

# 课题组：多体系统的量子动力学

## 导师信息

张鹏飞，2015年本科毕业于清华大学物理系；2019年博士毕业于清华大学高等研究院，导师为翟荟教授；曾入选卡弗里理论物理研究研究生学者(Graduate Fellow)。2019年至今任加州理工学院特别冠名博士后伯克学者(Burke Fellow)，合作导师为美国科学院院士 Alexei Kitaev 教授，预计2022年12月入职复旦大学物理学系。近五年发表期刊文章54篇，3篇文章曾入选ESI高引用文章，[谷歌学术](#)总引用超过1400次，H指数18；担任包括PRX、PRL在内的10余本国际期刊审稿专家；多次受邀参加国内外会议并作邀请报告。

联系方式：[PengfeiZhang.physics@gmail.com](mailto:PengfeiZhang.physics@gmail.com)，欢迎咨询更多课题组信息！

## 课题组风格

开放平等、共同进步。鼓励学生、博士后积极与其他老师讨论合作或独立完成工作；尽量提供所需资源（包括会议、出访资助；计算资源等）；毕业、出站相关要求依照院系有关规定。

## 研究领域

多体系统中量子动力学的研究对理解基础物理规律乃至实现量子计算机都有着重要意义。本课题组利用量子场论和量子信息的方法，借助全息对偶与可解模型的启发，理解凝聚态与原子分子光学等系统中新奇的动力学行为，研究领域涵盖凝聚态理论、冷原子理论与量子机器学习。

部分录制报告：

1. Branching Time in SYK-like Models @ IAS ([YouTube](#))
2. Replica wormhole and information retrieval in the SYK model coupled to Majorana chains @ Stanford ([YouTube](#))

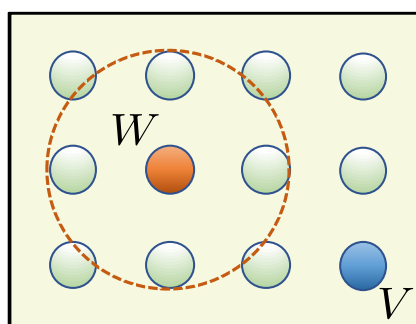
### 1. 量子信息弥散与量子纠缠

量子信息弥散是量子多体系统在么正演化下量子信息由局域比特扩散到整

体中的行为。交错时序关联函数(OTOC)便是这一信息弥散过程的定量描述,其早期行为被用来定义热化系统中的多体量子混沌,并与熵的动力学演化相联系。另一方面,在全息对偶系统中 OTOC 对应黑洞视界附近的粒子散射问题,因而成为了连接量子多体理论、高能物理和量子信息的重要桥梁。理解与量子信息弥散和量子纠缠相关的新奇动力学是本课题组的方向之一,包括但不限于信息弥散的一般性理论研究、多体量子传输理论研究、量子纠缠相变研究。

相关工作示例:

1. [Y. Gu, A. Kitaev, and PZ<sup>†</sup>, JHEP 2022, 133 \(2022\).](#)
2. [S.-K. Jian, C. Liu, X. Chen<sup>†</sup>, B. Swingle<sup>†</sup>, and PZ<sup>†</sup>, PRL 127, 140601 \(2021\).](#)



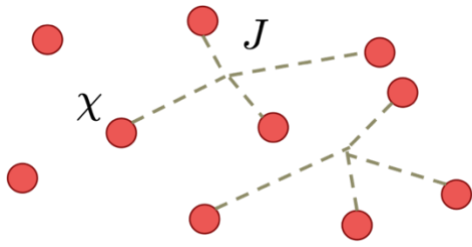
图示: 量子信息弥散——作用在单个格点的简单算符随时间逐渐变为作用在多个格点的复杂算符。

## 2. SYK 可解模型与非费米液体

在强关联多体系统中,微扰论的失效给交错时序关联函数的理解带来了巨大挑战。2015年,美国科学院院士 Alexei Kitaev 教授基于前人工作,提出了一个崭新的 0+1 维相互作用费米子模型,现被称为 SYK 模型。该模型可以通过量子场论方法求解,在低温下描述了拥有引力对偶的非费米液体。在一系列后续工作中,这一模型被推广到高维度格点模型,被用以研究强相互作用系统的超导转变、线性电阻、量子纠缠、量子动力学等一系列关键问题。利用 SYK 可解模型理解强相互作用多体系统的平衡态乃至动力学行为是本课题组的方向之一。

相关工作示例:

1. [Y. Chen, X.-L. Qi, and PZ<sup>†</sup>, JHEP 2020, 121 \(2020\).](#)
2. [X. Chen, R. Fan, Y. Chen, H. Zhai<sup>†</sup>, and PZ<sup>†</sup>, PRL 119, 207603 \(2017\).](#)



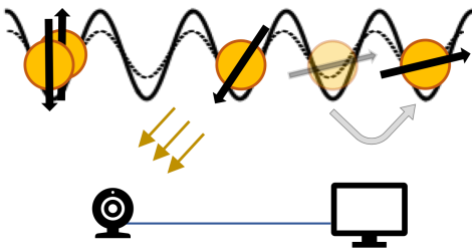
图示：SYK 模型描述了全连接的随机相互作用 Majorana 费米子系统。

### 3. 冷原子系统的量子模拟

量子模拟是解决量子多体问题的另一个重要途径。近些年来，高度可控的超冷原子气体系统成为了量子模拟的重要平台。例如，Fermi-Hubbard 模型、Haldane 模型相继在光晶格中被实现，激发了对其中自旋关联、拓扑关联的广泛讨论。进一步，冷原子系统被广泛的用于研究各类新奇量子物质（如多体量子局域化系统和 Floquet 时间晶体系统）中的量子动力学，为理解量子相的划分提供了重要的新视角。本课题组致力于探索冷原子系统的新奇动力学行为，包括但不限于利用多体系统的动力学探测、新奇量子效应的冷原子量子模拟。

相关工作示例：

1. [PZ<sup>†</sup>, SciPost Phys. Core 5, 010 \(2022\).](#)
2. [C. Wang, PZ<sup>†</sup>, X. Chen, J. Yu, and H. Zhai<sup>†</sup>, PRL 118, 185701 \(2017\).](#)



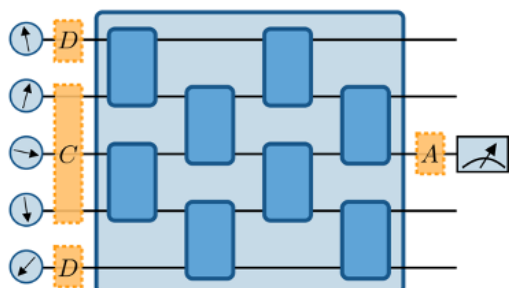
图示：光晶格中的冷原子系统与其探测，系统相关参数高度可控。

### 4. 量子机器学习

近年来，机器学习算法在众多复杂问题中体现出了巨大优势，而其量子推广也自然成为了物理学的前沿问题。一般认为，量子机器学习包含利用经典算法分析量子问题与基于量子电路的量子算法两方面。其研究既为量子模拟提供了新工具，又是量子计算的重要方向。本课题组一方面探索传统机器学习算法在冷原子实验中的可能应用；另一方面开展基于含参量子电路模型的量子神经网络理论研究，致力于提升相关算法的效率进而推动其在早期量子计算机上的应用。

相关工作示例：

1. [H. Shen, PZ, Y.-Z. You, and H. Zhai, PRL 124, 200504 \(2020\).](#)
2. [PZ, H. Shen, and H. Zhai, PRL 120, 066401 \(2018\).](#)



图示：基于含参量子电路模型的量子神经网络模型。输入为量子态，输出为选定算符的测量值。