

中華科學叢書第二十一種

人造超鈾元素

著者：Glenn T. Seaborg

譯者：魏 明 通



臺灣中華書局印行

人造超鈾元素

著者：Glenn T. Seaborg

譯者：魏 明 通

臺灣中華書局印行

中華民國六十二年二月初版
中華科學叢書第二十一種

人造超鉍元素(全一册)

定價：新臺幣叁拾伍元正

著者 Glenn T. Seaborg
譯者 魏明通

中華科學叢書編輯委員(以姓氏筆劃為序)

伍法岳 沈君山 沈慶春 李天培
林多標 吳京生 吳家瑋 吳錦鏞
夏道師 浦大邦 許翼雲 趙曾珏
劉樹元 劉全生 鄭伯昆 錢致榕



發行人 熊鈍生
臺灣中華書局股份有限公司代表

印刷者 臺灣中華書局印刷廠

發行處 臺灣中華書局

臺北市重慶南路一段九十四號

臺北市雙園街六〇巷九〇號

譯者序

第二次世界大戰以後不到二十年間，一個一個的超鈾元素，被發現而歸入於元素週期表中，完成錒系元素系列，這是科學史上最偉大的成就之一。更驚訝的是這些工作，幾乎完全由於美國加州大學的席保格教授為中心的科學家們一手完成的。到底這些科學家怎麼想，怎樣做才能獲得如此輝煌的成果呢？當譯者讀完席教授所著這本「人造超鈾元素」原書時發現其答案了。雖然是一本小冊，但對這些超鈾元素的發現、製造過程、性質、資源及應用，甚至對未來之超鈾元素的展望等，以簡單明瞭的方法，做極詳細的介紹。這本書正如著者所說，可做為美國高中新化學課本的補充教材，譯者相信，在我國這本書除可做高中新化學的補充材料外，尚可供給大專理工科學生們，做進一步研究的參考資料。

翻譯這本書所使用的術語，均參考國立編譯館編訂教育部公布之原子能名詞（第二版）。譯者學淺才疏，想必有破壞原著之完美而辭不達意的地方，敬請各界先進多予賜教。承蒙程祥榮教授的指正提供寶貴意見，林多樑教授不斷的勉勵，譯者謹在此表示衷心的感謝。

魏 明 通

民國六十一年八月識於國立臺灣師範大學

101.07.10

XXXXXXXXXXXX

著 者 序

XXXXXXXXXXXX

超鈾元素的發現和研究，是化學上最新而最有活力的發展之一。根據這些發現，人類能够創造新元素了。超鈾元素中第二個被發現的銻，可說是這些新元素的代表。這是人類最初合成的元素，而且是第一個實例以核轉變方式大規模生產的新元素。銻在第二次世界大戰期間被發現，並建立其製造方法，但其發現消息則在銻原子彈落在日本長崎市時，纔向全世界宣佈，現在銻已開始在原子核能的和平用途上，擔任發電的重要任務。銻如其他超鈾元素同位素，因放射性衰變時放出能量，所以在太空或地球上的應用方面，將可做為濃縮的同位素能量的來源。

寫這本書時，著者假設讀者對物理和化學的基本原理有相當理解，但本書第一部對背景不足的仍易閱讀，著者很希望這樣介紹二次大戰後的化學新說，以此來激發讀者進一步之追求，因此在本書最後列舉參考書籍目錄。

本書章節分為兩部。第一部是把 1963 年以前發現的 11 種超鈾元素各別依照年代順序做概略的介紹，並且討論這些元素在週期表中，所佔的位置和發現它們所用的化學研究實驗法，又述及將來如何發展超鈾元素的希望，最後談到超鈾元素在目前及將來的應用等。

第二部則更詳細的記述錒系元素化學及物理要項

(電子組態，化學及物理性質和原子核特性等)並且研討這些元素的資源。雖然超鈾元素爲 93 號之鏷開始到 103 號鏷爲止的元素，但這些都屬於以原子序 89 的鐳爲開始的錒系元素(性質與錒相似的元素)。這些章節不但可供給一般學生參考，尙可做爲更進一步高深研究的材料。

本書是爲了著者所主持的化學教育教材研究而著述。(Chemical Education Material Study —— 簡稱 CHEM Study, 卽我國高中所採用的化學新教材)。它是美國國家科學基金會資助的高級中學教材內容改進研究會。其研究中心設在加州巴克萊之加州大學及克拉蒙之哈杯馬度學院。因此關係本書恰可補充高中化學新教材教科書 (CHEM Study; Chemistry -An Experimental Science) 的第 23 章。但著者著述本書時，衷心希望，無論任何方面人士，只要對於超鈾元素有興趣的都能廣泛的利用本書。

著者對多數檢閱原稿的人們，表示謝忱：B.B. Cunningham, E. K. Hyde, 和 J.J. Katz 諸氏根據通讀原稿而給予寶貴意見，I. Perlman 和 S.G. Thompson 協助本人寫第 10 章，Eileen Carson, D.C. Clark, C. Heslop 和 D.R. Miller 惠賜卓見，又特別感謝 A.R. Eritsch 在著作計劃總過程中的協助，及 Gloria Lettre 小姐之負責準備底稿。

葛連·蒂·席保格

Glenn T. Seaborg

美國原子能委員會，主任委員

華盛頓

已出版之中華科學叢書

書名	著者	譯者	冊別	新臺幣
基本粒子	楊振寧著 林多樑錢相譯		全一冊	12.00
天文漫談	沈君山著		全一冊	16.00
震射與雷射	李天培譯		全一冊	12.00
半導體裝置	李述中譯		全一冊	18.00
甚麼是相對論	李榮章王華譯		全一冊	12.00
物理定律的特性	林多樑譯		全一冊	18.00
火箭推動淺說	夏道師著		全一冊	12.00
現代物理	錢相林多樑譯		全一冊	21.50
分子軌道	丁陳漢蓀譯		全一冊	25.00
天文新語	沈君山著		全一冊	17.50
化學反應如何發生	易潘定可博傳譯		全一冊	22.50
漫談晶體	伍張法青岳之譯		全一冊	17.00
強韌的材料	葉湘濤編譯		全一冊	14.00
反物質與宇宙論	韓建珊譯		全一冊	17.00
博戲的理論與應用	趙愼餘譯		全一冊	15.00
形與流——帶阻力的流 體力學	曹家政譯		全一冊	20.00
核子武器	林國雄譯		全一冊	20.00
低溫物理——絕對零點 之探究	錢致裕 吳家瑋譯		全一冊	45.00
氫與多體物理	吳家瑋著		全一冊	30.00
大氣與氣象	劉君勳譯		全一冊	25.00

中華科學叢書序

近代物理學，可溯源於十九世紀末年之氣體導電，X光，放射性等之研究。六十餘年來，基本物理中劃時代之發展，如一九〇〇年之量子論，一九〇五年之相對論，一九一三年之原子結構理論，一九二四——一九二八年間之量子力學，一九三幾年之原子核物理，一九三九年之原子核分裂。一九四六年介子之發現，及近十餘年來之基本粒子物理及物理學中之對稱定律等。常言「一日千里」，實不足以形容物理學發展之迅速。即從事一部門物理研究工作之學者，對其他部門之新發展亦時感脫節。故各國各部門科學皆有專書及期刊，由各門專家著述，對各部門工作之結果及發展之情形，作綜合性之報告、檢討及分析。此類著作，不僅便利同儕而已。

年來國人對科學及技術於建國之重要，了解漸深，一般青年，對科學、工程技術之興趣亦日趨濃厚。然限於環境，時或有望洋興嘆之感。增強在臺學校中科學教程，固為一基本工作，但以中文著述，介紹科學之新發展，為學校課外之補充讀物實為一極重要、極有意義之事。

我國留美學耆：伍法岳、沈君山、沈慶春、李天培、林多樑、吳京生、吳家瑋、吳錦鉉、夏道師、浦大邦、劉葵、劉全生、錢致榕、瞿樹元諸先生有鑑於此，曾決定從事科學叢書之編譯，各就其專長，選定寫作部門，目前除計劃於近期內陸續出版關於基本粒子、天文漫談、物理定律的特性，半導體裝置，現代物理等等外，尚有液態氦、高能加速器等陸續出版，並擬擴大科學部門，廣邀各方面學者專家從事著述。

叢書編輯委員會諸君，皆年青學者，學有專長，茲能熱心從事著述，為我國科學教育及青年效勞；而中華書局亦以服務精神發行科學叢書。筆者年來對我國科學教育，未嘗忘懷，祇以力不從心，無善可述，茲聞此叢書行將陸續出版，謹向國人介紹，並致個人欽佩喜慰之感。

吳 大 猷

一九六六年十月

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

人造超鈾元素目次

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

譯者序

著者序

第 一 部

第 1 章 緒 論	1
第 2 章 超鈾元素的發現	8
第 3 章 週期表上的位置	46
第 4 章 研究的化學實驗法	52
第 5 章 未來的超鈾元素	64
第 6 章 超鈾元素的應用	71

第 二 部

第 7 章 鈾系元素的資源	83
第 8 章 鈾系元素的電子組態	96
第 9 章 鈾系元素的化學和物理性質	101
第 10 章 鈾系元素的核性質	115
後 記	132
爲進一步研討的讀者而推薦的書	132
著者簡歷	134
附錄 1 超鈾元素核種的放射性衰變特性	136
附錄 2 第 104 號和第 105 號元素 (譯者再補 充資料)	146
索 引	148

第一 部

第一章 緒 論

超鈾元素——就是原子序超過天然存在最重的鈾元素的那些化學元素——的研究，開始於第二次世界大戰時期，是可以驚奇的科學之一分野，毫無疑問地未來更將發展。超鈾元素的發現使得昔日鍊金術家萬物互變的夢想得以實現；也就是這些元素是經過合成轉變的方法產生的。在詳細檢討這些轉變合成的新元素之前，需首先說明一些基本術語和原理。

有關原子核的術語命名意義是很重要的。每一種元素的**原子序** (atomic number) 決定於原子核內的**質子** (proton) 數目 (質子是帶單位正電荷，質量為電子的1850倍的基本粒子)。每一種元素的**同位素** (isotope) 是化學性質完全相同的**核種** (nuclide)，即其所含質子的數目相等，但所含**中子** (neutron) (中子也是基本粒子之一，但為電中性而質量大略和質子相等) 的數目卻有不同。所以同位素的**質量數** (mass number) 都是不同的，也就是說同位素原子核中的**核子** (nucleon) (質子和中子的總稱) 總數不相同。原子核中其他某些**奇異的粒子** (strange particle)，例如介子和超介子等，乃基於高能量

的核物理研究所創設的，在本書範圍內不需要考慮。同量素 (isobar) 是質量數相同而原子序不同的核種。所謂原子質量 (atomic mass) 仍是原子 (原子核加核外電子) 的質量以 C^{12} 核種的質量假定等於12為標準的相對正確質量。現在為說明起見舉例如下：例如 Np^{239} ， Pu^{238} 和 Pu^{239} 這三核種之間；(a) Pu^{238} 和 Pu^{239} 為鈾元素的兩種同位素；(b) Np^{239} 和 Pu^{239} 為同量素；(c) 它們的質量數各為 239，238 和 239；(d) 它們以 $C^{12}=12$ 為標準的正確原子質量各為 239.05061，238.04717 和 239.04992。

欲合成新元素，必須以天然存在的某元素，或從前所合成的某元素為出發，經過適當的核轉變過程，將合成開始之某元素的原子，改變為所須合成的新元素的原子。因為原子核中的質子數，乃是決定什麼元素的要件，所以合成新元素，就是要增加所用原料原子核中的質子數。

新元素由各種方法合成。有的在原子爐中生成，有的存在於核爆炸的生成物中，有的是利用加速器（通常所謂原子破壞裝置）製成。用原子爐和核爆炸的方法，是把合成原料的物質受到中子的衝擊，中子為電中性的，故不難進入靶原子核中，被吸收後因強而短程的核力與其他中子或質子連結，但如此尚未能創造新元素，因為原子核捕獲中子，並不能改變原子核中的質子數，只不過生成新的同位素而已。

這種新的同位素怎樣改變為新元素的原子核呢？在此必須有第二步驟進行。這種改變的過程乃是一種同量素改變為它的相鄰的同量素，即稱為 β 衰變 (beta decay) 的放射性轉換。當原子核中質子與中子數之比，維持到某

適當的值時，核內的質子與中子結合的力量最強，但這比值一旦因中子的加入而受擾亂時，此原子核即將中子改變為質子而趨於安定。因需保存電荷的相等，在 β 衰變過程中，生成帶負電的 β 粒子(電子)而以大的動能從原子核放出。這中子改變為質子的過程為自發的現象，可在幾秒或幾分鐘之內，或於幾年間內發生。這種自發原子核轉變的型式，通常稱為具放射能。此地說明的為 β^- 衰變，惟在中子缺乏的核則另有質子變為中子的機會，這時放出一個帶正電的 β 粒子(positron正電子)或捕獲一個軌道電子(orbital electron)，並原子序減少一個。當原子核放出一個負或正的 β 粒子後，核的電荷和核外軌道電子將失去平衡，這原子則保持離子化狀態到向周圍得軌道電子或向周圍放出電子為止。

合成元素的第三方法為以輕元素的原子核衝擊某元素，如質子(氫原子核)、重質子(氘原子核)、氦、碳、氮、氧或其他原子的原子核都可用為衝擊核。因核靶與衝擊核都各帶正電的質子，因此兩者接近時將產生強的排斥力，核的直徑極小，而荷正電的核，必接近到互相碰撞才能起核反應，因此衝擊粒子的動能必須相當的大。粒子加速器(particle accelerator)，例如迴旋加速器(cyclotron)或直線加速器(linear accelerator)等高電壓的機械，則為產生可引起核反應時所需的高能量，而使某種原子核貫入於其他原子核的裝置。

當衝擊核貫入於靶核時，只能作用於短距離的核力，將兩者互相連接而成一個複合核(compound nucleus)，因此生成一個新元素的原子核，則新核較原來的核增加

更多的質子數。這新產生的暫時性複合核，具有某定量的**激起能** (excitation energy)，它必放出這激起能而使核安定化。

在超鈾元素等極重的元素裏，如不起核分裂時，此過剩的能量，通常以放射 γ 線或從激起核**蒸發** (boiling off) 中子的方式消耗（當然，其他核反應也可產生）。新元素的核具放射性，如第十章所述，經過放射性衰變—— β 或 α 粒子衰變 (β or α particle decay) 或**自發核對裂** (spontaneous fission) 而改變其內部構造來趨近於安定。各核種衰變的速度以**半生期** (half-life, $T_{1/2}$) 表示，這半生期為某放射性原子數目，衰變到一半所需的時間，為該核種的半生期。

核轉變的完成，並未立即表示新元素的發現，必經某種的檢定來證明所假設的新元素之原子序實際上與已知所有元素的原子序不同才可以。為此目的，表示這元素具有特有的化學性質就可完成。但這工作並不是那麼簡單，因為可供研究的原子數極少，而且新元素的半生期往往很短，故極快就衰變完。事實上關於錒系元素的最後兩種(102 及 103 號元素)，至今尙未能做化學檢定，而只根據以物理分析和其他關連的證明，來確定這些元素的發現。在這些核反應(尤其在第一合成法所用實驗條件)裏，核靶中只極小部分的原子轉換為新元素的原子而已，將這些原子總收集在一起，也不能見到或秤其重量或不能使用以**巨視的** (macroscopic) 物質質量為對象的普通化學檢定方法。因此新元素的化學性質，必須以所謂**示踪化學** (tracer chemistry) 或**放射化學** (radiochemistry) 等特

殊技術來研究。這些技術將於第 4 章和第 2 章的“鏷”裏簡單說明。

新製造相當多量並可用肉眼看到的新元素，從週期表上，與其他所有的元素分離的工作，通常等發現新元素一段時期後才着手，在此以可觀程度秤量新元素，並以純粹的形態供作檢討。然後研究其元素和化合物的巨視的性質。

發現超鈾元素的關鍵，在於週期表上的位置，在超鈾元素發現以前，週期表上天然產生的元素，釷、鏷和鈾的位置，尚未完全確定。

超鈾元素為類似於鐳系元素 (lanthanide, 原子序 58-71) 的新錒系元素 (actinide, 如原子序 89 之錒)，這點使超鈾元素的發現者，能預言未知超鈾元素的化學性質。一旦預言這些性質後，將所製得未知的超鈾元素，從週期表

表 1 超鈾元素的原子序、名稱和符號

原 子 序	名 稱	符 號
93	鏷	Np
94	鈾	Pu
95	錒	Am
96	錒	Cm
97	鉈	Bk
98	釷	Cf
99	鐳	Es
100	鐳	Fm
101	錒	Md
102†	名稱將要取	
103	鏷	Lw*

* Lw 現已更改為 Lr

† 102 號現已決定是鐳 (No)

的所有元素做化學上的分離後，即是所發現的新元素了。

到 1963 年為止，已創造出 11 種的超鈾元素(如表 1)，將來很可能分離確認半打或更多的超鈾元素，但操作這些重元素的實驗技術，如尚未開發，同時此等元素能安定存在的未知領域尚未發見時，其終點約到原子序 110 的元素為止。鏷為止的元素具有相當長的壽命，足夠分離供以巨視量來研究，但鏷以後的元素則完全不同，似乎如不採用限定適用範圍的實驗，則不可能進行。不幸地，至今原子序 110 以下中，最長壽命的同位素，亦似乎不足適用於通常的化學示踪實驗。存在於研究此等元素之內在問題；例如其量極少，甚至只是 1 或 2 個原子，強放射性物質的安全操作，對於原子序愈增加的元素之製法與確認等，一部分被解決或正解決中。如加以適當的留意，鏷可在普通實驗室裏安全使用，並可得足夠長壽命的同位素。銻與錒也有長壽命的同位素，相信不久可供世界上任何地方廣泛的研究。

銻具有不平凡的化學性質和金屬性質。例如它具有四種氧化態，並於相當濃度的水溶液中，能互相平衡。金屬銻在室溫與熔點之間，具有六種安定的形態，這些形態的某些，具其他任何金屬都沒有的性質。幾種銻同位素的強 α 放射能，與其在生體內的特殊舉動，使銻廣知為極毒的物質之一，因此過去幾乎對研究者沒有受到任何的障害而能徹底研究這元素的事實，實是近代化學優異進步的成果（參照第四章）。

今日已明瞭超鈾元素互相的關係和與週期表其他元素的關係。化學元素數目增加 12% 的基本科學上的進步，

正如所期待的一般，在基礎科學，尤其於化學及物理的知識上，貢獻很多。

例如因超鈾元素所具有豐富而多種的化學舉動，而起的通常見不到的化合物的生成，溶液中其離子所具不平凡的複雜性等，使研究這些新超鈾元素對無機化學有很大的貢獻，並可刺激這分野的新文藝復興（renaissance）。相似的，研究約 100 種已知超鈾元素核種的放射能及核分裂特性的結果，使我們更有意義的增加對核構造的知識。