

发现稳定新元素之路

(北京大学 朱星 摘译自 Sophia Heinz. *Physics*, October 21, 2024)

科学家运用特定的聚合反应，合成了一种超重元素钷(livermorium, Lv)的同位素。这一成果为发现新的元素铺平了道路。

宇宙中的化学元素是如何产生的，在哪里产生的？如何描述元素的相对丰度？核物理学家和化学家期望能通过制造新元素及新研究方法来回答这些问题。然而，越重元素的合成就越困难。迄今为止，合成最重元素的方法是使用钙同位素(^{48}Ca)束流轰击高原子序数的锕系靶材。钙同位素具有独特的核构型，即中子数和质子数都是“幻数”，因此特别适合此类实验。然而，这种方法还不能合成质子数超过118 ($Z=118$)的元素。目前，美国加州劳伦斯伯克利国家实验室(LBNL)已经能够合成一种超重元素：钷(Lv-290, $Z=116$)。所使用的钛-50束流并不具有双重幻数，这个成果开创了合成超过 $Z=118$ 元素的新途径。

恒星是自然产出元素的主要产地。在恒星的一生中，它可以通过聚合反应生成原子核重达 $Z=26$ 的铁原子核。超过铁的原子核是在恒星生命的末期产生的，比如在超新星或者中子星的融合中，能够产生密度极大的自由中子。这些中子被

铁的“种子核(seed nuclei)”所捕获，随后贝塔衰变将部分中子转换为质子，由此创造出原子序数 Z 高达92的铀。据推测，这种中子捕获过程能够生成更重的原子核，即生成原子数超过100的超重元素。目前，元素周期表中包括26种人工合成的超铀元素，然而我们不知道其中有多少是可以自然生成的。

目前已知的所有超重元素都是利用轻的注入核素与重的靶核素的聚合反应而合成。然而，创造超重元素是一个小概率事件。比如，要观察合成元素118的一个原子核，靶膜就必须经受注入核素数十亿次轰击。一次典型的实验需要用两周时间。生成一克这样的元素则需要至少 10^{19} 年。即使如此，也有可能在这个过程中一无所获。这是由于超重元素转瞬即逝：所有的超重元素都是放射性的，半衰期很短，有些短到百万分之一秒。

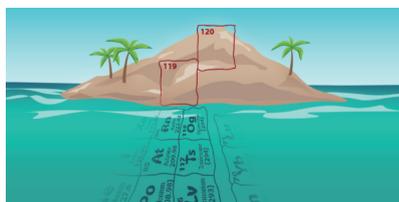
实验表明，当注入剂原子核或者靶材料原子核是双重幻数核时，超重聚合产物的量最大。这种性质不但增强了其稳定性，而且也提高了聚合产物的稳定性。原子序数107及以上的所有元素都是通过由注入这类原子核而发现的。元素107—113是由铅同位素 ^{208}Pb 作为靶材料时实验发现的，而元素114—118的发现是在镭系靶材与双重幻数的钙同位素 ^{48}Ca 的聚合反应中产生。

当今超重元素研究的主要目标

是合成元素119及元素120。根据理论模型预言，在元素120这个质子数及附近的核素，存在一个稳定性增强的区域，被称为稳定岛(island of stability)，它们的预测半衰期比其他超重同位素长得多。元素119与元素120的产率很低，半年左右才可观察到一个这种元素的原子核。为了合成这两种新元素，用 ^{48}Ca 作为注入剂时，分别需要靶材料镱(Es , $Z=99$)和镆(Fm , $Z=100$)。这些不稳定核素具有的半衰期比实验所需要的时间还短，并且获得的质量仅仅是微克数量级，远远低于所需要的10毫克。

LBNL瞄准了一种已知的超重元素钷($Z=116$)的同位素。这个当时第三位重的元素钷是由俄罗斯与美国合作于2004年在俄罗斯的核研究实验室FLNR中发现的。此次UBNU使用一种新方法合成钷，用 ^{50}Ti 注入到钷靶材上，两者均非幻数核素，他们观察到钷同位素 ^{290}Lv 的两个核素。这个结果第一次表明，在非幻数的碰撞系统中合成了最重元素之一。

除了能够发现新元素外，非幻数核素反应还提供了发现原子序数在104—118之间的已知元素的许多新同位素的机会。迄今为止，已知约有110种不同的超重同位素，预计还将存在约50种同位素，但使用 ^{208}Pb 靶或 ^{48}Ca 束流的常规聚变反应无法生成，非幻数核素的反应将填补这一空白。



稳定岛是指元素周期表中的一个区域，位于尚未发现的第120号元素周围。处于这个区域的元素比其他超重元素更加稳定