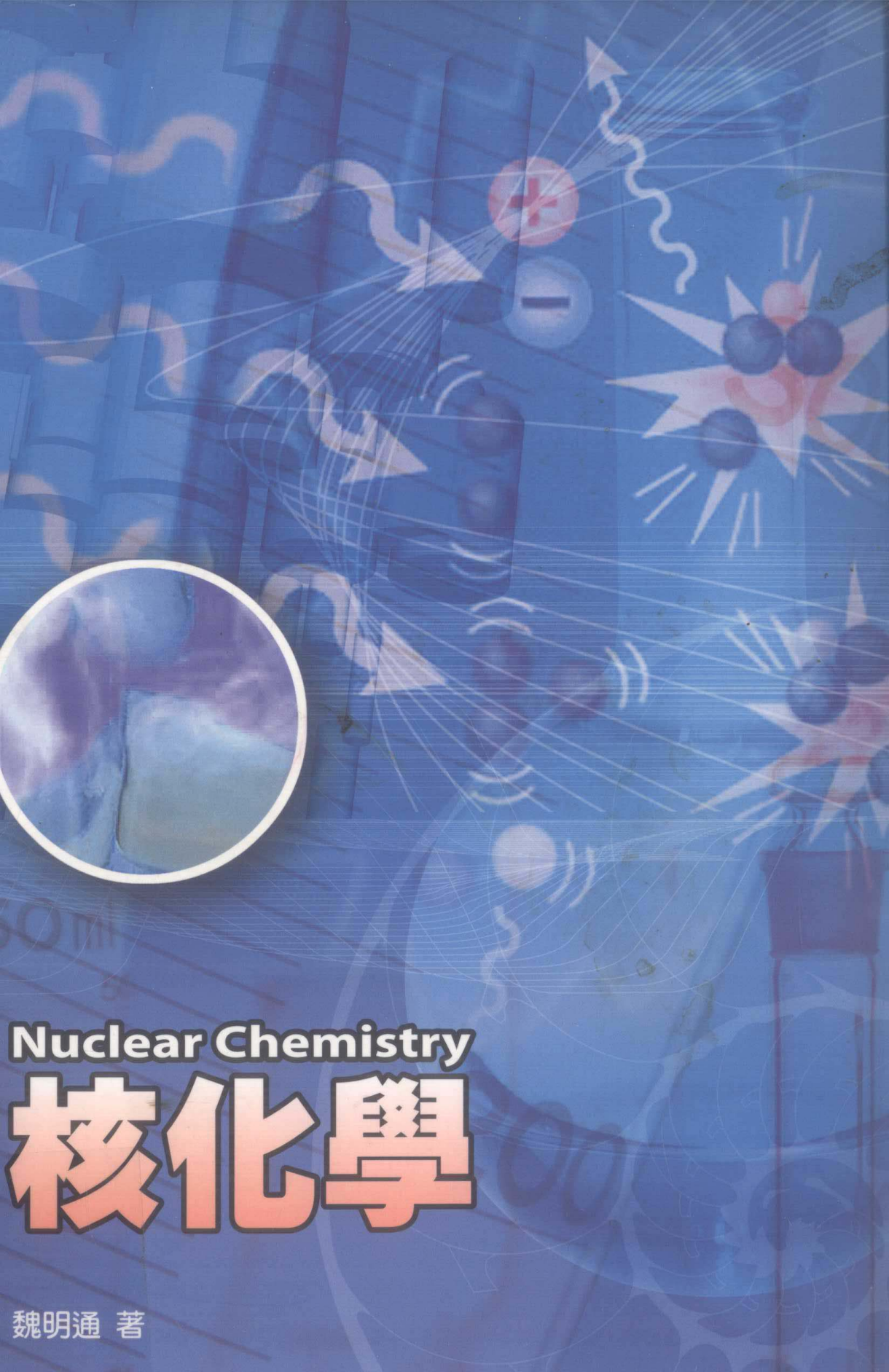




Nuclear Chemistry

核化學

魏明通 著

核 化 學

Nuclear Chemistry

魏 明 通 著

國立台灣師範大學化學系名譽教授

五南圖書出版公司 印行

國家圖書館出版品預行編目資料

核化學 / 魏明通編著. -- 二版. -- 臺北市 :
五南, 2004[民 93]
面 ; 公分
參考書目:面
含索引
ISBN 957-11-3632-8(平裝)

1. 核子化學

348.8

93009507

5B66

核化學 Nuclear Chemistry

作 者 魏明通(408.2)
編 輯 鄭萍如

出版者 五南圖書出版股份有限公司
發行人 楊榮川

地 址：台北市大安區 106
和平東路二段 339 號 4 樓

電 話：(02)27055066（代表號）

傳 真：(02)27066100

劃 撥：0106895-3

網 址：<http://www.wunan.com.tw>

電子郵件：wunan@wunan.com.tw

顧 問 財團法人資訊工業策進會科技法律中心

版 刷 2000 年 4 月 一版一刷
2005 年 5 月 二版一刷

定 價 520 元

版權所有・請予尊重

再 版 序

核化學第一版自二〇〇〇年發行以來，受到各大學校院的師生及各界人士廣泛支持及歡迎，至感榮幸。近數年來，使用放射性同位素爲示蹤劑，研究追蹤安定同位素在理、工、醫、農等各領域於物質及生命過程中的舉動，在國內外各大學校院逐漸盛行，本書可提供使用放射性同位素的基本及基礎知能，以幫助研究的進展。

本書第二版保留第一版的深入淺出，承前啓後的內容外，將第一版校對不全、用詞不妥處做徹底修正並增補了一些核化學最近進展的內容，例如中子新巧數的發現、原子序110新元素之命名及中東戰爭使用的耗乏鈾彈等，期能使本書保持新穎，激發學習興趣。

本書第二版仍難免有疏漏及不妥之處，歡迎各位先進隨時批評指正。

趙 明 通 謹識

於國立台灣師範大學化學系
二〇〇五年

目 錄

再版序

Chapter 1 緒 論—————1

1-1 一般化學與核化學／3

1-2 放射現象的發現過程／6

Chapter 2 原子核—————9

2-1 原子結構／11

2-2 原子核的穩定性／17

Chapter 3 放射衰變—————25

3-1 放射衰變的特性／27

3-2 放射衰變的型式／28

3-3 放射衰變律／41

3-4 放射平衡／52

3-5 分支衰變／58

Chapter 4 放射線與物質的交互作用—————61

4-1 α 射線與物質的交互作用／63

4-2 β^- 射線與物質的交互作用／71

4-3 γ 射線與物質的交互作用／80

Chapter 5 放射性物質及放射線的偵測——91

5-1 偵測類別／ 93

5-2 偵測放射性的方式／ 94

5-3 測定值的誤差／ 110

Chapter 6 核反應——115

6-1 核反應表示法／ 117

6-2 核反應的能量關係／ 118

6-3 核反應截面／ 122

6-4 核反應的類型／ 128

Chapter 7 核分裂與核反應器——139

7-1 核分裂／ 141

7-2 鈾與中子的核反應／ 148

7-3 核反應器／ 153

Chapter 8 人造放射性同位素——167

8-1 以中子製造放射性同位素／ 169

8-2 以荷電粒子製造放射性同位素／ 176

8-3 分離核分裂生成物所得放射性同位素／ 182

Chapter 9 天然放射性同位素——189

- 9-1 原始放射性元素／ 191
- 9-2 宇宙線誘導放射性同位素／ 210

Chapter 10 超鈾元素——213

- 10-1 鈾系元素／ 215
- 10-2 錒系元素／ 225
- 10-3 超鈾系元素／ 240
- 10-4 超鈾元素之應用／ 245

Chapter 11 熱原子化學——247

- 11-1 熱原子的反跳效應／ 250
- 11-2 熱原子的電子激發與離子化／ 255
- 11-3 氣相的熱原子實驗／ 257
- 11-4 西拉德・查麥士反應／ 262

Chapter 12 放射線化學——267

- 12-1 離子及激發分子／ 270
- 12-2 自由基／ 277
- 12-3 無機化合物的放射線化學／ 285
- 12-4 有機化合物的放射線化學／ 292

Chapter 13 **放射現象於分析化學的應用**—————301

13-1 同位素稀釋分析／ 303

13-2 放射定量分析／ 306

13-3 放射活化分析／ 308

Chapter 14 **放射測定年代法**—————319

14-1 放射測定年代法原理／ 321

14-2 碳 14 測定年代法／ 322

14-3 宇宙及地球化學試樣的測定年代／ 328

14-4 氡定年法／ 332

Chapter 15 **放射追蹤**—————333

15-1 設計及執行放射追蹤／ 335

15-2 放射追蹤實驗例／ 342

Chapter 16 **放射性同位素在工、農及醫學的應用**—————345

16-1 放射性同位素在工業的應用／ 347

16-2 放射性同位素在農業的應用／ 354

16-3 放射性同位素在生物及醫學的應用／ 359

Chapter 17 **放射線防護**—————365

17-1 天然放射線的影響／ 367

- 17-2 放射線的生物效應／ 369
- 17-3 放射性事故及處理法／ 374
- 17-4 操作放射性同位素的危害因素及最大許可劑量／ 378

附錄 381

- 附錄 1 國際原子量表／ 383
- 附錄 2 熱中子放射活化分析的靈敏度／ 387
- 附錄 3 放射性同位素表／ 390
- 附錄 4 原子能法／ 416
- 附錄 5 游離輻射防護安全標準／ 426

參考書目 447

索 引 449

Chapter 1 ---

緒論

1-1 一般化學與核化學

1-2 放射現象的發現過程

1-1

一般化學與核化學

化學是研究物質的科學，即研究各種物質的存在、組成、結構、性質及其反應的科學。通過化學的研究，科學家能夠把地球上產量多、便宜而用途較簡單的自然物質轉變為性能優異、用途較廣而美麗耐用的物質，以提高人類的生活品質及貢獻於社會、國家的經濟發展。

1-1.1 一般化學

物質是由極微小的原子組成的觀念，遠在兩千年前的希臘時代就傳說在世人中。現代科學家已闡明原子是由原子核和環繞在原子核周圍做高速運動的電子所構成（圖 1-1）。質子帶正電、中子不帶電而電子是帶負電的。原子的直徑約為 10^{-10} 公尺，而原子核的直徑更小，其直

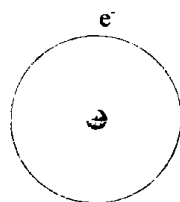


圖 1-1 原子與原子核

徑僅約 $10^{-14} \sim 10^{-15}$ 公尺而已，但整個原子的質量都集中於原子核。一般化學如普通化學、有機化學和無機化學等，都提到物質的化學性質決定於組成原子的核外電子。金屬元素的原子，易失去電子而成陽離子；非金屬元素的原子，易獲得電子而成陰離子，陽離子與陰離子結合成離子晶體。離子晶體可溶於水等極性溶劑，不溶於苯等非極性溶劑。諸如此

類，元素的活性、物質的氧化還原、共價鍵結及配價鍵結等普通化學現象，都與原子的核外電子有關。因此有人稱一般化學為研究電子作為的化學。

1-1.2 核化學

構成原子最重要的部分是原子核而不是核外電子。雖然原子核小到直徑約 $10^{-14} \sim 10^{-15}$ 公尺，但是原子大部分的質量都集中於原子核。科學家已測得一個質子的質量為一個電子質量的 1837 倍，一個中子的質量為一個電子質量的 1838 倍之多。核化學(nuclear chemistry)為著眼於原子核，研究原子核的穩定性、核衰變及核蛻變、核反應及所生成新核的特性、核能及放射性同位素的應用等的科學。

近代化學萌芽於十七世紀，惟核化學的歷史只有一百年。過去的化學家只留意原子的核外電子的作為而忽略原子核的反應，其理由可能是：

(1)化學反應

根據碰撞學說參加反應的原子必須靠近而碰撞，才有發生化學反應的機會，核反應亦相同，原子核與原子核必須相碰。原子（直徑約 10^{-10} 公尺）與原子碰撞的機會較大，較易起化學反應。原子核太微小（直徑只 $10^{-14} \sim 10^{-15}$ 公尺），兩個原子的原子核間的距離較原子核直徑相差太大，碰撞的機會極小，因此核反應較化學反應的機會小的很多，不易被觀察。

(2)原子是電中性的

因此易碰撞。原子核帶正電，當一原子核靠近另一原子核時，因兩者的庫侖排斥力極強，產生所謂的庫侖障壁(coulomb barrier)，使核反應不易產生。

這些問題一直到廿世紀的中葉，原子爐及荷電加速器的開發及應用，可打破庫侖障壁而揭開核化學的大門。

1-1.3 放射化學及放射線化學

核化學為研究原子核的化學，跟核化學很接近的化學有放射化學(radiochemistry)及放射線化學(radiation chemistry)。

(1)放射化學

放射化學著眼於放射性現象的特性，研究放射性元素的化學性質、檢測方法、定量、追蹤放射性同位素的行為及應用等的化學。放射化學研究的對象為放射性物質。

(2)放射線化學

放射線化學又稱輻射化學，是研究游離性放射線（如 α 射線、 β 射線、 γ 射線及X射線等）通過物質所引起的化學效應（如化合、分解、氧化還原、異構化及聚合等）及其應用的科學。放射線化學研究對象為非放射性物質。

本書討論的範圍，以核化學為基礎，包括一些放射化學及放射線化學的理論與實際，使讀者更能了解原子能的和平用途。

1-2

放射現象的發現過程

十九世紀末葉，科學界一連串的偶然事件結果，發現物質的放射現象。

1-2.1 貝克勒的發現

西元 1880 年，法國化學家貝克勒(Henry Becquerel)製造硫酸鈾鹽鉀晶體， $K_2UO_2(SO_4)_2 \cdot 2H_2O$ ，並報告紫外線照射此一晶體時晶體被激發而發出螢光。1895 年德國科學家倫琴(W. K. Roentgen)發現 X 射線並觀測 X 射線管的玻璃壁及被其照射到的一些物質都能夠產生螢光，並能使包在黑紙裡面的照相軟片（或玻璃板）感光。1895 到 1896 年間許多科學家研究 X 射線與螢光間的關係，並尋找從螢光物質所放出的穿透性放射線的本性。1896 年 2 月貝克勒發表他的第一篇報告：曝露於陽光的硫酸鈾鹽鉀晶體，能夠放出一種射線使包在黑紙裡面的照相軟片（或玻璃片）感光。其後貝克勒發現硫酸鈾鹽鉀晶體在無陽光的室內或黑暗房，都能放出同樣強度的放射線使包在黑紙裡面的照相軟片感光。此穿透性放射線不但在硫酸鈾鹽鉀晶體，其他的鈾鹽、四價的鈾鹽或鈾鹽溶液中亦產生，而其感光的強度與這些化合物含鈾量成正比。貝克勒從螢光體的研究開始，偶然發現與螢光無關的放射現象。1898 年居里夫婦(Pierre Curie, Marie S. Curie)歸納這

些鈾化合物所放射的射線爲鈾元素之原子固有的現象，而與其物理或化學狀態無關，並將此放射現象命名爲放射性(radioactivity)。

1-2.2 居里夫婦的貢獻

1898 年居里夫人與史米特(G. C. Schmidt)各自獨立的探查其他元素，發現釷化合物亦與鈾化合物一樣放出放射線。此時期他們所做極重要的實驗發現一些天然產出的鈾礦放出比純粹的鈾較強的放射線。以化學方法分解這些鈾礦並分離放射性較強的部分的工作爲最初所做的放射化學實驗。由此實驗導致放射性較強的放射性元素釷與鐳的發現。居里夫婦及其共同研究者從暗黑色瀝青鈾礦 (pitchblende, 含 U_3O_8 約 75 %)，化學分離所得的鋇部分中發現鐳的存在。將其氯化物反覆分部結晶時，鐳鹽留在母液中與鋇分離。鐳具有很強的放射性並由分光學確認為新元素。1902 年居里夫人報告分離得 100 毫克分光學上純粹不含鋇的氯化鐳，並訂此新元素的原子量約 225。其後居里夫人再測得鐳的原子量爲 226.5 (與現在準確原子量誤差只 0.2 %)，並從電解熔化的鐳鹽製得金屬鐳。

同一時期，貝克勒從其實驗結果表示，鈾在黑暗環境中，雖不用已知的任何方法供應能量，乃能繼續數年間放出一定強度的放射線。拉塞福(E. Rutherford)概略估計此一放射線的能量，但完全不知此能量的來源。居里夫婦使用濃縮的

鐳測量鐳的熱效應，表示每克鐳每小時放出約 100 卡熱量。如此大的能量貯藏於鐳的實驗證據，不但引起當時科學界的爭論，並幫助大眾關心於鐳及放射現象。1903 年美國聖路以士(St. Louis)郵快遞報(Post-Dispatch)推測此難令人相信的新力量，用於戰爭時可成為毀滅全世界的工具。今日，原子能雖然有原子彈及氫彈等毀滅性武器的存在，但核能在發電、核能引擎及原子爐所製造的放射性同位素在醫學、農業及工業上的有效應用，使人類進入核能和平用途時代。