

## 探铍

---

原文作者：

菲利普·威尔克（Philip Wilk），美国能源部基础能源科学办公室。



表现得就像一个第7族元素该有的样子——但这其实是出人意料的，且听威尔克解释。

1981年，位于德国达姆施塔特的GSI亥姆霍兹重离子研究中心<sup>[1]</sup>首次确认超重元素铷的存在，并以现代原子物理和核物理的奠基人之一尼尔斯·玻尔（Niels Bohr）命名。简单地把铷置于第7族，意味着其化学性质与它正上方的铯类似——假设元素周期变化规律在表末仍成立。然而，这些变化规律不应该在表末仍成立，实际上理论显示它们肯定不适用了。

如今广泛使用的元素周期表最初是由门捷列夫于1869年提出的，元素在表上按照相对原子质量由小至大排列。后来门捷列夫的原表被扩充，纳入了惰性气体和镧系元素。1913年莫塞莱进一步修改了周期表，将元素按它们的X射线能量（与原子序数的平方成正比）大小排列，这解决了一些伤脑筋的问题——一些元素在原表中的位置和它们的化学特性并不一致。例如，碲和碘互换了位置，从而落到了它们各自应该属于的族里。

1944年，元素周期表再次被修订，也是迄今为止

镧系元素之后是一系列的过渡金属元素，它们最外层的电子开始填充之前被弃的6d轨道。这些“超重”元素的特性预计在很大程度上受到了相对论效应的影响，因为内层电子的速度接近光速且紧密结合。这些效应应该对化学键有非常深刻的影响，传统的周期表上对元素性质的向下以及横向的外推终将在某点上产生误导，不再适用。因此对这些超重元素的化学性质进行研究是检测理论推导以及测定相对论效应影响的关键。例如，有研究表明铷（第105号元素）的化学性质并非严格遵守第5族元素向下的趋势。

对于元素周期表最后几个元素的化学性质的研究是非常具有挑战性的，因为这些元素的产率极低。研究人员使用轻元素轰击重元素，引发完全核聚变来制备这些超重元素（很小的概率），这个过程的产率一般是每天一个原子，甚至更少。

从20世纪90年代后期开始，罗伯特·艾希勒（Robert Eichler）、海因茨·格格勒（Heinz Gaggeler）以及一批国际合作者们着手开展阐明铷和其他超重元素化学性质的工作。气相色谱法<sup>[3]</sup>是唯一合适的化学或者物理化学表征方法，因为它们拥有足够的速度和效率去对这些超稀有的元素进行化学测定。多年后经过一些不同仪器的迭代，研究者们在瑞士的保罗·谢尔研究所最后一次修订。西博格假定存在类似于镧系的锕系元素<sup>[2]</sup>，而当时人们普遍认为存在一族类铯

元素。那时候，镆和钷的基本化学性质已经相当清晰，针对彼时尚未命名的第95号和第96号元素，初步的化学表征实验已经展开。西博格认为已有的证据清楚无误地揭示了它们非过渡金属的特性，这意味着这些元素最外层电子层应该是5*f*轨道，而非先前认为的6*d*轨道。

(Paul Scherrer Institute)，建造并测试了一台专门定制的气相色谱分离装置。

在1999年和2000年间的开创性实验中，通过观察特征衰变模式，5个镆-267原子被鉴定出来，并进行了化学分析<sup>[4]</sup>。尽管反应参数是为照顾存在时间最长的同位素而选择的，该同位素仍稍纵即逝——半衰期只有17 s左右。超过24位科学家加入了这场科学马拉松中，通过测量氯化物的吸附焓，对5个独立的镆原子进行挥发性分析。最终结果显示镆确实可以生成氯化物，与第7族中的镅和镎一样。这些实验还显示氯化镆的挥发性不如氯化镎，而氯化镎又不如氯化镅那么容易挥发。

令人意外的是，实验结果与纯粹按第7族的规律预测的镆的行为完全一致——尽管人们认为周期变化规律将因相对论效应而被打破，因为相对论效应对超重元素的化学性质起着决定性作用，其他的超铀元素的特性可以佐证这个观点，比如之前提到的钷。

---

[1] Münzenberg, G. et al. Z. Phys. A 300, 107–108 (1981).

[2] Seaborg, G. T. Chem. Eng. News 23, 2190–2193 (1945).

[3] Türler, A. Eichler, R. & Yakushev, A. B. Nucl. Phys. A 944, 640–689 (2015).

[4] Eichler, R. et al. Nature 407, 63–65 (2000).