

电子比荷的测定

电子比荷（荷质比， e/m ）首先由英国物理学家 J.J.汤姆逊（J.J.Thomson. 1856-1940）于 1897 年在英国剑桥卡文迪许实验室测出的。并因此于 1906 年获诺贝尔物理学奖。

在物理学中，测定电子比荷的实验方法有多种，但都是采用电场、或磁场、或电场和磁场来控制电子的运动，从而测定电子的比荷。本实验是采用由亥姆霍兹线圈产生的磁场，控制洛伦兹力管中电子的运动，测定电子比荷的。

实验目的

- 1、观察电子束在电场作用下的偏转。
- 2、观察运动电荷在磁场中受洛伦兹力作用后的运动规律，加深对此的理解。
- 3、测定电子的比荷。

实验仪器

DH4520 型电子比荷测定仪包括：洛伦兹力管、亥姆霍兹线圈、供电电源和读数标尺等部分。仪器采用一体化设计，整个安装在木制暗箱内，便于观察、测量、携带和贮存，如图一所示。

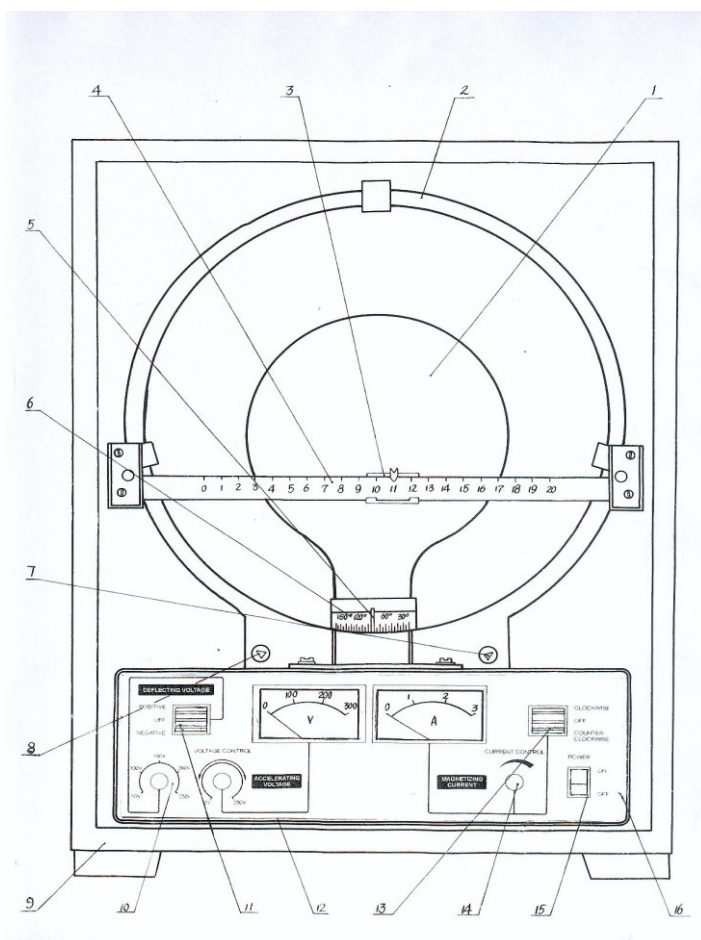


图 1



图 2

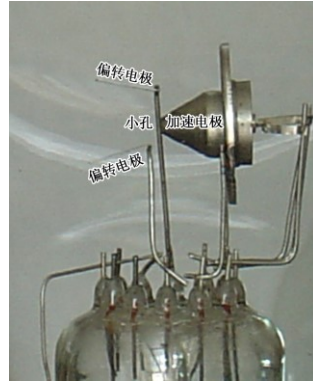


图 3

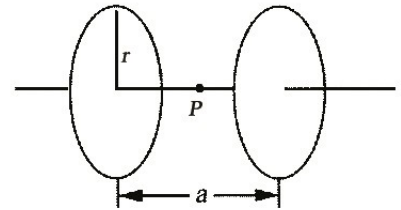


图 4

1、洛仑兹力管 洛仑兹力管又称威尔尼管，是本实验仪的核心器件。它是一个直径为 153mm 的大灯泡，泡内抽真空后，充入一定压强的混合惰性气体。泡内装有一个特殊结构的电子枪，由热阴极、调制板、锥形加速阳极和一对偏转极板组成，如图 3 所示。经阳极加速后的电子，经过锥形阳极前端的小孔射出，形成电子束。具有一定能量的电子束与惰性气体分子碰撞后，使惰性气体发光，从而使电子束的运动轨迹成为可见。

2、亥姆霍兹线圈 亥姆霍兹线圈是由一对绕向一致，彼此平行且共轴的圆形线圈组成。如图 4 所示。当两线圈正向串联并通以电流 I ，且距离 a 等于线圈的半径 r 时，可以在线圈的轴线上获得不太强的均匀磁场。如两线圈间的距离 a 不等于 r 时，则轴线上的磁场就不均匀。

同学们可根据两个单个线圈轴线上 P 点磁感应强度 B 的叠加，求出当 $a=r$ 时，亥姆霍兹线圈轴线上总的磁感应强度

$$B=0.716 \frac{\mu_0 NI}{r}$$

式中 μ_0 为真空磁导率， $\mu_0=4\pi \times 10^{-7} \text{H} \cdot \text{m}^{-1}$ 。 N 为每个线圈的匝数， $N=140$ 匝。 r 为亥姆霍兹线圈的等效半径， $r=0.140\text{m}$ 。根据以上数据，计算得

$$B=9.00 \times 10^{-4} \text{T}$$

(1)

- 3、指针：用于对准电子束环的边沿
- 4、刻度尺：用于测量电子束环的直径
- 5、角度指针：指示洛仑兹力管旋转角度
- 6、角度尺：测量洛仑兹力管旋转角度

7、励磁线圈电流方向指示：逆时针

8、励磁线圈电流方向指示：顺时针

9、暗箱

10、偏转电压大小调节：偏转电压的大小，由偏转电压开关下面的电位器调节。电压值从 50~250V，连续可调，无显示。

11、偏转电压方向切换：偏转电压开关分“上正”、“断开”、“下正”三档。置“上正”时上偏转板接正电压，下偏转板接地。置“下正”时则相反。置“断开”时，上下偏转板均无电压接入。观察与测量电子束在洛仑兹力作用下的运动轨迹时，应置“断开”位置。

12、加速电压调节：阳极电压接洛仑兹力管内的加速电极，用于加速电子的运动速度。电压值由数字电压表显示，值的大小由电压表下的电位器调节。实验时的电压范围约 100~200V。

13、励磁线圈电流方向切换：线圈电流（励磁电流）方向开关分“顺时”、“断开”、“逆时”三档。置“顺时”时线圈中的电流方向为顺时针方向，线圈上的顺时指示灯亮，产生的磁场方向指向机内。置“逆时”时则相反。置“断开”时，线圈上的电流方向指示灯全熄灭，线圈中没有电流。

14、励磁电流大小调节

请注意：在转换线圈电流的方向前，应先将线圈电流值调到最小，以免转换电流方向时产生强电弧烧坏开关的接触点。

在观察电子束在电场力的作用下发生偏转时，应将此开关置“断开”位置。

在仪器后盖上设有外接电流表和外接电压表接线柱，以备在作课堂演示时外接大型电压表和电流表。

15、仪器电源开关

16、仪器面板

17、仪器后面板上有 4 个接线柱，分别为阳极加速电压和励磁电流输出，用于外接万用表精确测量。

实验原理

对于在均匀磁场 B 中的以速度 v 运动的电子，将受到洛仑兹力

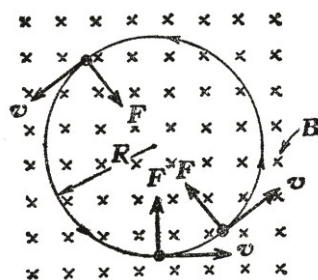
$$F = e \times v \times B$$

的作用。当 v 和 B 同向时，力 F 等于零，电子的运动不受磁场的影响。当 v 和 B 垂直时，力 F 垂直于速度 v 和磁感应强度 B ，电子在垂直于 B 的平面内作匀速圆周运动，如图五所示。维持电子作圆周运动的力就是洛仑兹力，即

$$F = e v B = m \frac{v^2}{R}$$

式中 R 为电子运动轨道的半径。得电子比荷

$$\frac{e}{m} = \frac{v}{RB} \quad (2)$$



图五

由此可见，实验中只要测定了电子运动的速度 v ，轨道的半径 R 和磁感应强度 B ，即可测定电子的比荷。

电子运动的速度 v 应该由加速电极，即阳极的电压 U 决定（电子离开阴极时的初速度相对来说很小，可以忽略）。即

$$\frac{1}{2} m v^2 = e U \quad (3)$$

将（3）式代入（2）式，得

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{B^2 R^2}$$

将（1）式代入上式，得电子比荷

$$\frac{e}{m} = 2.47 \times \frac{U}{10^6 R^2 I^2} \text{ c} \cdot \text{kg}^{-1}$$

如果用电子束轨迹的直径 D 表示，则

$$\frac{e}{m} = 9.88 \times \frac{U}{10^6 D^2 I^2} \text{ c} \cdot \text{kg}^{-1} \quad (4)$$

式中 U 、 D 、 I 都是可以通过实验测量的量。由此即可求出电子比荷。

如果电子运动的速度 v 和磁感应强度 B 不完全垂直时，电子束将作螺旋线运动。

实验内容

在开始通电实验前，先检查仪器面板上各控制开关和旋钮应放在下述位置上：偏转电压开关量“断开”，电位器逆时针转到电压最小（50V，无显示）。调节阳极电压的电位器也逆时针调到零。线圈电流方向开关置“断开”，调节线圈电流的电位器也逆时针调到零。以上调节的目的，是为了保护仪器，不受大电流高电压的冲击。延长洛仑兹力管的使用寿命。

打开电源，预热 5 分钟。逐渐增加阳极电压至 100~200V 左右，即可看到一束淡兰绿色的光束从电子枪中射出，这就是电子束。

1、观察电子束在电场作用下的偏转

转动洛仑兹力管，使角度指示为 90° ，即电子束指向左边并与线圈轴线垂直。在转动洛仑兹力管时，务必用手抓住胶木管座，切勿手抓玻璃泡转动，以免管座松动。

将偏转电压开关拨到“上正”位置，这时上偏转板为正，下偏转板接地，观察电子束的偏转方向。加大偏转板上的偏转电压，观察偏转角度的变化情况。在偏转电压不变的情况下，加大阳极电压，观察偏转角度的变化情况。再将偏转电压调至最小，偏转开关拨到“下正”位置，作与上相同的观察。

记录观察到的现象，并作出理论解释。

2、观察电子束在磁场中的运动轨迹

将偏转电压开关拨到“断开”位置。线圈电流方向开关拨到“顺时”位置，线圈上的电流顺时方向指示灯亮，加大线圈电流和阳极电压，观察电子束在磁场中运动轨迹的变化情况。转动洛仑兹力管，作进一步的观察。

记录观察到的现象，并作出理论解释。

3、测量电子的比荷

根据以上所述，将电子束轨迹调整成一个闭合的圆。利用读数装置，在不同的阳极电压 U 和不同的线圈电流 I 情况下，仔细测量电子束轨迹的直径。根据公式（4）计算电子比荷。

具体内容建议：

- 1) 固定阳极电压，改变线圈电流，作多次测量。
- 2) 固定线圈电流，改变阳极电压，作多次测量。

欲使实验结果比较准确，关键是测准电子束轨迹的直径 D 。圆的直径取在 4cm 到 9cm 之间时较为合适。

实验结束后，将阳极电压和线圈电流调到最小，偏转电压开关和线圈电流开关都拨到“断开”位置，然后关掉电源。

数据表格

学生自理。

思考问题

1、为什么电子束在旋转过程中，轨迹变得愈来愈粗，愈来愈模糊，这是正常的吗？请作理论分析。

2、试从测量误差角度讨论，读数装置中采用的游标尺的分度值为 0.01mm ，是否合理？为什么？应采用多大的分度值更为合理？

DH4520 型电子比荷测定仪使用说明

概述

DH4520 型电子比荷测定仪的前身产品的型号为 153W-2 型洛仑兹力演示仪，使用至今已有 20 余年。现经公司在原有的 153W-2 型仪器上改进，可同时用于测量电子比荷。并改名称为 DH4520 型电子比荷测定仪。

技术指标

- 1、洛仑兹力管直径 153cm，充惰性气体，转动角度 $>180^\circ$ ，有刻度指示。
- 2、亥姆霍兹线圈 等效半径 $r=0.140\text{m}$ ，线圈间距离 a 等于线圈等效半径 r ，单个线圈匝数 $N=140$ 匝。
- 3、偏转电压 50~250V 连续可调，无显示。分“上正”、“断开”、“下正”三档。阳极电压 0~250V 连续可调。电压值数字显示，误差 $\pm 0.5\%$ 。线圈电流 0~2A 连续可调。电流值数字显示，误差 $\pm 0.5\%$ 。分“顺时”、“断开”、“逆时”三档，有指示灯指示电流方向。
- 4、平均相对误差 $E \leq 5\%$ 。
- 5、供电电压 AC 220V/50Hz。

仪器验收

- 1、根据装箱单清点仪器的成套性。包括①DH4520 型电子比荷测定仪（主机）一台②洛仑兹力管一只③电源线一根④实验讲义一本。
- 2、外观检查。有无因野蛮装卸造成的破损。
- 3、旋下游标尺一端的固定螺丝，将游标尺放下。再将洛仑兹力管插到主机上。插管时注意手持灯管胶木管（请勿抓玻璃泡），并将胶木管键对准主机上的管座键，切勿硬插，以免插错管脚，烧坏洛仑兹力管。再固定好游标尺。
- 4、在开始接通电源前，先检查仪器面板上各控制开关和旋钮的位置，应在下述位置上：偏转电压开关置“断开”，电位器逆时针转到电压最小（50V，无显示）。调节阳极电压的电位器逆时针调到零。线圈电流方向开关置“顺时”，调节线圈电流的电位器也逆时针调到零。打开电源，预热 5 分钟。逐渐增加阳极电压至 100~200V 左右，即可看到一束淡兰绿色的光束从电子枪中射出，这就是电子束。改变偏转电极的电压以及调节线圈电流的大小，观察电子束的轨道。在调节线圈电流时，偏转电压开关应置“断开”。

调小阳极电压和线圈电流，然后关掉电源。

参数数据

测量电子比荷的计算公式

$$\frac{e}{m} = 9.88 \times 10^6 \frac{U}{D^2 I^2} \text{ c} \cdot \text{kg}^{-1}$$

1、固定阳极电压，改变线圈电流

阳极电压 U (V)	线圈电流 I (A)	电子束直径 D (m)	电子比荷 $e/m \times 10^{11}$ (c•kg ⁻¹)
100	1.00	0.0739	1.81
	1.20	0.0639	1.68
	1.40	0.0561	1.66
	1.60	0.0476	1.70
	1.80	0.0422	1.71
平 均 值			1.70

2、固定线圈电流，改变阳极电压

线圈电流 I (A)	阳极电压 U (V)	电子束直径 D (m)	电子比荷 $e/m \times 10^{11}$ (c•kg ⁻¹)
1.50	100	0.0510	1.69
	110	0.0522	1.61
	120	0.0538	1.82
	130	0.0576	1.72
	140	0.0591	1.76
平 均 值			1.72

平均相对误差 $E=2.8\%$

思考题解

1、当电子束在旋转过程中，轨迹变得愈来愈粗、愈来愈模糊，这是正常的。因为①电子束从加速阳极小孔射出来时就有一个张角，但很小。②电子束在洛仑兹力管中旋转时，要与惰性气体分子发生碰撞，产生散射。③电子离开阳极时的初速度虽然很小，但不为零。速度大的电子圆半径大，速度小的电子圆半径小。因此，电子束变粗、变模糊是正常现象。

2、读数装置采用 0.01mm 分度值的游标尺并不合理。因为电子束的宽度约为 1~2mm，因此采用以 mm 为最小刻度的读数尺，从误差的角度考虑，已经足够了。