

用光镊阵列俘获碱土原子

(北京大学 王树峰 编译自 Antoine Browaeys, *Physics*, December 28, 2018)

三个独立的研究小组实现了用阵列的光镊捕获双电子原子，为量子模拟和多体研究提供了新的机遇。

人们对量子领域有很多期待，如实现复杂数学问题的量子计算和更敏感的探测器，但真正达到则有赖于有效地制备和控制量子系统。这一系统由可相互作用的多个独立单元构成，如离子、光子、电子对等。中性原子具有可以被精细操纵的优点，同时也可以达到数千原子数目的规模。目前，基于中性原子的工作是在光晶格中展开，其中的原子被单个地约束于激光束干涉形成的节点，相邻间距为半个波长(约 500 nm)。同时科学家们也在寻找更灵活的技术和更奇异的系统状态。

近期的研究展示一种基于光镊的替代方法。光镊是一种微米尺度的光学陷阱，通过高数值孔径聚焦激光束而获得。陷阱的体积可以非常小，甚至可以只约束一个原子。利用光学技术可以在二维和三维空间中形成数百个陷阱位点构成的阵列并束缚原子。与光晶格相比，光镊阵列中原子间距可以在亚微米到

10 微米间变化。

光镊阵列中原子间的相互作用可以通过在位点间诱导量子隧穿或让原子位于称为里德伯态的高激发态来实现。这种相互作用可以用来探索量子磁性，以及作为量子计算中的量子门。为实现原子的稳定阵列排布，一个可能的方法是利用碱土金属，比如锶(Sr)和镱(Yb)。这些原子有两个价电子，它们的光学跃迁具有长寿命(从毫秒到秒)，其波长覆盖了从紫外到红外的宽波段。而且，这些跃迁具有宽的线宽，易于快速冷却。同时，第二个价电子的存在使得即便第一个电子处于里德伯态，原子也可以被俘获。

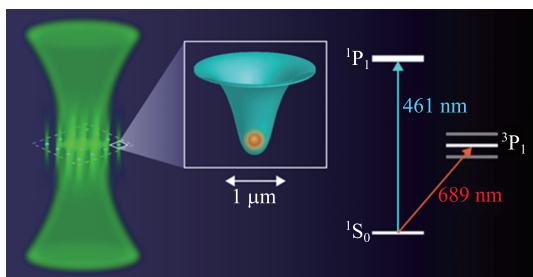
基于这些特性，3个独立的研究小组成功地把碱土金属原子塞进光镊阵列。有两个小组在光镊阵列中约束了几百个锶原子，他们是 Manuel Endres 领导的加州理工学院(Caltech)的小组，以及 Adam Kaufman 领导的位于科罗拉多州的实验天文物理联合学院(JILA)的小组。第三个小组来自于普林斯顿大学 Jeff Thompson 实验室，他们用的是镱原子。

在光镊中加载碱土金属原子的方法采用了类似于原子钟研究中的两步加载法。对锶来说，第一步是利用 461 nm 的宽光谱跃迁预冷却原子，然后再将原子送入磁光陷阱中，

后者在 689 nm 的窄带跃迁上工作。随后将红色的磁光陷阱与形成阵列的光镊相重叠。但是，这样的加载过程会使每个光镊位点包含有数个原子。要实现每个位点只有一个原子，则要利用 461 nm 波长的短脉冲。这个光会导致短寿命的双原子分子的形成，在随后的分裂时，两个自由的原子就会从陷阱中弹出。于是，具有偶数个原子的光镊位点就空了，而具有奇数原子的位点则只剩下一个原子。由于最初原子数目是奇数偶数随机的，光镊位点有 50% 的几率最终留有一个原子。

要探测哪些位点有原子，研究人员还要继续发挥创造力。一般的方法是用 461 nm 跃迁产生的荧光，但是这会导致原子快速加热从而逃逸。要克服这种加热，需要在 461 nm 荧光测量的同时，用 689 nm 的激光进行冷却。镱原子的研究也采用了相似的步骤，不同之处是，556 nm 的窄带跃迁同时用于冷却和成像。这是由于镱原子的窄带跃迁比锶原子的宽，使得有效冷却的同时可以大量散射光子。

目前为止，利用脉冲诱导光辅助碰撞方法，光镊阵列陷阱只有一半被单个原子填充。研究者们计划尝试利用新技术来获得完美排列的原子阵列。这种完整的阵列对于进行量子模拟是非常理想的，我们期待在这一新平台上产生突破。



在焦点形成的光镊二维阵列(左)，其中每个位点可以俘获单一原子(中)。为探测和冷却镱原子，可以利用两种跃迁：在 461 nm 的高强度和 689 nm 的窄线宽跃迁(右)