

現代放射學基礎

上海 宏文書局 出版

現代放射學基礎

湯良知 編 著
徐驚伯 朱大成
校 訂

上海 宏文書局 出版

現代放射學基礎

開本：762×1067 1/25

印張：13¹⁹/₂₅

字數：247,000 銅版插圖：8 頁 進口報紙本

編著者 湯 良 知

出版者 宏 文 書 局

上海(九)北京西路六一四號

排版者 廣 華 印 刷 廠

印刷者 文 明 印 刷 所

經售處 上 海 圖 書 發 行 公 司

★版權所有★

一九五三年十月初版第一次印刷 印數：3001—4500

一九五五年五月修訂第二次印刷

精裝定價：四 元

前 言

放射學和其他臨床醫學不同，是一種物理醫學。因之，每位放射工作者除了必需具有一定的臨床知識外，還應對放射科學的基本原理，有所了解，冀能打下一個物理基礎，便利新知識的吸收，俾能更好地協助臨床醫學解決問題。放射物理學對於診斷技術工作固屬重要，對於治療工作則尤為必需。近年來，由於原子物理的進展，致使放射工作者對於這種知識的需求，愈覺迫切，更為提高。本書目的意在介紹放射學的一般物理原理，希能適合讀者的需要，不論對初學或進修皆能有所裨益。

然因國內有關放射科學文獻書籍的缺乏，又限於我的能力，不得已祇能取材於國外著述，書中內容大部係摘自 *Otto Glas er* 原著 “*Physical Foundations of Radio'ogy*” 第二版，融合其他國外文獻，略事修補增刪編成。並將拙稿中關於鐳及人工放射性元素之部，暫緩付印，根據讀者需要的情況，容後再事增入，或另出一冊，以輕讀者負擔。

本人才識淺陋，學習不夠，此次初版，缺點與錯誤，一定不少，尚希專家教授，各地讀者，慨賜高見，對本書善為灌植，冀使本書真正能有助於各位讀者，這是本人衷心的願望。

寫稿中，蒙徐驚伯教授慨借許多參考書籍，給予我不少鼓勵和指導，並承在酷暑中代為校閱，朱大成教授亦對書中部份內容，詳為校閱，謹於此表示敬謝。又承陳文綺同志代編中外名詞對照表，馬事新、何大延同志代為繕稿，併誌謝意。

湯 良 知

1953 年 9 月

放 射 學 歷 史



維爾漢·康拉特·倫琴

1845.3.27—1923.2.10

- 1815 溥勞認為氫是築成物質的基石。
- 1827 歐姆創立“歐姆定律”表明電流、電動力和電阻互相之間的關係。
- 1860 蓋斯勒創造含氣真空管。
- 1869 門德列夫創立元素週期律。
- 1879 克魯克斯發現可用磁鐵使陰極射線偏向，他認為這是物質的第四態；物質的四態為固體、液體、氣體和輻射。

- 1895 維爾漢·康拉特·倫琴發現 α 射綫。
- 1896 巴克萊發表他已發現鈾化合物有放射性。
- 1897 湯姆遜認為陰極射綫係由荷有負電的，比原子小的質點所組成，他稱這種質點為電子。
- 羅瑟福特從鈾中發現 α 射綫和 β 射綫。
- 1898 瑪麗·居里夫婦在7月發表發現“釷”，在12月發表發現“鐳”。
- 維拉特發現 γ 射綫。
- 1901 潑郎克始創“量子學說”
- 倫琴榮獲諾貝爾獎金（物理）。
- 1904 瑪麗·居里榮獲諾貝爾獎金（物理）。
- 1908 維拉特建議用倫琴單位（ r ）測量 α 射綫。
- 1910 蘇弟認為有化學性質相同但原子質量不等的原子存在，這種原子被稱為同位素。
- 1911 羅瑟福特創說原子的質量和正電荷係全部集中在原子核中。
- 瑪麗·居里第二次榮獲諾貝爾獎金（化學）。
- 1912 海斯發現宇宙射綫。
- 1913 波耳設想了原子模型。
- 毛斯萊首創給予每種元素的原子一個序數——原子序數。
- 柯立奇製成第一個用熱燈絲和鎢靶製成的 α 射綫管。
- 1922 康普吞發現“康普吞”效應。
- 1926 開始應用高壓變壓器和整流管整流法。
- 1932 由利發現氘，氘核含有一個質子和一個中子，在原子擊破實驗中用以作為撞擊物。
- 却特威克發現中子。
- 斯大林獎金獲得者蘇聯物理學家伊凡寧科教授創立了原子核由質子和中子所構成的學說。
- 1933 安特生發現正電子。
- 1934 約里奧·居里和愛琳·約里奧·居里首先產生人工放射能，二人共同榮獲諾貝爾獎金（化學）。
- 1940 利用中子撞擊鈾產生二種新元素——釷，原子序數93；鏷，原子序數94。
- 寇斯脫製成電子加速器，可使電子加速至20百萬電子伏特能量。
- 1942 第一個自行控制的原子核鏈鎖反應在美國芝加哥形成。
- 1945 西鮑格發現鐳，原子序數95；錒，原子序數96。
- 1950 湯潑遜和西鮑格發現釷，原子序數97；鏷，原子序數98。

目 錄

放射學歷史

第一章 物質的基本概念..... 1

元素的週期性分類 原子的結構 核外電子 游離 同位素 同量素

第二章 輻射的基本概念..... 11

微粒輻射 電磁輻射 光子

第三章 輻射與物質的相互作用..... 17

輻射之吸收 游離作用與復合作用 正電子・電子成對結合 特性 α 射綫

輻射與物質相互作用所產生的效應 雲室 吸收係數 半值層 質量吸收係數
濾波片

第四章 電與磁的基本原理..... 29

靜電 電流 容電器 磁力 電流的磁效應 量電計 感應電流 變壓器

α 射綫控制器 高壓測量法

第五章 α 射綫之產生與性質..... 51

連續輻射 特性輻射 α 射綫譜

第六章 α 射綫管..... 59

含氦 α 射綫管 熱陰極管 電子的發射 電子的加速 α 射綫的額定 冷卻此綫

燈絲發射特性 空間電荷的作用 燈絲蒸發的作用 旋轉式陽極管

治療 α 射綫管的冷却 其他特種 α 射綫管

第七章 整流電路.....84

自行整流 高壓整流管 半波整流電路 維拉特式電路 全波整流電路
恆定電位整流電路 三相高壓發生機

第八章 超壓發生機 高能加速器 原子核反應器.....97

共振變壓器 超壓靜電發生機 迴旋加速器 同步迴旋加速器 電子加速器
直綫加速器 同步加速器 質子同步加速器 原子核反應器

第九章 α 射綫軟片 增感影屏..... 109

α 射綫軟片 攝影密度 反襯 細節 α 射綫軟片的最佳密度
 α 射綫軟片的顆粒 增感影屏

第十章 α 射綫攝影螢光透視技術原理..... 119

α 射綫管電壓 α 射綫管電流 曝射時間 毫安-秒 高毫安技術
焦點-軟片距離 α 射綫管焦點 螢光透視技術原理

第十一章 特種攝影裝置的原理..... 142

聚光(錐)筒 活動濾波器 固定濾波器(光闕) 體層攝影 α 射綫立體攝影
螢光攝影 記波攝影 點片攝影

第十二章 暗室技術..... 157

暗室的設計 暗室燈光 顯影 顯影時間與顯影劑溫度的關係 定影 沖洗
涼乾 軟片上缺點形成的原因

第十三章 α 射綫量的測定..... 170

曝射-輻射的劑量 α 射綫劑量的測量 利用游離作用測量 α 射綫 倫琴
能的單位(歐格/克) 標準流動空氣游離匣 游離電流的測量 針箔游離匣
測量 α 射綫管輸出的要點 測量量的要點 模型的質料
敘明輻射作用所需之因素

第十四章 α 射綫質的測定..... 197

早期敘明 x 射綫質的方法 x 射綫譜分佈情形對 x 射綫質的關係

用測量吸收作用以決定 x 射綫的質 半值層

第十五章 x 射綫治療的組織劑量..... 214

反散射—表面劑量 深度劑量 電壓和濾波片對劑量的作用

距離對深度劑量之作用 實用組織劑量測定法 射出劑量

微積劑量和整個能量的吸收 輻射的質 劑量測定之誤差

第十六章 x 射綫治療記錄..... 239

第十七章 x 射綫的生物作用..... 243

放射綫的質的影響 對於人體組織的研究 放射綫強度的影響 組織的復原

腫瘤的放射敏感性與放射治療性 臨床 x 射綫治療後組織之正常反應 對過

量輻射的反應（放射性傷害）

第十八章 x 射綫的防禦..... 256

容許曝射（容許劑量） 防禦物 輻射來源 防禦設計的基本原則

防禦物的質料 防禦設計 工作因數 x 射綫管外殼 計算有用射綫

計算散射綫 計算直射綫（漏出射綫） 副防禦物 防禦質料 螢光透視的防禦

攝影的防禦 x 射綫軟片的防禦 250千伏深度治療

第十九章 保健問題..... 287

血液變化 臨床檢驗的鑑別 關於 x 射綫防禦規章的建議

附錄一 200毫安安全波整流 x 射綫機電路圖

附錄二 x 射綫機故障診斷表

附錄三 x 射綫治療深度劑量表

附錄四 中外名詞對照表

附錄五 中外人名對照表

第 一 章

物質的基本概念

放射工作者，必須熟悉原子的構成——質子、電子和中子——才能明瞭 α 射線的產生及其效用，放射物的性質，以及人工放射能的原理。

元素的週期性分類

1869年：門德列夫^①將當時所已知道的化學元素，加以週期性的分類；將所有化學元素，按照它們的原子量，由小而大，列成一表，分爲九族，七個週期。在這表中的縱橫項裏，就可找到每一族在化學上有聯系的元素。由於某一元素的特性，能在同一族的其他元素中有週期性的再現，因此我們稱這表爲元素或原子週期表^②。

事實上，在週期表中，至今尚有幾處不規則的地方。例如，氫和鉀，鈷和鎳，銻和碘，以及鈷和鎳的週期律，並不是依照原子量的增加而排列的。現在我們知道元素的週期律，主要還是根據原子序數而定的。

此種科學研究的結果，在週期表中的每一個原子，都有一個固定的序數——原子序數（記號 Z ）。原子序數從最輕的氫原子開始，它的原子序數爲1；其次爲氦2；鋰3；鈹4；硼5；碳6；依此排列，直至最重的已知元素鉕^③，原子序數100，原子序數就成爲原子最重要

表1 元素週期表

週期	橫列	元 素 的 各 族										
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			0
1	I	¹ H 氫 1.0080						(H)				² He 氦 4.003
2	II	³ Li 鋰 6.940	⁴ Be 鈹 9.013	⁵ B 硼 10.82	⁶ C 碳 12.010	⁷ N 氮 14.008	⁸ O 氧 16	⁹ F 氟 19.00				¹⁰ Ne 氖 20.183
3	III	¹¹ Na 鈉 22.997	¹² Mg 鎂 24.32	¹³ Al 鋁 26.98	¹⁴ Si 矽 28.09	¹⁵ P 磷 30.975	¹⁶ S 硫 32.066	¹⁷ Cl 氯 35.457				¹⁸ Ar 氬 39.944
4	IV	¹⁹ K 鉀 39.100	²⁰ Ca 鈣 40.08	²¹ Sc 釷 44.96	²² Ti 鈦 47.90	²³ V 鈮 50.95	²⁴ Cr 鉻 52.01	²⁵ Mn 錳 54.93	²⁶ Fe 鐵 55.85	²⁷ Co 鈷 58.94	²⁸ Ni 鎳 58.69	
	V	²⁹ Cu 銅 63.54	³⁰ Zn 鋅 65.38	³¹ Ga 鎵 69.72	³² Ge 鍺 72.60	³³ As 砷 74.91	³⁴ Se 硒 78.96	³⁵ Br 溴 79.916				³⁶ Kr 氬 83.80
5	VI	³⁷ Rb 鉀 85.48	³⁸ Sr 銣 87.63	³⁹ Y 釷 88.92	⁴⁰ Zr 鈷 91.22	⁴¹ Nb 鈮 92.91	⁴² Mo 鉬 95.95	⁴³ Tc 錳 (99)	⁴⁴ Ru 鈷 101.7	⁴⁵ Rh 銲 102.91	⁴⁶ Pd 鈀 106.7	
	VII	⁴⁷ Ag 銀 107.880	⁴⁸ Cd 鎘 112.41	⁴⁹ In 銦 114.76	⁵⁰ Sn 錫 118.70	⁵¹ Sb 銻 121.76	⁵² Te 碲 127.61	⁵³ I 碘 126.91				⁵⁴ Xe 氙 131.3
6	VIII	⁵⁵ Cs 銫 132.91	⁵⁶ Ba 鋇 137.36	⁵⁷ La 釷 138.92	⁷² Hf 鈦 178.6	⁷³ Ta 鉭 180.88	⁷⁴ W 鎢 183.92	⁷⁵ Re 銲 186.31	⁷⁶ Os 銱 190.2	⁷⁷ Ir 銱 193.1	⁷⁸ Pt 鉑 195.23	
	IX	⁷⁹ Au 金 197.2	⁸⁰ Hg 汞 200.61	⁸¹ Tl 鉍 204.39	⁸² Pb 鉛 207.21	⁸³ Bi 鉍 209.00	⁸⁴ Po 鉷 210	⁸⁵ At 砒 (210)				⁸⁶ Rn 氡 222
7	X	⁸⁷ Fr 銣 (223)	⁸⁸ Ra 鐳 226.05	⁸⁹ Ac 鐳 227	(Th) 鈾	(Pa) 鈾	(U) 鈾					

鑷 系 58-71

⁵⁸ Ce 鈰 140.13	⁵⁹ Pr 鐳 140.92	⁶⁰ Nd 釷 144.27	⁶¹ Pm 鉕 (145)	⁶² Sm 鈰 150.43	⁶³ Eu 鈰 152.0	⁶⁴ Gd 釷 156.9	⁶⁵ Tb 釷 159.2	⁶⁶ Dy 鐳 162.46	⁶⁷ Ho 鈰 164.94	⁶⁸ Er 鈰 167.2	⁶⁹ Tm 鈰 169.4	⁷⁰ Yb 鐳 173.04	⁷¹ Lu 鐳 174.99
---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	---------------------------------

鑷 系

⁹⁰ Th 釷 232.12	⁹¹ Pa 鈾 231	⁹² U 鈾 238.07	⁹³ Np 鈾 (237)	⁹⁴ Pu 鈾 (242)	⁹⁵ Am 鈾 (243)	⁹⁶ Cm 鈾 (243)	⁹⁷ Bk 鈾 (245)	⁹⁸ Cf 鈾 (246)	⁹⁹ An 鈾 (247)	¹⁰⁰ Ct 鈾 (248)
---------------------------------	------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	---------------------------------

的特性，因為它代表原子的結構和性質。

原子的結構①

最初，門氏對於週期表的觀念，認為同一元素的原子，有相似的結構和重量，並且認為原子是元素的最小的，不可再分的質點（原子英名 atom 乃從希臘文 a tomos，意為不可分裂）。以後，我們對於原子的認識，大都根據物理學家波耳的理論，他在1913年設想了一個原子的模型，得到大家的讚同。這一個模型被稱為羅、波二氏原子模型。羅瑟福特解釋一個原子，非但可以再分，並且結構相當複雜，類似一個極其渺小的太陽系，包括一個較重的帶正電荷的原子核，以及若干帶負電荷較輕的核外電子，繼續不息的繞着核心循環。在正常情況下，一個原子核正電荷的淨數，等於核外電子負電荷的總數，這個原子就成為電中和。電磁力將所有的電子安置在電子軌道裏，同時電子之間的排斥力，使電子互相保持着相當的空間。原子的電子軌道中的電子數和原子在週期表中的位置，說明了一個中和的原子的原子序數，代表着電子軌道的負電荷數和原子核中的正電荷數；意思說，假使原子序數加一，實際就是電子軌道多加一個負電荷，同時原子核多加一個正電荷。

電子軌道中帶負電荷的質點稱為電子（圖1），它們代表電學上的“原子”，在放射學中佔着極重要的地位。一個電子的電荷單位是能夠取得的最小電量，等於 4.803×10^{-10} 靜電單位（二個相同的電荷在真空中相距1厘米時，以1達因之力相斥，則各方所荷的電為一個靜電單位），電子的質量為 9.107×10^{-28} 克。

在原子核中的陽性質點叫質子（圖1），質子的電荷與電子的電荷相等，但它的質量則為 1.673×10^{-24} 克；因此，質子的質量約1837倍

於電子的質量。這種次原子質點的直徑位於 3×10^{-13} 厘米，原子的直徑約位於 10^{-8} 厘米，它們的體積和整個原子所佔的空間相比是極為渺小的；例如，氫原子的直徑為 3×10^{-8} 厘米；換言之，將 33,000,000 個氫原子並列起來，才等於 1 厘米。一個氫原子的體積為 1.4×10^{-28} 毫升，計算方法係利用

$$V = \frac{\pi \times d^3}{6}, \quad d = 3 \times 10^{-8} \text{ 厘米。}$$

我們亦可利用同一方法求得質子和電子的總體積；等於 2.8×10^{-28} 毫

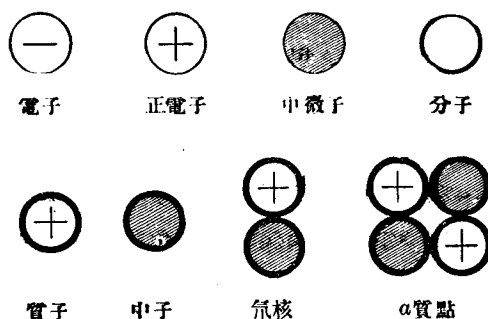


圖 1 次原子質點

升。這就是說，整個氫原子所佔的空間為這二個質點的體積的 5×10^{14} 倍；因此可知，在微小的原子核和核外電子之間的空間，是相當驚人的。

一個原子的整個質量幾乎全部集中在原子核裏，這種質量如果和體積極小的原子核相比，亦是萬分可觀的；譬如說，如可能將 1 毫升的體積裏裝滿質子，則這個體積將重 1.45×10^{11} 千克或 160,000,000 噸。

愛丁頓說：“假使有人可以將人體內所有原子中的質子和電子縮

合成一個真正的固體；那末，這個固體小得剛可在顯微鏡中看見”。

要懂得一般的放射作用，對原子的結構須要有個澈底的瞭解，原子的結構是根據羅、波二氏原子模型而定。氫，原子序數1，有一個

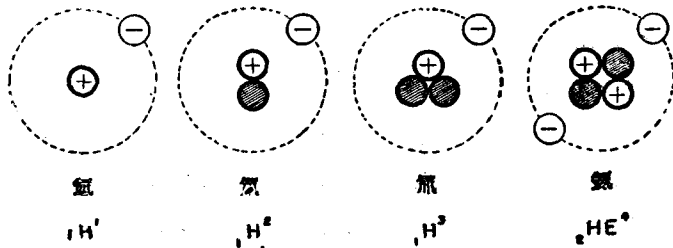


圖 2 氫、氦、氫和氮的原子模型

核心質子，和一個環繞於核心的電子。茲將它的結構不依比例地用圖案方式表明在第2圖中。氫，原子序數1，有二個核心質子，和二個環繞着原子核的電子。這樣看來，正似百年前潑勞所作的解釋一樣，我們可以假定所有較氫重的元素，祇不過是造屋所用基石的積成而已；這種基石，譬如說，就是氫。但是，這種概說由於對原子理論新的研究結果，發覺存有缺陷，而不能應用到週期表中的較重元素上去。譬如，依照這個理論，氧的原子質量為16，原子核中應該有16個質子；但是，既然它的原子序數是8，因此祇能有八個陽性質子和八個陰性電子，但是他的原子量16將怎樣解釋呢？這個疑問到1932年才得到解決，却特威克在試驗原子的撞擊時，發現有些元素的原子核，非但如我們所想像的含有陽性的質子，尚含有中性的質點，它們的質量約與質子相同，却特威克稱之為中子，其質量則經測定為 1.685×10^{-24} 克。這個發現對於原子結構的完成，有着最重要的貢獻，因為原子核裏的中子祇影響原子量，但不影響原子序數。在原子核中質子與中子的總和稱為原子的質量數；統稱之，質子和中子亦可稱為核子。

茲舉一、二例以解釋這些較原子小的質點之間的關係，假使一個原子核有一個質子和一個中子，它的質量幾乎要二倍於質子，但祇有一個正電荷；在一個中和原子裏，這一個正電荷係被在軌道裏的一個電子所平衡，它是一個氦原子。但爲了它的原子核的質量重，故稱之爲重氦或氦，此原子核單獨則被稱爲氦核。另外一種氦原子的原子核則有一個質子和二個中子，稱之爲氦(圖2)。中和之氦原子的原子序數爲2，有二個質子及二個中子，二個正電荷則爲軌道上之二個電子所平衡(圖2)。氦原子核本身則稱爲 α 質點(圖1)，放射物之 α 射綫卽爲此種質點所組成。原子序數較高的原子皆同樣地由質子、中子和電子這些造屋基石所構成。原子的結構，尤其是電子軌道之結構，隨着原子序數之增加而漸形複雜。圖3爲氧與銅原子模型之圖解，氧原子核有八個質子及八個中子，八個電子則分佈於二個軌道中；銅原子核則有29個質子和34個中子，29個電子則分佈於四個軌道中。

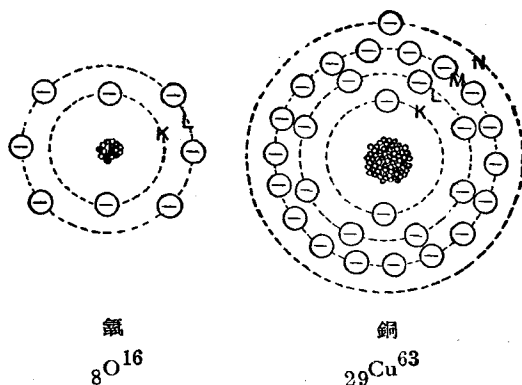


圖3 氧和銅的原子模型

我們可以相信在原子核中，若質子和中子距離甚近，它們會彼此互相吸引，同時也會經久不息地轉動。原子核概然隨原子序數之

增加而形複雜，則原子核中各種力的相互作用，也隨之而趨複雜。在週期表中，自鉍（原子序數83，原子量209）起，原子內的力量，對於控制原子核的能力有了限制；因此，原子序數大於83的元素，就不穩定而會裂解不息，此類不穩定元素，即稱為**放射性元素**。

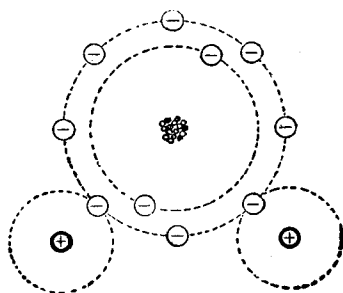
有人可能有這種想法，就是所有比氫重的原子核皆會互相飛開，因為它們都是含有同性靜電荷的質點，而欲相斥。但是，質子與質子之間，中子與中子之間，和質子與中子之間的短距離吸引力，實遠勝過此種靜電排斥力，因此上面這種現象就不會存在。至於，到底這種將核裏的質點繫連在一起的力量是什麼，至今尚未明瞭，有人相信，質子和中子是繼續不息地在原子核裏旋轉地運動着；而此種繫連的力量，乃是由於互相之間迅速不斷的交換電荷所產生，此種交換則可能是借重於往返於質子中子間的介子。介子為正的、負的、或中和的次原子質點，其質量約數百倍於電子的質量。此種研究工作，目前正在進行，關於原子核的結構，將有更進一步的瞭解。我們現在已經有這種啓示，就是核子在原子核裏亦佔有一定的位置（核子層或軌道），正和電子在電子軌道上的分佈情形相仿。

核 外 電 子

週期表對於明瞭原子的結構，有極大幫助，表中之週期數（1，2，3，4）代表電子軌道數，族數則代表外層軌道裏的電子數。這些外層電子亦稱之為**價電子**，它們在原子合成分子時甚為重要，因它們能決定各個原子的化學特性。

近原子核的軌道裏的電子，都緊緊在一起，因此祇有鐳的 γ 射綫， x 射綫，或其他高能質點，才能將原子的內層結構擊破。外層軌道裏的電子能位較高，所以較易受電能較低之輻射如普通光綫等之影響。

原子中的軌道數和電子數，決定該原子在週期系中之位置。最近原子核的軌道（K 軌道）祇能容納二個電子；因此，原子序數 3 之鋰原子，必須再加一層軌道（L-軌道），以容納增多的電子，所以鋰在週期表中，被列為第二週期之第一元素。L-軌道最多能容納八個電子，所以在週期表中，第二週期係從鋰開始，包括原子序數自 3 至 10 之元素，而第三週期中之元素，必須再有一個可以容納 8 個電子的第三層軌道（M 軌道），這一週期則自鈉（原子序數 11）起至氬（原子序數 18）止。至於其他原子序數更高之元素，則可加入能容納更多電子的 N-、O-、P-和 Q-軌道。雖然序數較高的原子，結構更形複雜，其基本週期律，仍是存在。鈾原子有七個電子軌道，K-軌道有二個電子，L-軌道有八個，M-軌道有 18 個，N-軌道有 32 個，O-軌道有 21 個，P-軌道有 9 個，Q-軌道則有 2 個電子，因此鈾有 92 個核外電子，因為鈾的原子量是 238，所以鈾原子核中必須有 92 個質子和 146 個中子。



水 H_2O

圖 4 水分子模型

最外層的電子將原子繫合成分子，許多元素的原子就是這樣成堆結合而成分子。譬如，二個氫原子或氧原子合成為穩定之氫或氧分子；氫原子的惟一電子將一個氧原子與二個氫原子繫合成一個水分子