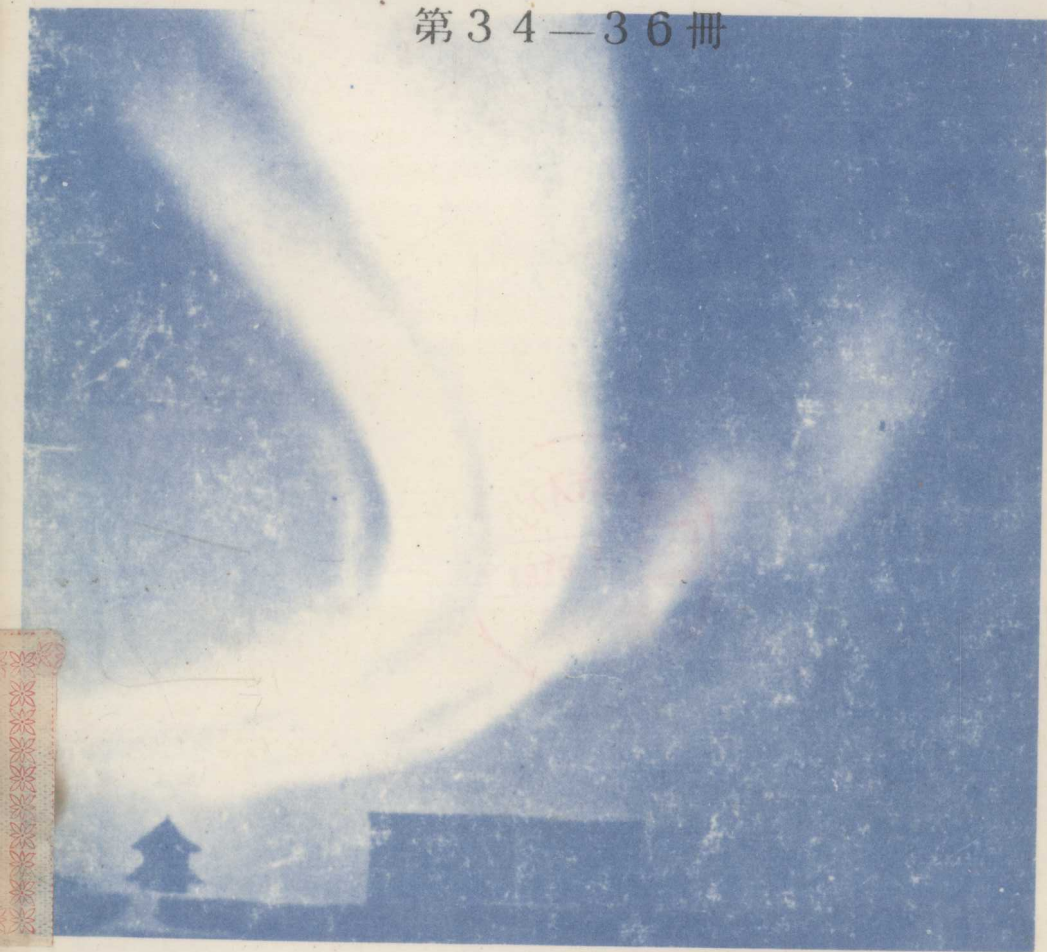


原子能文庫

主編 鄭振華

第34—36冊



941
徐氏基金會出版

原子能文庫

主編 鄭振華

第34—36冊

徐氏基金會出版

序

在世界科學文明已進步到太空時代的今天，任何一個人都了解發展科學的重要性，談發展科學，必需提高大家研究科學的興趣，才能步就班地求發展。

本基金會對於海內外中國人士從事發展科學研究的情況，向來都予深切的關心，過去六年，本會曾資助大學理工科畢業學生前往國采造，贈送一部份學校科學儀器設備，同時選譯世界著名科學技術出版供給在校學生及社會大眾閱讀，其目的都在幫助促進科學發

我們深深希望自由中國的科學家和工程師們了解本基金會的用意主動的重視科學技術書籍為發展科學的基本工具，從事寫作和翻譯並且熱誠盼望與我們聯繫合作，我們願意運用基金從事各種出版工作，共同為我們邁進工業化的途徑而努力。

徐氏基金會

1967年8月

徐氏基金會啓事

一、凡對本書任何一部份，或本會所出版之其他書籍，能在內容及文字方面，提供建議，致使讀者更易迅捷了解書中意義者，如被採納，當致酬美金十二元五角至一百二十五元（折合新臺幣五百元至五千元），以示謝意。

二、本基金會爲了提倡及鼓勵我國同胞研究科學的興趣，進一步希望達到發展科學的目的，特公開徵求下面各類有關的中文創作及翻譯稿件。

甲、自然科學類：

數學，化學，物理學，及生物學。

乙、技術及工程類：

機械工程，電機及電子工程，無線電，電視，電信，汽車修理，鐘錶修理及製造，房屋建築，木工，水泥工等以及機械工程，電機工程及土木工程的製圖。

丙、醫學類：

個人及家庭保健衛生等一般醫學常識及教育方法。

凡是應徵的稿件必需採用通俗而流暢的筆調，使得社會一般人士及中等以上學校的學生容易吸收及了解爲原則，至於科學同技術方面的名詞應以國立編譯館所譯經教育部審定公佈的名詞爲標準。

稿酬：應徵稿件經過本會審查接受者，一律按每一千字新臺幣一百元（美金二元五角）核付稿費，如果本會認爲

內容特佳，並得提高其稿酬。

三、獎助：經本會接受付給稿費以後之創作及譯稿，其版權即屬於本會所有，並由本會出版，分別在臺灣、香港、星加坡等地區銷售。

本會將在各該書籍出版以後的第二年年底，核計其總銷售量，並分別贈與作者及翻譯者下面三種獎金。

1. 銷數佔第一位者：獎給新臺幣二十四萬元（美金六千元）
2. 銷數佔第二位者：獎給新臺幣一十六萬元（美金四千元）
3. 銷數佔第三位者：獎給新臺幣八萬元（美金二千元）

獎助辦法實行期間：自即日起，每年頒獎一次，暫定實行三年。

應徵者請直接向香港郵政第一二八四號信箱徐氏基金會接洽

序

民國五十七年四月十三日，中美原子能委員會假台北市聯合舉辦原子能應用示範展覽會。會中展出一部原子能文庫（Understanding the atom series），凡四十餘冊，執筆者均為美國當代的原子能學者與專家。此文庫以通俗與淺顯文字，介紹有關原子能基本知識。國立清華大學核子工程學系四年級同學為響應推廣原子能和平用途，利用課餘時間，協力逐譯此文庫，並蒙該系主任翁實山博士協助解答質疑與校對；復蒙徐氏基金會資助，陸續出版。預計在核四同學畢業之前，可全部譯竣付印。

我國正力圖發展與推廣原子能和平用途，此文庫之逐譯，適逢其時。希望不久的將來，原子能將為我國帶來繁榮與福祉，更希望有志青年，多參與發展原子能的工作。

鄭 振 華 民國五十七年國慶日
於行政院原子能委員會

本會出版之「原子能文庫」蒙國立清華大學原子科學研究所所長鄭振華教授賜任主編，熱心籌劃，嘉惠後學，純盡義務，不受報酬。至深榮感，敬表謝忱。

徐 氏 基 金 會 謹 啓

目 錄

導言——一種奇異而美妙的物質·····	1
鈾的自然性質·····	2
一種人造的金屬·····	2
在元素中的位置·····	2
鈾的同位素·····	2
核分裂·····	3
鈾的發現·····	6
發現的導引·····	6
發現·····	6
新元素的命名·····	7
早期的研究工作·····	8
第一次鈾金屬的製造·····	9
繼續研究·····	10
反應器鈾·····	10
鈾實驗室·····	11
鈾的形成·····	11
核反應·····	11
自然鈾·····	12

鈾的製造	14
冷却期	16
鈾的分離	16
還原成金屬	17
裝配	18
鈾的性質	19
鈾原子核的性質	19
化學性質	21
物理性質	22
用途	28
核反應器	29
同位素動力發電機	32
中子源	34
低限偵檢器	34
超鈾元素	35
熱核爆炸	35
處理	35
臨界狀態	35
預先應注意的事項	36
毒性	36
字彙	43

鈾

原著 WILLIAM N. MINER

譯述 歐紹源

徐懷瓊

導言——一種奇異而美妙的物質

試想有一種物質，它一磅所荷載的能量足夠與兩千萬磅 TNT 黃色炸藥爆炸時所產生的威力相當。以人類目前的既有知識看來，我們又可設想在未來世界中，當傳統的動力資源如煤、石油等用竭之時，這種物質能成為長期供應動力的來源。我們再替這物質構想一些奇異的性質，譬如在某種狀況下，它像普通窗上的玻璃一樣既硬且脆。在另一種狀況下，它又像鉛一般柔軟可塑造。在空氣中加熱，不但會燃燒而且會很快地潰散成粉末狀。甚至在一般室溫狀況下，置在空氣中也會慢慢地潰散。同時允許這種物質連續慢慢地改變而成為另外一種完全不同的元素，也許要經過幾千年後才有一半的物質變成新的元素。不過這種反應產生熱的速率足以溫暖你的手。最後，我們再假想這種物質比氰化物的氣體或比神秘謀殺案中所用的毒藥還毒，但卻要讓工作人員在處理它的時候能夠安全無恙。

一個世紀以前，像上面所描述的物質只存在於那些專門寫神秘怪誕小說作家的腦海中。但時至今日，我們已確切知道有這麼一種物質存在，這就是鈾（Plutonium）。

到底鈾是什麼呢？它是如何被發現？如何形成及製造？它的性質又如何？有何用途及人們怎樣處理它呢？這些問題，在這本小冊子裏並不打算給你一個完整的答案，因為有許多問題今日的科學家們仍未解決，所以我們僅是在各種問題上抽出一個繩頭，像一道光芒，引導你以後希望研究的方向。

鈾的自然性質

一種人造的金屬

鈾是第一種大量製造的人造金屬元素（1937年 C. Perrier 及 Emilio Segre 首先發現金屬鎔這是公認的第一種人造元素）。

鈾屬於重金屬元素類，密度大約為鐵的兩倍餘，新製尚未侵蝕的鈾，表面光亮呈銀色，但在空氣中很快的就會失去光澤。它是電、熱的不良導體，電導係數（導電的能力）和熱導係數（導熱的能力）均十分低，約為銀的百分之一左右。

在元素中的位置

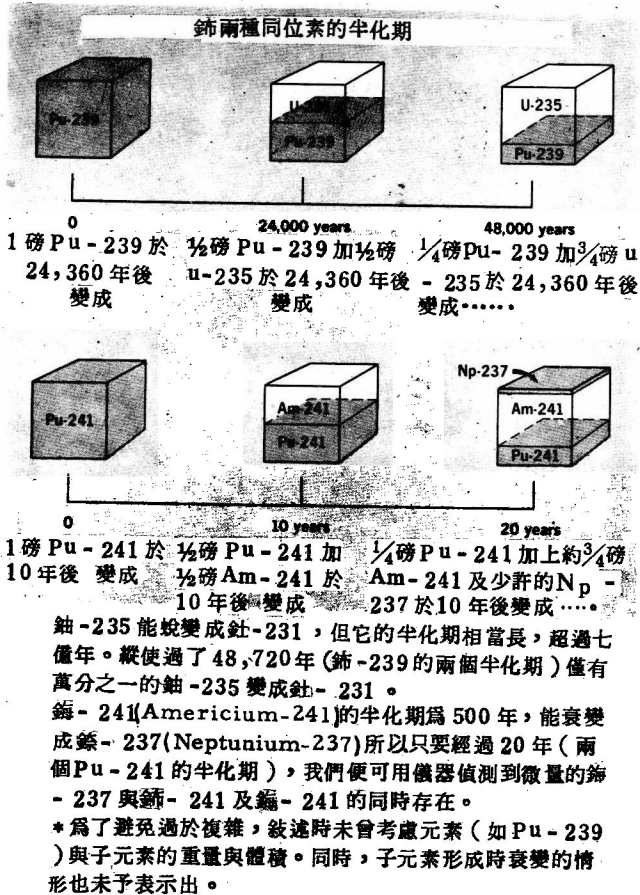
鈾是具有放射性的元素，原子序數為 94，在週期表裏它是錒（Actinides）系元素族的第六員。錒族元素始於原子序為 89 的銩。鈾也是超鈾元素之一，因為它的原子序高於鈾（原子序 92）。凡是原子序大於 92 的元素都是靠人工由一元素轉變為另一元素而造成的（transmutation）（參看本書後週期表及元素序列）。

鈾的同位素

鈾的同位素 * 已知的有十五種，它們的原子量從 232 排到 246，所有的同位素具有放射性且能很快的衰變，各依其特有的序列，最後形成穩定的鈾或鉛元素。

雖然所有鈾同位素的化學性質大致相同，但它們的衰變率卻大不相同，鈾-233 的半化期大約二十分鐘，而鈾-244 却長達七仟六百

* 所謂同位素即是指原子序相同而質量數不同的元素。



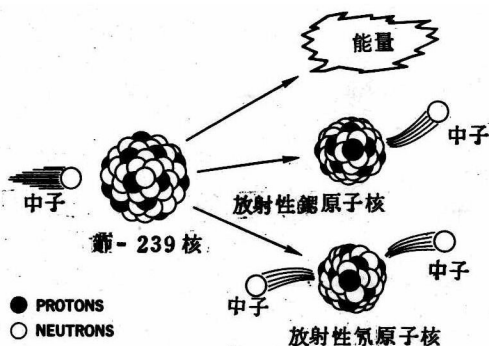
萬年。目前鈾-239 是最重要的同位素，因它不但能分裂（fissionable）同時半化期相當長，約 24,360 年，尤爲要緊的是它能大量製造以供實用。

核分裂

由於鈾具有能分裂的性質，使得它成爲一種重要的核能來源。當一個中子撞擊一個鈾-239 原子核時，中子被核吸收而分裂成兩種不

同元素的原子，這兩個新形成的元素，原子序數約為鈾的一半。例如可能分裂成原子序為 38 的鋇及原子序為 54 的氙。或可能分裂成原子序為 56 的鋇及原子序為 36 的氙。在分裂的同時，會有兩個或兩

圖 - 239 的分裂



當一個 $\text{Pu} - 239$ 的原子核捕獲一個中子時，它能分裂成兩個大約同大小 (size) 的放射性原子核，並放出中子及大量的能。所放出的能量等於 (1) 一個中子及鈾 - 239 原子和 (2) 兩個新產生放射性核及中子的差。

個以上的中子從鈾原子核內放出。這些新放出來的中子又能被其他的鈾原子核吸收，再引起分裂，又再釋放更多的中子，如是下去，造成了一連串的反应，是謂鏈反应。除非所有的鈾原子都已用盡或中子逃逸出容器或被其他的物質捕獲，而此種捕獲中子的物質不能產生新的中子，否則這種鏈反应是不會停止的。

在原子核分裂時，大量的能以熱的形式放出，這些釋放出的能量相當於反應物的質量和與生成物的質量總和之差。在鈾分裂這個反應中，所謂的反應物質 (reactants) 是指鈾原子及一個中子；生成物是指那兩個原子序較低的分裂產物和數個中子。由於生成物的質量總和比反應物的質量和為小，根據質量不減定律乍看之下，反應前後質量不等不是錯誤了嗎？其實不然，根據愛因斯坦的質能方程式，這些質量的差並非損失掉，而是轉變成能量了。質能方程式是這樣的：

$$E = mc^2$$

其中 E 表能量， m 表質量， c 表光速。（有關分裂及核構造的知識，參看“我們的原子世界”）。

能量的比較



從一磅鈾放出的能量與三佰萬磅的煤燃燒時放出的能相當（足夠裝二十五火車廂）。

我們以實際的數字代入這個方程式，計算一下究竟質量所相當的能量有多大？舉個例來說，如果我們取質量 $m = 1$ 克（ $1/28$ 盎司（ounce）），光速以每秒 3×10^{10} 厘米計算，能的單位以爾格（erg）來（註）表示，因此，

$$\begin{aligned} \text{能（以爾格表示）} &= 1 \text{ 克} \times (3 \times 10^{10})^2 (\text{厘米/秒})^2 \\ &= 1 \times 9 \times 10^{20} \text{ 克厘米}^2/\text{秒}^2 \\ &= 9 \times 10^{20} \text{ 爾格} \end{aligned}$$

我們把這個數字觀念，以實際的觀念來說明有多大。 9×10^{20} 爾格的能足以把 1 哩（mile）長，寬 50 碼，13 呎深的湖水從 70°F 加熱至沸點（ 312°F ）。

如果原子核能放得太快，會引起原子爆炸。在核反應器裏，我

們可用種種方法控制，使能慢慢的釋放出來，以便充分利用所產生的熱於有價值的用途上。

鈾的發現

發現的導引

二十世紀初葉，1900至1934年間，世界各國核子物理學家曾致力於超鈾元素的研究工作，在這群孜孜不倦潛心研究的學者中，有許多提出他們自己的實驗報告和理論來闡說超鈾元素的不能存在。然而在1934年，在羅馬大學物理實驗室裏研究的一群科學家如 Enrico Fermi, E. Amaldi, O.D'Agostino, Franco Rasetti, 及 Emilio Segre 等，發現經中子照射過的鈾會產生數種放射性物質，並建議把這些物質命名為超鈾元素。在他們的實驗中，以一個玻璃管內充氬氣 (Radon) 及粉末狀的鈹 (Beryllium) 作為中子的來源，以每秒百萬個中子釋放速率來照射鈾的溶液。

在往後的四年，許多人仍繼續著研究工作。在柏林的科學家 Otto Hahn 及 Fritz Strassmann 於1938年成功地造成了鈾核分裂。Lise Meitner 及 Otto Frisch 解釋此實驗，大多數所謂“新”元素實在是約為鈾重量一半的放射性同位素，但在發現了鐳後，終於了解一些在 Fermi 試驗及 Hahn Strassmann 實驗的產物是超鈾元素。

發現

由於 Fermi 工作的結果，激起許多對核分裂作用及核分裂產物的深入研究。1940年加州大學柏克萊分校 (Berkeley) 的 Edwin M.

註：爾格是一達因力作用於物質上，使其進行一厘米所作的功。所謂一達因即是指一克質量的物質產生每秒每秒厘米加速度的力。

Mc Millon 及 Philip H. Abelson 發現原子序 93 的鐳元素（這是人類發現的第一種超鈾元素）。幾個月後，在加州大學致力於鐳化學性研究工作的 Arthur C. Wahl, 及 Glenn T. Seaborg, 及 Joseph W. Kennedy, 又發現了第 94 種元素—第二種超鈾元素。他們的實驗是在迴旋加速器進行的，以中子撞擊氧化鈾，再用化學方法將鐳及其他氧化物分開。（關於迴旋加速器及其他類似設備的研究，請參看本文庫小冊，“加速器”）。此時，在混合液中發現一種，能放射 α 粒子的放射性物質，這種新形成的物質，在化性上和第 93 種元素完全不同。1941 年 2 月 23 日夜晚，這種新物質被確切地證明是第 94 種元素的同位素—鈾 238。



謝堡 (Glenn T. Seaborg)

麥克密蘭 (Edwin M. McMillan)

甘迺迪 (Joseph W. Kennedy)

華爾 (Arthur C. Wahl)



新元素的命名

1942 年，謝堡 (Seaborg) 和華爾 (Wahl) 在他們第一篇有關第 94 種元素化性的論文裏，建議採用鈾 (Plutonium) 這個名字。這兩位科學家認為，第二種超鈾元素的命名應配合冥王星 (pluto) 的命名，冥王星是在天王星 (Uronus) 外的第二顆行星，而鈾是以天王星 (Uronus) 而命名的。麥克密蘭 (McMillan) 曾提議第 93 種元素 (

即第一種超鈾元素）仿照海王星（Neptune）而命名為鏷（Neptunium），海王星是在天王星外第一顆行星。這個命名的建議，很快就被接受，於是，“鈾”就成為這第 94 種元素的正式名稱，而 Pu 便成為它正式的化學符號。

早期的研究工作

由於，原子能或許會被用於軍事上的緣故，（事實上，二次大戰時鈾原子彈的發明便是軍事用途的一個起點），所以如此重要偉大鈾的發現，在當時並沒立刻發表出來，而對鏷和鈾化學性質的進一步研究，繼續著並保持高度機密。1941 年 3 月 28 日，在加州大學做研究工作的甘迺迪，色格略，華爾及謝堡首先證明用熱（慢）中子，鈾 239 可以起分裂反應，使鈾的探索成功，理論上的預測得到了証實。因此，作為核能資源的鈾 239 就有高度的利用價值。在這個驗證裏顯



這是 1942 年 9 月 10 日第一次為人所量出的鏷（2.77 微克）放在稱盤裏經過高倍放大的相片。氧化物放大的倍數約為 20 倍。這個鏷氧化物是在鈾稱盤的末端，看起來像是一種硬的沉澱物（在相片的左下方），相片的右上端是一把鑷子，緊緊地夾住稱盤的小柄。

示出分裂過程中釋放出的中子能觸發更多的分裂反應，於是核鏈反應就能維持下去。由於這個實驗成功，為製造核武器而大規模製造金屬鈾的計劃就隨之而來。

用迴旋加速器裏產生的中子來撞擊鈾，可以製造微量的鈾，經實驗結果，將鈾作迴旋加速器的靶，可以製造微克量*的鈾。鈾 238 捕獲中子後形成鈾 239，再經兩級衰變，形成鈾 239。可是，這種迴旋加速器法無作大量的生產，只能製造小量的鈾以供實驗之需。

第一次鈾金屬的製造

在沒有找到一個適當的方法，大量製造鈾以前，是必需利用超微量的方法，來研究鈾化學的。美國芝加哥大學的 B.B. Cunningham 及 Michael Cetola 在他們的實驗裏，設計了一座天平，可以精確的測到 0.01 微克的重量，而其荷載的重量可以到達 0.5 微克。1942 年 8 月，大約 50 微克的鈾，以化合物形態製造成功了。1943 年 11 月，以一些鋇作為還原劑，在真空中與三氟化鈾 (PuF_3) 共同加熱至 1400°C 。而得到了幾個凝成球狀的鈾，每一個球狀鈾重約 0.3 微克。這就是人類第一次製造的鈾金屬。

*一微克 = 0.000001 克。