

匆匆一遇𨨗

原文作者：

拉尔斯·奥斯特罗姆（Lars Öhrström），瑞典哥德堡查尔姆斯理工大学化学及化工系教授，《巴黎最后的炼金术士和其他化学奇闻》的作者。



奥斯特罗姆聊起第5族最重的元素𨨗，讲述了关于它转瞬即逝但仍有迹可循的化学性质。

你看到我了，你又看不到我了，这是非常适合𨨗原子的退场词，它放射出一颗阿尔法粒子，衰变，就仿佛从我们掌间悄然滑过。然而，化学家们还是笑到了最后，因为正是这种玩消失的把戏，使得针对类似于钽却更重的第105号元素进行一次一颗原子的化学实验成为可能。

当科学被笼罩上冷战的阴影时，作为超铀元素命名之争中被吵得最凶的元素𨨗，起初有许多称呼。在20世纪60年代后期，苏联和美国的研究组分别开始合成𨨗的工作，最早开始于莫斯科郊外的科学城杜布纳（Dubna），也最终以其地名命名了该元素。在杜布纳，科学家用氙-22轰击镭-243，在失去5个或4个中子之后，分别生成𨨗-260和𨨗-261的混合物（ $t_{1/2}=1.5\sim 1.8\text{ s}$ ），由此宣布发现了新元素，当时称之为“nielsbohrium”。同时期，他们来自美国伯克利的主要竞争对手，使用氮-15轰击镭-249靶，获得𨨗-260，并称其为“hahnium”^[1]。名字的争议最终在1997年有了决断^[2]，国际纯粹与应用化学联合会（IUPAC）把它定名为𨨗。

我们经常会因为超铀元素短暂的寿命而认为它们无用。事实恰恰相反，比如，用于医疗诊断的放射性药物，需要能相对迅速地衰变，从而为医师及时提供诊断影像。为此，同位素锆-99m已被例行使用，它的半衰期为6 h，而已知最长寿的𨨗同位素𨨗-268的半衰期比它要长4倍左右。

限制𨨗应用的真正难题是其缓慢的生产速率。被研究得最多的同位素𨨗-262（ $t_{1/2} = 34\text{ s}$ ），其一个原子可以在1 min以内被制备出来，然而对于𨨗-268（人工合成的第113、115号和第117号元素经阿尔法衰变后的最终产物）来说，其生产速率每周只有几个原子。所以以现有的科学技术，收集齐具有实际意义数量𨨗的概率基本为零。

所以，很难制备像二聚物 $\text{Ta}_2\text{Cl}_{10}$ 这样的具第5族元素特色的双核𨨗化合物。幸运的是， $\text{Ta}_2\text{Cl}_{10}$ 的气相化学是五配位单核配位化合物。因此， DbCl_5 、 DbBr_5 和 DbOCl_3 这些𨨗化合物已经从一次一个原子的实验中得证了，其中 DbOCl_3 可能是与载气中含有的痕量氧气反应所得。

不断完善的技术使得探索液相中𨨗的化学性质变得可能^[3]。通过色谱法、萃取和表面检测等一系列表征手段的连用来观测𨨗，根据在哪个仪器中能观察到其特有的阿尔法衰变，而推断出 $[\text{DbOCl}_4]^-$ 和 $[\text{Db}(\text{OH})_2\text{Cl}_4]^-$ 这两种离子，甚至其与2-羟基异丁酸配合物的存在。这

些实验的关键在于以相同条件下的、其较轻的类元素作参考。例如，中子活化法制备的铪和铌的放射性同位素，最近被用来研制一种用来分离铪和其相邻的第4族钽的萃取系统^[4]。

我们必须意识到，简单地根据较轻的同族元素（这里主要指铌和铪）的性质推测6*d*元素的性质是不充分的。因为原子核变得越来越重后，相对论效应会变得重要起来，所以实验需有先进的量子化学来补充。而量子层面的计算显示第105号元素会有更稳定的+5价氧化态，电子构型为[氪]5*f*¹⁴6*d*⁷7*s*²，与铪为最重的第5族元素这一事实具有一致性^[1]。

理论和实验之间错综复杂的互动不仅仅对化学家来说有趣且重要，对尝试鉴定新元素的核物理学家来说也非常有用。当新元素衰变成未知的同位素时，例如第113、115号和第117号元素经过多次阿尔法衰变后最终都会变为铪-268，鉴定这些同位素极其重要，因为倒推回去能正确判断新元素的原子序数^[5]。

因此，在这块化学遇上物理的边界地带，任何事都不应被视为理所当然，我们要时刻谨记，就像铪一样，即使是已经印在周期表上的新超重元素，也不能保证它再没有有待发现的更稳定的同位素了。

[1] Schädel, M. & Shaughnessy, D. *Chemistry of the Superheavy Elements* 2nd edn (Springer, 2014).

[2] Garcia, M. A. *Nat. Chem.* 2, 66 (2010).

[3] Nagame, Y., Kratz, J. V. & Schädel, M. *Nucl. Phys. A* 944, 614-639 (2015).

[4] Schumann, D. & Dressler, R. *Radiochim. Acta* 104, 41-49 (2016).

[5] Dmitriev, S. N. et al. *Mendelev Commun.* 15, 1-4 (2005).