

# 數位式電子荷與質量比實驗

## 一、實驗目的：

1. 探究磁場對運動電子產生的磁場作用力。
2. 觀察三維空間內電子束軌跡。
3. 測定電子的電荷與質量比。

## 二、實驗原理：

洛倫茲管又稱威爾尼特電子管，該管是一個直徑為 160 毫米的大玻璃泡，泡內抽真空後，充入一定壓強的混合惰性氣體。其內部裝有一電子槍，由熱陰極、調制板、錐形加速極以及一對偏轉板組成。當電子槍各電極加入適當工作電壓後，便發射出一束電子束。具有一定能量的電子與惰性氣體分子碰撞，使惰性氣體發光，就能在電子所經過的路徑上看到光跡。

亥姆霍茲線圈是一對直徑為 280 mm，每個環形線圈為 140 匝，同軸平行放置，間距為 140mm，兩個線圈串聯連接。當線圈通上電流後，在兩個線圈中心連線中點附近區域經由數學處理或實驗可發現為一近似均勻磁場，該處的磁場強度可按下式計算：

$$B = 9 \times 10^{-7} (NI) / R = 9 \times 10^{-4} I (\text{特斯拉}) \quad (1)$$

式中 N：線圈匝數

I：亥姆霍茲電流(安培)

R：亥姆霍茲線圈半徑(公尺)

儀器控制及電源組合機箱上，固定一對亥姆霍茲線圈 L1、L2。在亥姆霍茲線圈正中，裝上電子束管 V1。電子束管各電極加入適當電壓後，便發射出一束電子束，可看到電子束運動的直線光跡。這時如接通亥姆霍茲線圈電源，電子束在線圈產生的均勻磁場中受到磁場作用力的作用，其向量表達式為：

$$\vec{F} = e\vec{V} \times \vec{B} \quad (2)$$

式中  $\vec{F}$  為電子受到的磁場作用力， $\vec{V}$  為電子束運動的速度， $\vec{B}$  為磁場強度。

磁場作用力的方向由左手定則確定，大小為：

$$F \times -eVB \sin \alpha \quad (3)$$

式中  $e$  為電子電荷， $\alpha$  為電子運動方向與磁場方向之間的夾角。

轉動電子束管，當電子運動方向與磁場方向一致  $\alpha = 0$  或相反  $\alpha = 180^\circ$  時，電子不受磁場作用力作用，電子束軌跡為直線。當電子運動方向與磁場方向垂直時，這時電子受到一個始終垂直於運動方向的磁場作用力  $F = eVB$  的作用。由於電子運動速度  $V$  是恆定的，均勻磁場中  $B$  也是恆定的，於是磁場作用力也是恆定的，這個恆定的方向對於運動中的電子起向心力的作用，電子運動成為均勻速度的圓周運動，其電子軌跡為圓形。亥姆霍茲電流越大，磁場強度越大，磁場作用力越大，圓的直徑越小。當電子運動方向與磁場方向為任意角度時，可將電子運動方向分解為平行磁場和垂直於磁場兩個分量。平行於磁場分量的電子運動方向不受磁場作用力的作用，仍作直線運動，垂直於磁場分量的電子運動方向受到磁場作用力的作用，作圓周運動，因此電子運動的合成軌跡呈螺旋線。

電子作均勻等速圓周運動時，向心力為  $\frac{mV^2}{r}$ ，這力就是電子在均勻磁場中所受到的磁場

作用力，於是：

$$\frac{mV^2}{r} = eVB \quad (4)$$

式中  $r$  為電子運動軌跡的半徑

$m$  為電子質量

由式(4)可推導出電子的荷質比為：

$$\frac{e}{m} = \frac{V}{rB} \quad (5)$$

電子在加速電極電場中得到的動能等於電場對它所作的功，即：

$$1/2V^2 = eVa \quad (6)$$

式中  $Va$  為加速電極電壓

從(6)式中可以求出電子運動的速度為

$$V = \sqrt{\frac{2eVa}{m}} \quad (7)$$

將公式(1)、(7)代入(5)式，可得到電子荷質比為

$$\frac{e}{m} = \frac{2.47 \times 10^6 Va}{R^2 I^2} \text{庫侖/公斤} \quad (8)$$

於是可以根據加速電極電壓  $V_a$ ，亥姆霍茲線圈電流  $I$  及電子軌跡半徑  $r$ ，計算出電子的荷質比。

電子束管中還裝有一對偏轉板。關畢亥姆霍茲線圈電源，在偏轉板上加電壓，可以觀察電子在電場作用下的偏轉運動。當上偏轉板加正電壓，電子受電場作用力，運動軌跡向上偏轉，偏轉角  $\phi$  為：

$$\text{tg}\phi = (eV_d)/(mdV^2) \quad (9)$$

式中  $V_d$  為偏轉極上的電壓

$l$  為偏轉板長度

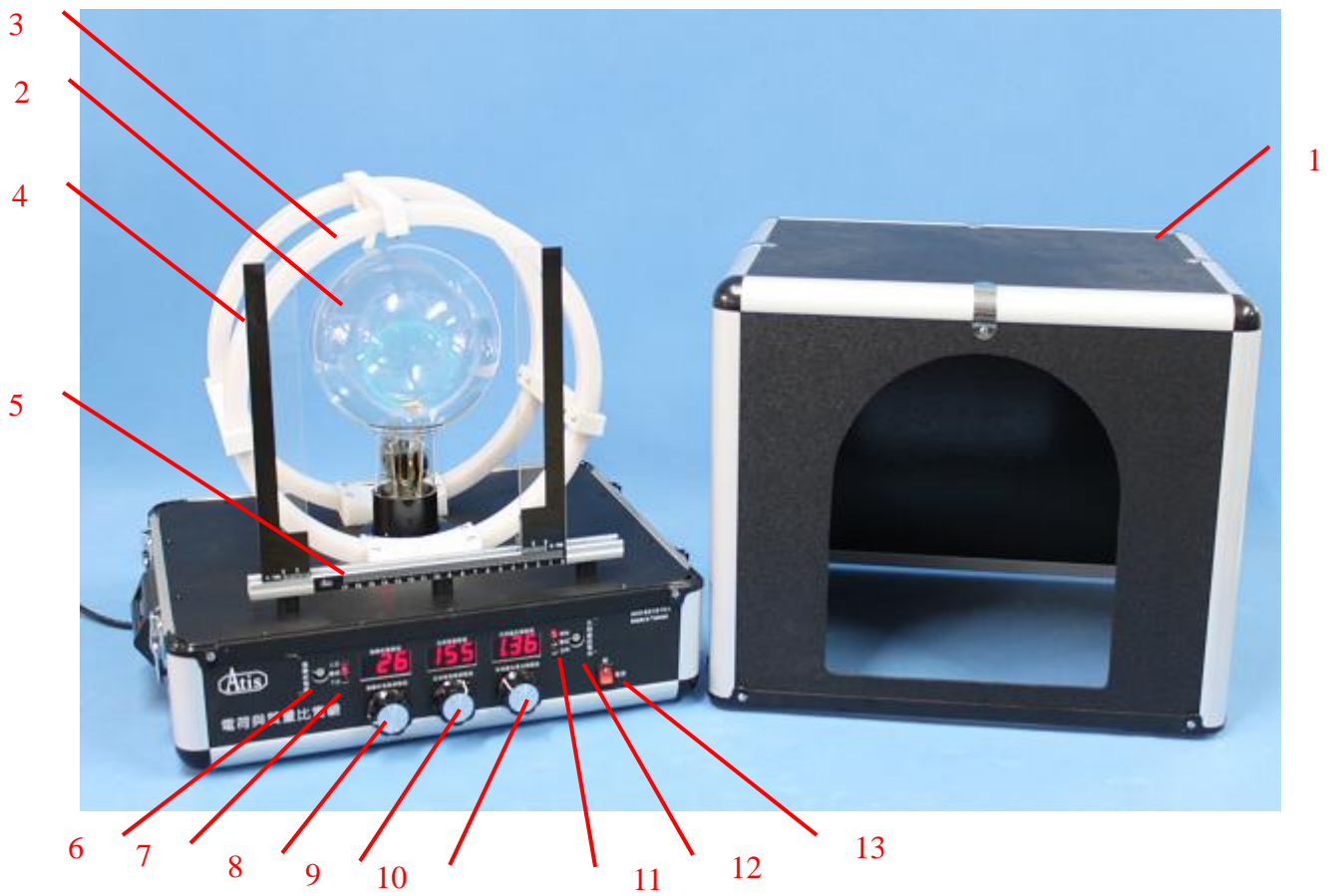
$d$  為偏轉板間距離

$V$  為電子運動速度

從公式中可知，偏轉角與偏轉板上所加電壓成正比，與電子運動速度平方成反比。也就是說與加速電極電壓成反比。當偏轉板加正電壓時，電子運動軌跡向下偏轉。

為增強觀察效果，整個儀器裝在木製暗箱內。暗箱內部塗無光黑漆，外表木器清漆。暗箱也是儀器的外機箱，出廠以後，整機就固定在暗箱內。

### 三、實驗儀器：



- |                 |               |                |          |
|-----------------|---------------|----------------|----------|
| 1 暗箱            | 2 電子束管        | 3 亥姆霍茲線圈       | 4 半徑量測指標 |
| 5 量尺            | 6 偏極切換開關      | 7 偏極指示燈        | 8 偏極大小旋鈕 |
| 9 加速極電壓旋鈕       | 10 亥姆霍茲線圈電流旋鈕 | 11 亥姆霍茲線圈電流指示燈 |          |
| 12 亥姆霍茲線圈電流切換開關 | 13 儀器電源開關     |                |          |

#### 四、實驗步驟：

##### 1. 準備工作

① 打開儀器前箱蓋，如果是新到貨的儀器，請將亥姆霍茲線圈中間的包裝紙箱取下，小心地將電子束管拿出，並插入儀器亥姆霍茲線圈間的管座上，注意要用手握住管座對准插座。將管子插緊，切記不要握住玻璃泡用力，以免管座鬆動。電子插好後將儀器座上一只滾花螺釘轉鬆，檢查轉動是否靈活。檢查時用手轉動管座，不能轉動玻璃泡。

② 檢查儀器控制旋鈕位置，應按下述要求放置：

加速電極電壓	逆時針轉到零
亥姆霍茲電流方向	斷路
亥姆霍茲電流調節	逆時針轉到最小值
偏轉板電壓方向	斷路
偏轉板電壓調節	逆時針轉到 50V

③ 將儀器後蓋板上電源線鬆開，接上電源。檢查一下亥姆霍茲電流接線柱處跨接銅片是否接好。打開電源開關，面板上指示燈即亮，電子束管中燈絲也發光，預熱五分鐘，即可以正常使用。

##### 2. 觀察電子束在均勻磁場中的運動軌跡

① 觀察電子束在磁場中的偏轉。磁場作用力演示儀經預熱後，順時針方向轉動加速電極電壓旋鈕，就可以看到電子束管發射出電子射線形成的直線徑跡。加速電極電壓一般加到 100 伏特到 200 伏特之間，即可。轉動電子束管，使角度為  $90^\circ$ ，此時電子束軌跡直線指向左邊，與亥姆霍茲線圈軸線垂直。將亥姆霍茲電流方向開關扳到“逆時”位置，線圈上逆時針指向信號燈發光，指示出亥姆霍茲線圈已加上逆時針方向電流，按右手螺旋法則可知道產生的磁場平行於線圈軸線，方向朝向測試者。根據左手定則，可確定電子所受到的磁場作用力方向朝下，於是可看到電子束軌跡向下偏轉。順時針轉動亥姆霍茲電流調節旋鈕加大亥姆霍茲電流，可看到偏轉角度增大。將亥姆霍茲電流調節旋鈕轉到最小電流位置，亥姆霍茲電流方向開關扳向“順時”位置，線圈上順時針指向信號燈光，指示出亥姆霍茲線圈已加上順時針方向電流，所產生的磁方向變化  $180^\circ$ ，於是可看到電子束軌跡向上偏轉。

② 觀察電子束在均勻磁場中作圓周運動。將亥姆霍茲電流調節旋鈕順時轉動，逐漸加大亥姆霍茲電流，可看到電子束軌跡形成一個圓形。從公式(4)中可求出圓形軌跡的直徑為：

$$D = 2r = (mV)/(eB) \quad (10)$$

電子束作圓周運動的直徑正於電子運動的速度  $V$ ，反比於磁場強度  $B$ 。可以用實驗來證明。在加速電極電壓不變時，當加大亥姆霍茲電流時，磁場  $B$  加大，可看到電子軌跡直徑減小。在亥姆霍茲電流不變時，當加大加速電極電壓，電子運動的速度加大，可看到電子軌跡直徑加大。

- ③觀察電子束在三維空間的運動軌跡。順時針轉電子束管，使角度指示為  $180^\circ$  電子束方向和磁場方向平行時，電力不受磁場作用力，可看到電子束徑跡為一直線。當轉動角度指示為  $130^\circ \sim 150^\circ$  時，即電子束方向與磁場方向成交角時，可看到電子束軌跡呈螺旋線。這就驗證了公式(2)。

### 3.觀察電子束在電場作用下的偏轉運動

將亥姆霍茲電流調節旋鈕逆時針轉到最小值，亥姆霍茲電流方向開關扳到“斷路”位置，亥姆霍茲線圈上的信號燈熄滅，表示亥姆霍茲線圈沒有通電流，不產生磁場。轉動電子束管，使角度指示為  $90^\circ$ ，即電子束指向向左垂直線圈軸線。將偏轉板電壓方向開關扳到“上正”位置，電子束管內上偏轉板加上正電壓，下偏轉板接地，於是可看到電子束軌跡向上偏轉。順時針轉動偏轉板調節旋鈕，加大偏轉板上電壓，電子束軌跡上偏角度加大。在偏轉板電壓不變情況下，加大加速電極電壓，可看到電子束軌跡上偏角度減小。以上觀察到的現象驗證了公式(9)。如將偏轉板電壓方向旋鈕扳到“下正”位置，電子束管內下偏轉板上加上正電壓，上偏轉板接地，於是可看到電子束軌跡向下偏轉。

### 4.電子荷質比 $e/m$ 的測量

- ①儀器接好線路後，按準備工作的要求進行預熱。
- ②順時針轉動加速電極電壓旋鈕，使加速電極電壓調到 140 伏特。將亥姆霍茲電流方向開關扳到“順時”位置，順時針轉動亥姆霍茲電流調節旋鈕，並轉動電子束管使角度指示為  $0^\circ$ ，此時電子束軌跡成為近似一個圓形。
- ③架上標尺，並將標尺調到能方便讀測電子軌跡直徑的高度，用游標上 V 形槽瞄準圓的兩個邊緣，讀測出圓直徑。並讀出此時電表指示的亥姆霍茲電流值及加速電極電壓值，將以上數據代入公式(8)，即可計算出電子的荷質比。
- ④為了提高測試的準確性，應當在不同加速電極電壓及不同亥姆霍茲電流值，測出多組數值進行計算，再取平均值。
- ⑤欲使荷質比測量數據準確，關鍵是電子軌跡半徑應測準。圓的直徑應調到 4 公分到 9 公分之間較為合適。
- ⑥測試完畢後，將加速電極電壓旋鈕逆時針轉到零，亥姆霍茲電流調節旋鈕逆時針轉到 0.5 安

培，然後關掉電源開關，拆去外接電表，將儀器恢復到原來狀態。

## 5.注意事項

- ① 電子束管的壽命較短，為延長電子束管的使用壽命，儀器使用前，先檢查加速電極電壓旋鈕是否逆時針轉到零。遇熱 5 分鐘後，再順時針轉動加速電極電壓旋鈕，一般加上 100 伏特到 200 伏特之間加速電極電壓即可，儀器暫時不觀察時，應將加速電極電壓旋鈕轉到零，待需要觀察時再加上加速電極電壓。儀器使用結束時先將加速電壓旋鈕轉到零，再關電源開關。儀器連續工作時間不要超過一小時。
- ② 實驗時需要轉換亥姆霍茲電流方向時，一定要先將亥姆霍茲電流調節旋鈕轉到最小電流值位置後再進行，防止大電流轉換時電弧過大燒損轉換開關。
- ③ 轉動電子束管時，應推動管座上的滾花螺釘或轉動管子膠木管座部，決不要轉動管子玻璃泡，以免損壞管子。當轉動角度指示超過  $180^\circ$  或  $0^\circ$  時，不要再繼續轉動，以防內部止轉裝置損壞。
- ④ 觀察磁場作用力現象時，一定要將偏轉板電壓調節旋鈕逆時針轉到最小，偏轉板電壓方向開關扳到“斷路”位置。觀察電場作用力時，一定要將偏轉板電壓幅值旋鈕轉到最小值，亥姆霍茲電流方向開關扳到“斷路”位置。
- ⑤ 由於穩壓電流輸出電流較小，實驗時調節亥姆霍茲電流調節旋鈕不宜超過 2 安培。如超過 2 安培，穩壓電源工作將不正常，電子束管電子束軌跡就會發生晃動。
- ⑥ 儀器使用時，如發生保險絲熔斷，應分析與檢查儀器是否發生了故障，找出原因後再更換保險絲。電源保險絲 F2(0.75A)，亥姆霍茲電流保險絲 F1(2.5A)裝在儀器後蓋板保險絲盒內。
- ⑦ 儀器運輸，存放時，一定注意不能將儀器倒置。將電子束管座上的滾花螺釘旋入上蓋罩上裝螺母中，蓋好暗箱蓋板。搬動時要防止碰撞。儀器應存放在陰涼、乾燥、通風的地方，存放滿三個月時，必須開機一次，開機時間為一小時，開機時不加加速電極電壓，亥姆霍茲線電流開關“順時”，亥姆霍茲電流調節旋鈕調到 1 安培位置。

五、實驗數據報告：

實驗 次數	電壓差 $V$ (伏特)	線圈電流 $I$ (安培)	磁場 $B$ (特士拉)	電子軌跡半徑 $r$ (公尺)	荷質比 $e/m$ (庫侖/公斤)
1					
2					
3					
4					
5					
電子的荷質比平均值					
電子荷質比 $e$					1.7600E+11
誤差百分率(%)					

實驗 次數	電壓差 $V$ (伏特)	線圈電流 $I$ (安培)	磁場 $B$ (特士拉)	電子軌跡半徑 $r$ (公尺)	荷質比 $e/m$ (庫侖/公斤)
1					
2					
3					
4					
5					
電子的荷質比平均值					
電子荷質比 $e$					1.7600E+11
誤差百分率(%)					