

〔苏〕

Г. Н. 费廖罗夫、

А. С. 伊里伊诺夫

著



14.35-49

探索超重元素的奥秘

科学普及出版社

探索超重元素的奥秘

〔苏〕 Г.Н.费廖罗夫 著
A.C.伊里伊诺夫

刘君礼 徐新民 译

科学普及出版社

内 容 提 要

本书介绍了近四十年来各国科学家发现第94号到106号元素所采用的方法、设备以及所走过的路程。什么是铀后元素和超重元素？它们的发现对人类有什么影响？在通往超重元素的道路上还有哪些奥秘等待着人们去揭开？作者对这些问题作了通俗的叙述，读者可以从中获得不少关于原子和原子核的基本知识和历史知识。

这是一本苏联科学家写给中学生的科普读物，译文流畅，文字清新。可供中学高年级学生 and 大学生阅读，也可供物理和化学教师，有关专业人员和其他广大读者参阅。

На пути к сверхэлементам
Г.Н. Флеров А.С. Ильинов
Москва, «Педагогика» 1977

* * *

探索超重元素的奥秘

〔苏〕 Г.Н.费廖罗夫 著
A.C.伊里伊诺夫

刘君礼 徐新民 译

责任编辑：张静韵

封面设计：范慧民

•

科学普及出版社出版（北京白石桥紫竹院公园内）
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
河北省固安县印刷厂印刷

•

开本：787×1092 1/32 印张：3 字数：63千字

1982年3月第1版 1982年3月第1次印刷

印数：1—5,600册 定价 0.32元

统一书号：13051·1285 本社书号：0398

代 序

近三、四十年来，原子核物理的主要科研活动有以下三个方面：一、超铀和超重元素的研究；二、热核聚变的研究；三、采用新探针进行核结构的研究（如用介子、超子等，可同高能物理的研究结合）。这些研究工作有重要的物理理论意义，也可能有重大的应用意义。为此，不少国家特别是美苏两国，投入了许多高水平的科技人员并建造了庞大复杂的加速器和实验设备来进行这些方面的研究。

研究成绩较为显著的要算超铀和超重元素方面的研究。四十年来已经发现了十五种超铀和超重元素，其中 $Z=107$ 元素尚未最后鉴定。科学家们的奋斗目标是理论上预言的稳定岛的主峰 $Z=114$ 。超铀和超重元素的进展历史跟其它学科的发展史一样，充分证明了：只有重视科学试验，并且亲自动手进行实验研究，才能有所发现，有所发明，有所创造；才能产生理论、验证理论和发展理论。假如仅以我国科举时代念四书五经的方法和态度来“精读”科学书籍（第二手知识），而不联系实际来进行科学研究，那将是无济于事的！实践是理论的泉源，科学的根本。

《探索超重元素的奥秘》（俄文原名为《在通往超重元素的道路上》）是一本科普读物，是苏联“教育”出版社出版的《科学家写给中学生的读物》小丛书之一（1977年版）。这是一本好书，值得在我国翻译出版，以作为中学和大学的学生及教师的科普读物，它对有关专业人员和广大读者也是一本值得参考和阅读的好书。这本书有四个主要特点：

1. 内容丰富多彩，提供了不少有关原子和原子核的基本知识和历史知识；2. 深入浅出，通俗易懂，物理意义和概念简明、准确；3. 向读者提出了一些新问题和新方法，有时提出等待人们去揭开和解决的奥秘前景，因而颇有启发性；4. 指出研究超铀和超重元素可能对人类会有什么影响和贡献。总之，对物质微观结构感兴趣的人们都会喜欢阅读这本书的。

本书的年长作者Г. H. 费廖罗夫是苏联一位很出色的核物理学家，在合成元素特别是在超重元素的研究方面有卓越的贡献。另一位年轻作者是A. C. 伊里伊诺夫，是一位有造就的青年科学家。这本书之所以成为好书，与他们个人的科研经历和科学水平是分不开的。

译者刘君礼和徐新民两位同志对中俄文字颇有素养，且具有必需的科学知识。中文译本是一本文字通畅，科学准确度较高的书。希望读者在阅读本书之前，最好先看看“内容提要”、“译者的话”以及译者在书后的注语。

张文裕

1981年7月

译 者 的 话

超重元素的发现对人类具有非常重大的意义：可以帮助科学家验证有关核规律性的假说是否正确；可能提供比铀和钚能量还要大得多和丰富得多的能源；可能使核武器朝着小型化的方向发展……。超重元素的研究和利用，是一项很复杂的科学课题。在这方面，各国科学家奋战了几十年，取得了伟大的成就；但还有许多奥秘正等待着人们去揭开，还有不少空白也正等待着人们去填补……

本书作者是苏联科学院院士、物理学家Г.Н.费廖罗夫和青年科学家А.С.伊里伊诺夫。费廖罗夫近二十年来一直担任杜布纳联合核子研究所核反应实验室主任，伊里伊诺夫在苏联科学院核子研究所工作。这两位作者在这本书中介绍了近40年来各国科学家发现门捷列耶夫周期表中铀后14种元素所采用的方法、设备和所经历的路程。

作者认为，从第102号到106号元素是在苏联杜布纳联合核子研究所发现的。因此，除106元素尚未命名外，该所根据自己的观点给102、103、104和105号元素分别命名为 Жолиотий (Jl)、Резерфордий (Rf)、Курчатовий (Ku) 和 Нильсборий (Ns) (参见本书最后一章“附言”和后面的附表)。但是，关于这几个元素的首先发现权和命名的问题，在国际上是有争议的。

例如，我们查阅了美国 Van Nostrand Reinhold Company 出版社出版的《The Condensed Chemical Dictionary》(《简明化学词典》) 1976 年第九版，该词典注

明：102号元素是瑞典、苏联和美国加利福尼亚三个研究所宣布发现的，得到国际理论化学和应用化学联合会(IUPAC)有机化学命名委员会承认命名为Nobelium (No, 锗)；103号元素发现于1961年，命名为Lawrencium(Lr, 鏷)；104号元素是洛伦兹辐射实验室于1969年发现的，以英国物理学家卢瑟福的名字命名为Rutherfordium (Rf, 钷)；105号元素是洛伦兹辐射实验室发现的，以德国物理学家奥托·哈恩的名字命名为Hahnium (Ha, 铯)。它们的制取方法参见书末附表。

我们认为，学术观点的争议，是经常发生的，是正常的，也会有助于科学的发展。各种不同论点的正确与否，最终将由实践和科学本身来作出结论。我们翻译这本书，把它作为一本科学知识的普及读物向读者推荐，有助于读者了解一些这方面的情况。至于这几种人工元素的汉语命名留待有关专家研究解决。

在翻译过程中，删略了原书中的某些语句、段落和插图。译文中如有欠妥或错误之处，恳请读者批评指正。

著名科学家、高能物理研究所所长张文裕同志对本书的翻译出版很为关心并作了代序，在此谨表示谢意。

1981年7月于北京

目 录

元素周期律之谜	1
稳定性的大陆	5
中子合成	12
超铀元素	18
重离子	23
库尔恰托维 (Ku)	30
什么是超重元素	37
寻找“长住户”	43
稳定岛的浅滩	53
破中有立	61
离子光	66
未发现的大陆	72
附言	76

元素周期律之谜

很久以来，人类就向自己提出了一个问题：周围世界是由什么构成的？为什么我们周围有那么多以气态、液态和固态存在的各种各样的物质？可不可以把一些物质转变为另一些物质，或是制造出新的前所未知的物质呢？只是到了距今约二百年之前，人们才知道，我们周围的物质之所以种类繁多，都是由为数不多的化学元素以不同的方式结合的结果。但是，各种元素的性质却彼此无关。谁也不敢说是否会出现新的元素，即使偶然发现了新的元素，这个“新生儿”的面貌对于首先发现者来说，也往往是意想不到的。而已发现的元素却在逐年增加，至十九世纪后半叶已有近60种元素。

门捷列耶夫的发现 在任何一种科学领域中，当发展到一定阶段时，就会出现一个需要将所积累的知识加以系统化的时期。例如，在生物学方面，这个时期发生在十八世纪末叶；在基本粒子物理方面，则发生在我们这个时代。将化学元素系统化的问题，在十九世纪中叶已引起人们的密切注意。元素的化学性质是偶然的，还是按一定规律变化的？为了解释元素之间彼此联系的方式，许多科学家曾奋斗了多年而毫无成效。只是到了1869年，伟大的俄罗斯学者Д.И. 门捷列耶夫才终于发现了其著名的周期律——宇宙最基本的规律之一。

现在，小学生都知道，元素的性质是随着其原子量的增大而周期性地改变着的。因此，可以将元素按一定的次序排列于周期表中，使它们的基本性质无论竖向还是横向都能遵

循严格的规则。

当门捷列耶夫在周期表中列进了当时已知的63种元素之后，有些格子还是空白。门捷列耶夫根据周期律预言了许多尚未被发现的元素的性质。1875年才发现了“准铝”（镓），过了四年又发现了“准硼”（钪），而1886年发现了“准硅”（锗）。周期律真正获得了成功！在以后的五十年中，门捷列耶夫周期表成为在天然矿物中寻找化学元素的可靠指南。后来又在天然矿物中发现了30种元素。

原子的微型钥匙 当时不论门捷列耶夫还是其他卓越的科学家都没有能够回答的一个问题是：元素的性质为什么具有周期性？在这方面，门捷列耶夫的发现蕴藏着未来一些伟大发现的萌芽。这些发现促使物理学和化学的蓬勃发展。门捷列耶夫感觉到，自然界把解答这个问题的钥匙藏在当时认为是物质最小的粒子——原子之中。门捷列耶夫写道：“简单物体的原子是由某些更小的粒子组成的复杂体系。关于这一点，是很容易假设的，但目前暂时还不可能加以证明……我所提出的元素性质和重量之间的周期性依赖关系大致可以证实这种预感。”

只是到了二十世纪初，即到创立了周期表40年之后，才证实了这一预言的正确性。J·卢瑟福证明，原子是一个复杂的体系。它的中心是一个带正电的核。环绕着核的周围在不同轨道上旋转的是若干个带负电的电子。H·波尔从量子学观点解释了原子的行星般的模型。从此奠定了现代物理学的基础，并开始对物质微观粒子的奇妙非凡的世界进行了研究。物理学经历的第二个青春是：创建了量子力学，开拓了新的研究领域——原子物理和核物理。物理学的革命不但对自然科学，而且对工业和人们的世界观均发生了巨大影响。

无怪二十世纪被称为原子时代！

原子物理学的成就解决了周期表中许多不清楚的问题。首先，元素在周期表中的位置不是由原子量，而是由核电荷决定的。门捷列耶夫周期表中元素的序号与该元素原子核的电荷数相等，也就是与电子的电荷数相等。这才真正揭示了元素化学性质的本质。原来，原子中电子的轨道不是均匀地在空间分布，而是构成了一些电子层。每个层中能容纳一定数量的电子：第一个电子层中2个，第二个层中8个，第三个层中18个，第四个层中32个。这个数字与周期表中元素的序号完全一致。

元素的化学性质是由其原子核外电子层上电子数决定的。例如，碱金属在外层轨道上只有一个电子。因此当它和其他元素结合时，很容易把这个电子给出去。金属的性质就是由易给出的电子数所决定的。而惰性气体的原子却不愿意参加化学反应，因为它们的最外层的电子数是饱和的。这种惰性气体排在门捷列耶夫周期表的最后一族。因此，元素化学性质变化的周期性反映了外层电子数饱和程度的周期性。

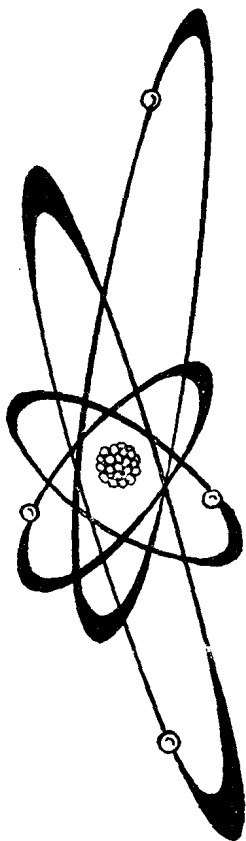


图 1

周期表的界限在哪里 元素化学性质具有周期性的观点是原子物理学的巨大成就。同时，周期律本身还有许多的谜。剩下的一个悬而未决的基本问题是：周期表中应包含有多少元素，哪里是它的界限？这个问题一直激动着门捷列耶夫。

为了揭开周期表中的这个重要的谜底，学者们深入地研究了原子的电子“皮层”。现在，离核最近的电子的命运引起了他们的兴趣，原子核对这些电子有最大的静电吸力。核内的正电荷愈多，即元素序号愈大，原子核对内层电子的吸引力就愈强。最终会出现电子开始被核所俘获的时刻。

计算表明，这种悲剧性的情况应该出现在元素的序号接近170~180的时候。序号再大的元素是不可能存在的，因为带负电荷的电子的吸收会减少核的正电荷。

然而，门捷列耶夫周期表的界限问题被大自然更深地掩盖着。物理学的进一步发展，表明诸元素存在的界限不是由原子中电子层的不稳定性所决定的，而是由核本身——形成电子层的电场源——的不稳定性所决定的。

物理学继续深入地发展。对于门捷列耶夫周期表所留下的这个悬而未决的问题，应该由核物理学给予解答。核物理学所研究的是比曾被认为是不可分割的原子小几万倍的物质微粒。下面我们将叙述最近三十年来在这方面所取得的一些成就。

稳 定 性 的 大 陆

略论原子核 关于周期表，核物理学家了解了一些什么新的情况呢？原来，甚至象原子核这样微小的物体也是由更小的粒子——质子和中子组成的。这些粒子的性质非常相似，因此常常把它们称为核子。它们的基本区别是：质子具有和电子电荷一样大小的正电荷，而中子不带电荷。原子核的电荷 Z ，也就是周期表中元素的序号即原子序数，是与原子核中质子的数目相等的。决定元素原子量的原子质量数 A 等于核内的中子数 N 和质子数 Z 的总和，即 $A = Z + N$ 。

在门捷列耶夫周期表中的每个小格内都有同一个元素的几个原子——“孪生子”。这些原子的核内有数量相同的质子，但中子的数量却不相同。这些原子核叫同位素。为了使同位素能够相互区别，通常在称呼元素名称的同时加上它的质量数，例如铀-238。经常使用更短的表达法： ${}^{238}_{92}\text{U}$ ，这里，在写出元素的化学符号的同时，还在左上角指出它的质量数，在左下角指出它的核电荷数。

同一种元素的各种同位素的化学性质是没有什么区别的，因为它们的化学性质只由原子核的电荷数所决定，而核性质却有很大的变化。特别是，现已查明，核内质子和中子是偶数的同位素非常稳定。相反，非偶数的核，特别是质子数 Z 和中子数 N 都是非偶数的核，是很不稳定的。非偶数同位素容易发生各种核反应。这只要指出一点就足以说明，即：核能的利用是与所谓的三大核能——铀-235，钚-239和铀-233——有关的。同位素的质量数与原子序数同样地决定

着每种同位素的核性质。所以，在元素周期表中，除有一个普通的座标（质子数 Z ）之外，还应增加一个补充座标（中子数 N ），用以指出同位素的质量数。这样，门捷列耶夫的周期表就变成成为一张同位素地图了（图2）。

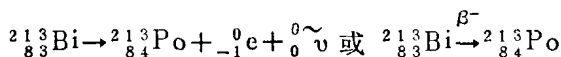
一个元素可能有几个同位素？许多元素都有好几个稳定的同位素，即其寿命是无限长的同位素。在天然矿物中或在纯化学样品中，通常含有“永存的”同位素的混合物。所有稳定同位素在质子和中子之间都具有一种特殊的相互关系。就周期表开头的轻核来说，其稳定同位素中的中子数与质子数是相等的。随着核电荷的增加，这种关系也就发生变化。在稳定的重核中，中子比质子多到一倍半。

不稳定同位素的数目相当多。重元素“家族”是由几十个“孪生子”组成的。它们的中子和质子之间的相互关系不合乎最理想的关系。例如，如果我们给稳定的核上加几个中子，那会产生什么结果呢？结果是，这个核将会尽力抛掉这几个多余的中子，而最终变成另一种元素的稳定同位素的核。

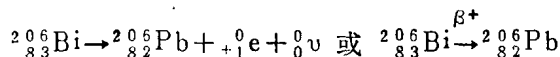
放射性衰变 原子核自发转变的现象，也就是一种元素的原子核在没有任何外界作用的情况下放射出某种粒子从而转变为另一种元素的原子核的现象，叫做放射性衰变。放射性衰变是1896年由A.贝克勒尔发现的。从这一发现中得出了一个重要的结论：核不是物质的最简单的、不变化的和不受外界影响的粒子。果然，在1919年，卢瑟福第一个分裂了原子核，把一种元素变成了另一种元素，从而实现了炼金术士自古以来的幻想。1934年，弗列德里克和伊伦·约里奥-居里取得了第一批人工放射性同位素。这就是目前新元素合成工作的源泉！

已经发现了核放射性衰变的几种形式。让我们以铋(Bi)的核为例，来看看由于放射性衰变的结果铋核能变成哪些元素的核。

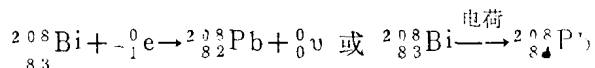
在中子过多的核内，其中的一个中子变成为质子。在这种情况下，从核中释放出电子 ${}_{-1}^0\text{e}$ 和反中微子 ${}_{0}^0\bar{\nu}$ （反中微子是一种基本粒子，它与电子不同的是：既无静止质量，又无电荷）。其结果是形成了邻近元素的核，它的电荷多一个，而质量数和原来的一样。这种形式的放射性叫做 β^{-} 衰变，也就是电子衰变。这种变化表示如下：



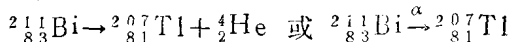
相反，在中子不够的核内所发生的变化是核电荷的减少。在这种情况下，可能发生的衰变形式会大大增多。例如，质子可能变成中子，从核中放出阳电子 ${}_{+1}^0\text{e}$ （带正电荷的反电子）和中微子 ${}_{0}^0\nu$ ，这就是阳电子衰变或 β^{+} 衰变：



或者质子可能从最近的原子的电子层上俘获一个电子而变成中子——这种形式的放射性衰变叫做电子俘获：



在这两种情况下，核电荷皆减少一个，而原子数则不改变。也可能释放出 α -粒子（质量 $A=4$ 、电荷 $Z=2$ 的氦核），核质量相应减少4，电荷减少2个——这就是 α -衰变：



在核内，中子过剩或短缺得愈多，核离最稳定的同位素愈远，该核变为另一种核的速度就愈快，它的寿命也就愈

短。如果构成我们周围世界的稳定同位素是永存的，则稳定同位素的那些“缺乏”中子或“富有”中子的“亲属们”将视其离“长寿居民”的远近而生存几年、几小时、几秒甚或千分之几秒。

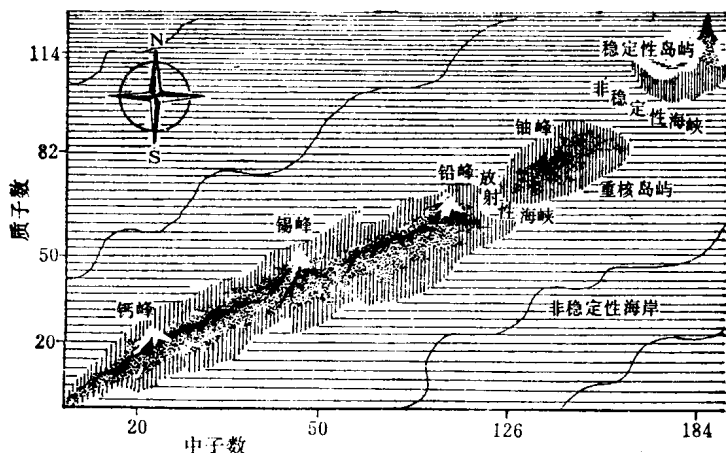


图 2 同位素地图

横轴——核内中子数；纵轴——质子数。这些数字都是幻数。≡≡≡表示寿命在 10^{-10} 秒到1秒之间的核领域；||||表示1秒到1年之间；●●●表示1年到10亿年之间；▲表示寿命为10亿年以上的稳定性的核。∧表示“幻数”峰。

在地图之外还有未曾研究的“土地”。通向稳定性群岛的其它岛屿的路是由第一个岛往东北方向去的。反核大陆靠近稳定大陆的西南边缘。星球物质——中子液滴位于东方的远处。

同位素地图 让我们来画一张同位素地图。其纵坐标为核内的质子数 Z ，横坐标为核内的中子数 N ，而同位素的寿命我们将用不同的线条和符号来表示，就象在地图上用不同颜色表示高度一样。那么，可能存在的核区域可以想象为“大

陆”，沿着这块大陆伸展着稳定性同位素的“山脊”，在山脊周围环绕着一片缺乏中子的和富有中子的放射性核的宽阔陆地。环绕着稳定性大陆的是非稳定的海洋。对位于海底的那些核是无从研究的，因为它们瞬间即逝。

山脊占大陆的一小部分——已知的稳定性同位素约有300种。在约里奥-居里夫妇发现了人工放射性之后，学者们又合成了已知元素的1,800多种放射性同位素。据统计，这只占大陆上核的全部数目的三分之一。为了占据稳定大陆的广阔空间并达到不稳定海洋的海岸，科学家们尚需付出许多劳动。这里还有许多的谜等待着科学家们去揭开，还有许多的奥秘等待着科学家们去发现。然而，我们的道路将要通向更加遥远的地方：经过放射性海峡奔向重核子岛屿。

最后的天然元素 在重核岛的西南耸立着一个双头峰，那就是钍($Z=90$)和铀($Z=92$)。铀核是在自然界中已发现的最重的核。早在1789年就发现了这个元素。1874年门捷列耶夫把它列入了周期表最后的一个格子里。在此后的七十年间，铀一直是周期表中最后的一个元素。第92号元素所占据的特殊地位很自然地引起了学者们高度注意。门捷列耶夫写道：“我确信，对铀的研究，从它的天然来源开始，一定会导致许多新的发现。我勇敢地对那些正在寻找新的研究对象的人们建议，要特别注意研究铀的化合物。”

周期表创立者的远见卓识是令人钦佩的。果然，正是在对铀的研究过程中作出了核物理学中最重要的发现，即发现了放射性现象。此后不久，即在1898年，玛丽娅和比埃尔·居里从沥青铀矿中分离出了第一批放射性元素——钋和镭。又过了四十年，O.哈恩和Φ.史特拉斯曼发现了中子引起的铀核裂变的过程。最后，1939年，也就是在原子时代的初期，本