

九、超重核稳定岛及其攻坚战

(一) 超重元素 (superheavy elements)

根据核理论预言可能存在的原子序数大于 110 的化学元素。相对应的原子核称为超重核。自从 1940 年人工合成 93 号元素镎和 94 号元素钚以来，元素周期表就开始“延长”。随着超钚元素的陆续合成，元素周期表究竟能延长到哪里的问题很自然地就提到了人们的面前，为了回答这个问题，在 1966 年前后，核理论工作者根据原子核的壳层模型理论提出了关于超重元素存在的预言。

预言的提出 20 世纪 20 年代末发展起来的原子核壳层模型理论解释了周期表中具有 2、8、20、28、50、82 和 126 等幻数的核的丰度较大和特别稳定等实验结果。1948 年以来，美国物理学家 M·G·迈尔 (Mayer) 等强调了质子数 Z 或中子数 N 为幻数的原子核的特别稳定性。1959 年丹麦物理学家 S·G·尼尔松 (Nilsson) 等将尼尔松单粒子能级图外推到 $Z=126$ ，显示出 $Z=114$ 的壳层效应。1960 年前后瑞典物理学家 S·A·E·约翰松 (Johansson) 在普遍液滴模型基础上，利用尼尔松轨道作了壳修正；他的计算证明，在 $N=184$ 附近可能存在寿命足够长的核。1965—1966 年迈尔等推广了液滴模型公式，并在核近似为球形时加以壳修正，从半经验质量公式出发，预言超重核稳定岛的存在。裂变势垒高达几兆电子伏。苏联物理学家 B·M·斯特鲁宾斯基发展了壳修正法，提出 $Z=114$ 为质子幻数。1969 年尼尔松等全面系统地进行了计算和讨论，得出了 $Z=114$ 、 $N=184$ 的核 $^{298}114$ 为双幻数核，围绕它可能存在一个由成百个超重核组成的稳定岛，其中寿命最长的可达 10^8 年。

1972 年核物理学家 E·O·菲塞特等预测最稳定的超重核自发裂变半衰期可达 10^{15} 年。1976 年丹麦核物理学家 J·朗德鲁普等又进一步修正计算模型，预测最稳定的超重核自发裂变或 α 衰变半衰期约为 1 年。可见根据不同模型计算出来的超重核半衰期能相差几十个数量级，1977 年美国核物理学家 J·R·尼克斯等估计，由于计算采用单粒子能级图以及计算模型等元素，使超重核自发裂变半衰期预测值的不确定因子达 $10^{\pm 7} \sim 10^{\pm 10}$ 。1986 年联邦德国核化学家 P·默勒等引进他们提出的壳修正，应用一个半经验关系式计算超重核的自发裂变或 α 衰变的半衰期仅为 1 秒 ~ 2 秒，这一结果使得寻找超重元素的研究面临着十分困难的局面。

(二) 超重核稳定岛 (island of superheavy nuclei)

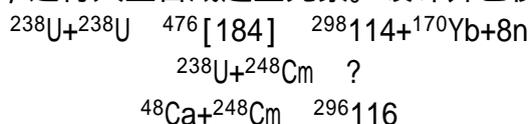
形象地比喻一批理论预言可能存在的原子核。已发现的核素有 2000 多种，如果以核内的中子数 N 为横坐标，质子数 Z 为纵坐标，把所有稳定的和放射性的核素标在核素图上，便可以清楚地看出，自然界中已知的稳定核素都聚集在中子数接近质子数的一定范围内；在平面图上，称为 稳定线或者稳定带；在立体图上，可称为 稳定半岛 (见图 2-1)。

由图可见，稳定半岛是高低不平的，这表示了原子核稳定程度的不同。当核内的质子数和中子数为 2、8、20、28、50、82 和 126 等幻数时，核就处于“山峰”地带，较为稳定。那些中子数或质子数远离稳定半岛的核，会通过 α 衰变、 β 衰变、质子发射或电子俘获等方式到达稳定半岛。

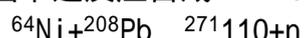
1966年前后，核理论工作者根据壳层模型理论推测：质子的下一个幻数是114，而中子的下一个幻数是184，由双幻数核组成的 $^{298}114$ 将特别稳定。围绕着它可能存在成百个超重核，这一区域通常被形象地称为超重核稳定岛。究竟如何？当然要靠实验去决定。

(三) 超重核稳定岛攻坚战

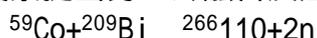
超重核稳定岛是一个诱人的目标，引无数英雄竞折腰。自从60年代中超重元素理论预言提出后，实验工作者通过以下三种途径寻找它们：新建和改建一些重离子加速器，根据各种设想的重离子反应机理，使用更重的入射离子轰击重元素靶，进行人工合成超重元素。设计并已使用过的核反应有：



但实验结果都是否定的。用高空气球、宇宙飞船等运载工具，带着核乳胶和其他探测器寻找宇宙射线中可能存在的超重核。曾使用核乳胶叠和核乳胶、聚碳酸酯与醋酸纤维组成的混合叠等探测装置，升至约40千米高空进行探测，但未获得肯定结果。在地球和陨石物质以及月球样品中，用X射线荧光光谱分析法、质谱法以及各种核探测方法等寻找可能存在的长寿命的超重元素。已寻找的物质包括不同来源的陨石、月岩、月尘、金、铜、铂、铅、汞、钼、铋、铊、铋、铋、铋等几百种矿物，金属冶炼厂的烟道灰、阳极泥、海底锰结核，以及数以千克计的纯铂、汞、铅、钨等样品。但结果都是否定的。真可谓上穷碧落下黄泉，两处茫茫皆不见。提高能量的后果常使剩余核处于高激发态，很容易发生裂变，因而影响形成超重核。由于重离子反应截面低，需要提高重离子束流强度，至少应再提高三四个数量级，一般加速器尚无法满足这一要求。为了实现超重核的人工合成，核化学家提出了用冷融合反应合成超重核的设想。1985年默勒提出下述反应合成 $^{271}110$ ：



美国核化学家A·吉奥索提出另一冷融合反应：



此外，还有用较小原子序数的重离子轰击重超铀靶的设想，如：



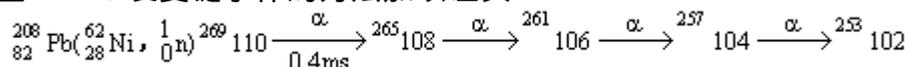
应该说，在总结经验的基础上，在向超重核稳定岛攻坚战中已经取得不少成功。从1994到1996的三年中捷报频传，先后合成了110、111、112号三种超重元素。这是以德国核化学家彼得·安布拉斯特为首的各国科学家，包括俄罗斯、芬兰以及斯洛伐克的科学集体智慧的结晶，地点皆在德国达姆斯塔特重离子研究中心(GSI)。

1. 元素110的合成

1994年11月9日4时39分在德国达姆斯塔特重离子研究中心(GSI)工作的科学家记录到第110号元素存在的证据。他们用数以亿计的镍原子轰击数以亿计的铅原子连续几天才发现了110号元素的踪迹。这一元素的原子量为269，衰变寿命只有0.4秒。共得3个原子。



用测量 ${}_{110}^{269}$ 衰变链子体的方法加以证实



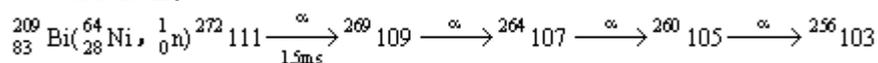
2. 元素 111 的合成

1994 年 12 月 8 日 5 时 49 分, GSI 小组成功地发现 ${}_{111}^{272}$ 。共得 3 个原子, 新元素 ${}_{111}^{272}$ 的寿命很短, 1.5 毫秒后便以 α 粒子辐射形成衰变, 衰变过程中除发现 α 粒子外, 还能观察到 X 辐射。

新元素是通过一个铋原子和一个镍原子融合后产生的。镍原子在 GSI 的 UNILAC 重离子加速器内加能, 当镍原子运动粒子达到一定速度时便产生这一罕见的反应。

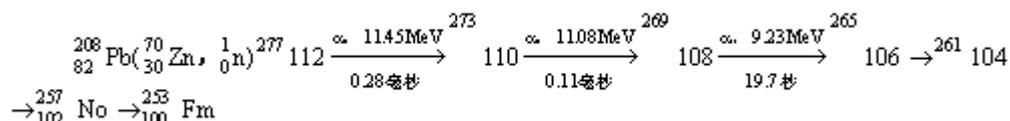


要产生和证实这一元素的生成, 科学家们须在数天时间里将镍原子射向铋原子 100 亿次。被发现的新原子用速度过滤器分类, 用一探测系统捕捉后并证实其衰变过程。



3. 元素 112 的合成

德国达姆斯塔特重离子研究中心 P. Armbruster 和 S. Hofmann 等在用锌同位素轰击铅同位素的实验中, 于 1996 年 2 月 9 日获得一个第 112 号元素的原子, 核反应过程如下:



GSI 科学家自 1981 年 2 月至 1996 年 2 月相继成功地合成了 109—112 号 4 种超铀元素。下一步 GSI 的科学家计划用锌离子轰击铋靶合成 113 号元素, 用镱离子轰击铅靶合成 114 号元素, 用镱离子轰击铋合成 115 号元素。

GSI 科学家们指出, 合成新的超铀元素其意义在于加深对核结构的了解, 探索元素周期表的极限, 即原子核所能达到的最大尺寸和质量, 进一步弄清原子核中把质子和中子结合在一起的作用力, 重原核在宇宙中的形成过程, 探索宇宙起源的奥秘。

但有的科学家指出, 应用重离子加速器, 选择原子序数之和为 114 的 2 个核相撞后, 恰好能产生原子序数为 114、中子数为 118 的核素, 以登上“超重岛”也并非易事。很可能从第 112 号元素迈向 114 号元素是一小步, 但对人类来说却是一大步。