
量子行走中测量动力学拓扑序参数

作者：writer 来源：爱科学

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/8433.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！

量子行走中测量动力学拓扑序参数。近日，中国科学技术大学郭光灿院士团队李传锋课题组与德国马克斯·普朗克复杂系统物理研究所MarkusHeyl教授以及德国德累斯顿工业大学Jan Carl Budich教授等人合作，利用完整波函数重构技术，直接测量了量子行走中的动力学拓扑序参数，进而利用拓扑序参数的行为对量子淬火过程进行分类。同时，还通过建立与量子行走对应的多体模型，揭示了量子行走中动力学拓扑序参数的非解析变化与发生动力学量子相变之间的内在联系。相关成果于近期以Measuring a Dynamical Topological Order Parameter in Quantum Walks在线发表在国际顶尖光学期刊《Light: Science Applications》上。论文第一作者是中国科学技术大学许小冶副研究员，通讯作者为韩永建教授和李传锋教授。

量子系统可以处于平衡态也可以处于非平衡态，前者在量子统计力学框架下可以得到很好地描述。然而，后者本质上是量子动力学过程，其固有的动力学属性违背基于平衡统计物理学的描述。量子动力学过程根本上是么正演化，具有相干性是其超越经典物理学领域的令人着迷的现象的核心。到目前为止，确定非平衡量子动力学过程的概念和分类仍然是一项关键挑战，建立其背后的一般原理仍然是当今前沿研究的关注焦点之一。受到量子信息和量子计算的巨大需求的推动，基于冷原子、束缚离子及光子的量子模拟技术迅速发展，使得对量子非平衡动力学的研究超越了理论探索阶段。这里面一个重要的实验手段就是量子行走，特别是基于光子的量子行走，无论从规模和复杂度上都已经达到了前所未有的高度。近些年，在平衡态量子模拟方面已经产生了一系列重要的研究成果，特别地已经发现量子行走可以模拟所有一维和二维的无相互作用系统的拓扑物态。然而，作为一个支持拓扑的天然周期性驱动动力学系统，并没有在量子非平衡动力学研究方面发挥其先天优势。其中最主要的原因在于研究量子非平衡动力学问题，不仅对量子行走的规模和时间提出了更高的要求，同时需要兼顾控制和探测能力。

在这项研究工作中，研究团队通过直接测量动力学拓扑序参数，完成对量子行走的动力学表征。动力学拓扑序参数描述的是量子系统动量空间波函数在动力学演化中累积的几何相位，描述了系统演化波函数的整体性质。为了获得这样的纯几何相位，一方面需要测量系统演化的完整量子态，另一方面还需要扣除动力学相位。中国科学技术大学中科院量子信息重点实验室李传锋课题组在前期工作中，成功建成能进行大规模量子行走的试验系统，并针对该系统开发出完整波函数重构技术。在最近的工作中，他们和来自德国的理论物理学家合作，通过追踪长时间量子行走的完整量子态，成功直接测量量子淬火过程中的动力学拓扑序参数。在他们量子行走实验系统中，观察到了动力学拓扑序参数的不同行为，这些不同的行为提供了量子淬火过程的动力学分类。进一步，通过建立与之对应的多体模型并研究具有不同驱动类型的相变过程，揭示了量子行走中动力学拓扑序参数的非解析变化与发生动力学量子相变之间的内在联系，为动力学相变的分类提供了可行的方法。另外，他们的研究还揭示了周期驱动系统与静态系统动力学之间的差异。该研究成果为进一步研究相干非平衡动力学过程提供了一个通用平台。

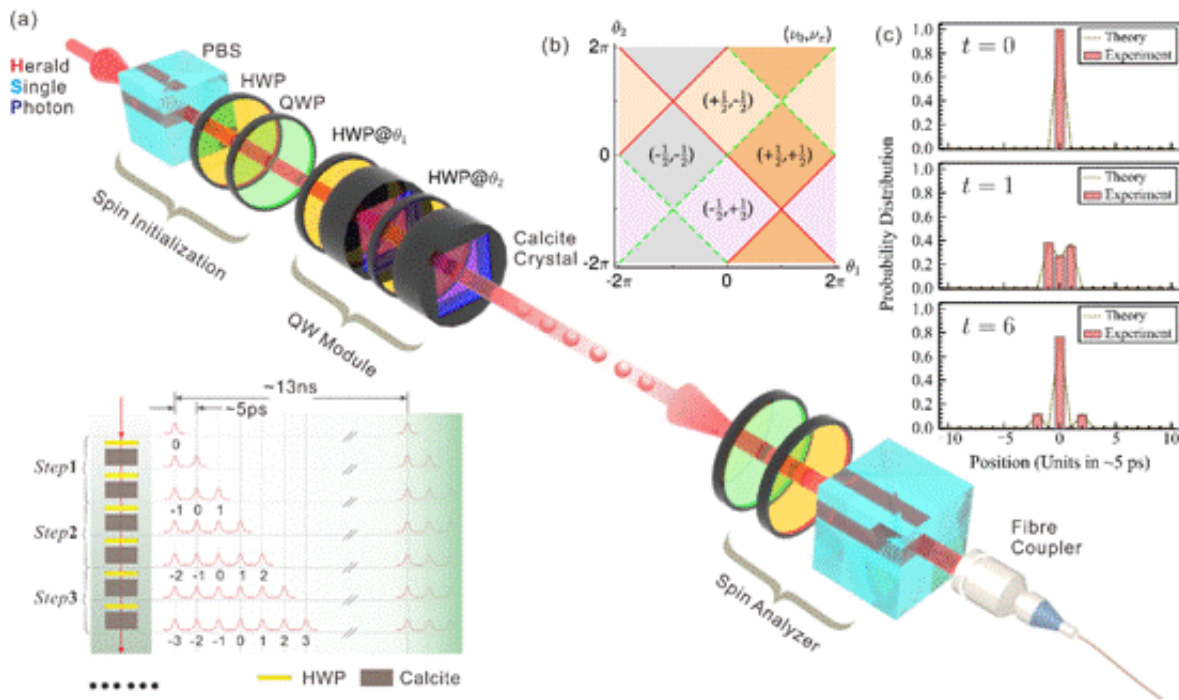


图1.试验系统的原理示意图。

(a) 进行时间复用量子行走的示意图。可预报单光子通过自旋初始化装置制备到给定的硬币态后进入量子行走模块，该模块的基本组成单元包括半波片（实现通用硬币态操作）和双折射晶体（实现自旋轨道耦合）。插图用于示意不同演化时间下，光子在位置空间（这里表现为光子的到达时间）的分布情况。通过自旋分析装置及上转换探测器实现对光子模态波函数（含自旋及位置空间）的完整读取。

(b) 为分步离散时间量子行走中的静态图谱相图。

(c) 展示了在不同演化时间测到的光子位置空间分布。

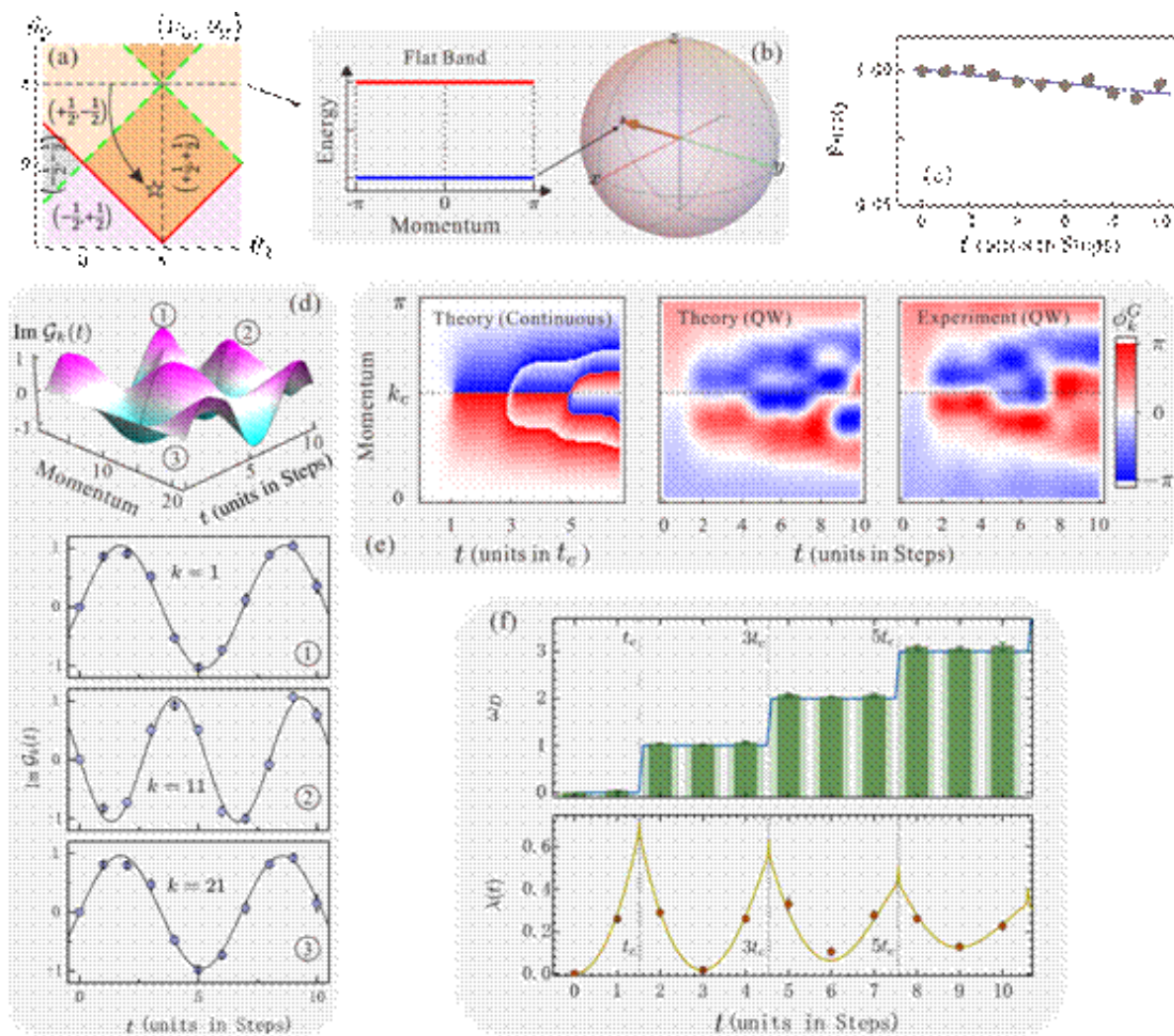


图2.通过测量动力学拓扑序参数观察动力学量子相变。

- (a) 在相图中展示的量子淬火过程。
- (b) 处于拓扑平凡相的初态制备及对应的能带结构。
- (c) 系统模态纯度随着演化时间的变化。
- (d) 通过系统动量时间流形提取动力学相位。
- (e) 扣除动力学相位后的几何相位。
- (f) 速率函数（下）及动力学拓扑序参数（上）

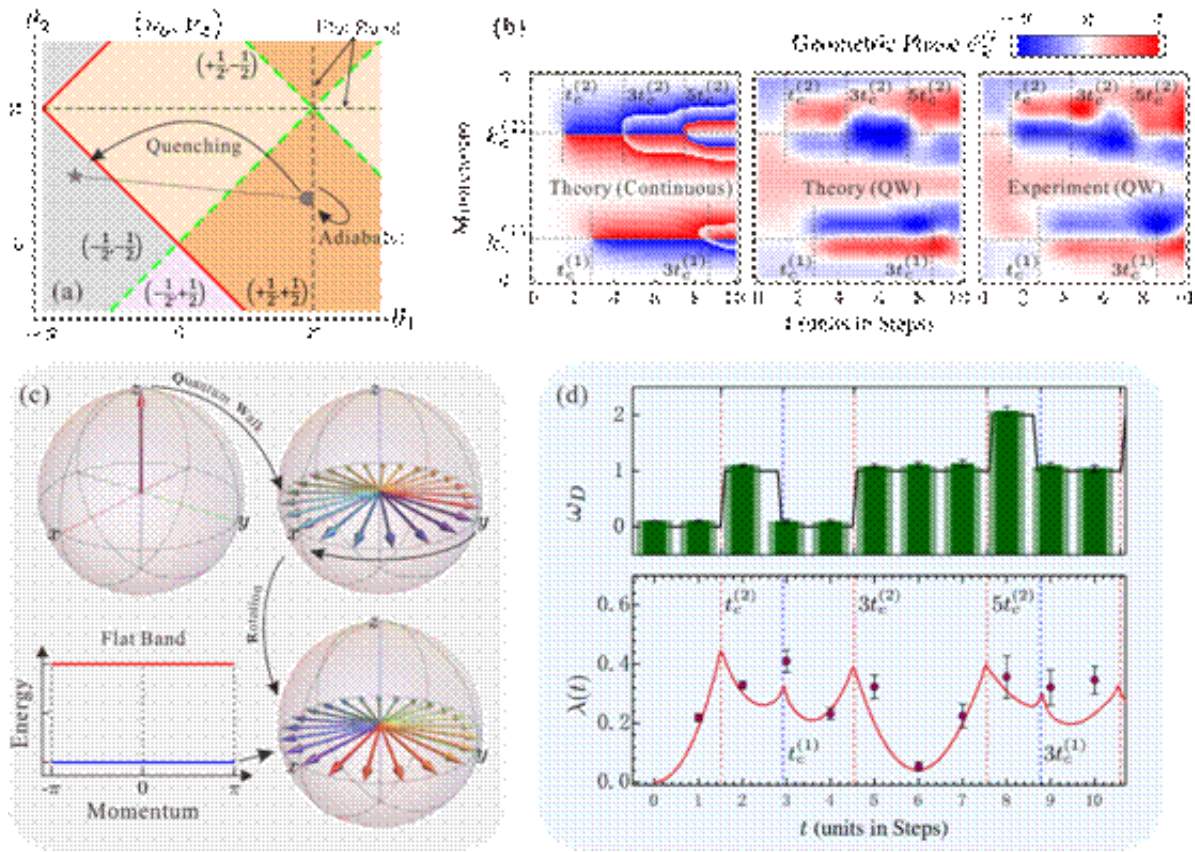


图3. 不等价拓扑相之间发生的动力学量子相变。

- (a) 在相图中展示的量子淬火过程。
- (b) 扣除动力学相位后的几何相位。
- (c) 处于拓扑非平凡相的初态制备及其能带结构。
- (d) 速率函数（下）及动力学拓扑序参数（上）

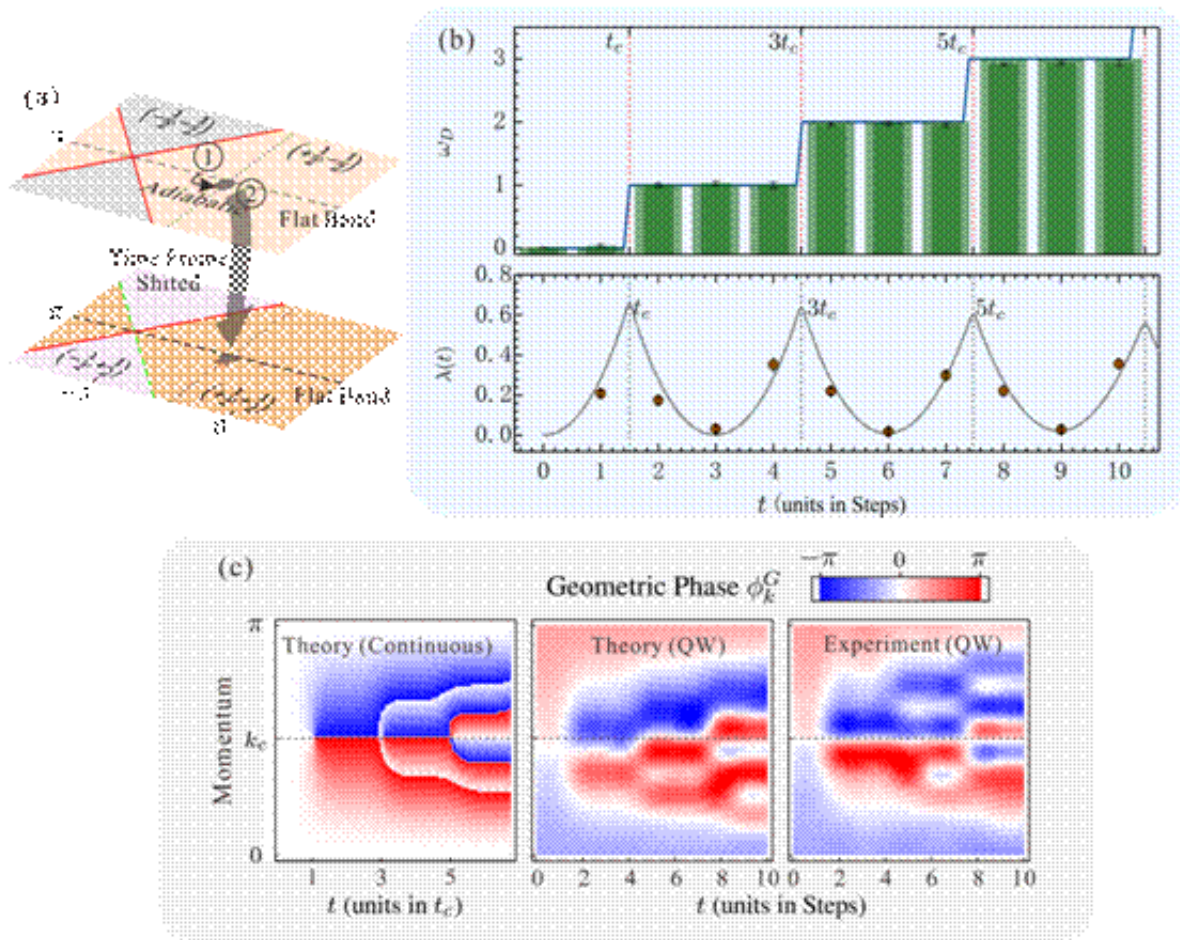


图5.时间标架驱动的动力学量子相变。

(a) 时间标架驱动动力学量子相变示意图。上图表表示通过绝热演化将系统制备到给定时间标架中某个哈密顿量的基态，下图表示通过改变时间标架而不是系统哈密顿量实现的量子淬火。

(b) 速率函数（下）及动力学拓扑序参数（上）。

(c) 扣除动力学相位后的几何相位。

（来源：科学网）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-019-0237-8>

作者：李传锋等 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](http://iikx.com)转发