

本書遵照教育部專科學校課程標準編書

基本電學

編 著

姚靜波 李清庭 張垣孫

興業圖書股份有限公司印行

本書遵照教育部專科學校課程標準編書

基本電學

編 著

姚靜波 李清庭 張垣孫

興業圖書股份有限公司 印行

版權所有 翻印必究

基 本 電 學

編著者：姚靜波，李清庭，張垣孫

發行人：王志康

發行所：興業圖書股份有限公司

台南市勝利路 118 號

電話：(062)373253

郵政劃撥：南字 31573 號

中華民國 67 年 9 月第一版

本公司經行政院新聞局核准登記，
登記證為局版台業字第〇四一〇號。

編輯大意

- 一、本書係依照六十五年度教育部最新頒佈修訂之五年制工專電子科課程標準編輯而成；除供五專及同等程度學校教材之外，並可供電工從業人員自修與參考之用。
- 二、本書內容特別注重基本觀念之解說，並根據編者多年教學經驗，配合工專學生學習相關課程之實際需要，儘量避免煩雜數學之推導，而作由淺入深之精簡敘述。
- 三、本書注重實物之瞭解，插圖編入甚多，俾使學生熟識原理之實際應用。
- 四、本書雖經審慎編撰及校對，然因倉促付印，誤漏之處，仍恐難免，尚祈先進惠予指正，俾再版時修訂是幸。

編者謹識

中華民國六十六年六月

於國立成功大學電機系

11/16/03/ct

目 錄

第一章 電之基本觀念

1-1	電學發展史	1
1-2	基本電荷	5
1-3	波爾之原子模型	7
1-4	如何產生電	10
1-5	電荷感應現象	17
1-6	電之材料	20
1-7	電荷之基本單位	22

第二章 靜電場與電荷運動

2-1	庫倫定律	24
2-2	單點電荷之電場強度分佈	26
2-3	多點電荷之電場強度	28
2-4	高斯定律	31
2-5	面電荷及簡單圓球電荷分佈之電場強度	35
2-6	電荷在電場中運動之軌跡及其應用實例	41

第三章 電位能與能量不減原理

3-1	何謂能量	49
3-2	動能位能及能量轉換	51
3-3	電荷在電場中作功與電位之關係	53
3-4	電位能與電荷動能之轉換	60
3-5	等電位面與電力線之分佈	61
3-6	電位梯度	63
3-7	儲存於電場中之能量	64

第四章 電流與電阻

4-1	電流電位與水流水位之相似性	68
4-2	電流與電荷數目及運動速度之關係	69
4-3	電流量度	73
4-4	電阻之定義單位及種類	75
4-5	電阻係數	77
4-6	半導體、導體絕緣體及其溫度係數	81
4-7	電阻材料及其運用	85
4-8	電阻之測量方法	87
4-9	電阻之色帶區分	90
4-10	歐姆定律	97
4-11	電阻器消耗功率之意義	99
4-12	焦耳定律	99
4-13	損失及效率	101
4-14	電阻器之瓦特額定值	103
4-15	保險絲	104

第五章 直流電路

5-1	電動勢及實例	109
5-2	電流方向與電動勢極性之關係	111
5-3	以伏特計量度電壓	112
5-4	電壓源及電流源	114
5-5	電線	116
5-6	圓密爾與直徑之關係	118
5-7	線規及線號	119
5-8	電路之組成要件及故障排除	123
5-9	電路中電壓與電流之參考方向	126
5-10	簡單串聯電阻電路	127
5-11	簡單並聯電阻電路	131
5-12	簡單串並聯電阻電路	135
5-13	克希荷夫電流定律	138
5-14	克希荷夫電壓定律	140

5-15	電壓源之串並聯	143
5-16	電流源之串並聯	146
5-17	多電動勢及多電阻串聯與並聯之運算	149
5-18	電位計線路及原理	153
5-19	功率與電阻電流電位之關係	154
5-20	電功率之單位及電度	155

第六章 磁場

6-1	磁鐵與磁極	160
6-2	磁極間之吸引力及排斥力	162
6-3	磁場及磁場強度	166
6-4	磁通量及磁通密度	170
6-5	磁的理論	172
6-6	磁場感應	174
6-7	羅倫磁力	176
6-8	電荷在磁場中之運動	179
6-9	g/m 之量度	181
6-10	質譜儀	183
6-11	迴旋加速器	183
6-12	地磁	186

第七章 磁場對通電流導體之作用力

7-1	導體周圍之磁場	189
7-2	羅倫磁力對通電流導體之作用	192
7-3	力矩之基本觀念	195
7-4	作用於一完整電路上之力矩	196
7-5	繼電器	201
7-6	電鈴	202
7-7	直流電動機	203
7-8	電儀表之工作原理	206
7-9	實用電儀表之電路	211

第一章 電之基本觀念

1-1 電學發展史

自從盤古開天闢地以來，燧人氏教人鑽木取火，神農氏教人種植五穀，使人類脫離茹毛飲血的野蠻生活，而能取暖及烹煮食物，但人類的欲望及野心，推動文明的巨輪，人類逐漸地瞭解如何利用槓桿及飛輪等基本機械原理，減輕勞力及工作量，直至十八世紀利用蒸汽能作功，導致工業革命後，幾乎所有工作均可利用機器代勞。至於利用電能作功，雖是近數十年的事，但電能的貢獻，使人類的生活四季如春，不再受嚴寒酷暑的侵襲，使人類變成神話中的千里眼及順風耳，雖然還不致於像孫悟空一躍十萬八千里，但當讀者有朝一日乘太空船遨遊太虛時，定能體會出騰雲駕霧的意境。

電的觀念起源於希臘，早在西元前 600 年，希臘七賢之一的哲學家泰勒斯 (Thales of Miletus) 發現當某一物質 (目前吾人知道此物質為琥珀) 與另一物質摩擦時，將產生奇異的力量，此物質能吸附輕微的乾樹葉及木屑，雖然泰勒斯並未解釋此現象，但却提出電子 (electron) 一詞，目前吾人所說的“電子”一詞與泰勒斯時代的意義不同。

另一方面在中國的黃帝時代，即能以磁石製成指南針 (指南針為我國古代三大發明)，打敗蚩尤，奠定中國疆域。於西元前 300 年，在希臘的美格內遜 (Magnesia) 附近發現 Lodestone 礦石，當時發現此種礦石能吸引鐵，因在 Magnesia 地方發現，故命名為 magnetism (磁)；目前 Lodestone 是指天然磁石，以別於人造磁石。但當時認為電與磁是兩種截然不同的現象，直至西元 1820 年奧斯特 (Hans Christian Oersted) 在實驗中，偶然發現兩者間的關係，此後吾人發現由電可產生磁，由磁亦可產生電。

此後雖然在天文地理學方面有輝煌的成就；但電磁學却沉浸在黑暗時

2 基本電學

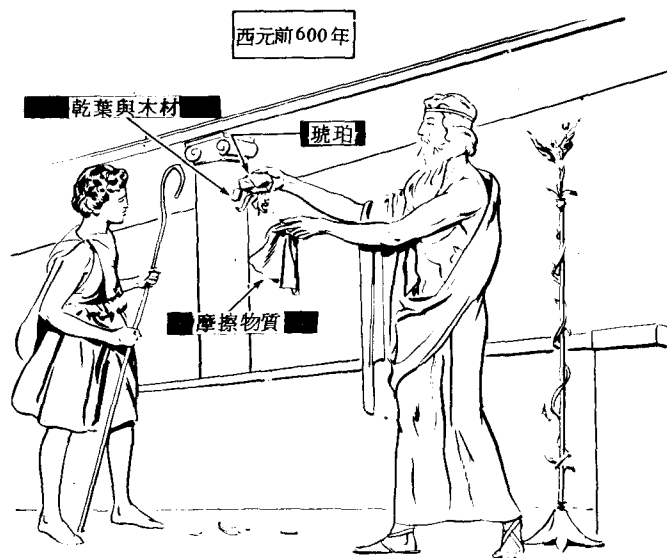


圖 1-1 電的發現

代裹足不前，只是給人類當作茶餘飯後的一種魔術遊戲而已。人類為琥珀吸引輕微物體之現象迷惘了大約一千年，但此後隨著文明的進展，人類發現越來越多的物質具有與琥珀相同性質的物質。約於西元 1600 年，英國科學家吉柏特 (Sir William Gilbert) 對電磁作有系統的研究，促使停頓的電磁學向前邁進了一大步。他對各種物質作摩擦實驗，而將物質分為(1)帶電物質 (electriks)：摩擦後能吸收輕微物體之物體及(2)不帶電物質 (nonelectriks)：摩擦後不能吸引輕微物體的物質。同時吉柏特亦發現將磁石與鐵摩擦亦可使鐵變成磁石。

在十八世紀早期，科學家利用帶電物質作實驗發現甚多材料，當此材料與諸如毛皮 (fur) 或絲布 (silk) 等其他物質摩擦時，不僅能吸引輕微物體，而且彼此間能相吸或互斥，當時並無法解釋此現象，只是由於此相吸或互斥的力量是由電 (electricity) 所產生者，故稱為電力 (electrical force)。

早期之摩擦實驗如圖 1-2 所示，將樹脂棒 (resin rod) 與毛皮摩擦，並將玻璃棒 (glass rod) 與絲布摩擦，再將此兩帶電棒懸掛起來，

發現帶電之樹脂棒與帶電之玻璃棒彼此相吸，而帶電之樹脂棒與另一帶電之樹脂棒相互排斥，兩帶電之玻璃棒間亦互相排斥。同時發現當毛皮與樹脂棒摩擦後，毛皮與樹脂棒相互排斥，但此毛皮却與帶電之玻璃棒却相互排斥；又當絲布與玻璃棒摩擦後，兩者相互相吸，但此絲布却與帶電之樹脂棒相互排斥。

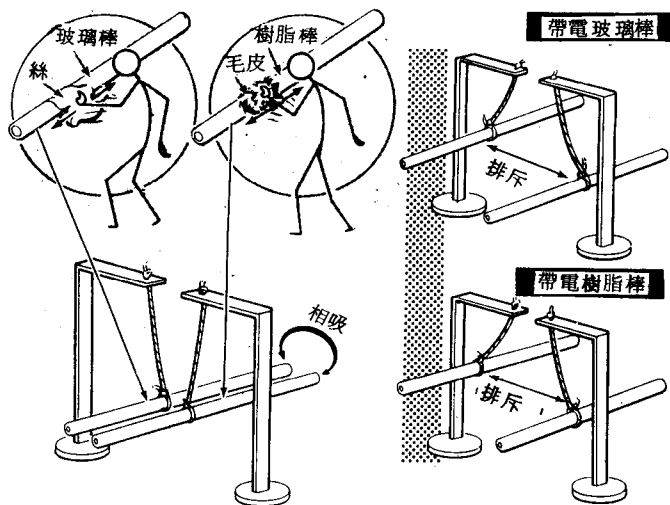


圖 1-2 早期所作之摩擦實驗

法國化學家丟凡 (Charles Dufay , 1698 ~ 1739 年) 為解釋帶電物質間的相吸及互斥現象，將電分為兩類：(1) 樹脂質 (resinous)：在樹脂棒中之電性及 (2) 玻璃質 (vitreous)：在玻璃棒中之電性。丟凡提出電的雙流體理論 (two-fluid theory)：即將物質中之陰陽兩種流體量相等時，物質呈現電中性，摩擦將分為兩種帶電狀態 (當時尚未發現電子)。美國政治家及科學家富蘭克林 (Benjamin Franklin , 1706 ~ 1790 年) 於西元 1747 年提出單流體理論 (single-fluid theory)，他定義在玻璃棒中之玻璃質為正電荷 (positive charge)，以十號表示，在樹脂棒中之樹脂質為負電荷 (negative charge)，以一號

4 基本電學

表示。此等名稱沿用至今。圖 1-3 顯示富蘭克林所作之定義。

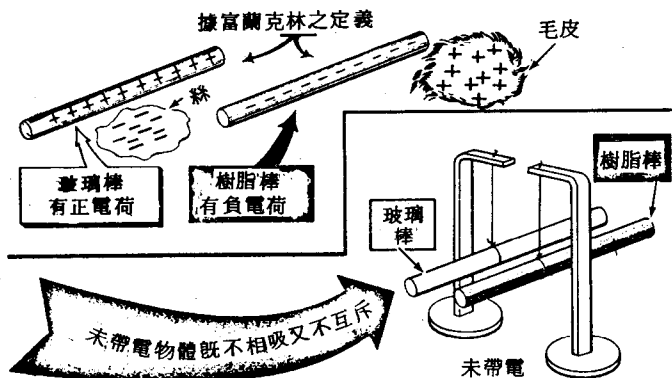


圖 1-3 富蘭克林對電荷所作之定義

法國科學家庫倫 (Charles Augustin de Coulomb, 1736 ~ 1806 年) 年青時從事戎馬生涯，後來獻身於科學研究，當他研究兩帶電物質互斥及相吸現象時，發現電力與兩帶電體之電量及距離之關係，而發現庫侖定律。迄此靜電學雖有長足之進展，但仍鮮有實際用途。

伽凡尼 (Galvani, 1737 ~ 1798 年) 於 1780 年從事青蛙實驗時，發現一種奇異的電流；西元 1799 年伏特 (Alessandro volt, 1745 ~ 1827 年) 根據伽凡尼的研究發明伏打電池 (voltaic cell)，於是在歷史上創下有連續電荷流動之壯舉，但當時仍不瞭解電池所產生之電流與摩擦所產生之電荷相同。西元 1820 年，丹麥物理學家奧斯特發現在有電流通之導線周圍有磁場存在，至此揭開電與磁間之奧秘關係。西元 1825 年，法國科學家安培 (Andre Ampere, 1775 ~ 1836 年) 發現電流與所產生的磁場間之關係，吾人稱安培所提出的關係式為安培定律 (Ampe-re's law)。西元 1831 年，英國科學家法拉第 (Michael Faraday, 1791 ~ 1867 年) 發現感應現象，奠定法拉第定律 (Faraday's law)。

十八世紀中葉，克希荷夫 (Augnstin kirchhoff) 有系統地描述電路的守恒定律，利用電荷不滅原理提出克希荷夫電流定律，利用能量不

滅原理提出克希荷夫電壓定律，由是奠定電路理論的基礎。

西元1879年，愛迪生 (Edison) 於紐約公開表演白熾絲 (incandescent lamp)，由是刺激發電廠的發展；但當然均以直流發電，並對交直電爭論不休，直至西元1885年，喬治西屋購買法人高達德及蓋柏所發明之交流傳輸系統的專利權，並於1890~1891年在尼加拉瀑布 (Niagara Falls) 設立大發電廠後，交流輸配電迅速地發展，而使電力的輸送無遠弗屆，目前吾人只要一按開關，舉室通明，光澈大地，電車電梯及各式各樣的機器，無一不以電能為原動力，電能造福人類，實是罄竹難書。

1-2 基本電荷

任何具有質量且占有空間之物皆稱為物質 (matter)，此定義必須包括宇宙間之所有各物，如木、水、鐵等均為物質。物質中最小而又不失物質本身特性之質點稱為原子 (atom)，亦即原子是構成物質的基本單位。根據英國物理學家盧瑟福 (Rutherford) 之原子論，吾人知原子是由電子 (electron) 及原子核 (nucleus) 所構成；電子的質量遠小於原子核的質量，且電子環繞著原子核運轉，正如同諸行星環繞著太陽運行一樣，如圖1-4所示。

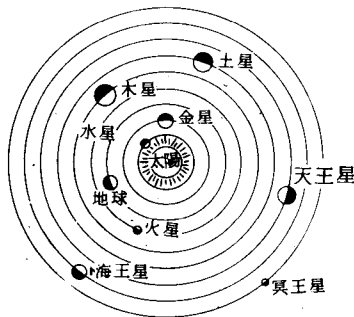


圖1-4 行星繞著太陽運行

原子核是由質子 (proton) 及中子 (neutron) 所組成，由是可知構成任何物質之基本粒子——原子——均係由電子質子及中子所構成，所不同者僅是三者之數量及排列方式不同而已。茲介紹構成原子之基本粒子

6 基本電學

如下所述：

- (I) 電子：西元 1879 年，英人苟魯克斯 (Crookes) 於真空管放電實驗中，發現陰極發射出肉眼無法看見之射線，當此射線與真空管壁撞擊時，却發出黃綠色的螢光，西元 1897 年，英國物理學家湯姆遜 (Thomson) 證明此射線為帶負電性之粒子所構成，此種粒子稱為電子，根據實驗獲知其質量為氫原子之 $1/1840$ ，即約 9.11×10^{-31} 仟克；再經由美國物理學家密立根 (Millikan) 之油滴實驗，證實電子為基本電荷，即構成帶電體之最小單位。通常電子以 e 表示。
- (II) 質子：西元 1911 年，盧瑟福利用 X 射線撞擊金屬板，發現質子，由實驗知每一質子所帶之電量與電子相等，但電性相反，即質子帶正電，即與富蘭克林時代之所謂玻璃質的電性相同，質子之質量約與氫原相等，即約為 1.67×10^{-27} 仟克。質子為基本正電荷。
- (III) 中子：西元 1932 年，英國物理學家查德威克 (Chadwick) 發現中子，中子呈現電中性，其質量約與等於質子之質量。

由是可知有兩種基本電荷，即(1)負電性之基本電荷——電子與(2)正電性之基本電荷——質子。如圖 1-5 所示。因原子是由電子質子及中子所構成，且電子之質量遠小於質子 (或中子) 之質量，故原子之質量約等於

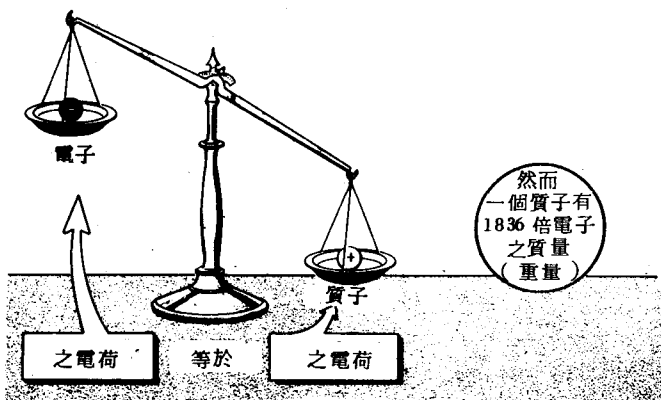


圖 1-5 兩種基本電荷之特性

中子與質子之質量和，即約等於原子核之質量。由於在正常狀態下，原子核中之質子數目與環繞原子核之電子數目相等，故總是呈現電中性。

為瞭解電性本質，吾人尚需研討電子之排列情形，以瞭解是否所有電子均對電性有影響？

1-3 波爾之原子模型

丹麥物理學波爾 (Niels Bohr) 認為原子具有一由質子與中子所構成之原子核，原子為靜止，如圖 1-4 中之太陽，並有電子環繞原子核運行，如圖 1-4 中之行星繞著太陽運行。圖 1-6 顯示碳原子之波爾模型。

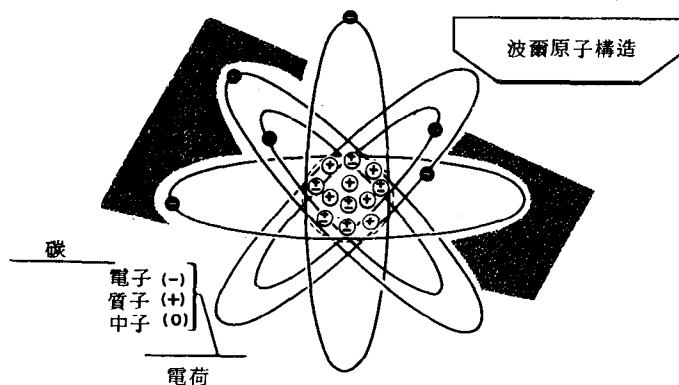


圖 1-6 碳原子之波爾模型

當電子環繞原子核運行時，必須承受離心力作用，為何電子不會飛離原子核，而仍維持在軌道 (orbit) 上運行？其理由是當電子繞著原子核運行時，除了有離心力外，尚有原子核中之質子與電子之吸引力存在，此吸引力企圖將電子拉向原子核，而離心力企圖將電子推離原子核，當兩力平衡時，電子既不離開原子核，亦不落入原子核中，而在軌道上運行，如圖 1-7 所示。軌道中之電子為何不會互相排斥？其理由是軌道中任一電子受其他電子之排斥力具有方向性，且每一方向之排斥力相等而相抵消。

茲再研討電子在原子核周圍之排列情形，電子環繞原子核運轉，其軌道不止一層，而電子之排列是先占滿最靠近原子核之內層 (即第一層) ，

8 基本電學

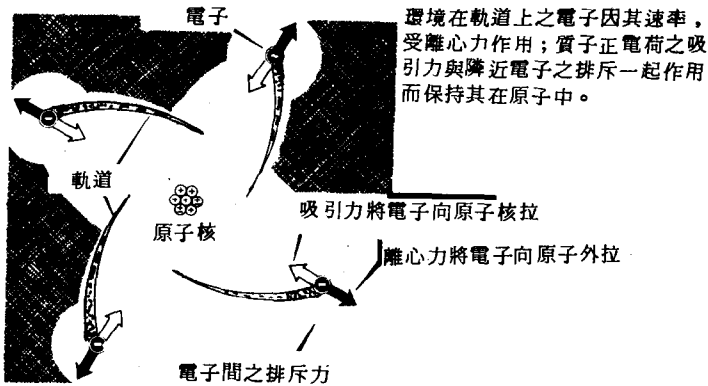


圖 1-7 軌道電子中之力平衡現象

然後逐漸向外層排斥，通常以 n 表電子軌道之層次，而 $n = 1, 2, 3, 4 \dots$ 分別以 $K, L, M, N \dots$ 表示，每一層電子又再細分為副層 (subshell)，由內而外之副層以 s, p, d, f, \dots 表示。每一層所具有之副層數目有一定，且每一層及每一副層所能擁有之最多電子數亦有所限制。如表 1-1 所示。

表 1-1 電子層及副層之排列情形

層次	K			L			M			N			
副層	S			S	P	S P d			S	P	d	f	
電子數	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14			
	$=2 \times 1$	$=2 \times 1$	$=2 \times 3$	$=2 \times 1$	$=2 \times 3$	$=2 \times 5$	$=2 \times 1$	$=2 \times 3$	$=2 \times 5$	$=2 \times 7$			
	2	8		18			32						
	$=2 \times 1^2$	$=2 \times 2^2$		$=2 \times 3^2$			$=2 \times 4^2$						

由表 1-1 知第 n 層所能容納之最多電子數目為 $2 \times n^2$ ，且 s, p, d, f 副層所能容納之最多電子數目分別為 2, 6, 10, 14。若每一電子層為電子所完全占滿，則具有最穩定之特性。由於電子總是先填滿內層軌道，再依次填外層軌道，因此最外層軌道除鈍氣元素外，往往不會完全被填滿，以致在最外層軌道中之電子較不穩定，稱為價電子 (valence electron) 或自由電子 (free electron)，價電子決定原子之原子價及其化學性質；完全填滿的內層軌道稱為原子心 (atomic core)，對原

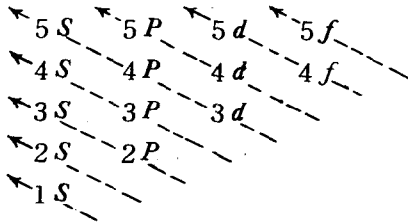
子之化學性質無影響，在原子心中之電子稱為來縛電子 (bound electron)。

電子在軌道上之排列情形，通常以“數字——字母——指數”之形式表示，例如 $2p^3$ 表第 2 層之 p 副層中有三個電子，其中指數表在該副層中之電子數目。

【例題 1】由週期表知鎘之原子序為 32，原子量為 72，即每一鎘原子有 32 個電子及 32 個質子，試寫出其電子排列情形。

〔解〕 ①原子核內之質子數有 32 個，電子數有 32 個，中子數有 $72 - 32 = 40$ 個。

②其電子由內向外排列之情形依下表而定。



因此鎘之電子分佈情形為： $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^2$

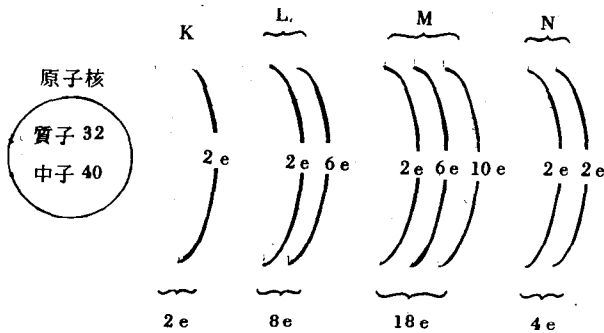


圖 1-8 鎘原子之構造

③由於第四層僅有四個電子，並未將第四層完全填滿，故有四個價電子。

④其原子構造如圖1-8所示。

由於最外層軌道並未完全為電子所占滿，故極易獲得電子以占滿最外層軌道，或移去最外層中之所有電子，以達到穩定狀態，此種失去或獲得電子之程序稱為游離 (ionization)，失去或獲得電子之原子稱為離子 (ion)，若原子失去電子，則構成正離子，若原子獲得電子，則構成負離子，無論正離子或負離子，其電量均為電子電量之整數倍。

1-4 如何產生電

由於原子核中之正電荷不可移動，故為產生電，必須設法使電子移動，欲使電子移動，則必須利用某種型式之能量激勵電子，目前有六種能量型式可以加以應用：即摩擦 (friction)，化學 (chemicals)，壓力 (Pressure)，熱 (heat)，光 (light) 及磁 (magnetism) 作用。茲分別研討如下所述：

(1) 由摩擦產生電

當物質互相摩擦時，由於摩擦面之緊密接觸，使兩物質表面原子之電子軌道相互重疊，因此其中之一物質的軌道電子可能進入另一物質的軌道，因此其中之一物質失去電子，而另一物質獲得電子，如圖1-9所示。當發生此現象後，兩物質皆具有靜電 (static electricity)。至於那一物者帶正電性或帶負電性，完全依那一物質較易釋出電子而定。目前容易由摩擦產生靜電之物質有玻璃，琥珀，毛皮，絲布，人造絲，尼龍，硬橡皮，蠟等。

當兩具不同電性的物質靠近時，將會相互吸引，不論此兩物質是否能移動，只要所帶之電性不同，其吸引始終存在，產生吸引的原因是帶負電性之物質具有過量之電子，而此過量電子尋找需要電子的地方。當兩帶不同電性之物質接觸時，電子必由帶過量電子之物質移動至缺少電子之物質內，此種現象稱為放電 (discharge)。

雖然由摩擦可產生靜電，但亦能以其他方法產生靜電。帶正電性之物質缺少電子，即具有吸引電子之作用，帶負電性之物質有過量之電子，即