一维格点系统中的多粒子量子行走及其在重力精密测量中的潜在应用研究获进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/15723.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！

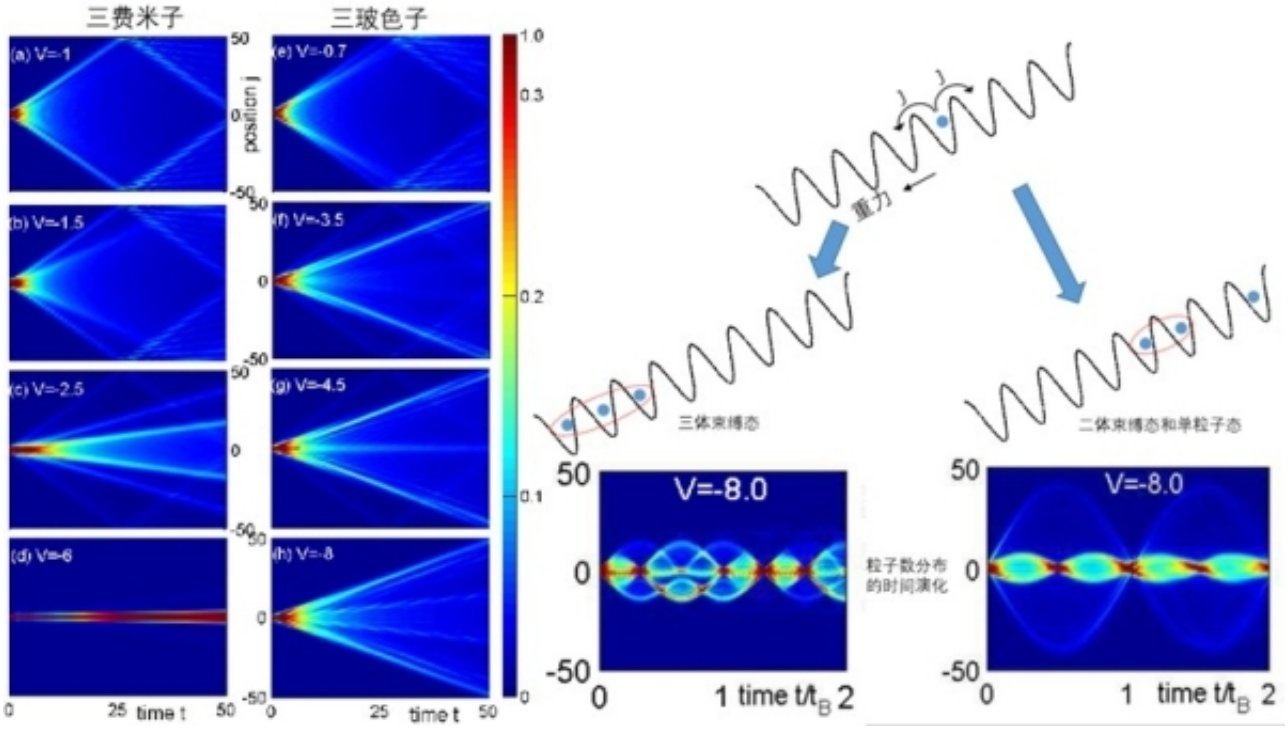
近日，中国科学院精密测量科学与技术创新研究院研究员管习文团队与中山大学教授李朝红、武汉科技大学副教授杨洪庭、美国罗格斯大学教授Natan Andrei合作，在一维格点系统中的多粒子量子行走及其在重力精密测量中的潜在应用研究取得了重要进展。相关研究成果以*Multiparticle Quantum Walks and Fisher Information in One-Dimensional Lattices*（《一维格点中多粒子量子行走和Fisher信息》）为题，发表在《物理评论快报》上。

量子行走是经典随机行走的量子对应，在量子信息领域中应用广泛，并可以用来探索由量子统计与相互作用诱导的复杂量子现象。目前，对于中性冷原子的量子行走，理论与实验主要集中在研究单个或两粒子量子行走的性质。关于多粒子的量子行走鲜有研究，尤其是缺乏从量子多体的角度去理解新奇的关联量子行走过程。科研团队利用解析方法结合数值计算，详细探究了三粒子体系在不同量子统计和相互作用下的能谱和量子行走过程。随着相互作用的增加，三粒子的行走过程由独立单粒子量子行走，逐渐演变为统计依赖的独立单粒子量子行走与二粒子共同量子行走的共存到完全的三粒子共同量子行走。研究运用量子多体微扰理论，进一步提出了三粒子共同量子行走的等效单粒子模型，对共同量子行走的统计依赖特性给出了严格的理论解释，从而揭示了从散射态到束缚态量子行走的微观机制（左图）。

量子Fisher信息是量子精密测量中关于参数估计的核心内容，可给出参数测量精度的理论极限。在量子增强精密测量方案中，如何利用量子关联是提升测量精度的关键。研究团队提出利用三粒子在重力作用下的量子行走过程中的量子关联现象，多粒子共同量子行走，提高重力测量的精度。一维格点中的多个粒子，在重力作用下的量子行走表现为布洛赫振荡，其振荡频率依赖量子关联特性且正比于重力大小（右图）。正是利用这一特性可以实现对重力的高精度测量。为此，研究团队从理论上计算了不同量子行走过程的量子Fisher信息，发现在短时间内Fisher信息正比于时间的三次方，可超越标准量子极限；而在长时间尺度上正比于时间的平方，达到标准量子极限。由于量子统计和相互作用的影响，研究还发现三玻色子共同量子行走有着最大的量子Fisher信息，为重力的精密测量提供了新方法。研究进一步通过对比无相互作用和强相互作用下的三玻色子量子行走，可以检验等效原理。这些结果将为多粒子量子行走的实验设计以及重力的精密测量提供理论指导。

研究得到国家重点研发计划、国家自然科学基金的支持。

论文链接



三费米子和三玻色子量子行走。左图：粒子数分布函数的时间演化，展现统计依赖的量子行走。右图：在重力梯度作用下的量子行走，在周期性格点中的三粒子共同行走，或两粒子共同行走伴随单粒子行走，它们在重力下由于物质波的干涉效应只能在很小的范围震荡—称为布洛赫振荡，右下图分别展现3倍频、2倍频及单倍频的布洛赫振荡

研究团队单位：精密测量科学与技术创新研究院

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