

# 最重的元素具有反常的壳结构

(中国原子能科学研究院 周书华 编译自 Angela K. Wilson. *Physics*, January 31, 2018)

超重的稀有气体元素Og( $Z=118$ )的半衰期估计短于1ms, 很难进行化学观测。必须倚靠计算来搞清这种短寿命元素的基本特性。Massey 大学的Paul Jerabek 及其同事采用费米子定域化方法来表征Og的内部结构。他们发现Og的电子与核子的分布都是均匀的, 与在轻元素中看到的非均匀壳结构形成鲜明的对照。这意味着Og的化学性质和物理性质与其他稀有气体元素非常不同。

当原子序数增加时, 周期表中元素的性质发生明显变化。例如, 镧系元素收缩, 是由于内壳层电子的屏蔽作用, 使核作用在外壳层电子的引力减弱, 导致原子半径缩短。当原子序数增加时, 内壳层电子运动得更快, 使相对论的影响变得重要。这对周期表后半部分元素的化学及物理性质会产生重要影响。例如金, 它的颜色是相对论效应的结果, 还有汞, 其非常低的熔点也归因于相对论效应。

对于许多元素, 电子位于特定

的壳中, 壳之间有低密度带相隔。当电子数增加时, 预计强的定域化将被平滑为类似托马斯—费米气体的分布。托马斯—费米气体是一种假想的均匀密度气体。预期在重元素的核中也会发生类似的从壳结构向类气体分布的变化。

Jerabek 等研究了Og的电子与核子结构, 包括定域化的程度。为了研究电子密度, 需要考虑电子—电子相互作用, 其中每一个电子的自旋角动量和轨道角动量相互作用并合成原子的总角动量。对于 $Z<30$ 的元素, 这种计算可以简化, 即通过分别确定总轨道角动量( $L$ )和总自旋角动量( $S$ ), 然后将这些项结合成单一的相互作用( $LS$ 或罗素—桑德斯耦合)。

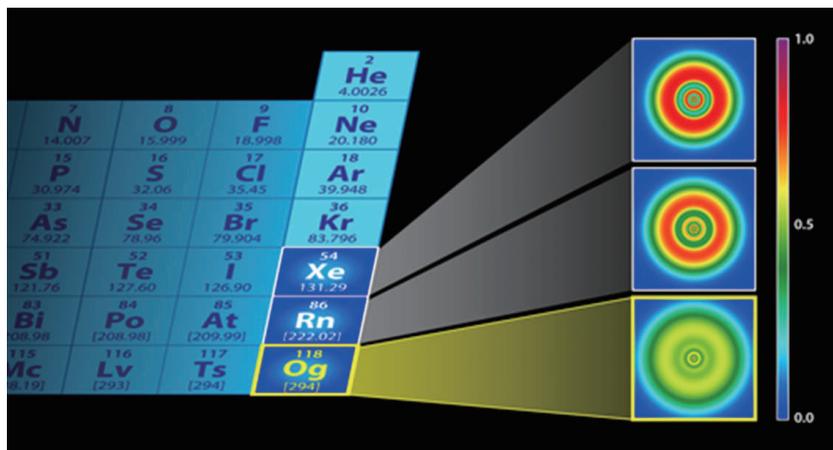
反之, 对于重元素, 所有电子的自旋角动量和轨道角动量的耦合变得越来越重要。这导致复杂的电子结构。为形成原子的总角动量, 首先考虑每个电子的总角动量( $jj$ 耦合)。Jerabek 等考虑了Og从 $LS$ 耦合向 $jj$ 耦合过渡的影响。在电子结构

计算中, 作者们使用了狄拉克方程。狄拉克方法计入了自旋—轨道相互作用( $jj$ )耦合以及其他相对论效应。

为探索壳结构, Jerabek 等用费米子定域化生成了两个结构图, 一个是电子系统的(称作电子定域化函数或ELF), 一个是核系统的(称作核子定域化函数或NLF)。

研究者们通过将Og与较轻的稀有气体氙(Xe)和氡(Rn)的ELF图做比较, 注意到自旋—轨道耦合的极其重要的作用, 并表明对壳结构来说, 相对论效应对氙和氡的影响是很有限的, 而对Og的影响是极重要的。对于Og的原子壳结构很难识别, 这些壳像在定域电子气中那样消失。至于核结构, 与较轻的核( $^{132}\text{Sn}$ )的NLF计算相比, Og同位素 $^{302}\text{Og}$ 核结构的NLF计算表明定域化减弱。表明超重元素核子的壳结构由于高的密度和质子之间大的静电斥力引起了变化。作者清楚地演示了当原子数增加时, 在电子与核子定域化方面向托马斯—费米气体的过渡。

Og是一种很反常的稀有气体元素。除了非常大的自旋—轨道耦合与独特的壳结构外, 作者确定, Og具有相当大的偶极极化和正的电子亲和势。由此, 他们推断, 与较轻的稀有气体元素相比, Og应具有增强的范德瓦尔斯相互作用。这些关于Og的电子与核子壳结构的重要见解打开了对其反常性质进一步理论研究的大门, 鼓励着实验家们研发仪器, 进行实验, 进一步研究超重元素的化学与物理性质。



周期表上的最新成员Og, 具有反常的壳结构

通用型深紫外光源



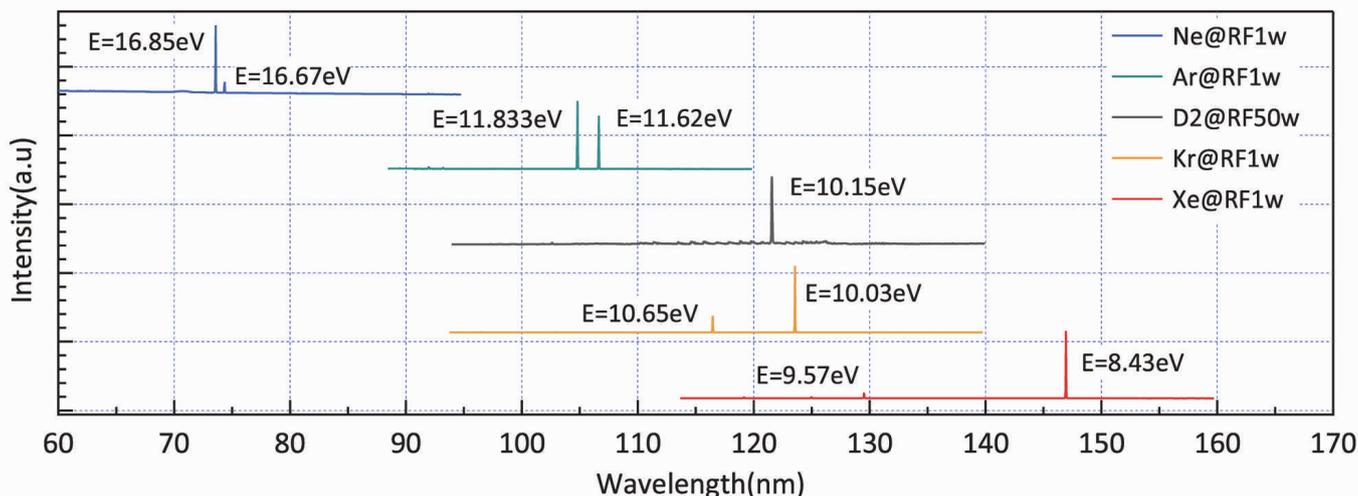
聚焦型深紫外光源



单色化深紫外光源



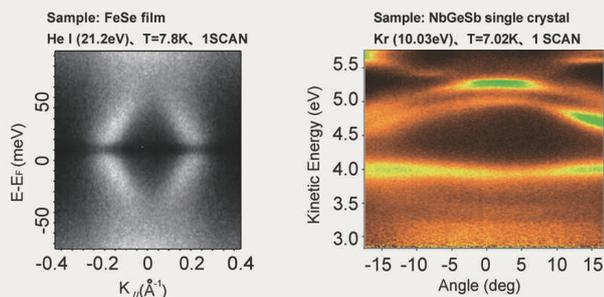
部分典型气体实测光谱



**FERMI BL-1000系列高亮度深紫外光源**：利用全新的射频聚焦等离子共振技术，实现远超越传统激发方式的高效率和高亮度的深紫外光源输出。(发明专利号 201610261838.5)

- ★ 高效：发光效率提高10倍以上，VUV光子数大于 $10^{14}$  photons/sec；
- ★ 通用：He、Ne、Ar、Kr、Xe、N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>等多种工作介质；
- ★ 广谱：8.4eV-40.8eV (30nm-147nm) 的多光子能量输出；
- ★ 扩展：高效聚焦模块、能量单色化模块、精密定位模块、真空差分模块；
- ★ 兼容：多种接口，方便与各类能谱、光谱、质谱等分析系统集成；
- ★ 安全：使用24V全固态射频源，取代传统高压电源；
- ★ 长寿命：无电极射频激励技术，使用寿命高达数万小时；

高亮度 (VUV Flux >  $1 \times 10^{14}$  photons/sec)



高分辨率 (<1meV@8.43eV)

