由阴极发射电子，受到栅极与阴极间减速电场的作用，初速度小的电子被阻挡，而那些初速度大的电子可以通过栅极射向荧光屏。所以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的程度时，可使电子射线截止，辉度为 0。

加速电极的电压比阴极电位高几百伏至上千伏。前加速阳极，聚焦阳极和第二阳极是由同轴的金属圆筒组成。由于各电极上的电压不同，在它们之间形成了弯曲的等势面、电场线。这样就使电子束的路径发生弯曲，这类似光线通过透镜那样产生了会聚和发散，这种电器组合称为电子透镜。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。

2. 电偏转原理

在示波管中，电子从被加热的阴极 K 逸出后，由于受到阳极电场的加速作用，使电子获得沿示波管轴向的动能。令 Z 轴沿示波管的管轴方向从灯丝位置指向荧光屏；同时，从荧光屏上看，令 X 轴为水平方向向右，Y 轴为垂直方向向上。假定电子从阴极逸出是初速度忽略不计，则电子经过电势差为 U 的空间后，电场力做的功 eU 应等于电子获得的动能

$$eU = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

显然，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

$$V_z = \sqrt{\frac{2e}{m}U_2} \quad (2)$$

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横向偏转，如图 2 所示。

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：

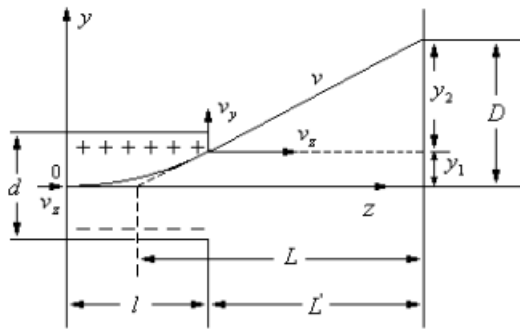


图2

$$D = (L + \frac{1}{2}) \frac{U_d}{U_2} \frac{l}{2d} \quad (3)$$

由式(3)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 $D-U_d$ 直线随 U_2 改变而使斜率改变的情况。

3.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 飞越电子在 Y 方向上也会发生偏转, 如图所示。

由于电子受洛伦兹力 $F=eBv$ 作用, F 的大小不变, 方向与速度方向垂直, 因此电子在 F 的作用下做匀速圆周运动, 洛伦兹力就是向心力, 即有 $eBv=mv^2/R$, 所以

$$R = \frac{mv_z}{eB} \quad (4)$$

电子离开磁场后将沿圆切线方向飞出, 直射到达荧光屏。在偏转角 ϕ 较小的情况下, 近似的有

$$\tan \theta = \frac{l}{R} \approx \frac{D}{L} \quad (5)$$

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

$$D = 1BL \sqrt{\frac{e}{2mU_2}} \quad (6)$$

实验中的外加横向磁场由一对载流线圈产生, 其大小为

$$B = K\mu_0 nI \quad (7)$$

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

$$D = K\mu_0 nI L \sqrt{\frac{e}{2mU_2}} \quad (8)$$

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。

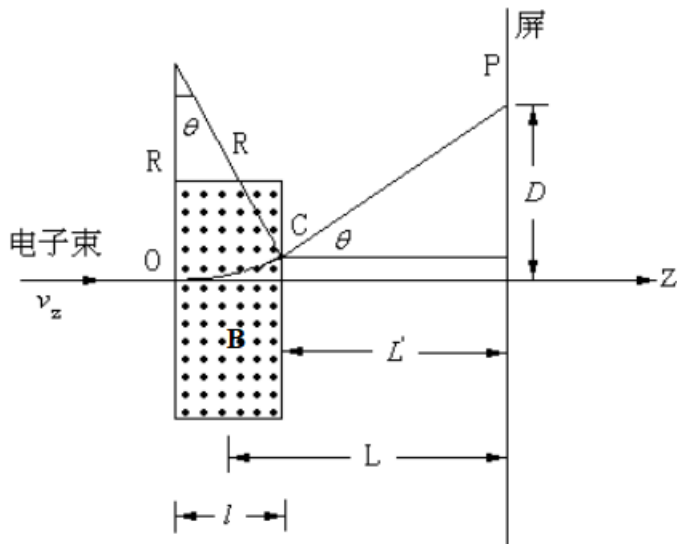


图 3

4.磁聚焦及电子荷质比的测量原理

带点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。测定荷质比的方法很多，本实验采用磁聚焦法。

当示波管放置在一个通电螺旋管内时，沿示波管轴线方将有以均匀分布的磁场，其磁感应强度为 B 。经阳极小孔射出的细电子束流将沿轴线作匀速直线运动。电子运动方向与磁场平行，故磁场对电子运动不产生影响。电子流的轴线速率为

$$v_{//} = \sqrt{\frac{2eU_2}{m}} \quad (9)$$

式中， e ， m 分别为电子电荷量和质量。若在一对偏转极板 Y 上加一个幅值不大的交变电压，则电子流通过 Y 后就获得一个与管轴垂直分量 v_{\perp} 。如暂不考虑电子轴向速度分量 $v_{//}$ 的影响，则电子在磁场的洛伦兹力 F 的作用下（该力与 v_{\perp} 垂直），在垂直于轴线的平面上作圆周运动，即该力起着向心力的作用， $F = e v_{\perp} B = m v_{\perp}^2 / R$ ，由此可得到电子

运动的轨道半径 $R = \frac{v_{\perp}}{Be / m}$ ， v_{\perp} 越大轨道半径亦越大，电子运动一周所需要的时间（即周期）为

$$T = \frac{2\pi R}{v_{\perp}} = \frac{2\pi}{\frac{e}{m} B} \quad (10)$$

这说明电子的旋转周期与轨道半径及速率 v_{\perp} 无关。若再考虑 $v_{//}$ 的存在，电子的运动轨迹应为一螺旋线。在一个周期内，电子前进距离（称螺距）为

$$h = v_{//} T = \frac{2\pi}{B} \sqrt{\frac{2mU_2}{e}} \quad (11)$$

由于不同时刻电子速度的垂直分量 v_{\perp} 度不同，故在磁场的作用下，各电子将沿不同半径的螺线前进。然而，由于他们速度的平行分量 $v_{//}$ 均相同，所以电子在做螺线运动时，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。由式（11）可得

$$\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 U_2}{h^2 B^2} (12)$$

长直螺线管的磁感强度 B ，可以由下式计算：

$$B = \frac{\mu_0 NI}{\sqrt{L^2 + B^2}} (13)$$

将式（13）代入式（12），可得电子荷质比为：

$$\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 U_2 (L^2 D^2)}{(\mu_0 N h)^2} (14)$$

$$\frac{e}{m} = k \frac{U_2}{I_2} (15)$$

本实验使用的电子束实验仪， $k=4.8527 \times 10^8$

三.实验仪器

DZS-D 型电子束实验仪，直流稳压电源

四.实验内容和步骤

1.开启电子束实验仪电源开关

将“电子束—荷质比”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。（主：光点不能太亮，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 轴的中心圆点，且左、右偏转的最大距离都接近于满格。

Y 轴调节 用数字万能表电压档接近于“Y 偏电压表”+、—两端，缓慢调节“Y 轴调节”旋钮使数字万能表读数为 0，然后调节“Y 轴调零”旋钮使光点位于 Y 轴的中心原点。

3.测量 D 随 U_d 的变化

调节阳极电压旋钮，取定阳极电压 $U_2=700V$ ，用数字万能表分别测出 $D=\pm 5, \pm 10, \pm 15, \pm 20mm$ 时的 U_d （垂直电压）值列表记录。再取 $U_2=900V$ ，再测 D 为上述值时的 U_d 值记录表中。

4.测量偏转量 D 随磁偏转电流 I 的变化

使亮光点回到 Y 轴的中心原点，取 $U_2=700V$ ，用数字万用表的 mA 档测量磁偏转电流。列表记录 $D=5, 10, 15, 20mm$ 时的磁偏转电流值，然后改变磁偏转电流方向，再测 $D=-5, -10, -15, -20mm$ 时的磁偏转电流值。再取 $U_2=900V$ ，重复前面的测量。

$$\frac{e}{m}$$

5.电子荷质比 $\frac{e}{m}$ 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 0，将“电子束—荷质比”开关置于“荷质比”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；在增大“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。

（1）开始测量 e/m ，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

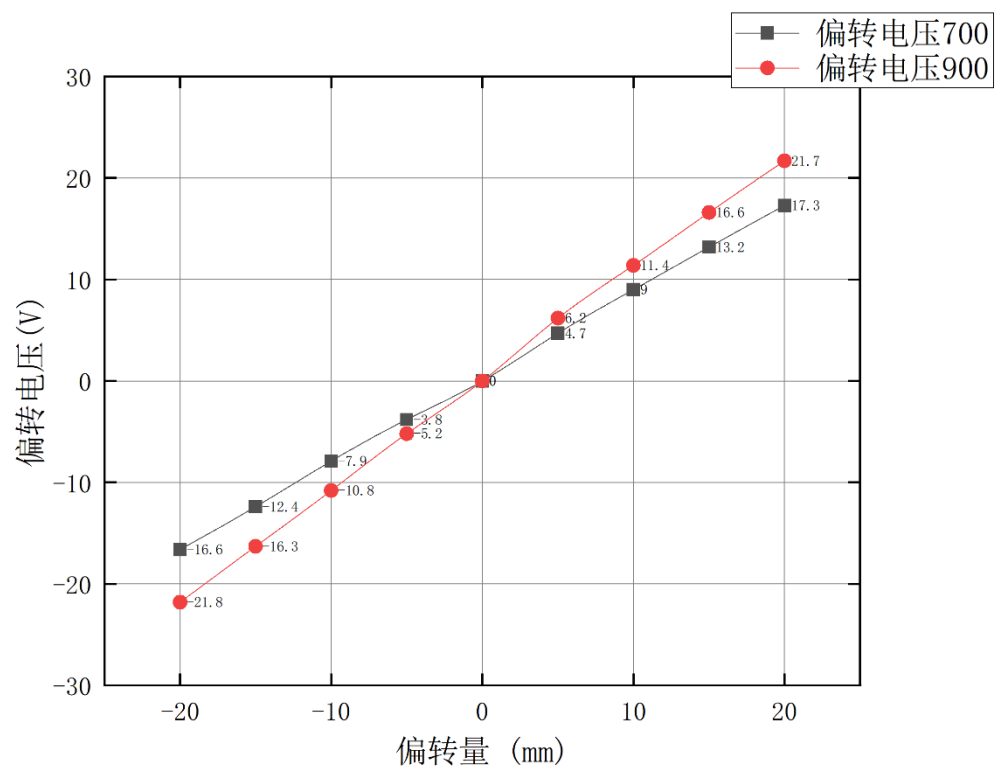
得到一个小亮点，读取电流值。取其平均值，以消除地磁等的影响。

(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

阳极电压 \ 偏转量 D	D	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20
700v	偏转电压 U(v)	17.3	13.2	9.0	4.7	0	-3.8	-7.9	-12.4	-16.6
900v	偏转电压 U(v)	21.7	16.6	11.4	6.2	0	-5.2	-10.8	-16.3	-21.8



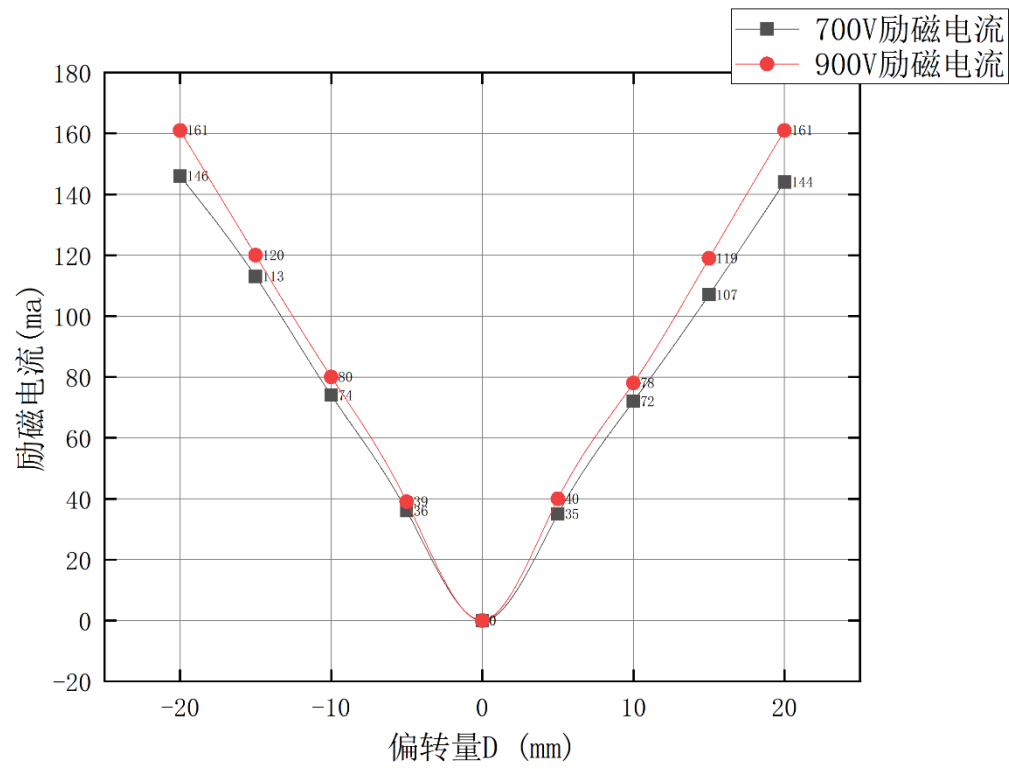
$$\frac{D}{Ud} = k(700V) = 1.1561\text{mm/V}$$

同理 $k(900V)=0.9216\text{mm/V}$

所以 U 越大，斜率 k 越小，电偏转灵敏度越小

2.磁偏转

阳极电压 \ 偏转量	D	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20
		20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20
700V	励磁电流(mA)	144	107	72	35	0	36	74	113	146
900V	励磁电流(mA)	161	119	78	40	0	39	80	120	161



700V 时，灵敏度为 $S_m = \frac{D}{I} = 0.2391\text{mm} / \text{mA}$

900V 时，灵敏度为 $S_m = \frac{D}{I} = 0.124\text{mm} / \text{mA}$

所以 U 越大磁偏转灵敏度越小

3.电子质核比的测量

电压 电 流 (A)	700V	800V	900V	1000V
I _正	1.44	1.62	1.71	1.82
I _反	1.46	1.58	1.72	1.89
I _{平均}	1.45	1.60	1.71	1.85
$\frac{e}{m}$	$1.62 \times 10^{11} C / Kg$	$1.52 \times 10^{11} C / Kg$	$1.50 \times 10^{11} C / Kg$	$1.42 \times 10^{11} C / Kg$
$\frac{e}{m}$ _{平均}	$1.52 \times 10^{11} C / Kg$			

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

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


六.误差分析

- 1.由于仪器不准确导致了实验误差
- 2.电子不能很好地聚集为一个光点，导致了误差
- 3.在读格数时由于网格与光点存在距离，视线不平导致了读数误差
- 4.地磁场本身的影响

七.实验小结与思考

在做实验前，先在网上了解了示波器的原理，所以在实验过程中对于各个旋钮的作用都有了认知，像聚焦和辅助聚焦可以使其显示为一个点，而调节 x，y 轴电压以及调零旋钮可以移动光斑。值得思考的是，测量核质比时，图像并不能很好地变为一个点，所以我是取由直线刚变为一块斑时的励磁电流大小，实际上哪怕电流调到最大的 3.5A，也没有聚集成一个点，我发现随着电流值的增大，图像改变越不明显。

八.附上原始数据:

 **南昌大学物理实验报告**

学生姓名: _____ 学号: _____ 专业班级: _____ 班级编号: _____


实验时间: ____ 时 ____ 分 第 ____ 周 星期 ____ 座位号: _____ 教师编号: _____ 成绩: _____

偏转电压	U	17.3	13.2	9.0	4.7	0	-3.8	-7.9	-12.4	-16.6
700V 偏转量D (mm)		20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20
偏转电压	U	21.7	16.6	11.4	6.2	0	-5.2	-10.8	-16.3	-21.8
900V 偏转量D (mm)		20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20

屏内磁偏转电压	I	144	107	72	35	0	36	74	113	146
700V 偏转量D (mm)		20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20
屏内磁偏转电压	I	161	119	78	40	0	39	80	120	161
900V 偏转量D (mm)		20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20

朱崇华 5908122030
吴锦瑞 5908122011
刘小天 5908122029
彭锋 5908122013

全祖赐 2023-3-11

 **南昌大学物理实验报告**

学生姓名: _____ 学号: _____ 专业班级: _____ 班级编号: _____

实验时间: ____ 时 ____ 分 第 ____ 周 星期 ____ 座位号: _____ 教师编号: _____ 成绩: _____

电压	700V	800V	900V	1000V
I _正	1.44	1.62	1.71	1.82
I _反	1.46	1.58	1.72	1.89
I _{平均}	1.45	1.60	1.71	1.85
e/m	1.62x10 ¹¹	1.52x10 ¹¹	1.50x10 ¹¹	1.42x10 ¹¹
e/m _{平均}	1.52x10 ¹¹			

朱崇华 5908122030
吴锦瑞 5908122011
刘小天 5908122029
彭锋 5908122013

全祖赐 2023-3-11