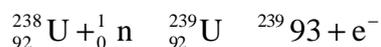


八、超铀元素

在第二次世界大战期间，科学家们在兴奋地研究核裂变的同时，仍时刻不忘寻找超铀元素。

1939年，美国加州大学的核物理学家麦克米伦（Edwin Mattison McMillan, 1907—）在研究铀核裂变时，想要测量裂变碎片的射程。他设计了一个简单实验。他们拿了一叠卷烟纸，在最上一层放了薄薄一层氧化铀，将整叠纸放在回旋加速器靶体所产生的快中子流里照射，然后用盖革计数器测量每张烟纸的辐射强度。原以为因有氧化铀薄层的阻挡辐射强度会减弱，出乎意料辐射强度反而增大了。这促使麦克米伦又回到费米的设想上来，“可否认认为有一些中子被铀吸收并没有引起裂变，而是进一步发生衰变，岂不就会产生93号元素？这种同位素和裂变碎片不同，是不会飞离氧化铀的”。这时华盛顿卡内基研究院的艾贝尔森（Philip Hauge Abelson, 1913—）来到加州大学，判明它是铀同位素经过辐射嬗变产物，其半衰期为2.3天。该核反应是：

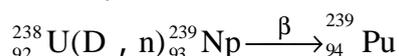


新元素跟钷和铀难以分开，说明他们的化学性质相似；但与铯的性质不一致，这跟预测的难于苟同。

其实，哈恩和梅特娜也曾发现这种产物，但是，他们的制品产量太少，不能得到演示。美国人却仔细地研究了这种粒子，并指出它们形成了第93号元素的同位素。这就是说，它是一种超铀元素。他们把它命名为镎（Neptunium），它来源于太阳系海王星（Neptune）一词，而海王星的轨道是在天王星（Uranus）之外。用快中子或重氢核（氘核）辐射铀，在美国加州大学伯克利分校很快就产出了镎的其它同位素。最重要的商品镎是 ${}^{237}\text{Np}$ ，半衰期长达 2.2×10^9 年，为放射性：



1940年，美国化学家西博格（Glenn Theodore Seaborg, 1912—）等用回旋加速器加速的氘核轰击铀，制出了第94号元素钚（Pu），其反应是：



${}_{94}^{239}\text{Pu}$ 又能发生裂变链锁反应，因此是最重要的原子堆燃料，其半衰期是22400年，具有放射性。但半衰期最长的钚同位素是 ${}_{94}^{244}\text{Pu}$ ，半衰期为 8×10^7 年，也是放射性。用对铀和镎的方法将第二个超铀元素命名为钚（Plutonium），来源于冥王星（Pluto）一词。钚同位素与慢中子反应，其反应方式与铀同位素 ${}^{235}\text{U}$ 相同，即当它们分裂时，会产生很大的能量并释放出一些中子。这样，它就在战争中对原子弹的制造计划起了重大作用。后来制造方法得到改进，使钚投入大规模生产。

在受到战时条件限制的一些问题得到解决后，西博格便领导了一个全面而有才能的科学研究集体完成了超铀元素的研究。在这项研究中，他在化学元素发展史上增添了最光辉的一页。

对后来陆续发现的19种超铀元素的化学性质通过发展一种精细的超微量技术而得到测定。西博格和他的小组认识到，超铀元素和稀土元素一样，也是彼此类似的。这两个稀土族各根据自己的第一个元素命名。从镧（原子

序数为 57) 开始的称为镧系元素, 而新的类族就称为锕系元素。这样四分之三世纪前门捷列夫提出的周期表又得到一次修正。这是 N·玻尔在几年前就已预言过的。

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| 镧系元素 | La | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu |
| | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 |
| 锕系元素 | Ac | Th | Pa | U | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm | Md | No | Lr |
| | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 | 103 |

由于西博格在超铀元素方面的研究成果, 他和麦克米伦分享了 1951 年诺贝尔化学奖。

他们认识到, 铀后元素形成的特殊系列——锕系过渡元素系列, 类似于稀土元素的镧系系列。于是西博格和他的同事们得以预言以下更远的未知的铀后元素的化学性质, 并能使它们分离出来。西博格的名字与若干铀后元素的发现即第一次分离联系在一起:

| | |
|------------|--------|
| 第 93 号元素镎 | 1940 年 |
| 第 94 号元素钚 | 1940 年 |
| 第 95 号元素镅 | 1944 年 |
| 第 96 号元素锔 | 1944 年 |
| 第 97 号元素锿 | 1949 年 |
| 第 98 号元素镅 | 1950 年 |
| 第 101 号元素钷 | 1955 年 |
| 第 102 号元素铱 | 1958 年 |

至于 99 号和 100 号元素则是热核爆炸 (1952 年 11 月) 的产物, 它们的发现是有些出乎意料的。

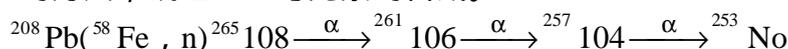
应该指出, 全部这些发现应正确地归功于几个研究小组或研究集体, 过去对成果归属问题曾发生过争论, 未经证实的 102 号元素的第一次报导是于斯德哥尔摩的诺贝尔研究所工作的国际物理学家小组在 1957 年提出的, 接着伯克利小组在第二年证实了这个发现。与西博格类似的工作已在前苏联由格奥尔基·弗廖罗夫 (Georgii Flerov, 1913—) 进行过。

弗廖罗夫为前苏联核物理学家, 一生致力于发现和人工合成新元素和新同位素。他和他的同事们在回旋加速器中用重离子轰击重的原子核, 生成并分析了锕系和超锕系的 102、103、104、105、106 和 107 号元素的同位素。他们还宣称他们首先鉴别出了超锕系的 104 (1964) 和 107 (1968) 号元素, 这一荣誉属于谁目前仍有争议。但是他们在 1987 年宣布的首次合成第 110 号元素肯定没有被证实。其实这类事件在科学的征途上所见不鲜, 无损于弗廖罗夫作为一名优秀的核科学家。

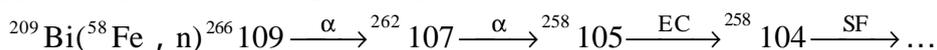
在向超铀元素进军的征途中, 还要提到美国核物理学家 A·吉奥索 (Albert Ghiorso, 1915—), 1937—1942 年在回旋加速器专门公司任工程师。1942—1969 年在加利福尼亚大学劳伦斯—伯克利实验室工作, 1969 年后在该实验室重离子直线加速器化学部工作。1942 年起, 在 G·T·西博格领导下从事钚的研究, 结合他的专长, 负责维修和设计仪器, 在新元素的合成和鉴定方面做出了一系列重大贡献。1943 年改进了高几何因子的计数技术并用

云母片吸收法测量了 α 粒子的射程，促成了元素锝和镭的发现。1946 年随西博格进行镭和锝的合成和鉴定研究，他发展了 48 道脉冲高度分析器，为这两种元素的发现创造了条件。1952 年 11 月在南太平洋进行了一次热核爆炸，他和同事们从尘埃中分析超铀组分，先后发现了元素镎和钚。1955 年又发现了元素钷。合成和鉴定钷后面的元素更为困难，为此他设计了直线重离子加速器。后来又提出了将直线重离子加速器与高能加速器 (Bevatron) 相连接的概念。根据他的设想，建成了世界上第一台能加速重离子的高能加速器 (Bevalac)。到 1978 年为止，他作为主要研究者，又合成了 102—107 号元素。1973 年获美国化学会核应用奖。

108 号元素是 1984 年联邦德国达姆斯塔特重离子研究所的 G·明岑贝格 (Münzenberg) 用加速器加速的铁离子 ^{58}Fe 轰击铅靶得到的，共记录了三个 $^{265}\text{108}$ 原子，其寿命值分别为 24、22、34 毫秒，并通过测定 $^{265}\text{108}$ 的衰变链子体 ^{253}No 的方法，确证 108 号元素的合成。



109 号元素是 1982 年联邦德国达姆斯塔特重离子研究所的 G·明岑贝格等用加速器加速的铁离子轰击铋靶合成的。在长达一星期的合成实验中。总共使用了 6×10^{17} 个离子，只获得一个新元素原子，也是用测量 $^{266}\text{109}$ 的衰变链子体的方法确证 104 号元素的合成。



从 89 号元素镱到 103 号元素铪形成第二个稀土族——镧系元素。它们在周期表中与镧系相对应。近年来已对它们的各种物理的和化学的性质进行了相当详细研究。自 1964 到 1984 年间，美、苏和联邦德国的核物理学家又合成了自 104—109 号元素，但由于它们的寿命太短而且数量太少，难于充分研究它们的化学性质。根据镧系理论，103 号元素铪有 14 个 5f 电子满壳层，104 号元素是镧系后的第 1 个元素，属 6d 过渡元素，应与其在周期表中同族的铪相似，而不同于镧系元素。

随着对核性质认识的进展，对周期表高原子序一端的各元素的化学性质有了更深入的新认识。镧系的最后一个元素是铪 (103 号元素)，这个预言是由于实验表明第 104 号元素具有预期的 d 族元素的性质而得到肯定。这一肯定把对于高 Z 值元素化学性质的预测放到了一个更牢固的立足点上。

命名问题

西博格曾建议将 95 号元素命名为镅 (Americium) 以对应于 63 号元素铕 (Europium)；将 96 号元素命名为镅 (Curium) 以纪念居里夫妇，对应于 64 号元素钆 (Gadolinium) 纪念芬兰化学家 Gadolin；将 97 号元素命名为铈 (Berkelium) 纪念超铀元素发祥地伯克利城 (Berkeley)，对应于 65 号元素铽 (Terbium) 纪念稀土元素发祥地伊特比村 (Ytterby)。从 98 号元素起没有合适的对应名字，98 号元素被命名为镅 (California) 以纪念美国加利福尼亚州。

新的镧系元素继续被发现。1952 年发现了镱 (Einsteinium) (原子序数为 99)，1953 年发现了镱 (Fermium) (原子序数为 100)，它们的命名是为了纪念不久前逝世的爱因斯坦 (1955 年) 和费米 (1954 年)。1955 年，101 号元素被发现，为了纪念门捷列夫 (Mendeleev) 命名为钷 (Mendelevium)。1957 年，102 号元素被发现，命名为镎 (Nobelium)，这

是为了纪念他们进行了许多研究工作的斯德哥尔摩诺贝尔研究所，也间接地纪念诺贝尔 (Alfred Bernhevre Nobel, 1833—1896) 本人。1961 年，103 号元素被发现，为了纪念劳伦斯 (那时他已去世)，将它命名为镭 (Lawrencium)。至此，镧系元素已全部被发现，亦即 5f 亚层的电子全部填满；它们和镧系元素相对应。

自 1964 年到 1984 年间，美、苏、西德科学家又用重核粒子轰击适当的元素靶子制得了 104 号到 109 号元素。但自 104 号、105 号起，美苏两国在命名问题上发生分歧，苏联科学家把他们合成的 $^{266}_{104}$ 号元素命名为 Kurchatovium ()，元素符号为 Ku，以纪念苏联物理学家库尔恰托夫 ()，(1903—1960)；而美国科学家则把他们合成的 $^{261}_{104}$ 号元素命名为 Rutherfordium ()，符号定为 Rf，以纪念英国原子物理学家 E·卢瑟福。

1970 年，美国加州大学伯克利实验室和苏联杜布纳联合核子研究所分别制出了 105 号元素。但在命名问题上美苏两国科学家又发生了严重分歧，他们都宣称有权为此新元素命名。双方又展开了谁先发现和命名权的争论。苏联科学家把他们制得的 $^{260}_{105}$ 命名为 Nielsbohrium，元素符号为 Ns，以纪念首先对原子结构提出量子化轨道理论的丹麦科学家 N·玻尔；而美国科学家则坚持把他们发现的 $^{261}_{105}$ 命名为 Hahnium ()，元素符号为 Ha，以纪念核裂变的发现者，德国科学家哈恩。

但是，对 104 号和 105 号元素的命名，哪一个也没有得到国际上公认。1977 年 8 月国际化学协会无机组宣布了一项决定(不过没有约束力)，从 104 号元素起，不再以人名、国名和地名来命名，而是根据新元素的原子序数来命名。即用拉丁文的数词组合起来，然后在词尾上加上“ium”。这些数词是：

nil=0 un=1 bi=2 tri=3 quad=4
pent=5 hex=6 sept=7 oct=8 enn=9

这样一来，104 号元素的名称就为 Unnilquadium，符号 Unq。105 号元素的名称为 Unnilpentium，符号 Unp。

经过十多年的争论，到了 1997 年，周期上原子序 104 号到 109 号这 6 个重元素终于有了正式名称。国际理论与应用化学联合会 (IU-PAC) 执委会提出，104 号元素应叫做 Rutherfordium、105 号至 109 号元素应分别叫 Dubnium、Seaborgium、Bohrium、Hassium 和 Meitnerium。

这 6 个元素除 Dubnium 是以前苏联杜布纳联合核子研究所所在地 Dubna，Hassium 是以德国达姆斯塔特重离子研究所所在地的州命名外，都是用著名科学家的英文名字来命名的，词尾的“ium”三个字母是化学元素名称常用的后缀。到目前为止，元素周期表上前 103 个元素都有了自己的名称和相应的元素符号，而且每个元素也有了固定的中文名称。103 号以后的 6 个元素的中文名称和元素符号都已确定。它们是 (Rf)、(Db)、(Sg)、(Bh)、(Hs)、(Mt)。

过去，某个元素的发现者常有权为该元素命名，元素的名称多用一些著名科学家的名字来命名。用一个国家的科学家的名字来命名某个元素。常常被看作这个国家的巨大荣誉，因此争夺元素命名权的竞争是很激烈的，也正是由于这个原因，104 号至 109 号元素才迟迟没有被命名。

106 号元素是美国科学家发现的。1994 年，该元素的发现者们要求用钚元素的主要发现者格伦·西博格的名字为其命名，但国际理论与应用化学会

拒绝了这一要求，理由是西博格还活着，不能用一个尚健在的人为一个化学元素命名。但美国人反对，他们于 1952 年以爱因斯坦和费米的名字为 99 号和 100 号命名为 Einsteinium 和 Fermi-um，当时他们都健在。1997 年 8 月在日内瓦举行的国际理论与应用化学联合会议，终于同意了这一要求。