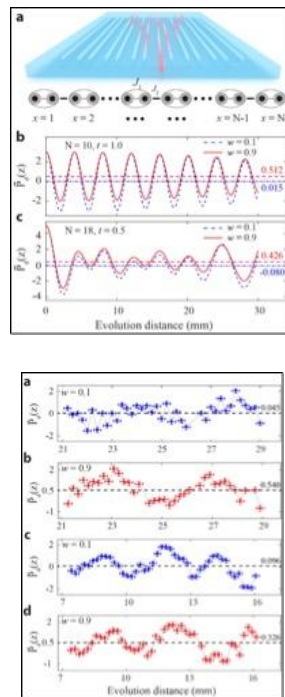


## 量子拓扑光子学最新进展：通过单光子动力学直接观测拓扑性质

2019年05月24日 责任编辑：叶丹



5月16日，国际物理学权威期刊《物理评论快报》以“Direct Observation of Topology from Single-Photon Dynamics”为题发表了上海交通大学金贤敏团队与山西大学激光光谱研究所贾锁堂教授、梅锋教授以及南京大学物理学院朱诗亮教授合作的最新研究成果：通过光子晶格体态中单光子动力学过程直接观察结构的拓扑数以及拓扑相变。拓扑不变量刻画了拓扑晶体的拓扑性质，在凝聚态体系中可以通过测量电导得到。但是在光学体系中并没有霍尔电导相对应的物理量，因此在拓扑光子晶体中直接测量拓扑不变量便成了一个棘手的问题。研究团队发现通过光子在光子晶体中的体态动力学演化过程可以得到拓扑不变量，并利用单光子动力学过程观察到光子晶体的不同拓扑能带之间的拓扑相变过程。



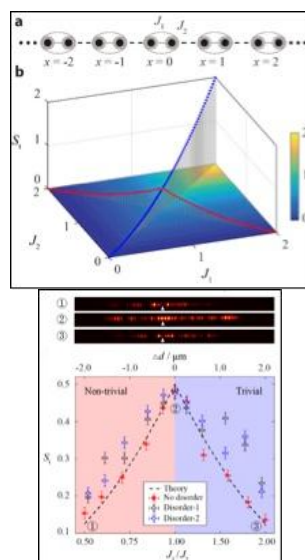
拓扑结构（红色线）与非拓扑结构（蓝色线）的PPDC振荡中心存在差异

（左侧为理论计算结果，右侧为实验结果）

光子群差异中心（PPDC）描述了光子在光子晶格中动力学演化中的分布特征，研究团队发现该物理量与系统的拓扑不变量有严格的对应。PPDC的数值随着演化时间振荡，而振荡中心则反映了系统的拓扑绕数。研究团队通过对四种不同结构的光子晶格的测试实验证明了这一结论。

作为相似的方法，研究团队发现拓扑相变信号（TPTS）同样可以通过广义光子群中心观测。在实验验证该过程时，研究人员通过单光子源以及单光子成像技术进一步将该方法推进到量子领域，这为拓扑光子学和量子光学的结合而成的量子拓扑光子学又新增了一个全新工具。研究团队构建了发生拓扑相变过程中的十一个不同结构并测试了单光子在体态演化后的分布，并通过最终分布结果提取了其中的特征信息，进而提取拓扑相变

信号，与理论计算结果吻合的很好。该方法的稳健性通过在系统结构的人为地增加了结构噪声得以进一步验证：无论有无人为增加的结构噪声，拓扑相变点的信号都十分明显。



左图：光子晶格示意图 (a) 以及理论计算结果 (b)

右图：实验中单光子分布测量结果 (上) 以及提取的拓扑相变信号结果 (下)

该工作中的PPDC是基于超过一百个样本的测试计算得到的，研究团队通过飞秒激光直写技术制备了如此多种不同结构的样本，并通过对这些样本的测试成功验证了该方法，同时在TPTS的测量上又将该过程推进至量子范畴。如此大量且精准的光子晶格样品制备在直写工艺上具有较大的技术挑战。研究团队过去数年专注于飞秒激光直写光子量子集成芯片技术和工艺，最终使得这项工作得以成功完成。

该研究工作是基于一维光子晶格结构的实验证明，而如何超越一维，是否能通过单光子在二维光子晶体中的体态动力学演化过程直接探测拓扑不变量仍未可知。该研究团队已经在二维体系量子演化研究上取得了不错的进展，这其中包括首个空间二维量子行走的实验演示，以及宇称诱导的光子热化带隙 (PIT Gap) 的发现。除了迈向更高维度，多光子以及量子纠缠对该方法的增强效应同样值得期待。

与此同时，研究团队还在文中展望了正在兴起的“量子拓扑光子学”这一全新研究方向，这是拓扑物理与量子信息的交叉，近期国际上多个小组在该方向有重要突破。该团队近期也完成了一系列研究工作，包括针对单光子态、多光子态以及量子纠缠的拓扑保护，为进行光学拓扑量子模拟和量子计算提供了新的方向。

研究团队感谢上海市科委重大项目和国家自然科学基金重点项目的雪中送炭，感谢中组部青年千人计划、国家重点研发计划、上海市教委的大力支持。

论文链接：

<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.122.193903>  
(<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.122.193903>)

作者：刘思聪  
供稿单位：物理与天文学院

