

# 電子學原理

周夢鑾譯

龍門聯合書局印行

火山泥·雲母·錫·炭酸鈉·蒙耐合金·氧化銀

氟化鋁鈉·樹脂(合成的)·酒精·醋酸鉛·石綠

甘油·氯化鋅·鐵·大理石粉·木纖維·硝酸鎳

氧化鉛·氧化鋅·米許合金·苯胺黑·瓷·石油膠凍·鉀

碳酸鋇

三氧化砷

碳酸鈣

氯化鉍

碳酸錫

高絕緣料

氧化鉛礬土

鋇·硼砂

銀·銅

碳·鎳

鈣·鉍

鈷·硝酸鈉

汞·氯化鈣

硝酸銀

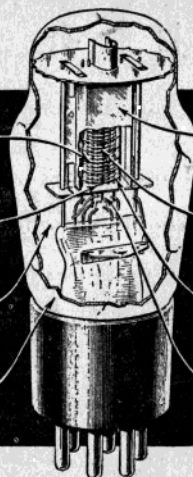
硝酸鈷

柵極  
直徑可量  
至0.001吋

陰極套管壁  
約0.002吋厚

氣壓  
海平面大氣壓力  
的1/100,000,000

玻璃泡  
在偏極光下  
驗過應變



板極  
直徑可量  
至0.002吋

陰極表塗  
重量變化  
小於0.00007 oz

柵極用線  
直徑變化不  
大於0.00009吋

發熱體用線  
直徑變化不  
大於0.00002吋

碳酸鉀

電木

磷·砂

蟲膠

錫·鈦

砂土

玻璃

苦土

鉑·錫

鎳·松脂

鎳·氯化鈷

製造中所用之氣體

氬—氫—二氧化碳—照光氣

氮—氬—天然煤氣—氦—氧

參加製造之元素

銻—鉛—硼—銀—鉍—鈣—銅—碳—鎳—氣—鈷—氬—氣

鈦—鐵—鎢—鎳—汞—鉍—鎳—氬—氮—氧—鉀—磷

鉑—鈉—銀—砂—錫—鎳—鈷—鉍—鈦—錫—鉍—鋅—罕土

## 目 次

第一章	導言	1
第二章	電子	5
第三章	原子	11
第四章	電	17
第五章	氣體傳導	25
第六章	電子發射	32
第七章	兩極管	47
第八章	三極管	63
第九章	多極管	100
第十章	特種管	113
第十一章	整流機件	119
第十二章	幾種物理學說	136
第十三章	光電機件	142
第十四章	電子管的用途和電路	157

# 電子學原理

## 第一章

### 導言

電學的歷史可以回溯到早年的希臘人，他們發現了摩擦過的琥珀\*有吸引輕物的能力。大約在 1600 年，在伊麗莎伯女皇統治的時期中，吉柏 (Gilbert)，一位科學家和外科醫師，又發現了玻璃棒以及約有二十種其他的東西，在用絲摩擦了的時候，也都像希臘人的摩擦過的琥珀一樣地發生作用。他把這現象說是：玻璃棒已經成爲電化的了。1733 年，一位法國的物理學家杜費 (Du Fay) 又發現火漆被貓皮摩擦的時候也是電化了的。他並且發現火漆上的電荷很有力地吸引一種爲玻璃棒上的電荷所排斥的，電化了的物體。同樣，火漆也排斥一種爲玻璃棒所吸引的，電化了的東西。於是他就認識了有兩種電 (electricity)，他爲之命名爲“vitreous” (玻璃電) 和 “resinous” (樹脂電)。到了 1747 年，富蘭克林 (Benjamin Franklin) 才引用了 “positive” (正的) 和 “negative” (負的) 這兩個字來區別這兩種電荷。他認爲任何物體，凡是牠爲一根用絲擦過後的玻璃棒所排斥的，都是帶的正電，而另外一種物體，爲貓皮擦過後的火漆所排斥的，都是帶的負電。

1837 年，法拉第 (Faraday) 用他的冰桶實驗 (ice-pail experiment) 證明了：當玻璃因爲用絲擦過而帶正電的時候，絲的本身則帶有負電，其數量完全和玻璃所得到的正電一樣。這一個實驗表明了：正負電荷總是同時而且以完全相等的數量出現的。

---

\*琥珀在希臘字中就是 electron (電子)

第一種解釋電的種種現象的理論是由富蘭克林提出的，他假定有一種東西，他喜歡稱之為“電的流體”(electrical fluid)或“電火”(electrical fire)的，總是以正常的數量存在着，成為一切處於中性狀態(即未電化狀態)中的物質的一種成份，而那些在任何物體中比正常量多的，就表現成爲一種正電荷，少於正常量的，就成爲一種負電荷。這就是電的單流體說(single-fluid theory)。他不能說明兩種帶有負電的物體之相斥，因而愛匹勒斯(Aepinus)就指出來必需假定物質，在和富蘭克林的電的流體不相容的時候，是能自行拒斥的(self-repellent)的才行。

到1759年，有一羣物理學家，在西麥爾(Symmer)領導之下，又提出第二種說法，稱爲兩流體說(two-fluid theory)。這種學說假定處於中性狀態中的物質之不顯有電的性質，那是因爲牠包含了數量相等的兩種無重的流體(命名爲正電和負電)作爲牠的成份的原故。因此，一種帶有正電的物體就是所含的正的流體比負的流體多的東西，而一種帶負電的物體就是其中負的流體較多的東西。對於現代的物理學家，雖說兩種能夠施展強力的流體是絕對沒有重量——最基本的一種物理性質——的，那像似是一種奇妙的想頭。可是，這種學說在科學界中倒也竟有一百多年爲人所普遍接受咧。

1833年，法拉第發現：在一種含有氫化合物的溶液中通過一定量的電總歸能使陰極處有同量的氫氣出現，不管那已經被溶解的氫化合物是那一種，也不管那溶液的強度如何。後來他又發現：能引起1克氫出現所需的電量總歸可以從含銀的一種溶液中剛好把107.1克的銀沉澱下來。這意思就是，由於銀原子的重量確是氫原子重量的107.1倍，氫原子和銀原子恰好是帶有相同的電量在這種溶液中結合起來的。

從上述的發現開始，科學家們就想像電在通過一種溶液的時候，在結構方面，是顆粒狀的，或者原子狀的。可是這些人們並不曾企圖應用這同一且較爲顯明的觀念來解釋其他電的現象。事實上，也就是從此以後不久，法拉第提出了他的電的應力與應變說(stress and strain

theory)。

直到那個時代，一個電荷總被認為是存在於一個荷電的物體之上，並且被想像為可以施力於離牠某一距離處另一荷電的物體之上，很和重力使兩個物體相互作用一樣。法拉第可是並不中意這個圖像，而倒寧願設想中間的介質之傳送電力(electrical force)正和從一桿端開始的一種彈性形變(elastic deformation)由桿將之傳出一樣。再因為電力能通過真空作用的原故，法拉第於是假定以太(ether)的作用一如一個電的應力與應變的傳送者。法拉第的這一種概念，在1840年到1900年的全部時期中，曾被普遍地接受，而電的現象都被用環繞在電化物體周圍的介質中的應力與應變來設想。這種學說後來由馬克士威(Maxwell)弄成了數學的形式。到1886年，赫芝波(Hertzian Wave)的發現為應力與應變說的擁護者所接受，認之為這種電的概念的證明。在這種學說之下，在一種固體導體中的電流(electric current)都被當作是鑷內介質中一種連續的“滑溜”(slip)或者是“應變的崩毀”(breakdown of a strain)。

這種應力與應變說自1900年起就已經被放棄了。牠錯在把一種作用說成是事件的本身。這一來，一個電荷的呈現雖在四周的介質中造成了一種電的應力或應變，可是這樣的現象只不過是電荷所造成的結果，而遠非電荷的本身。

在繼續改進，達到我們今日的電的學說之前，僅僅還可以指出一點，就是：在科學世界中所有早期的意見都並不堅執單流體說，兩流體說，或者應力或應變說。好幾位物理學家在他們的講授或寫作中都已經指示了一種概念，那是和當今公眾接受的學說很接近或者也可以說相同的。他們的概念之異於現今的概念，只在他們的純粹是一種哲學的概念，而近代的概念是已經由實驗的證明使之具體化了而已。

提出過單流體說的富蘭克林，在一些他的講述中，顯露了他幻想過一種顆粒狀的電的結構。法拉第和馬克士威除掉應力與應變說之外也顯然具有另一種概念。在1874年斯通蓋(G. Johnstone Stoney)不僅

清楚地道出了電的原子說(atomic theory),實際上並且走得很遠,竟至於來估計基本電荷的值了。

### 參 考 資 料

MILLIKAN ROBERT A., The Electron, University of Chicago Press.

## 第二章

### 電子

引言。電子 (electron) 是宇宙中的基本電荷。用實驗的方法來證明牠的存在以及測量牠的大小，這在近代科學的種種學說中，標出了一個轉向點。電子的發現，由於科學家們的預言，也由於許多科學實驗室中工作的結果，好多年來，就已有了預兆。在 1873 年馬克士威稱電子為電的分子 (molecule of electricity)。克魯克斯 (Crookes) 在真空方面的工作，在 1879 年又進一步指示了有一種基本電荷的存在。然後，在轉向二十世紀的時候，湯孫德 (Townsend)，威爾遜 (Wilson) 湯姆孫 (Thomson)\*，佛來銘 (Fleming) 和李却得孫 (Richardson) 的工作就直接導出了電子的概念，並使之單獨成立。

威爾遜的雲之凝結實驗。差不多到十九世紀末尾，卡文迪虛實驗室 (Cavendish Laboratory) 的 H.A. 威爾遜對於水滴在帶電游子 (ion) 周圍的凝結，作了一種研究。在完成他的實驗時，水被放在一只充滿了氣體的密閉的箱子內，讓牠蒸發，直到氣體在所與的壓力和溫度的條件下已經飽和為止。然後再使箱中的氣體遭受一種迅速的絕熱膨脹 (adiabatic expansion)，使牠在新的壓力和溫度的條件下過飽和。膨脹箱內，如為普通空氣，這一步驟就可以造成一種由微細水滴所成的雲，可以慢慢地像雨一樣降落下來。水滴總歸要凝結在微小塵粒的周圍，這是久已知道了的。所以威爾遜就讓空氣通過一只濾器來把所有的塵粒移去，或者造成一塊雲，讓水滴沉降而把塵粒帶到箱底。在無塵的氣體中，威爾遜發現了：水汽可以達到一種相當可觀的過飽和 (Supersaturation) 境界而無水滴之形成。其次，威爾遜又游離了箱中的氣體，再在無塵的氣體中重複這一實驗。在這裏，他發現了：無塵粒時，

---

\*原文作 "Thompson" (湯姆遜孫)，那是錯了。以下有好幾處，也都有同樣的錯誤，現已改正。——記者。



如水汽的壓力 4 倍於飽和值，水滴也可在負游子的周圍形成。如負游子因有一塊帶正電的板子之出現而被逐出空間，僅讓正游子存留，那麼，水滴的形成就要在水汽壓力是 6 倍於飽和值的時候才行。他又證明了，在塵埃和游子兩俱缺席的時候，那麼就要過飽和成爲 8 倍，水滴才能形成。在最後這一場合中，水滴是被認爲是形成在氣體的分子的周圍的。

威爾遜的幾項雲的實驗都是很重要的，因爲牠們首先提示了測量電子上電荷的方法，其次也提示了探查電子、 $\alpha$  射線、和空中游子等類質點之有無出現，路徑和速率的方法。

**湯姆遜測定  $e$  法。** J. J. 湯姆遜游離了一種爲水汽所飽和了的氣體，再使這氣體膨脹，直至有雲形成於作爲核心的負游子的四周爲止。於是讓水滴沉降，再用一靈敏的驗電器測量牠們所帶下來的總電荷  $Q$ 。在水滴下降的過程中，用一架精確視場中有叉絲的望遠鏡，來觀察着牠們，好測定下降的速度或下降率。水滴下降的速度既經知道，那麼把既知諸值代入斯托克 (Stokes) 在 1849 年所提出的一個經驗方程式中，水滴的半徑就可斷定出來。這個方程式，稱爲斯托克定律的，就是

$$v = \frac{2}{g} \frac{g \rho r^2}{n}$$

這裏的  $r$  就是水滴的半徑， $n$  是氣體的粘滯係數， $\rho$  是水的密度而  $g$  是重力加速度。  $r$  既知，水滴的質量就容易由球形水滴的體積乘密度來決定了；也就是

$$m = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho$$

在任何氣體中每單位體積水汽的重量，在任何已知的壓力和溫度之下的，都已經定了出來。如此膨脹前和膨脹後水的重量 ( $w_b$  和  $w_a$ ) 也就容易計算。而這二者的差 ( $w_b - w_a$ ) 應該就是帶下來的水的重量 ( $M$ )。因此，

$$M = w_b - w_a$$

原书缺页

原书缺页

和  $N$  之間的空間中的一滴油可由弧光燈  $L$  (在左首) 發出的光亮將之照明, 再用一處於讀者地位 (在前面圖上未表明) 的精確望遠鏡觀看這一油滴。至於兩片之間的氣體可以用來自  $X$  (右首) 的  $x$  射線將之游離。一個 10,000 v 級的電位可經由電池組  $B$  和接線器  $C$  而加於這兩片之上。容器  $D$  浸在一隻油溫浴槽 (oil temperature bath)  $G$  中, 使牠的溫度能控制到一度的幾分之幾以內。活門  $e$  容許對於  $D$  室內的氣體壓力 (由流體壓力計  $m$  顯示的) 加以一種控制。濾光器  $w$  和  $d$  阻止弧光中的熱射線 (heat rays) 進入觀察室內。

在從事這種實驗時, 有一油滴從上片  $M$  上的小孔中落下。這一油滴可因在噴霧器中或者通過片上小孔時的摩擦作用而帶電。假如牠並沒有由這一途徑帶電, 那麼, 牠也可以因為和兩片之間的空間內的帶電游子相接觸而獲得電荷。在油滴進入  $M$  和  $N$  兩片之間的空間中之後, 可以把兩片接至大地電位 (Ground potential), 而讓牠在重力的影響下, 以速度  $v_1$  自由下落。在這些條件下,

$$(1) \quad Kv_1 = mg$$

然後可以佈置一個合適的電位  $E$  在兩片上, 使油滴的運動逆轉, 而以一速度  $v_2$  被吸引向上。這時

$$(2) \quad Kv_2 = EQ - mg$$

這裏的  $Q$  就是油滴上的電荷, 把這一方程式和 (1) 結合起來, 就得到

$$(3) \quad Q = \frac{K}{E}(v_1 + v_2)$$

$m$  的值可由斯托克定律求得, 再把這一值代入方程式 (1) 中就可以得到  $K$  的值。

在完成這實驗中, 可變動電場  $E$  來平衡油滴, 並使  $v_2 = 0$ 。單獨一滴可以觀察幾小時或幾天, 而得到成百次的讀數。在這裏應該注意的是: 油滴上的電荷因為和  $X$  射線所生游子的碰撞是會常常變化的。和負游子碰撞一次能使電荷多負點 (more negative), 而和正游子作一次類似的碰撞能使電荷多正點 (more positive)。得到的數據證明了:

當油液變更牠的電荷時，牠總歸變更相同的數量，且此一數量  $e$  總是油滴上總電荷  $Q$  的一個確實的整除數。長時間觀察着一滴就可能發現這一個單位電荷  $e$  的倍數，由 3 變動到 20。由此可知，這一個單位電荷  $e$  即總電荷的最小公倍數，必定就是一個游子上的電荷。

要想像一種更確實的證明，就是電並不是不一定可分的，以及牠含有帶着相同電荷的“單體”(unit)或“原子”或“分子”，那應該是很困難的。一個正游子既然是已經失去了一個電子的一個原子，而一個負游子是加上了一個電子的一個原子\*，因此，量  $e$  必定就是電子的電荷。

在 1913 年，密立根刊佈了他歷次實驗的結果，並且提出了如此一值，即

$$e = 4.774 \times 10^{-10} \text{ esu}$$

到 1916 年，他對於他的實驗又加了一些改良，重新核定了  $4.774 \times 10^{-10}$  之值。近年來，在測定  $e$  值方面，又已經作了許多大大的改進，今日所公認的值是  $4.8 \times 10^{-10}$ 。

$e$  之測定的意義。電子存在的證明，以及牠的值之最後測定，在世界科學思想上，標明了一個轉向點。許多懷疑過基本電荷之存在的科學家，現在相信了，他們並且和其他的科學家把他們注意力轉向能解釋過去所不能解釋的許多現象的新學說。這些新學說包含了(1)化學(2)物理學和(3)電學中許多密切類同的題目。

### 參 考 資 料

CROWTHER, JAMES A, Ions, Electrons and Ionizing Radiations, Longmans, Green & Co.

MLIKAN, ROBERT A, Electron (+and-), Protons, Photons, Neutrons, and Cosmic Rays, University of Chicago Press.

---

\* 有時就是一個單獨電子

### 第三章

## 原子

**物質的構成。** 十九世紀的化學認為一切物質都由分子——一個所與實體的已知的最小的物質部分——組成的。分子又轉而被認為是由原子，那是一個元素的最小的復分部分，所作成。原子在復分說(theory of subdivision)中已是最後的。所以電子的發現在化學研究和理論方面都展開了一個新場面。電子是正常原子的一部分。牠是一個不可再分的電荷，具有很小的質量。牠應該有一個對手或配偶，具有一單位正電荷的，才行。這種對手名為質子(Proton)，牠已由實驗定出牠具有一個正電荷，大小和電子相同，又具有一個比電子質量大1834倍的質量。

電子和質子構成了一切原子，因而也就是一切物質的建築礎石。在正常的，即中性的原子中，所含有的電子和質子，數目相等。所呈現的電子和質子的個數決定這特殊原子屬於那種元素。如氫原子剛含有1個質子和1個電子，而鈾原子則有238個質子和238個電子。由此顯而易見：正負電荷間的天然引力就是使原子維繫在一起的繩索。雖則如此，可是原子確實構造情況，依然是一件臆度之事。盧斯福德(Rutherford)在1909年建議了一種原子構造，後來由1913年公之於世的波爾(Bohr)學說，把這種構造弄得更加細緻。

**波爾的原子構造說。** 波爾以為原子含有一個小的密緻的心子，即核心，在其四圍有一個或一個以上的電子繞行。這一種構造和我們的太陽很為相像，太陽相當於原子核，而地球和諸行星相當於旋迴的電子。原子核包含了所有的質子，通常也有屬於所涉及的特殊元素的一部分電子。就簡單的氫原子說，獨一無二的質子構成了原子核，而獨一無二的電子構成了孤獨的行星。在氦的方面，原子核包含4個質子和2個電子，再另有2個電子繞核迴轉，作為這系統中的行星。這裏

的原子核保有質子的  $+4e$  的電荷和電子的  $-2e$  的電荷，結果是一個剩餘  $+2e$  電荷，為行星狀電子的  $-2e$  之電荷所平衡。原子核加於諸迴轉電子的這種引力為牠們繞核運動的離心力所平衡。波爾第一個假定電子繞核而行的路徑是圓的。這些路線也就是電子的軌道。在靠近原子核的軌道中運動着的電子有較大的力作用於牠們之上，而那些在外圍軌道中運動，則受有較小的力的作用。在任何軌道中迴轉的一個電子所具有的能量 (amount of energy) 總是一定的，而且也就是那個軌道所特有的。為了解釋電子所生輻射的性質，必需假定：一個電子可有幾條軌道，而且牠能夠隨意從這些軌道中的某一條跳到另一條上去。伴隨着這種從一條軌道到另一軌道的變化而起的就是能的吸收或輻射。這種能的形式可以是光、熱、或者其他的波狀能 (waveenergy)。因為這種能的交換，有些科學家遂喜歡把這些不同的軌道稱為能階 (energy level)。

為了要使原子的構造能解釋一些輻射現象起見，波爾在原子的機械構圖 (mechanical picture) 上又加了些橢圓形的軌道。由於這種增加，也由於一種仔細的研究，他在使這種構造能解釋許多元素的光譜線和許多別的物理學研究方面觀察到的結果上，是已經很成功了。

關於電子的電荷、電子的質量、原子量以及分子的平均自由路程的長度之種種實驗的知識，已經使人可能來計算原子的大小和原子核的相對大小。這一類的計算在另一方面又證明了：原子的構造多少有點跟太陽系相似。由此可知，原子核和電子都很小，並且相隔很遠。原子於是成了許多的微點 (speck)，在各種不同的形勢中繞着一個比牠更小得多的微點 (原子核) 移動着。雖則這些數字並不能傳達任何概念到人類的眼光中，但說一下也未嘗沒有意思，就是：氫原子的半徑是  $10^{-8}$  cm，而牠的孤獨的軌道上的電子的半徑是  $2 \times 10^{-13}$  cm。原子核 (獨一無二的質子) 的半徑是電子半徑的  $\frac{1}{1834}$ 。對於這種氫原子系的相對大小，如果要想得到一個較好的概念，可以把這原種核放大成爲一只棒球的大小，放在美國的地理中心 (靠近 Kansas 的 Manhattan)。

於是迴轉的電子就要通過紐約城和舊金山，成爲一個直徑爲 300 ft 的球體——大得足夠填滿一座普通大小的競走場或棒球場。由此可見：舊時把原子當作一種小而硬，且有彈性的球這種概念是錯誤的，而原子呢，不過是一種中空的星雲狀的球體——羣微點佔據着空間中的一小部分。這種概念，在了解氣體中的游離以及電子學方面的許多現象上，是很有幫助的。

剛才所提出的，關於一個原子的機械模型或許不就是真實的構造，不過在摹想許多自然現象和各種有關電子的機件方面，牠倒也可以供給一種最淺顯的心靈上的構圖。後面有一章中要討論的，關於原子的波動力學的理論可以解釋幾件波爾模型所不能解釋的事情。或許波爾原子的略施修正，就可以克服了牠的缺點。但是，無論如何，這種模型應用的方便以及牠所提示的精妙的物理概念，已足夠保證牠在研究種種電子現象方面的繼續採用了。



圖1-3 表明發現正子的一張照相。一只“63一百萬伏特”的正子通過一塊、6 mm 的鉛板後，成爲一只“23一百萬伏特”的正子。



**正子。** 在1932年8月2日，安迪遜 (Carl D. Anderson) 在諾曼橋實驗室 (Norman Bridge Laboratory) 中攝了一張宇宙線 (Cosmic ray) 照相，結果得到了一種震驚世界的發現。這一張照相(圖1-3)確實地顯示了：有一宇宙線曾經打擊了一個原子的原子核，並且從那個原子核中投出了一個正的和一個負的質點。由正質點的方面和路徑可見：牠帶了和電子相同大小的電荷，牠也具有和電子相同的質量。如此就發現了正電子 (positive electron)，即正子 (positron)。在這一發現之前，正電荷總是和質子連在一起發覺，而且被認為是質子的特性之一的。這一來，就有了正電子和負電子 (negative electron) 了。就本書中應用的說，電子一詞，如果沒有在前面加上什麼字，那總歸指的是負電子，而正子一詞則用以代正電子。

**中子。** 中子 (neutron) 是一種具有氫原子核質量而不帶電荷的質點。換句話說，牠就是沒有任何顯見電荷的質子。中子的確實性質仍然未知。牠可能是具有一個中和了正電荷的，非常緊密束結的電子的一個質子。如果這樣，那電子就得位置在一個氫原子的內層軌道之內。或者中子可以是一種最原始的建築基石，牠一經和一個正子連合，就形成一個質子。中子是在1932年通過了幾位科學家\*的工作而發現的。用來自針 (polonium) 中的  $\alpha$  質點轟擊鈹 (beryllium) 和硼 (boron) 原子就首先產生了中子。從這兩種原子的原子核中，轟擊的結果產生了許多質點，牠們具有質子的質量，但缺乏電荷，因而就把牠們叫做中子。

**元素的變質。** 在鍊丹術士時代以後，有好多年，是很少有什麼念頭，想來把一種元素變為另一種元素的。電子的發現和由此而得的關於原子構造的學說，(在前幾頁講過的)，自然而然地又把這元素變質問題 (transmutation of elements) 帶了回來。如果氫原子含有一個電子和一個質子，再如果一切的元素都含有等數的電子和質子，那麼為什

\*波謝 (Bothe)，拜克爾 (Becker)，居里 (Curie)，朱里奧 (Joliot) 和卡德月克 (Chadwick)。