

變動中的原子量

化學元素週期表標定的原子量，並非一成不變，國際化學組織公佈了最新的同位素週期表，給每一個元素的原子量全新的定義。

撰文／沈川洲、陳心維

你可以想像嗎？超過一個半世紀以來，課堂上老師教的、課本裡寫的以及懸掛在教室裡的週期表中，各種元素固定的原子量，其實很有問題！因為有 70 多種元素的原子量是會變動的。

自然界中，除了只擁有一種穩定同位素的元素外；對於具有兩種以上穩定同位素的元素而言，在不同地點，例如大氣、海洋、地殼或太空等，同位素比例都不太一樣。也就是說，絕大部份元素的原子量是會變化的，不是恆久固定的值。

2011 年為國際化學年，最有意義的重大事件，是在發現同位素一世紀後的 2011 年 7 月，由國際純粹與應用化學聯合會（IUPAC）出版的《國際化學》期刊中，正式發表了新版的同位素週期表，這個計畫名為「建構教育界使用的同位素週期表」(Development of an Isotopic Periodic Table for the Educational Community)，自 2007 年開始執行，將週期表大幅改版，在每個元素格中，增列圓餅圖以表示同位素組成，並將 10 種元素的原子量變化範圍，正式明列出來，例如氫的原子量範圍為 1.00784 到 1.00811。而為了方便使用，也有科學家在論文中列出了這些元素新的原子量平均值。

然而目前首次提出的同位素週期表，並不是最終版本，因為 IUPAC 將持續執行這個計畫，未來幾年將持續更新同位素週期表。

百年前的大驚奇：發現同位素

道爾頓（John Dalton）在 19 世紀初首先提出原子概念理論，一切物質由這些穩定的元素組成，並首次提出一些元素（氫、碳、氮、氧、硫、磷）的相對原子量。1869 年，門得列夫（Dmitri Mendeleev）以俄文發表了標題為〈元素特性及其與原子量的關係〉的論文，提出現代週期表的雛型，這篇劃時代的兩頁鉅作，是打開人類對化學元素認識極為重要的一扇窗。

到了 1896 年，貝克（Henri Becquerel）在磷光實驗中，偶然發現鈾元素會自發性的釋出放射線，震驚了當時的科學界，激發許多頂尖的物理及化學家，前仆後繼投入有關放射性元素的研究狂潮中。

更震驚當時的是，多年來以純化超重金屬元素聞名的拉塞福（Ernest Rutherford），他實驗室裡的學生索帝（Frederick Soddy）於 1901 年發現，鈷元素

除了會釋出放射線外，還會自行衰變為鐳元素，這是科學界第一次發現到自然界除了穩定的元素外，也存在著不穩定元素，而且元素會自動轉變成另一種元素。發現的瞬間，索帝意識到：天啊！古老煉金術傳說是真的！他興奮地飛奔去向現代尊稱為原子核物理之父的老師報告，說他發現了元素的自然變質作用

（transmutation，指煉金術中，金屬經過精煉後可轉換為純金的過程）。但是實驗態度以嚴謹出名、當時最具科學權威的拉塞福，當場潑了索帝一身冷水，並痛罵他：「看在上帝的份上吧！索帝，你可別亂講話！當心別人會把我們當成煉金術士了！」

數年之後，索帝、拉塞福及其他的科學家，才了解到鈷元素變成為鐳元素的現象，為放射性元素的自發衰變過程，是不可能精煉成金子的，鈷元素再經過一系列的衰變後，終將轉變為穩定的鉛元素。

索帝又歷經了 10 年的研究發現，有些具有不同放射性特徵以及質量的物質，無法利用化學方法把它們分離開來，也就是這些物質具有相同的化學特性。1910 年他發表論文，推測這些長久困惑他的物質，是具有不同型態的同一種元素，佔據著週期表上同樣的位置！1913 年，索帝以希臘文涵義「位於同樣位置」的同位素（isotope）一詞來表示這些物質，從此又開啓了人類對同位素一世紀來的研究。

在索帝提出同位素概念之後五年，鄧普斯特（Arthur Dempster）設計了第一台具有電磁鐵的熱游離質譜儀。他以高溫將中性原子離子化，這些離子在真空中受到電位差加速而做直線運動，當飛行過電磁場時，各種帶電的同位素離子因質量不同，造成旋轉半徑不同而被分離。鄧普斯特利用簡單的電磁學原理，便準確分析元素的同位素比例，直接證實了索帝「元素具有同位素」的假說。隨後幾十年間，週期表上元素同位素的組成陸續被準確測量。今天，以現代的多頻熱游離質譜儀以及感應耦合電漿質譜儀，來測量同位素比例，精準度可以達到百萬分之五至十。

同位素的誕生：不是孿生兄弟的兄弟

經過百年的同位素測量及研究，我們已經知道，自然界存在著穩定的同位素以及不穩定的放射性同位素。這些外觀及化學性質幾乎一模一樣，共同屬於一個元素下的成員，並不是在單一族譜裡同一父母所生的孿生兄弟。目前大部份科學家相信，核種演化歷經兩個主要階段：一是大約 140 億年前，從虛無到創世的宇宙大霹靂，二是隨後的恆星和超新星爆炸，在高溫高能下，各式各樣的同位素經由一連串錯綜複雜的核融合及核分裂反應所形成。

在歷經數十億年星際空間和太陽系形成的混合作用後，各元素的同位素，逐漸以均勻比例分佈於太陽系中，所以太陽系的成員，雖然形成於不同的區域，但各種

元素的同位素比例，理論上應該是相同的。近年來藉由分析太陽系隕石標本，也證實了各個元素的同位素比例，在不同來源的標本中基本上是一致的，這個結果證明了太陽系同位素比例均一性的理論。

【欲閱讀完整的豐富內容，請參閱科學人 2011 年第 118 期 12 月號】