

## 钷的诞生

---

原文作者：

塔耶·B. 德米西 (Taye B. Demissie)，埃塞俄比亚的斯亚贝巴大学化学系材料科学专业。



德米西讲述了unununium成为铹的异常平坦之路，以及如何通过相对论计算预测其性质。

元素周期表上最重的元素并非天然存在，它们在核聚变反应中产生，这类反应要么是小心翼翼地在这个世界上少有的几个实验室里进行，要么就是发生在热核反应中。例如，镓和锗首先是在武器测试的放射性碎片中被发现，然后才在高通量的中子反应堆中合成。位于德国达姆施塔特附近的亥姆霍兹重离子研究中心（GSI）就是这些寻找超重元素的实验室之一，在那里，第111号元素于1994年12月首次被合成<sup>[1]</sup>。根据国际纯粹与应用化学联合会（IUPAC）的命名体系，它有一个官方的临时名称“unununium”（1-1-1-ium），并一直沿用了10年之久。实际上，它和其他超重元素一样，更常用原子序数来表示。

由西格·霍夫曼（Sigurd Hofmann）带领的GSI团队用一束镍-64原子核轰击铋-209靶，并成功探测到三个<sup>272</sup>111原子核。在位于俄罗斯杜布纳的联合核子研究所，另一个元素搜寻小组曾在1986年就已尝试利用相同的反应去生成这种元素，但没能收集到能够支持第111号元素形成的数据。2002年，GSI团队又观察到3个<sup>272</sup>111原子核<sup>[2]</sup>。综合起来，6个衰变链，其中三个经过已知的原子核铋-260和铊-256，这就提供了足够的证据，因此IUPAC和IUPAP（国际纯粹与应用物理学联合会）联合工作组（JWP）将发现第111号元素的优先权归于GSI团队。来自日本理研所（RIKEN）线性加速器装置处的研究人员后来独立确认了第111号元素的存在，并报告了<sup>272</sup>111同位素的14条衰变链<sup>[3]</sup>。

与围绕其他一些超重元素的激烈争论（激烈到那个时期被称为“超锿元素战争”时期）相反，第111号元素的识别和命名过程非常简单直接。按照传统，发现者们提出了一个名字和符号，然后很快就被接受了。2004年，为了纪念发现X射线的德国物理学家威廉·伦琴（Wilhelm Röntgen），unununium被命名为“铹”（Roentgenium）<sup>[4]</sup>。伦琴的这一发现为他赢得了1901年的第一届诺贝尔物理学奖。

铹极具放射性。它的所有同位素都非常不稳定，半衰期从几分钟到仅仅几毫秒，其衰变经由 $\alpha$ 放射或自发裂变。虽然不太可能发生，但如果铹能被观测到，预测它应该是银色的，而且其密度（28.7 g/cm<sup>3</sup>）甚至比已知密度最大的元素锇（22.6 g/cm<sup>3</sup>）还要大。

人工合成的极不稳定的超铀元素不能很好地被用于实验化学，但科学家们没有被困难吓倒，并已开发出极精密的专门技术用于进行详细的单原子研究，不过目前还是没能探测铹的反应。研究人员转而用量子力学方法探索第111号元素，用相对论的狄拉克方程代替非相对论的

薛定谔方程，为预测超重元素的化学性质提供了一条激动人心的途径。

在元素周期表的底部，随着原子核变得越来越大，电荷越来越多，电子愈发接近相对论速度，使得原子的行为不同于以往的预期。相对论效应已知对于理解金的电子结构——进而理解金的性质——有重要影响，而金正是钷在第11族正上方的邻居；相对论效应对超重元素至关重要。

Rg(I)在水中的化学性质与Au(I)、Ag(I)和Cu(I)这些第11族元素的离子一起被研究。利用密度泛函理论，研究了它们的水合离子在气相中如何转而形成单胺配合物，并将结果外推至水溶液中<sup>[5]</sup>。Rg(I)被预测为一种强路易斯酸，甚至比Au(I)更温和。它的卤化物、氰化物和异氰化物的种类都在研究之列<sup>[6]</sup>、<sup>[7]</sup>、<sup>[8]</sup>。预测RgCN的键长比AuCN的短，它所具有的共价性来自于7s轨道的相对论式稳定性。

虽然钷尚未被实验探索——如果能直接生成一些不那么不稳定的同位素，这或许能成为可能——但它将是探索相对论效应的优良载体。

---

[1] Hofmann, S. et al. *Z. Phys. A* 350, 281–282 (1995).

[2] Hofmann, S. et al. *Eur. Phys. J. A* 14, 147–157 (2002).

[3] Morita, K. et al. *Nucl. Phys. A* 734, 101–108 (2004).

[4] Corish, J. & Rosenblatt, G. M. *Pure Appl. Chem.* 76, 2101–2103 (2004).

[5] Hancock et al. *Inorg. Chem.* 45, 10780–10785 (2006).

[6] Demissie, T. B. & Ruud, K. *Int. J. Quantum Chem.* 118, e25393 (2018).

[7] Zaleski-Ejgierd, P. et al. *J. Chem. Phys.* 128, 224303 (2008).

[8] Muñoz-Castro, A. et al. *Polyhedron* 39, 113–117 (2012).