超冷原子三聚体晶格中非线性边界态的实验观测

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/37533.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

超冷原子三聚体晶格中非线性边界态的实验观测。 导读

拓扑光子学与非线性光学的交叉融合催生了非线性拓扑光子学这一前沿领域，将拓扑态的特性拓展至粒子间相互作用不可以忽略的体系，展现出了更为丰富的物理现象，如非线性拓扑边界态、非线性诱导拓扑相变及拓扑孤子等。对于相互作用可调控的超冷原子系统，在人工晶格中已经实现了多种拓扑模型，但大都局限于线性范畴，探索超冷原子系统中的非线性拓扑物态具有重要的科学意义。

近日，山西大学贾锁堂教授、马杰教授及西安交通大学张贻齐教授基于超冷铯原子的动量晶格合成了一维三聚体晶格，研究了相互作用对原子布居动力学和局域化的影响，观测到由原子相互作用诱导的非线性拓扑边界态。该工作开启了在超冷原子系统中研究非线性拓扑物理的新方向，对于探索强关联系统中的拓扑物态具有重要意义。

相关研究成果以Observation of nonlinear edge states in an interacting atomic trimer array为题发表于《Light: Science Applications》。

研究背景

非线性拓扑光子学是拓扑光子学与非线性光学交叉融合的前沿领域，主要研究非线性效应对拓扑特性的影响，探索及调控相互作用系统中的拓扑物态。研究拓扑能带结构与可调控非线性间之间的相互作用，发现了许多新奇物理现象，包括非线性边界态、孤子、量子化非线性Thouless泵浦及分数化的量子输运。对于具有高度可调控性的超冷原子系统，实验上通过精确调控晶格参数构建了多种拓扑模型，观测到了陈数拓扑不变量、拓扑边界态、贝里曲率及量子化泵浦等。利用Feshbach共振技术可以调节超冷原子的相互作用，已经被广泛用于研究平均场机制下的非线性效应。然而，在超冷原子系统中将拓扑模型和可调非线性有效结合仍面临许多难题，限制了在原子系统中对非线性拓扑物理的研究。

研究亮点

本文在超冷铯原子玻色-爱因斯坦凝聚体中采用动量晶格技术合成了一维三聚体晶格，利用超冷铯原子在低磁场下特有的宽带Feshbach共振大范围调节原子间相互作用，在原子的动量晶格中实现了可调控的非线性。通过对晶格参数进行单格点分辨的精确控制，结合可调节的非线性相互作用，研究了相互作用对拓扑三聚体晶格中原子布居动力学与局域化的影响。当系统被初始化为拓扑带隙出现的两种边界态时，在淬火动力学中观测到随着相互作用的增加，所有原子局域化在三

聚体晶格边界的两个格点上，形成非线性边界态。在非拓扑晶格中，原子在很大的相互作用范围内无法被局域化在晶格边界的格点上。对于单格点激发的情形，原子在无相互作用或弱相互作用下可以演化至由拓扑边界态决定的密度分布，但是在强相互作用下所有原子都局域化在初始的单格点上。

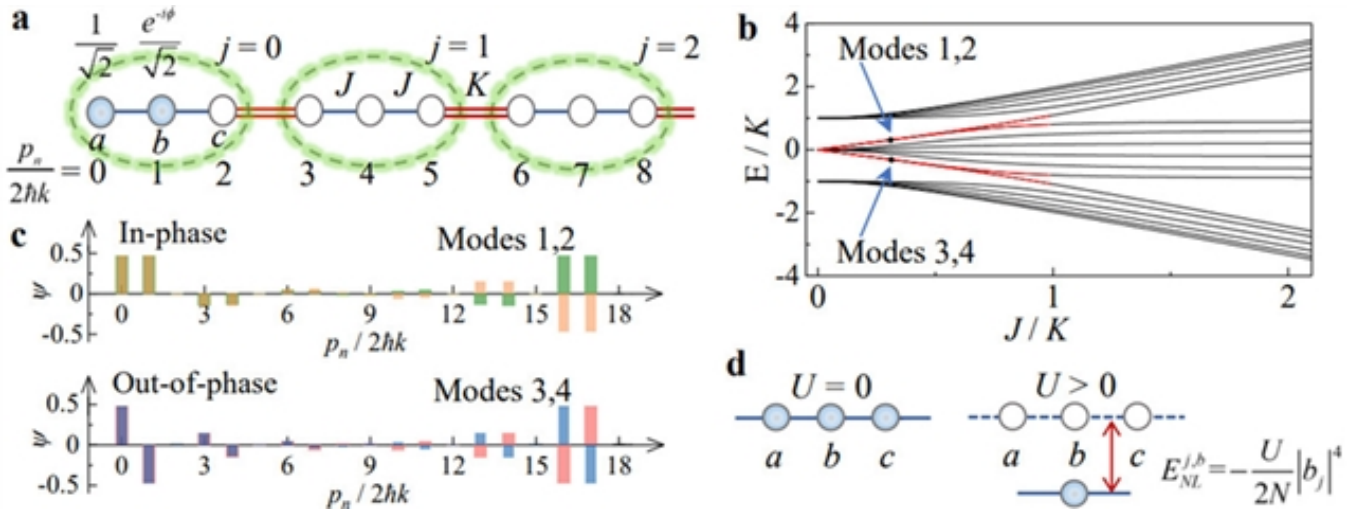


图1. (a) 超冷铯原子的三聚体动量晶格示意图，(b) 无相互作用下的能谱， (c) 三聚体拓扑晶格的4种本征模式，其对应于（b）中黑色点，(d) 动量晶格中原子相互作用引起的非线性能量偏移。

总结与展望

本文报道了在超冷原子三聚体晶格中观测到由相互作用诱导的非线性拓扑边界态，开启了在超冷原子系统中研究非线性拓扑物理的新方向。由于超冷原子动量晶格中的非线性效应直接源于原子间的相互作用，研究结果对于探索强关联系统中的拓扑物态具有重要意义。进一步，通过控制晶格中的耦合强度和隧穿相位，将有望测量非线性边界态中布居在晶格边界两个格点上原子的相位信息及动力学。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41377-025-01997-6

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费等事宜，请与我们接洽。
作者：贾锁堂等 来源：《光：科学与应用》

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发