

第七編  
原子物理

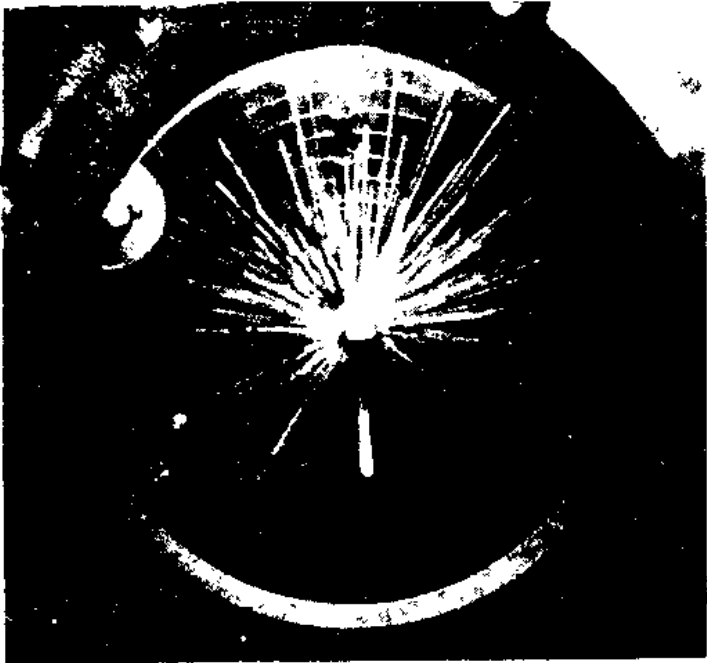
# 目 錄

<b>第七編</b>	<b>原子物理</b>	
<b>第一章</b>	<b>陰極射線</b> .....	7-3
第一節	真空放電 .....	7-3
①	真空度與放電狀態 .....	7-3
②	克魯斯氏真空計 .....	7-5
第二節	克魯克斯管 .....	7-6
①	封入螢光物質的克魯克斯管 .....	7-6
②	封入十字板的克魯克斯管 .....	7-7
③	有風車的克魯克斯管 .....	7-8
第三節	陰極射線和電場磁場的作用 .....	7-9
①	裝有縫隙及電極的克魯克斯管 .....	7-9
②	利用魔眼燈(電子射線管)來測定電子之比電量 ..	7-13
<b>第二章</b>	<b>放電管</b> .....	7-17
第一節	霓虹管等的應用 .....	7-17
①	霓虹管的特性 .....	7-17
②	利用霓虹管產生鋸齒狀波 .....	7-20
③	定電壓放電管的特性 .....	7-23
第二節	螢光燈 .....	7-26
①	螢光燈的原理 .....	7-26
第三節	閘流管 .....	7-27
①	閘流管的特性 .....	7-27
②	利用閘流管產生鋸齒狀波 .....	7-28
<b>第三章</b>	<b>光電效應</b> .....	7-31
第一節	光電效應的現象 .....	7-31
①	利用金箔驗電器顯示當短波長光射到金屬板時會產生 光電效應 .....	7-31
第二節	光電管 .....	7-32
①	利用光電管查驗照度的變化 .....	7-32
②	多種光電管 .....	7-37

	③	用光電管及電磁繼電器的實驗	7-41
第三節		光電池	7-43
	①	光電池的動作	7-43
	②	利用光電池電磁繼電器的實驗	7-46
第四節		光電晶體	7-47
	①	光電晶體的動作	7-48
	②	P-N接合型光電晶體	7-49
	③	利用光電晶體及電磁繼電器的實驗	7-51
<b>第四章</b>		<b>X 線</b>	7-53
第一節		各種X線管	7-53
	①	利用含氣體電離管產生X光線	7-53
	②	利用熱陰極型(軟X線發生裝置)來產生X線I	7-55
	③	利用熱陰極管型(攜帶型診察用裝置)產生X線II	7-59
	④	利用KX 142 L K 22產生X線	7-63
第二節		X線的性質	7-65
	①	X線像片的攝影	7-65
	②	勞厄斑點的攝影	7-66
<b>第五章</b>		<b>放射能</b>	7-71
第一節		放射線基本技術	7-71
	①	在學校內放射線物質的運用	7-71
	②	Dekatron計數裝置	7-75
	③	蓋氏計數管	7-82
	④	威爾遜雲霧箱	7-88
	⑤	擴散型霧箱	7-93
	⑥	簡易擴散霧箱	7-96
第二節		各種放射線實驗	7-99
	①	放射能雨的測定	7-99
	②	閃爍鏡	7-103
	③	放射性自記相	7-104
參考	1	半導體放射線探測器	7-107
	2	成爲業餘原子核實驗家的勸誘	7-114
	3	放射線與人	7-123
	4	有關基本粒子的資料	7-129

# 第七編

## 原子物理





# 第一章 陰極射線

## 1. 真空放電

### ① 真空度與放電狀態

利用真空抽氣一邊抽氣一邊觀察的方法。(初)(高)

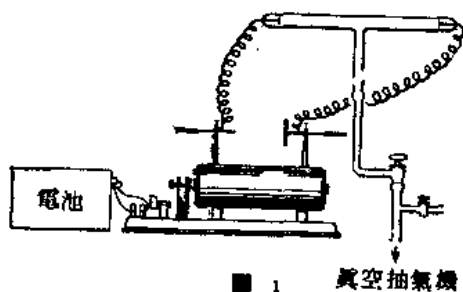
【目的】 用真空抽氣抽出放電管內氣體，並觀察隨着真空度變高時放電狀態的變化。

【原理】 在一大氣壓下的空氣中很難產生放電，若把放電管內氣體抽出一部份後就容易引起放電。其理由如下：

當放電管兩極加電壓以後，管內產生電場，管內的電子及負游子就往陽極跑。管內氣壓還相當高時這些電子和負游子的平均自由行程短，因此還沒有被加速的十分快以前就和原子，分子相碰撞，而不產生更進一步的作用。管內氣壓減低後，分子，原子的分佈變疏，使電子和原子或分子相碰撞以前可以走相當長的距離，因此被加速而得到相當的動能。當這些電子和氣體的原子或分子相撞時打出另一個電子。被打出的電子也和原來進來的電子一樣被加速，衝出另一電子出來，如此電子就開始鼠竄式地增加，最後如山崩一般地衝到陽極。這就是放電的過程。

電子撞到原子或分子時，有時不會打出另一電子，但衝來的電子的動能的一部份或全部傳給原子，使原子變到高能狀態。當高能狀態的原子變回到原狀態時所多餘的能量就變成光子放出。這就是輝光放電時的亮光。

【準備】 放電管(長度約 50 cm，如圖 1 加工到可以接到真空抽氣機)，蓄電池(6V)，感應繞圈(火花長約 10 cm)，



迴轉式真空抽氣機（到達真空度 $10^{-3}$  mm Hg 以下，抽真空速度越大越好），放電管用接頭、厚橡皮管、架子、接電用電綫、使房子變成暗室的遮光設備。

- 【方法】
1. 把儀器安排如圖 1，配綫接好後把房間遮暗。
  2. 放開感應綫圈，一直保持綫圈兩極間放電，且開動真空抽氣機的馬達。
  3. 片刻後，就在放電管內開始粉紅色綫狀的放電，而感應綫圈兩極間的放電就停止。
  4. 當管內真空度變高時，綫狀的放電變粗，再變成帶狀，然後變成條紋，最後整個管中發出粉紅色的光。後來這粉紅色的光就變成由陽極開始有等間隔的一段一段的光柱。（請參照下一節克魯斯氏真空計）。
  5. 如再提高真空度，粉紅色的光柱由陽極慢慢消失，管內就變暗，同時管的全體會產生綠色的螢光，陰極後面的管壁的螢光特別亮。
  6. 關閉放電管的活塞，並停止真空抽氣機馬達的轉動。再把活塞微轉使空氣慢慢漏入放電管中，這時放電狀態就由 5~3 顛倒以前的次序變化。
- 【要點】
1. 放電管及架子上都有高電壓，在暗室內做如此高壓實驗以前，必須注意學生不要碰到。

2. 接感應綫圈兩極至放電管兩極時，用繞成綫圈狀的細漆包綫較方便，並且必須注意到這些導綫不可接近任何導體。

【參考】 1. 4. 的狀態成爲輝光放電時，此程度的真空度的放電管稱爲蓋斯勒管。

2. 5. 的狀態的放電管稱爲克魯克斯管。玻璃放出綠光的原因是：由陰極向陽極放射陰極射綫（高速的電子流），此射綫打到玻璃放出綠色的螢光。（請參照下節克魯斯氏真空計）。

【注意】 1. 這實驗最要緊的事是：迴轉真空抽氣機的性能以及如何完全密封放電管接合的部份。爲了保持整個實驗裝置的密封，盡量減少接合的部份，且保持接合部完全密閉。

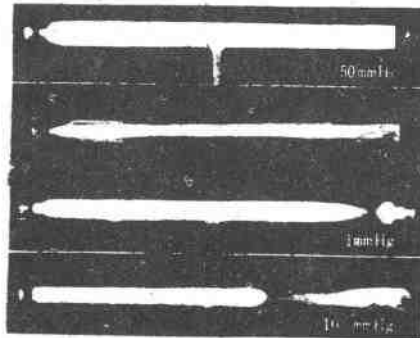
2. 爲便於觀察起見，最好用有漏氣活塞的放電管，如此可以保持同一程度的真空很久以便於觀察。

## ② 克魯斯氏真空計

【用途】 1. 理解真空度及放電狀態。

2. 相反地由放電狀態推測真空度。（初）（高）

【原理·構造】 1. 在直立的板上排着六種不同真空度（10. 6. 4. 3. 0.14 , 0.03 mm Hg）的放電管。



照片 1

2. 把感應綫圈（產生 4cm 火花程度的）的兩極接到各放電管就會明白放電狀態的變化。

3. 相片 1 爲各真空度的放電狀態。



北林圖 A00057210

236633



### 〈綫狀放電〉

空氣中的放電很困難，爲了發生 1 cm 的火花須要  $10^4$  V 的電壓。但是空氣的壓力減小後就容易放電，到數 mm Hg 程度壓力時就產生綫狀放電。

### 〈帶狀放電~條紋狀放電〉

真空度達到  $10 \sim 1$  mm Hg 時，就更容易放電，因此管全體發光。此光經分光儀就可看到該氣體固有的光譜。

### 〈蓋斯勒放電〉

蓋斯勒第一次做出了  $1 \sim 10^{-1}$  mm Hg 程度的放電管。此程度的放電管即發生特有的輝光放電，而所發生的光也是氣體固有的光譜。

### 〈克魯斯放電〉

真空度達到  $10^{-1}$  mmHg 以下時放電又慢慢地困難起來，直到消失特有的光輝，管全體就帶有螢光。如前所述此螢光是由陰極射出來的陰極射綫所產生。陰極射綫和管內的氣體的種類沒有關係。

**【使用法】** 1. 先把感應綫圈的一端接到置放克魯斯氏真空計的直立板前面的接頭，另一端接到板背面裝在把手上的接頭。

2. 將把手的位置依次更換後就可以依次聯接到 1、2、3 的放電管的另一電極，如此聯接好後，啟動感應綫圈。

**【要點】** 1. 實驗室最好弄成半暗或全暗。

2. 放電管的電極一端是平板另一端是針狀。針狀電極必須爲陽極。如發現接反時，只要轉換感應綫圈的開關就可以改變兩極的正負。

3. 要改接放電管電極時，必須推出把手的絕緣體部，以避免接觸到有高壓的地方。

## 2. 克魯克斯管

① 封入螢光物質的克魯克斯管

**【用途】** 觀察陰極綫的螢光作用。(初)(高)

**【構造】** 在克魯克斯管內陰極射綫能射到的地方，放入能放射螢光

的各種礦石（如石灰岩，方解石，閃亞鉛）（圖1）。如圖2的克魯克斯管放着石灰岩。

【原理】 1. 當陰極射綫打擊到礦石時會發光，所發光的顏色依物質成分而不同。

2. 石灰岩，方解石（碳酸鈣）放出帶紅色的光，閃亞鉛礦（硫化鋅）則帶淡綠色的光。

【使用法】 1. 用導綫連接電極和感應綫圈。

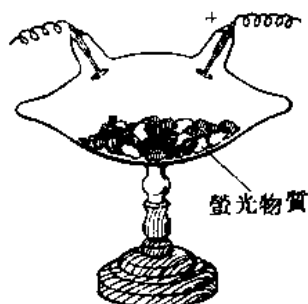


圖 1

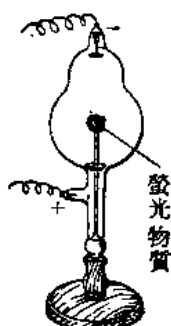


圖 2

2. 把房門遮暗後，開啟感應綫圈，並觀察所發出的螢光。

【使用上的注意】 搬運儀器時要小心，不要打破。

【參考】 陰極綫打到各種物質時所發光色如下表：

物質名稱	發光色
鎢酸鈣	青
氧化鋅	青綠
鋅及錳的矽酸鹽	綠
硫化鋅中含有銀為雜質	青
硫化鋅中含有銅為雜質	橙

② 封入十字板的克魯克斯管

【用途】 觀察陰極射綫的直進性及螢光作用。(初)(高)

【構造】 面對着陰極封入十字形鋁板。(圖1)圖上的克魯克斯管，十字形鋁板亦用做陽極。

【原理】 陰極射線是由陰極面垂直射出，且直線進行，因此在陰極的對面的玻璃上顯出十字的影。十字影外就發螢光，但是十字影內就不發螢光。

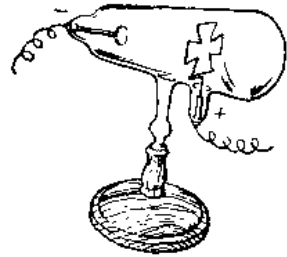


圖 1

【使用法】 1. 如圖1的管就把十字板的一極接到感應綫圈。

2. 把十字板豎起如圖，啟動感應綫圈，就可在十字板背面的玻璃上見到十字的影子，影以外的部份則發出淡綠色的螢光。
3. 接着如把十字板倒下來，陰極對面的玻璃就消失十字影子，只見一片螢光，由此我們知道陰極射線直進的性質。
4. 如見不到有十字形影子的螢光時，須把感應綫圈的極性轉換器反接過來。

【使用上的注意】 小心搬運以免損壞。

【參考】 不管陽極是在十字板旁側或在十字板後，只要陰極是圓板，就可以得到清楚的十字形影子。這理由是：在陰極附近的電場很強，反之管內其他部份的電場相當微弱，因此由陰極面出來的帶電粒子就在陰極附近被加速！由此得到近於它能獲得的最大速度。由於陰極附近的電場強度方向和陰極面垂直，帶電粒子就不管陽極的位置，向着陰極面垂直方向直線進行。

### ③ 有風車的克魯克斯管

【用途】 觀察陰極射線撞到面上時所加於面上的力。(初)(高)

【構造】 克魯克斯管內封入細玻璃軌道，軌道上放着有葉子的輪子，有管子的輪葉上塗有螢光物質(圖1)

【原理】 當陰極射線射到輪葉上時，葉面就受到壓力，輪子就開始轉動，而由陰極滾動，慢慢增加它的速度滾至陽極。

【使用法】 1. 把克魯克斯管兩極接至感應綫圈各極，此時不必考

感其極性。

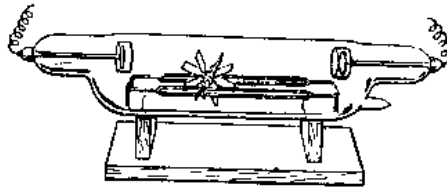


圖 1

2. 調節克魯克斯管的位置，保持其水平使車輪可以在軌道上自由滾動。
3. 開啟感應綫圈後，車輪就由陰極向陽極的方向滾動，慢慢增高速度。只有面向陰極的輪葉會發出螢光。
4. 等到車輪到達中點時，換接感應綫圈的極性，如此車輪就慢慢減低它的速度，且在極板附近停止並向反向滾動。此時發螢光的葉面和前一段時發出螢光的面的反面。

【使用上的注意】 1. 搬運要小心，以免損壞。

2. 假如把同方向的高電壓一直加到快到陽極，車輪就會以高速碰撞陽極，使輪葉上的螢光物質脫落。

【參考】 假如每次車輪滾到一半時變換感應綫圈的極性時，車輪就在兩極間來回運動。其速度和車輪的位置的關係可用圖 2 表示，圖中曲綫離中心的垂直距離為車輪的速率。



圖 2

### 3. 陰極射線和電場磁場的作用

#### ① 裝有縫隙及電極的克魯克斯管

- 【目的】
1. 利用裝有縫隙及螢光板的克魯克斯管來觀察陰極射綫被電場或磁場偏轉的現象。(初)(高)
  2. 利用這些現象測量電子流的速度及電子之比電量(即電量和質)

量之比)。(高)

【準備】 克魯克斯管(裝有狹縫,螢光板及電極板的成品的管),  
磁鐵棒兩支。

感應綫圈(放電火花長約 4 cm),感應綫用電源(6伏特蓄  
電池),電流計(可讀出 $1/100$  mA,最大刻度不超過 1 mA),  
導綫 5 條(要接到克魯克斯管電極的兩條導綫就用繞成綫圈狀  
的漆包綫。)

直流電源(如真空管用電源裝置,電源裝置,電壓須在 200  
伏特左右),電壓計(可量 200 伏特),4 根導綫。

尺(可量 30~50 cm),測徑計,天秤,量磁鐵強度的工  
具(鐵片,補助用磁鐵,彈簧秤)。

【方法】 1. 觀察由電場強度的變化而變的電子流。

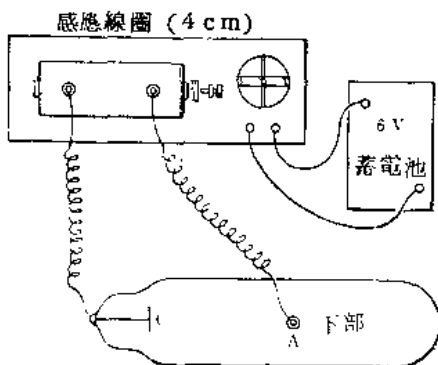


圖 1

如圖 1 把裝置接綫,當啟動感應綫圈使克魯克斯管的 C 極為負  
極時,電子就由陰極流出,衝到螢光板。由於螢光板對電子流有  
一定的傾斜,螢光板上就看到一條螢光的綫條。(綫條起點的寬  
度和狹縫寬度一樣,且離起點越遠則越寬),這條綫是因電子撞  
到螢光物質而發生的光。

此時如把電流計(例如最大刻度 1 mA,最少刻度  $50 \mu\text{A}$  程度  
的電流計)接到感應綫圈及克魯克斯管陰極 C 間,就可讀出所通  
電流的大小。(例如用 6 V 電池於 4 cm 於電火花長的感應綫圈

上，所通的電流約在  $60 \sim 70 \mu A$  )。

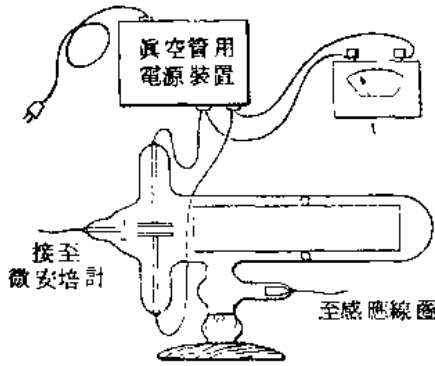


圖 2

然後加電壓於克魯克斯管的電極。例如利用真空管用電源且接綫如圖 2。

用可量 300 伏特的電壓計，並連至克魯克斯管的兩電極，開啟直流電源後調節直流電源中串聯着的電阻，使電極電壓為 100 伏特，然後啟動感應綫圈，即感到電子流終點位置比沒有加電壓於電極時的位置不同。如把直流電壓關掉就可以看到電子流折回到原來的位罝。

如把上面的電極接到正極，下面電極負時陰極綫即被折射到上面；如把電極的正負換過來，負上正下，電子流被折彎向下，折射的位置比沒有加電壓時的位置還要下面。如把電極電壓由 100 伏特改到 80 伏特，就看到陰極射綫的位置改變，向沒有加電壓時的電子流的位置靠近。

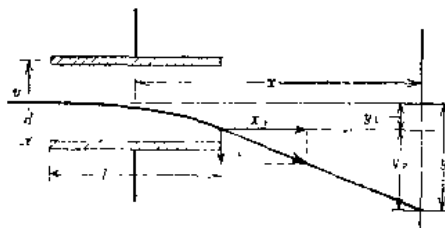


圖 3

這些現象表示電子流受電場反向加速，也就證明是帶負電量之粒子流，且表示加速的程度和電場強度有關。

如圖 3 所示，我們將電子電量為  $e$  庫倫，其質量為  $m$  公斤，加於電極板上的電壓為  $V$  伏特，電極的間隔為  $d$  公尺，長  $l$  公尺，由電極板中心離開  $x$  公尺處，電子綫由沒有加電壓的位置偏移  $y$  公尺，且電子之初速為每秒  $v$  公尺。即由水平拋射體同一道理得下面結果：

$$F (\text{牛頓}) = m (\text{Kg}) a (m/\text{sec}^2) = e E$$

$$= e (\text{coulomb}) \times \frac{V (\text{volt})}{d (m)}$$

$$y (m) = y_1 + y_2 = \frac{1}{2} a t_1^2 + v_y t_1,$$

$$= \frac{1}{2} \frac{1}{m} \cdot e \frac{V}{d} \left(\frac{l}{v}\right)^2 + \frac{1}{m} \cdot e \frac{V}{d} \cdot \frac{1}{v} \times \frac{x - \frac{l}{2}}{v}$$

$$= \frac{e l V}{m d v^3} \cdot x (m)$$

因此，如知道  $e/m$  或  $v$  中之任一值就可求出另一值。

【實驗例】 有的成品規格為

$$l = 1.44 \text{ cm} = 1.44 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$d = 2.8 \text{ cm} = 2.8 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$x = 13.56 \text{ cm} + 1.65 \text{ cm} + \frac{1.44}{2} \text{ cm}$$

螢光板長度 + 空間長度 + 極板的一半長。

$$= 15.9 \times 10^{-2} \text{ m} \text{ (由極板的中央至螢光板另一端之總長)}。$$

當  $V = 100$  伏特時， $y$  為  $45 \text{ mm} = 4.5 \times 10^{-2} \text{ m}$

由於成品的克魯克斯管內各部沒有刻度，因此由管外測長時，必須注意到不要有視差。

- 因磁場而引起的帶電粒子流的變化把兩支磁鐵棒之  $N$ ， $S$  極配置在克魯克斯管兩側，如圖 4 中  $A$  或  $B$  的位置。假如要選擇  $A$  的位置，磁棒的軸必須垂直配置，磁棒上端及電極中心必在同

一水平線上，兩磁棒下端用另一鐵片連接。不論用A或B位置N，S極離電極中心需要等距。

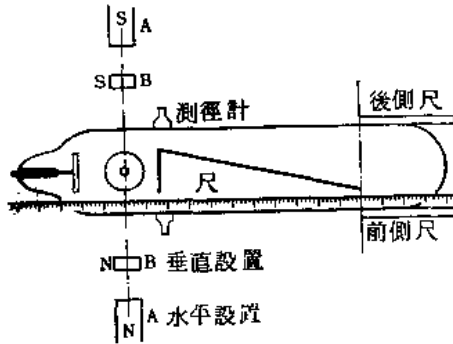


圖 4

配置完後，開啟感應繞圈，則和加電壓於電極時的情形一樣，帶電粒子流被偏折向上或向下位移。假如把磁棒上的N，S極對換，帶電粒子流的位移方向就變成和原來的方向相反。如把另一支磁棒或馬蹄形磁鐵靠近管的任何地方（即這磁鐵不必限於放在有電極的附近，甚至可以放在螢光板附近）也看到帶電粒子在磁鐵附近彎曲。

再進一步，可以同時加磁場和電場於帶電粒子流，也就是說用磁鐵把因電場而彎曲的帶電粒子流拉直或反過來彎得更深的角度。爲了做這實驗，只要把儀器配置成圖2和圖4重合的狀態。假如要把所加電壓保持一定，就改變N，S磁極至電極中心的距離（經常保持N，S極至電極等距），調節到使帶電粒子被彎成直綫。另一方法是保持N，S極的位置不變，而改變整流器輸出端的電阻來調節加於電極的電壓。

## ② 利用魔眼燈（電子射綫管）來測定電子之比電量。

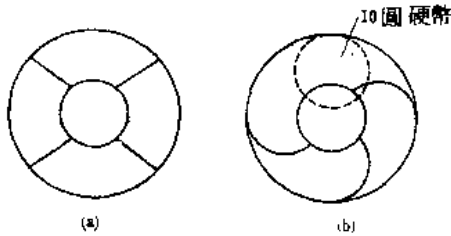
【目的】 利用魔眼燈的螢光受磁場彎曲的現象來測定電子的比電量。（高）

【原理】 魔眼燈是一種電子射綫管。電子由陰極射出被陽極至陰極間的電壓加速衝到有螢光的靶極，而放出扇形的一片螢光。扇形的邊就是電子所走的軌跡。因此扇形的直綫的邊受磁場的影響而變圓形。



電量  $e$  (庫倫), 質量  $m$  (公斤) 的電子受了  $V$  (伏特) 的電壓由速度零加速至  $v$  ( $m/sec$ ), 即  $v$  和  $V$  間的關係是

$$\frac{1}{2} m v^2 = e V \dots\dots\dots(1)$$



(a) 魔眼燈的螢光 (b) 在磁場中魔眼燈的螢光

圖 1

在磁力線密度為  $B$  ( $N/A \cdot m$ ) 的均勻磁場中, 如有電子向垂直於磁場的方向運動, 電子就受到

$$F = B e v \dots\dots\dots(2)$$

的力, 受力的方向和  $v$  及  $B$  兩方向所成的平面垂直。因此電子就在磁力線的垂直面上作等速圓周運動, 其向心力必須為

$$F = \frac{m v^2}{r^2} \dots\dots\dots(3)$$

由(1)(2)(3)式得

$$e/m = \frac{2 V}{B^2 r^2}$$

因此, 只要測定  $V$ ,  $B$  及  $r$  就可求得  $e/m$ 。

**【準備】** 繞圈(請參照 VI 第 4 章 3. 測定繞圈內的磁場強度), 魔眼燈(6E5 或 6ZE1), 魔眼燈用插座, 真空管用電源(6.3V, 1A; 150 ~ 250V, 10mA 也可以利用收音機裏的電源), 蓄電池(6V), 可變電阻(10Ω, 3A), 直流電流計(0~5A), 直流電壓計(0~300V), 導線。

- 【方法】**
1. 如圖 2 連接魔眼燈用電路。
  2. 連接於真空管電源後, 魔眼燈靶極有扇狀螢光發出時, 讀出陰極至靶極的電壓。
  3. 如圖 3 所示, 將繞圈套在魔眼燈上。