2024年度湖北省自然科学奖提名公示信息

|  |  |
| --- | --- |
| 项目名称 | 一维量子多体系统普适规律的若干问题研究 |
| 提名单位 | 中国科学院武汉分院 |
| 提名意见 | 近二十年来，简并超冷原子系统的实验制备和调控技术的发展为研究量子多体现象以及精密测量方法提供了里程碑意义的平台，这也是中国科学院精密测量科学与技术创新研究院的重点战略性研究方向之一。研究团队及合作者在一维量子多体系统中的朝永-拉亭戈液体、自旋-电荷分离、量子临界现象中取得了几个重要工作， 揭示了一维量子多体现象的微观机制, 其结果为理解高维量子多体现象提供重要的基准。尤其是他们解决了40多年来拉亭戈液体和自旋-电荷分离现象缺失的动力学关联函数实验验证的世界性难题，弥补了该领域的缺陷，为将来基于原子分子和光物理的精密测量提供了新的应用。 他们的工作引起世界同行的广泛关注，美国物理学会网刊Physics，欧洲物理学会网站Physicsworld，及Journal Club for Condensed Matter Physics等科学网站都有撰文高度评价了他们的成果。本申报项目是他们近期在一维精确可解超冷原子气体系统的普适特性及其在量子技术中的应用中取得的一些卓越的成果， 包括利用严格解方法解析给出一维量子多体系统的热力学、量子液体和量子临界的普适规律； 建立量子多体关联函数与量子临界现象之间的联系，并首次提出相互作用驱动的量子热机和重力测量新方案等。 他们的多项理论预言已经被实验验证。 这些成果的获得世界同行高度关注，受物理顶尖期刊《Review of Modern Physics》邀请发表了关于一维费米气体理论与实验的59页综述文章，该文章是自该期刊1929年创刊来以中国为第一通讯作者单位发表的第3篇综述文章，已经成为本领域高引用和高影响论文，为本领域相关实验提供了重要理论指导。 |
| 项目简介 | 自1972年诺贝尔奖获得者安德森教授在《Science》期刊上提出“More is different”之后，量子多体关联与涨落诱导的衍生现象成为凝聚态物理中的研究核心，然而，对于发现和描述超越平均场理论的衍生现象是极其困难的。在这方面，通常描述金属导体行为的朗道费米液体，朗道-金兹堡唯象量子相变以及一维朝永-拉亭戈液体等都是基于平均场的近似理论。本项目面向这些科学前沿的基础科学问题，探索如何从一维量子多体系统的精确解发现量子多体现象以及获得其精确刻画。尽管精确解理论提出90多年，其真正能与现代实验结合，给出系统可观测物理性质的理论是非常少见的。申请团队通过严格可解模型获得一维量子多体系统中的朝永-拉亭戈液体、量子临界现象的普适规律，进而在超冷原子实验和量子科技中的应用方面取得突破性新进展，代表性成果包括：1. 建立计算一维量子多体系统普适规律和量子关联的理论方法。他们率先提出无量纲参数如威尔逊比率，格律乃森参数可以精确刻画一维量子体系中的朝永-拉亭戈液体和量子临界性，并首次建立了近程两体关联与量子相变的关系，解析获得系统高阶关联函数，文章分别发表在《Physical Review Letters》、《Nature》等学术期刊上。基于他们的前期工作，受邀在世界物理学领域公认的顶级学术杂志《Review of Modern Physics》发表了59页的综述文章，为后来超冷原子实验提供了直接的指导，此论文被SCI引用362次（WOS/Web of Science，Google Scholar 引用516次），被WOS选为前0.1％的热点文章和1%高引用文章。诺贝尔奖获得者杨振宁先生评价到“his paper in the Rev Mod Physics in 2013 has become a bible in the field”。2. 揭示自旋-电荷分离现象的微观本质及实验实现。自旋-电荷分离现象已有40多年的历史，然而长期缺乏令人信服的实验验证，2020年他们首次给出一维费米冷原子气体中的低能分数激发的新理论，发现了自旋与电荷集体激发的奇特性质，从而从理论上预言了自旋-电荷分离现象和自旋非相干液体的微观本质。该成果发表在《Physical Review Letters》上。更进一步，团队与美国科学与艺术研究院院士、莱斯大学休利特教授实验团队合作，利用布拉格光谱在费米超冷原子体系首次确定性的验证自旋-电荷分离现象的预言，该工作于近期发表在《Science》上并被选为该期刊的亮点工作。3. 发现量子相变和朝永-拉亭戈液体关联函数的解析解，并确定性实验验证。2017年团队与中科大潘建伟、苑震生的实验团队合作在世界上首次通过实验验证了他们预言的一维多体Lieb-Liniger模型的量子液体和量子临界特性，该研究成果发表在《Physical Review Letters》上。更进一步，他们首次提出了相互作用调控量子热机的构想，发现在量子临界点附近量子热机具有最大功率，之后又提出一维多体系统的量子电池及重力测量新概念，揭示量子纠缠对这些量子科技的影响。第一完成人回国10年来在《Science》、《Review of Modern Physics》、《National Science Review》、《Physical Review Letters》等世界顶尖和最有影响的物理期刊发表论文12篇，在其它重要物理期刊上发表40余篇，其工作得到了国内外同行的高度评价，他受邀在中国和世界上最有影响的国际会议上中国秋季物理会议及美国的March Meeting分别作特邀报告。本项目的5篇代表作已被引用478次，多家知名物理网站，美国物理学会网站Physics，欧洲物理学会网站Physicsworld等对他们的工作撰文评述。部分成果被选为亮点文章及中科院科技创新亮点成果等。 |
| 主要完成人（完成单位） | GUAN XIWEN（管习文）（中国科学院精密测量科学与技术创新研究院）、李朝红（中山大学，现单位深圳大学）、姜玉铸（中国科学院精密测量科学与技术创新研究院）、林海青（北京计算科学研究中心，现单位浙江大学） |
| 代表性论文（专著）目录 |
| 序号 | 论文（专著）名称/刊名/作者 | 年卷页码 | 发表时间（ 年 月 日） | 通讯作者（含共同） | 第一作者（含共同） | 国内作者 | 他引总次数 | 检索数据库 | 论文署名单位是否包含国外单位 |
| 1 | Fermi gases in one dimension: From Bethe Ansatz to experiments/Rev. Mod. Phys./X.-W. Guan, M. T. Batchelor, C. Lee | 2013、85、 1633 -1691 | 2013-11-27 | X.-W. Guan（管习文）， M. T. Batchelor, C. Lee（李朝红） | X.-W. Guan（管习文） | 管习文李朝红 | 362 | web of science | 是 |
| 2 | Emergence and disruption of spin-charge separation in one-dimensional repulsive fermions/Phys. Rev. Lett/Feng He, Yu-Zhu Jiang, Hai-Qing Lin, Randall G. Hulet, Han Pu, Xi-Wen Guan | 2020、125、190401 | 2020-11-02 | Hai-Qing Lin（林海青），Xi-Wen Guan（管习文） | Feng He（何丰） | 何丰姜玉铸林海青浦晗管习文 | 12 | web of science | 是 |
| 3 | Quantum criticality and the Tomonaga-Luttinger liquid in one-dimensional Bose gases/Phys. Rev. Lett/Bing Yang, Yang-Yang Chen, Yong-Guang Zheng, Hui Sun, Han-Ning Dai, Xi-Wen Guan, Zhen-Sheng Yuan, and Jian-Wei Pan, | 2017、119、165701 | 2017-10-18 | Xi-Wen Guan（管习文）, Zhen-Sheng Yuan（苑震生）, Jian-Wei Pan（潘建伟） | Bing Yang（杨兵），Yang-Yang Chen（陈洋洋）  | 杨兵陈洋洋郑永光孙辉戴汉宁管习文苑震生潘建伟 | 60 | web of science | 是 |
| 4 | Understanding many-body physics in one dimension from the Lieb-Liniger model/Chinese Physics B/Y.-Z. Jiang, Y.-Y. Chen and X.-W. Guan | 2015、24, 050311 | 2015-04-17 | X.-W. Guan（管习文） | Y.-Z. Jiang（姜玉铸） | 姜玉铸陈洋洋管习文 | 42 | web of science | 否 |
| 5 | Exact Entanglement Dynamics in Three Interacting Qubits/Chinese Physics B/Wen-Bin He and Xi-Wen Guan | 2018、27, 070306 | 2018-6-25 | Xi-Wen Guan（管习文） | Wen-Bin He（贺文斌） | 管习文 | 3 | web of science | 是 |