

## 在超冷原子气中探测声子的兰姆移位

(中国科学院理化技术研究所 戴 闻 编译自 Vera Guarrera. *Physics*, November 28, 2016)

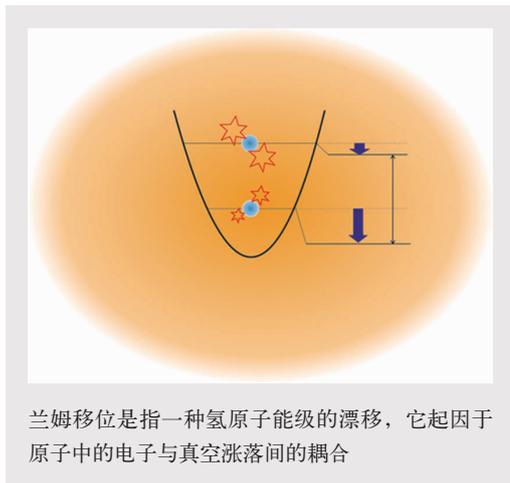
根据量子力学，真空不仅仅是空的空间。相反，它充斥着涨落（即：先产生而后瞬间湮灭的虚拟光子），这涨落可以影响到置身其中的粒子。著名的兰姆移位的首次观察是在1947年，由Willis Lamb(兰姆)和Robert Retherford完成。在经典的真空中，氢原子中两个本应简并的能级之间会产生微小的能量差异（见图）。这是因为在真空中电磁场的零点涨落扰动了氢原子中束缚电子的位置。该效应的观察对量子力学的发展提出了挑战，当时没有理论解释。

这一范式模型可以应用于不同的物理系统。例如，我们可以创建一个兰姆移位的固态模拟，如果我们取代氢原子中的电子，代之以束缚于半导体缺陷之中的单电子，进而取代真空涨落，代之以在材料中传播的声子“浴液”。几年前预测，上述设想难以实现，因为在实际固体中不可避免地存在无序效应。通过转向考虑超冷原子，来自德国海德堡大学的Tobias Rentrop和他的同事们已经在新系统中成功地观察到兰姆移位的声子模拟，并完成了第一次定量测量。

近年来，超冷原子实验已经发展成为一个精巧的平台，用于测试理论模型。所有的实验参数可以微调，包括用微调来限制原子以及粒子间相互作用的外部势，让研究人员一个模块一个模块地建立起之前无法实现的可控系统。更重要的是，这些系统可以被一系列强有力

的诊断技术查询，从分辨率高达单原子灵敏度的成像，到探测粒子量子态的先进光谱方法。Rentrop等人建立的综合系统，由两种不同的原子样品混合而成：1000—10000个锂原子和一个大块玻色—爱因斯坦凝聚(BEC)体(包含约100万个钠原子)。锂杂质被钉扎到一个周期势阱中(即所谓的光学晶格)，势阱由两个相干激光束对射形成；锂杂质相当于固态模拟中的束缚缺陷。这些杂质沉浸在弱约束钠原子BEC中，后者提供了声子激发的背景。类似于固体，BEC的低能激发是那些声子，它们具有线性色散关系，类似于原来的兰姆移位情况下的真空光子。这些声子背景下的锂原子称为极化子；其有效质量和迁移率，大大不同于裸粒子。根据液体量子统计，极化子可以是费米子，也可以是玻色极化子。

在Rentrop的实验设计中，研究者认为，在光学晶格中受限于抛物势的杂质原子，类似于氢原子中束缚于质子的电子。为了检测声子兰姆移位，研究者测量了锂原子运动状态两个最低能级之间的能量差(在有或没有BEC背景的条件下)。这种比较实际上是完成了全新的测量(在有或没有量子真空的条件下)。新实验与量子电动力学或固态实验有重要区别；后两者中，真空不能被移除，裸粒子的性质无法探寻。



兰姆移位是指一种氢原子能级的漂移，它起因于原子中的电子与真空涨落间的耦合

新的冷原子实验，实现了一个可调控的真空，可以打开和关闭。

研究者使用新颖Ramsey光谱法进行测量。第一个脉冲创建晶格中原子的两运动状态的相干叠加。此脉冲，对于大多数原子实验，是微波辐射或激光的闪光，但在Rentrop的实验中却是光学晶格极短时间的抖动。在一个所谓的查询时间内，两个态的位相差逐步积累，这取决于两态的能量差。第二个脉冲与第一个全同，通过对两态的终态占据几率进行计量，测出位相差。在这种方法中，能量差的信息最终被提取，是通过对测量序列末端的每一状态的原子数目进行计数来实现。

通过使用两种不同的锂同位素(一种是费米子，另一种是玻色子)，研究者还发现，与费米子相反，玻色子倾向聚积于相同的量子态，在声子散射的合作过程中，增强了能量的移位。

更多内容详见：T. Rentrop et al. *Phys. Rev. X*, 2016, 6: 041041.