



第八届全国统计物理与 复杂系统学术会议

会议手册

主办单位

中国科学院理论物理研究所

承办单位

宁波大学物理科学与技术学院

2025 年 7 月 30 日至 8 月 1 日

中国宁波

目录

会议背景.....	1
会议简介.....	1
会议组委会.....	2
工作委员会.....	2
程序委员会.....	3
支持单位.....	3
分会主题.....	4
会议指南.....	5
1. 总体日程.....	5
2. 会场位置.....	6
3. 会议用餐.....	7
4. 会务组.....	7
会议议程.....	8
开幕式（7月30日上午）.....	8
郝柏林讲坛和大会报告（7月30日上午）.....	8
分会报告和张贴报告（7月30日下午）.....	9
郝柏林讲坛和大会报告（7月31日上午）.....	17
分会报告（7月31日下午）.....	18
郝柏林讲坛和大会报告（8月1日上午）.....	27
分会报告（8月1日下午）.....	28
张贴报告目录.....	39
报告摘要集.....	46
张贴报告集.....	419

会议背景

会议简介

为加强国内外统计物理与复杂系统研究领域学者之间的学术交流，经中国物理学会和凝聚态物理与统计物理分会批准，由中国科学院理论物理研究所主办、宁波大学承办，第八届全国统计物理与复杂系统学术会议将于 2025 年 7 月 30 日至 8 月 1 日在浙江省宁波市举行（7 月 29 日报到，8 月 2 日离会）。会议主要以大会邀请报告、分会邀请报告、分会口头报告及墙报展示的形式，交流国内外统计物理与复杂系统领域的最新进展，探讨我国统计物理与复杂系统研究的现状与发展趋势。会议安排了接近 400 个口头报告和 120 个张贴报告，并设置“郝柏林讲坛”邀请四位资深学者冯建峰教授、欧阳颀院士、魏苏淮教授、吴令安研究员回顾和展望统计物理与量子、凝聚态、生物、信息科学的交叉科学研究前沿进展。本届会议由我国统计物理与复杂系统研究领域的热心同行共同协助举办。在会议学术委员会（主席欧阳钟灿院士）的指导下，程序委员会 48 位活跃于科研第一线、乐于服务的中青年学者负责会议口头报告和张贴报告的邀请和遴选工作。中国科学院理论物理研究所周善贵所长将来宁波了解和考察会议筹备情况并出席开幕式。除了欧阳钟灿院士和宁波大学校长蔡荣根院士以外，中国物理学界的资深学者林海青院士、马余强院士、孙昌璞院士等也将作邀请报告或担任主持人。十七位青年学者将作大会邀请报告，分享各自精彩的研究故事。会议参会总人数将接近或超过一千人。第八届全国统计物理与复杂系统学术会议获得国家自然科学基金委员会理论物理专款资助（科技活动项目批准号 12442068，资助直接费用 12 万元，负责人陈亮教授）。感谢中国物理学旗舰刊物《物理学报》、《Chinese Physics B》、《Chinese Physics Letters》、《物理》赞助会议的最佳学术海报奖。本届会议将为国内外学者提供高水平的学术交流平台，推动中国统计物理与复杂系统研究的创新与发展。欢迎各位专家学者齐聚宁波，共襄盛举！

全国统计物理与复杂系统学术会议发展历程：

2009 年 11 月，由中国科学院理论物理研究所与厦门大学共同组织的统计物理学研讨会上，与会学者酝酿筹划成立统计物理学联合会。2010 年 12 月，中国科学院理论物理研究所组织召开统计物理与复杂系统研讨会，决定创办“全国统计物理与复杂系统学术会议”，并确定了第一届正式会议的时间和地点。该系列会议已先后在江苏（南京师范大学，2011 年）、山东（曲阜师范大学，2013）、甘肃（兰州大学，2015）、陕西（陕西师范大学，2017）、安徽（中国科学技术大学，2019）、吉林（吉林大学，2021）、云南（云南大学，2023）成功举办七次。会议会徽由邓友金、胡皓、申传胜设计和绘制（2019 年）。

会议组委会

委员（67人）：艾保全（华南师范大学）、陈亮（宁波大学）、陈晓松（浙江大学/北京师范大学）、邓友金（中国科学技术大学）、董高高（江苏大学）、董辉（中国工程物理研究院）、狄增如（北京师范大学）、樊京芳（北京师范大学）、方海平（浙江大学/华东理工大学）、韩一龙（香港科学技术大学）、黄海平（中山大学）、黄吉平（复旦大学）、黄亮（兰州大学）、蒋建华（中国科学技术大学/苏州大学）、孔祥木（鲁东大学）、邝华（广西师范大学）、兰岳恒（北京邮电大学）、李宝会（南开大学）、李敬源（浙江大学）、李炜（华中师范大学）、李志远（北京大学）、刘艳辉（贵州大学）、刘宗华（华东师范大学）、柳飞（北京航空航天大学）、陆颖（中国科学院物理研究所）、吕建平（安徽师范大学）、吕琳媛（中国科学技术大学）、满兴坤（北京航空航天大学）、孟凡龙（中国科学院理论物理研究所）、欧阳钟灿（中国科学院理论物理研究所）、全海涛（北京大学）、任捷（同济大学）、申传胜（安庆师范大学）、施夏清（苏州大学）、孙兆茹（上海科学技术大学）、谭鹏（复旦大学）、谭志杰（武汉大学）、汤雷翰（西湖大学）、汤迎（成都电子科技大学）、涂育松（扬州大学）、涂展春（北京师范大学）、王健（扬州大学）、王建辉（南昌大学）、汪劲（国科温州研究院）、王新刚（陕西师范大学）、王旭明（宁夏大学）、吴晨旭（厦门大学）、吴艺林（香港中文大学）、许爱国（北京应用物理研究所）、徐莉梅（北京大学）、徐宁（中国科学技术大学）、严钢（同济大学）、杨晓荣（西藏大学）、叶方富（中国科学院物理研究所/国科温州研究院）、曾春华（昆明理工大学）、张何朋（上海交通大学）、张磊（西安交通大学）、张力发（南京师范大学）、张潘（中国科学院理论物理研究所）、赵鸿（厦门大学）、郑波（云南大学）、郑志刚（华侨大学）、钟凡（中山大学）、周昌松（香港浸会大学）、周海军（中国科学院理论物理研究所）、周涛（成都电子科技大学）、周昕（中国科学院大学）

主席：欧阳钟灿（中国科学院院士、第三世界科学院院士）

副主席：陈晓松、汤雷翰、赵鸿、郑波

工作委员会

组长：陈亮（宁波大学）、方海平（浙江大学/华东理工大学）、周海军（中国科学院理论物理研究所）

组员：陈晓松（浙江大学/北京师范大学）、徐留芳（吉林大学）、张潘（中国科学院理论物理研究所）、郑波（云南大学）

特别致谢：刘伟（中国科学院理论物理研究所科研处退休主管，经验丰富，提出了许多宝贵建议）

宁波大学会务组

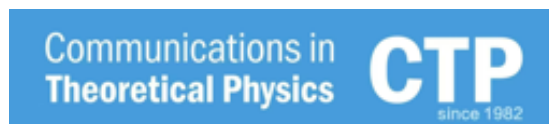
陈亮、方海平、段香梅、楼森岳、高淼、张朝阳、孙运祥、李培、江杰、木留华

程序委员会

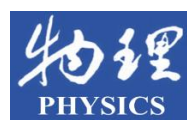
组长：孟凡龙

组员：陈亮、邓友金、董辉、黄亮、金瑜亮、李辉、吕琳媛、木留华、施夏清、汤迎、于小泉、张潘、郑志刚、周海军

支持单位



CTP,《理论物理通讯》



中国科学院物理研究所四刊

IOP Publishing

Discover our journals covering statistical physics and complex systems



IMPACT FACTOR: 1.9
OPEN ACCESS



IMPACT FACTOR: 2.1



IMPACT FACTOR: 4.6
OPEN ACCESS



IMPACT FACTOR: 1.6



IMPACT FACTOR: 20.7

英国物理学会出版社



山东智算云科技服务有限公司



曙光智算信息技术有限公司

分会主题

1. 平衡态系统与远离平衡态系统：理论与计算模拟方法

组委会成员：陈晓松、邓友金*、全海涛、邢向军、钟凡、董辉

2. 量子流体、量子相变、量子热力学、量子混沌

组委会成员：黄亮*、张力发、任捷、郭文安、李新征、于小泉

3. 非线性科学、动力学系统、复杂时空结构

组委会成员：兰岳恒、刘宗华、申传胜、占萌、郑志刚*、曾春华

4. 玻璃态系统、自旋玻璃及其他随机阻挫系统

组委会成员：黄海平、金瑜亮、谭鹏、徐莉梅*、徐宁、武振伟

5. 软物质与自组装、活性物质、液体物理

组委会成员：陈雷鸣、雷群利、孟凡龙、施夏清*、李宝会、满兴坤

6. 细胞生命系统与生物物理

组委会成员：傅雄飞、汤雷翰*、谭志杰、汪劲、李辉、帅建伟

7. 生态复杂系统、演化博弈、社会复杂系统

组委会成员：樊京芳、关剑月、胡延庆、黄吉平、吕琳媛*、严钢

8. 机器学习与人工智能复杂系统

组委会成员：斯白露、汤迎、王磊、张潘、赵鸿*、周昌松

会议指南

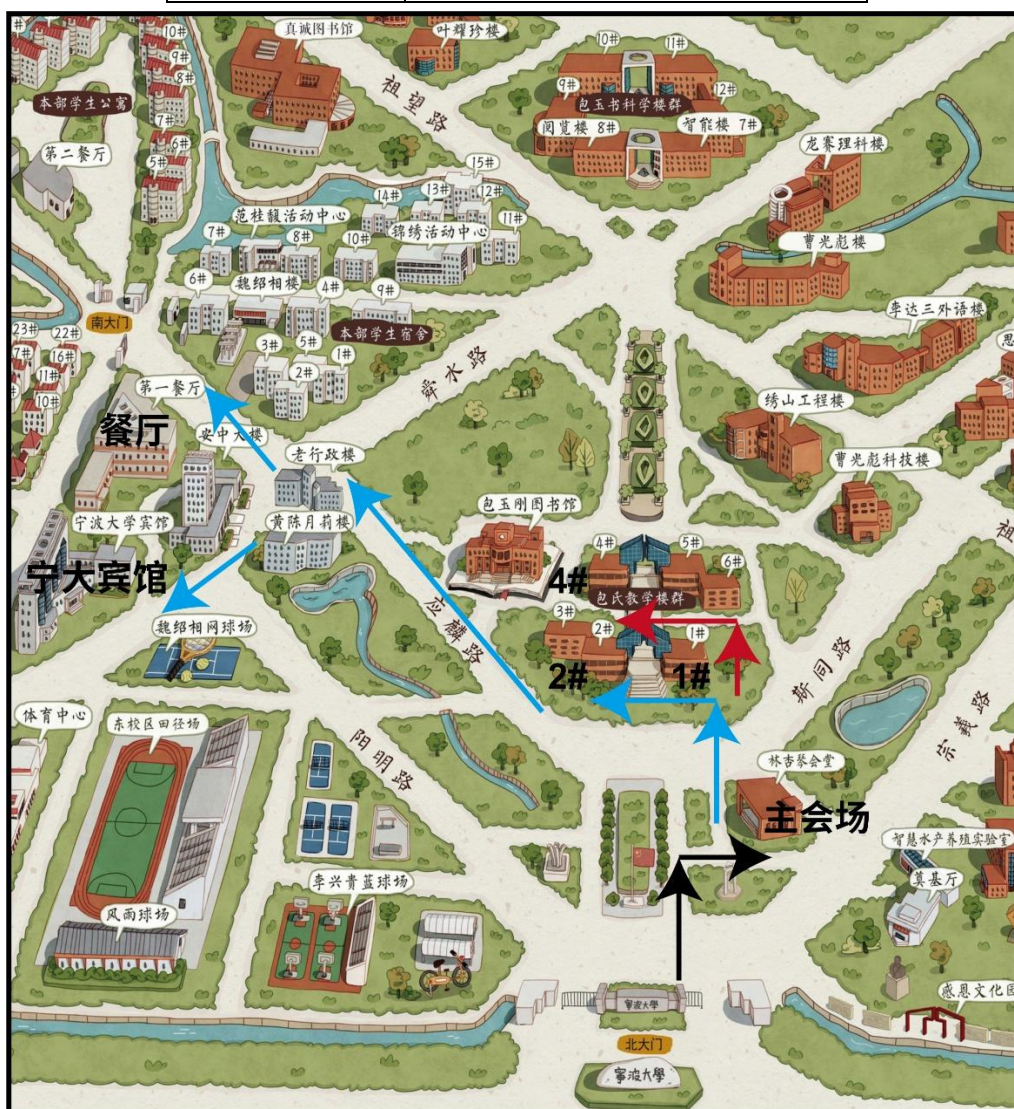
1. 总体日程

日期	时间	主题	会场
7月30日	08:30-12:30	开幕式/大会报告/郝柏林讲坛	林杏琴会堂//分会场 G/H
	14:00-18:20	主题 1	分会场 A/B
	14:00-18:00	主题 2	分会场 C
	14:00-17:55	主题 3	分会场 D/E
	14:00-17:55	主题 4	分会场 F
	14:00-17:55	主题 5	分会场 G/H
	14:00-18:10	主题 6	分会场 I/J
	14:00-18:15	主题 7	分会场 K
7月31日	14:00-18:00	主题 8	分会场 L
	08:30-12:30	大会报告/郝柏林讲坛	林杏琴会堂//分会场 G/H
	14:00-17:50	主题 1	分会场 A/B
	14:00-17:45	主题 2	分会场 C
	14:00-17:25	主题 3	分会场 D/E
	14:00-17:40	主题 4	分会场 F
	14:00-17:20	主题 5	分会场 G/H
	14:00-17:25	主题 6	分会场 I/J
	14:00-17:35	主题 7	分会场 K
	14:00-17:45	主题 8	分会场 L
8月1日	19:10-20:40	晚宴	泛太平洋三楼大宴会厅
	08:30-12:30	大会报告/郝柏林讲坛	林杏琴会堂//分会场 G/H
	14:00-17:55	主题 1	分会场 A/B
	14:00-17:45	主题 2	分会场 C/E
	14:00-16:40	主题 3	分会场 D
	14:00-18:00	主题 4	分会场 F/J
	14:00-17:40	主题 5	分会场 G
	14:00-17:50	主题 6	分会场 I/J
	14:00-18:05	主题 7	分会场 K/H
	14:00-18:05	主题 8	分会场 L

注：因参会人数超出林杏琴会堂容量，增设分会场 G 和 H 同步投屏大会报告。

2. 会场位置

会场	位置
分会场 A	包氏教学楼阶三
分会场 B	包氏教学楼阶四
分会场 C	包氏教学楼 4 号楼 101
分会场 D	包氏教学楼 4 号楼 103
分会场 E	包氏教学楼 4 号楼 105
分会场 F	包氏教学楼 1 号楼 101
分会场 G	包氏教学楼阶一
分会场 H	包氏教学楼阶二
分会场 I	包氏教学楼 1 号楼 103
分会场 J	包氏教学楼 1 号楼 105
分会场 K	包氏教学楼 2 号楼 101
分会场 L	包氏教学楼 2 号楼 103
张贴报告	1 号楼和 2 号楼之间大厅



会场路线图

3. 会议用餐

7 月 29 日晚餐：宁波大学天唯文博酒店（宁大宾馆）、宁波泛太平洋大酒店、宁波赛思学术会堂，自助餐

7 月 30 日午餐：宁大第一餐厅三楼，自助餐

7 月 30 日晚餐：宁大第一餐厅三楼，自助餐

7 月 31 日午餐：宁大第一餐厅三楼，自助餐

7 月 31 日晚宴：19:10-20:40，泛太平洋三楼大宴会厅

8 月 01 日午餐：宁大第一餐厅三楼，自助餐

8 月 01 日晚餐：宁大第一餐厅三楼，自助餐

4. 会务组

报到及会务处：宁波大学天唯文博酒店（宁大宾馆）大堂、宁波泛太平洋大酒店大堂、宁波赛思学术会堂大堂（7 月 29 日下午 13:00-21:00）

林杏琴会堂门口会议报到处（7 月 29 日至 8 月 1 日）

财 务：陈刚 17367298966 johnson@polydt.com

住 宿：董凯杰 18042099907

交 通：江杰 17621862822

张 贴 报 告：木留华 15639448076

志 愿 者：王俊博 13216661723 武超军 15658280275

秘 书 处：陈亮 13115718266 李培 15906539982

特别致谢：刘伟（中国科学院理论物理研究所科研处退休主管）

会议议程

开幕式（7月30日上午）

主会场	
地点：林杏琴会堂、包氏教学楼阶一和阶二（投屏）	
主持人：陈亮（宁波大学）	
08:30-09:05	宁波大学校长蔡荣根院士致辞 中国科学院理论物理所所长周善贵研究员致辞 马余强院士回顾会议历史 林海青院士回忆郝柏林老师 涂育松教授介绍郝柏林老师学术贡献 大礼堂内照相

注：因参会人数超出林杏琴会堂容量，增设包氏教学楼阶一和阶二同步投屏大会报告。

郝柏林讲坛和大会报告（7月30日上午）

主会场	
地点：林杏琴会堂、包氏教学楼阶一和阶二（投屏）	
大会报告第一章，09:05-10:14	
主持人：方海平（浙江大学/华东理工大学）	
大会报告 01	09:05-09:28 (18'+5')
李志远	北京大学
微生物铁相互作用网络中的演化 博弈与自组织	
大会报告 02	09:28-09:51 (18'+5')
朱伟	西湖大学
Critical phenomena from the fuzzy sphere microscope	
大会报告 03	09:51-10:14 (18'+5')
金瑜亮	中国科学院理论物理研究所
超临界物理	
10:14-10:45 茶歇与讨论	
郝柏林讲坛，10:45-11:20	
主持人：孙昌璞（中国工程物理研究院）	
第一讲	10:45-11:20 (28'+7')
魏苏淮	宁波东方理工大学
非平衡态半导体物理理论研究与 展望	
大会报告第二章，11:20-12:06	
主持人：陈晓松（浙江大学/北京师范大学）	
大会报告 04	11:20-11:43 (18'+5')
郑志刚	华侨大学
复杂系统的时空集群动力学与涌 现：理论与应用	
大会报告 05	11:43-12:06 (18'+5')
李新征	北京大学
基于李-杨相变理论理解真实凝聚 态体系中的相与相变	
12:06-12:30 期刊宣讲	
12:06-12:15	Communications in Theoretical Physics （理论物理通讯）

12:15-12:24	《物理》、《物理学报》、《Chinese Physics Letters》、 《Chinese Physics B》
12:24-12:30	IOP (Institute of Physics of UK)

注：因参会人数超出林杏琴会堂容量，增设包氏教学楼阶一和阶二同步投屏大会报告。

分会报告和张贴报告（7月30日下午）

分会场 A: 平衡态系统与远离平衡态系统：理论与计算模拟方法（主题 1）				
地点：包氏教学楼阶三				
第一单元，14:00-15:10				
主持人：郑伟谋（中国科学院理论物理所）				
A01	14:00-14:20	孙昌璞	中国工程物理研究院	从量子热力学“推导”统计物理
A02	14:20-14:40	卢至悦	UNC Chapel Hill	广义玻尔兹曼系综：适用于任意非平衡过程的统一响应理论
A03	14:40-14:55	须留钧	中国工程物理研究院研究生院	热扩散不变量
A04	14:55-15:10	柳飞	北京航空航天大学物理学院	开量子系统的半马氏过程：首通时间统计的大偏差
15:10-16:40		张贴报告		
第二单元，16:40-18:20				
主持人：全海涛（北京大学）				
A05	16:40-17:00	黄吉平	复旦大学/上海理工大学	扩散超构材料中的拓扑热输运
A06	17:00-17:20	年磊磊	云南大学	Dissipative quantum phase transitions in electrically driven lasers
A07	17:20-17:35	张忠卫	同济大学	声子的波粒双特性及其在强非平衡态中的调控
A08	17:35-17:50	胡世谦	云南大学	Investigating the Modulation of Phonon Hydrodynamics in 2D Materials
A09	17:50-18:05	王骏	上海第二工业大学	伪共形映射实现多物理耦合与瞬态系统中的扩散流调控
A10	18:05-18:20	熊国欢	扬州大学物理科学与技术学院	手性声子有效磁场及其近场行为研究
分会场 B: 平衡态系统与远离平衡态系统：理论与计算模拟方法（主题 1）				
地点：包氏教学楼阶四				
第一单元，14:00-15:10				
主持人：黄吉平（复旦大学/上海理工大学）				

B01	14:00-14:20	Gentaro Watanabe	浙江大学	Universal relations and bounds in quasistatic small heat engines
B02	14:20-14:40	梁师翎	马普复杂系统物理研究所	非平衡系统的强扰动响应理论
B03	14:40-14:55	叶卓林	江西师范大学	Maximum efficiency of low-dissipation heat devices at given power
B04	14:55-15:10	刘德华	南昌大学	量子热机 Mpemba 加速和信息驱动
15:10-16:40		张贴报告		
第二单元, 16:40-18:20 主持人: 钟凡 (中山大学)				
B05	16:40-17:00	管习文	中国科学院精密测量科学与技术 创新研究院/Rice University	Fundamental rules of Drude weights and Seebeck effect in 1D Hubbard model
B06	17:00-17:20	张超	安徽师范大学	Bose-Hubbard Model on a Honeycomb Superlattice: Quantum Phase Transitions and Lattice Effects
B07	17:20-17:35	侯吉旋	东南大学	长程相互作用系统的热力学性质与热力学定律的破坏
B08	17:35-17:50	王哲	西湖大学	Bipartite reweight-annealing algorithm of quantum Monte Carlo to extract large-scale data of entanglement entropy and its derivative
B09	17:50-18:05	张鑫	西安科技大学	Geometric properties of the additional third-order transitions in the two-dimensional Potts model
B10	18:05-18:20	李欣阳	北京航空航天大学	超临界的普适非对称性
分会场 C: 量子流体、量子相变、量子热力学、量子混沌 (主题 2) 地点: 包氏教学楼 4 号楼 101				
第一单元, 14:00-15:15 主持人: 郑波 (云南大学)				
C01	14:00-14:20	林海青	浙江大学物理学院	量子纠缠谱、拓扑和量子临界性
C02	14:20-14:40	郭文安	北京师范大学物理与天文学 院	Improved scaling of entanglement entropy and its applications

C03	14:40-15:00	王振九	兰州大学	耗散体系中对称性保护拓扑态的量子相变
C04	15:00-15:15	刘玉海	北京邮电大学	Edge modes of Topological Mott Insulators and Deconfined Quantum Critical Points
15:15-16:40		张贴报告		
第二单元, 16:40-18:00 主持人: 任捷 (同济大学)				
C05	16:40-17:00	王文阁	中国科学技术大学	热力学第二定律之热流主题——一个量子研究方案
C06	17:00-17:20	吕京涛	华中科技大学	Current-driven Archimedes chiral molecular motor
C07	17:20-17:40	王建辉	南昌大学	玻色气体量子热机性能优化: 相变与多体效应的关键作用
C08	17:40-18:00	刘俊杰	上海大学	非平衡量子体系中的能量-信息热力学关系
分会场 D: 非线性科学、动力学系统、复杂时空结构 (主题 3) 地点: 包氏教学楼 4 号楼 103				
第一单元, 14:00-15:10 主持人: 顾长贵 (上海理工大学)				
D01	14:00-14:20	申传胜	安庆师范大学	非平衡系统中的新颖斑图及其结构调控
D02	14:20-14:40	陈含爽	安徽大学	重置布朗运动的广义反正弦定律
D03	14:40-14:55	孙鸿	南京师范大学	声子角动量的太赫兹电场激发以及调控
D04	14:55-15:10	李栋	南通大学/汉堡大学	神经网络中对称与反对称连接的竞争
15:10-16:40		张贴报告		
第二单元, 16:40-17:55 主持人: 申传胜 (安庆师范大学)				
D05	16:40-17:00	顾长贵	上海理工大学	无记忆储计算: 打破记忆限制实现全局预测校准和模型鲁棒性
D06	17:00-17:20	弭元元	清华大学	Neural Correlates of Serial Dependence: Synaptic Short-term Plasticity Orchestrates Repulsion and Attraction
D07	17:20-17:40	黄子罡	西安交通大学	感知决策策略转换灵活性的多巴胺调控效应动力学建模
D08	17:40-17:55	熊科诏	西安科技大学	复杂网络中热虹吸效应的生成与调控

分会场 E: 非线性科学、动力学系统、复杂时空结构 (主题 3) 地点: 包氏教学楼 4 号楼 105				
第一单元, 14:00-15:10 主持人: 王新刚 (陕西师范大学)				
E01	14:00-14:20	楼森岳	宁波大学	Progresses on Some Open Problems Related to Infinitely Many Symmetries
E02	14:20-14:40	林诏华	福建医科大学	社会传播中记忆与非记忆采纳机制的动力学影响研究
E03	14:40-14:55	符维成	天水师范大学	Multi-types of instability process of periodic orbits in nonlinear chains
E04	14:55-15:10	王恒通	陕西师范大学	钠离子通道损伤下神经元放电模式与信号传导行为的非线性动力学机制
15:10-16:40		张贴报告		
第二单元, 16:40-17:55 主持人: 楼森岳 (宁波大学)				
E05	16:40-17:00	王新刚	陕西师范大学	通用储备池计算
E06	17:00-17:20	邹为	华南师范大学	Synchronization transition in the four-dimensional Kuramoto with isoclinic rotation
E07	17:20-17:40	邹勇	华东师范大学	高阶耦合模式下的同步动力学
E08	17:40-17:55	邱仲普	北京师范大学 系统科学学院	广义 Kuramoto 模型的临界性和普适性
分会场 F: 玻璃态系统、自旋玻璃及其他随机阻挫系统 (主题 4) 地点: 包氏教学楼 1 号楼 101				
第一单元, 14:00-15:20 主持人: 蒋敏强 (中国科学院力学研究所)				
F01	14:00-14:20	徐莉梅	北京大学	Mechanisms and Pathways of nonequilibrium phase transitions in amorphous systems
F02	14:20-14:40	胡远超	松山湖材料实验室	Unveiling the Mystery of the Fragility of Supercooled Liquids
F03	14:40-15:00	吉文成	Weizmann Institute of Science	The Role of Excitations in Supercooled Liquids: Density, Geometry, and Relaxation Dynamics
F04	15:00-15:20	孙刚	北京师范大学	经典相变过程中的熵规则
15:20-16:40		张贴报告		
第二单元, 16:40-17:55 主持人: 徐莉梅 (北京大学)				

F05	16:40-17:00	蒋敏强	中国科学院力学研究所	Unified theory of phonon behavior with phase diagram of non-Debye anomalies
F06	17:00-17:20	王琦	中国工程物理研究院材料研究所	基于多体图神经网络的非晶塑性预测与可解释性分析
F07	17:20-17:40	于海滨	华中科技大学	玻璃态弛豫耗散：构型距离和逾渗观点
F08	17:40-17:55	翟强	西安交通大学	可辨粒子晶格模型玻璃薄膜的快动力学
分会场 G：软物质与自组装、活性物质、液体物理（主题 5） 地点：包氏教学楼阶一				
第一单元，14:00-15:10 主持人：李宝会（南开大学）				
G01	14:00-14:20	吴晨旭	厦门大学	Capillary Effect beyond Lucas-Washburn Law
G02	14:20-14:40	陈亮	宁波大学	纳米限域二维水通道的界面自组装行为与宏观渗透率调控
G03	14:40-14:55	涂展春	北京师范大学	牛顿第三定律被随机破缺的系统的物理行为
G04	14:55-15:10	段煜	苏州大学	非互易运动诱导相分离体系的自组织
15:10-16:40		张贴报告		
第二单元，16:40-17:35 主持人：陈亮（宁波大学）				
G05	16:40-17:00	李宝会	南开大学	混致不溶现象的微观起源及其对嵌段共聚物自组装行为的影响
G06	17:00-17:20	王延颀	中国科学院理论物理研究所	智能伊辛模型模拟投票中的相变现象
G07	17:00-17:20	杨恺	苏州大学	多肽细胞界面活性的熵焓调控机制研究
G08	17:20-17:35	孙李真	浙江工业大学	基于纳米孔轨道行走的 DNA 机器人动力学研究
分会场 H：软物质与自组装、活性物质、液体物理（主题 5） 地点：包氏教学楼阶二				
第一单元，14:00-15:10 主持人：石国升（上海大学）				
H01	14:00-14:20	任春来	南京大学	弱相互作用下蛋白质凝聚体形成动力学
H02	14:20-14:40	徐玉赐	宁波大学	单链大分子的构象调控理论
H03	14:40-14:55	李峤	南开大学	Novel Topological Defects Emerging from Competing

Orders under Geometric Frustration				
H04	14:55-15:10	黄德财	南京理工大学	竖直振动圆筒内密度驱动二元颗粒混合与分离相变的研究
15:10-16:40		张贴报告		
第二单元, 16:40-17:55 主持人: 丁泓铭 (苏州大学)				
H05	16:40-17:00	孙兆茹	上海科技大学	机器学习赋能水溶液研究
H06	17:00-17:20	黄盈盈	华东理工大学	水冰的新奇结构与性质
H07	17:20-17:40	汤启云	东南大学	二元溶剂气-液相变中的热力学-动力学耦合研究
H08	17:40-17:55	吴凯	中国科学院大学	Directly simulate crystallization of all-atom water at kinetic limits
分会场 I: 细胞生命系统与生物物理 (主题 6) 地点: 包氏教学楼 1 号楼 103				
第一单元, 14:00-15:10 主持人: 刘红荣 (湖南师范大学)				
I01	14:00-14:20	帅建伟	国科温州研究院	当人工智能与迷你大脑融合: 会打牌的脑类器官智能体
I02	14:20-14:40	李伟	中国科学院生物物理研究所	单分子技术探究组蛋白变体调控核小体的分子机制
I03	14:40-14:55	修鹏	浙江大学工程力学系	Molecular Mechanism of Bending Mechanics of BAR Proteins
I04	14:55-15:10	雷群利	南京大学	Fluidization and anomalous density fluctuations in 2D Voronoi cell tissues with pulsating activity
15:10-16:40		张贴报告		
第二单元, 16:40-17:50 主持人: 帅建伟 (国科温州研究院)				
I05	16:40-17:00	刘红荣	湖南师范大学	噬菌体多状态完整颗粒结构研究
I06	17:00-17:20	陆颖	中国科学院物理研究所	生物小系统中蛋白质非平衡动力学的单分子研究
I07	17:20-17:35	朱亚南	浙江大学物理高等研究院	Mechanisms of protein self-assembly in situ revealed by cryo-electron tomography
I08	17:35-17:50	晏致强	国科温州研究院	Energetic Frustration Dictates Cognate Specificity of Two-Component Signaling System
分会场 J: 细胞生命系统与生物物理 (主题 6) 地点: 包氏教学楼 1 号楼 105				

第一单元，14:00-15:10 主持人：宋晨（北京大学）				
J01	14:00-14:20	汪劲	国科温州研究院	Uncovering underlying physical principles and driving forces of cell cycle and cell differentiation/reprogramming from single-cell transcriptomics
J02	14:20-14:40	张哲东	香港城市大学	Fröhlich Condensation: Graph topology for nonequilibrium properties
J03	14:40-14:55	左光宏	国科温州研究院	WebCVTree4: 基于万株全基因组的原核物种的分类与亲缘关系研究平台
J04	14:55-15:10	赵蕴杰	华中师范大学	基于 AI 驱动的 RNA 分子复杂系统预测研究
15:10-16:40		张贴报告		
第二单元，16:40-18:10 主持人：李伟（中国科学院生物物理研究所）				
J05	16:40-17:00	宋晨	北京大学	电压门控钙离子通道的离子通透及价态选择机制
J06	17:00-17:20	李文飞	南京大学	液-液相分离驱动的乙肝病毒 pgRNA 结构组装与功能动力学
J07	17:20-17:40	刘海广	中关村学院	AI 在生命科学中的应用：从分子到细胞
J08	17:40-17:55	孙运祥	宁波大学	靶向淀粉样蛋白自身聚集与协同聚集机制的诊疗干预新策略
J09	17:55-18:10	李慧玉	上海电力大学	The Physical driving forces of Conformational Transition for TTR with Proline Mutations
分会场 K：生态复杂系统、演化博弈、社会复杂系统（主题 7） 地点：包氏教学楼 2 号楼 101				
第一单元，14:00-15:10 主持人：唐明（华东师范大学）				
K01	14:00-14:20	李有泉	浙江大学/南开大学	Simple Individual Strategy and Complex Collective Behaviors--sturnus flocks demonstrating via UAV group without central guiding
K02	14:20-14:40	曾安	北京师范大学	科学研究中的颠覆式创新
K03	14:40-14:55	刘家臻	清华大学	Coevolving dynamics in complex networks
K04	14:55-15:10	康举	中山大学	Intraspecific predator interference promotes self-

organized biodiversity in ecosystems				
15:10-16:40		张贴报告		
第二单元, 16:40-18:15 主持人: 高见 (香港大学)				
K05	16:40-17:00	唐明	华东师范大学	双层网络中消息扩散-意见形成耦合动力学研究
K06	17:00-17:20	张子柯	浙江大学	Data organization limits the predictability of binary classification
K07	17:20-17:40	李明	合肥工业大学	逾渗与沙堆模型中的自相似动力学
K08	17:40-18:00	史贵元	北京师范大学	双稳态系统临界点的上下界
K09	18:00-18:15	高见	安庆师范大学	具有等级特征的群体运动可能采用树状结构作为其领导架构
分会场 L: 机器学习与人工智能复杂系统 (主题 8) 地点: 包氏教学楼 2 号楼 103				
第一单元, 14:00-15:35 主持人: 张潘 (中国科学院理论物理研究所)				
L01	14:00-14:20	赵鸿	厦门大学	从非线性动力学角度理解深度学习
L02	14:20-14:40	许志钦	上海交通大学	通过凝聚现象研究语言模型的推理与记忆
L03	14:40-15:00	闵斌	临港国家实验室	The Restricted-RNN Modeling Framework
L04	15:00-15:20	陈星强	厦门大学/亿铸智能(苏州)科技有限责任公司	世界模型: 从物理学角度看大模型推理
L05	15:20-15:35	张逸宽	北京大学物理学院	随机梯度下降噪声和损失函数景观的局域 Hessian 之间的幂律关系
15:35-16:40		张贴报告		
第二单元, 16:40-18:00 主持人: 汤迎 (成都电子科技大学)				
L06	16:40-17:00	张潘	中国科学院理论物理研究所	Free Energy Machine: 结合统计物理与机器学习的组合优化新方法
L07	17:00-17:20	吴泰霖	西湖大学	复杂物理系统的生成式统一框架: 模拟、控制、逆问题与设计的集成
L08	17:20-17:40	斯白露	北京师范大学	第一性原理驱动的认知计算模型

L09	17:40-18:00	刘文渊	浙江大学	张量网络函数：严格变分性、 体积律物理与神经网络的高效 表征

郝柏林讲坛和大会报告（7月31日上午）

主会场				
地点：林杏琴会堂、包氏教学楼阶一和阶二（投屏）				
郝柏林讲坛，08:30-09:05				
主持人：楼森岳（宁波大学）				
第二讲	08:30-09:05 (28'+7')	吴令安	中国科学院 物理研究所	“鬼”成像：从天文到显微
大会报告第三章，09:05-10:14				
主持人：徐莉梅（北京大学）				
大会报告 06	09:05-09:28 (18'+5')	李艳伟	北京理工大学	玻璃化与结晶/熔化转变中的 结构与动力学
大会报告 07	09:28-09:51 (18'+5')	傅雄飞	中科院合成 生物所	生物斑图的定量合成生物学研 究
大会报告 08	09:51-10:14 (18'+5')	陈理	陕西师范大 学	强化学习范式下的演化博弈动 力学
10:14-10:45		茶歇与讨论		
郝柏林讲坛，10:45-11:20				
主持人：马余强（南京大学）				
第三讲	10:45-11:20 (28'+7')	冯建峰	复旦大学	Stochastic dynamics in the brain
大会报告第四章，11:20-12:30				
主持人：汪劲（国科温州研究院）				
大会报告 09	11:20-11:43 (18'+5')	施夏清	苏州大学	活性物质晶体、液晶及其非平 衡序的“熔化”
大会报告 10	11:43-12:06 (18'+5')	陈杰	同济大学	低维系统中声子输运和热传导
大会报告 11	12:06-12:29 (18'+5')	樊京芳	北京师范大 学	复杂系统相变临界现象理论与 应用

注：因参会人数超出林杏琴会堂容量，增设包氏教学楼阶一和阶二同步投屏大会报告。

分会报告（7月31日下午）

分会场 A: 平衡态系统与远离平衡态系统: 理论与计算模拟方法 (主题 1) 地点: 包氏教学楼阶三				
第一单元, 14:00-15:40				
主持人: 陈晓松 (浙江大学/北京师范大学)				
A11	14:00-14:20	董辉	中物院研究生院	热力学长度以及实验进展
A12	14:20-14:40	贺达海	厦门大学物理学系	量子比特重置的最优能耗
A13	14:40-14:55	李耿	北京师范大学	活性物质的热力学几何控制
A14	14:55-15:10	张逸宽	北京大学物理学院	生化反应网络中最优控制的几何
A15	15:10-15:25	黄志福	华侨大学	全局相互作用复杂系统的联合概率分布函数
A16	15:25-15:40	赵秀花	北京师范大学	通过拓展等温捷径方案对基于棘轮势的粒子分离进行工程化设计
15:40-16:10		茶歇与讨论		
第二单元, 16:10-17:50				
主持人: 管习文 (中国科学院精密测量科学与与技术创新研究院/Rice University)				
A17	16:10-16:30	吴威	兰州大学	Generalized Quantum Fluctuation Theorem for Energy Exchange
A18	16:30-16:50	刘铄	清华大学	Symmetry restoration and quantum Mpemba effects in chaotic and localization systems
A19	16:50-17:05	罗荣祥	福州大学物理系	介观经典流体模型中的热传导行为
A20	17:05-17:20	管绍华	国防科技创新研究院	矩阵方法构造非平衡统计系统综理论
A21	17:20-17:35	肖铁军	贵州师范学院	基于原始模型的电解质溶液表面张力解析理论
A22	17:35-17:50	厉华明	太原理工大学	液态金属高压热力学行为研究: 新的线性规则与状态方程构建
分会场 B: 平衡态系统与远离平衡态系统: 理论与计算模拟方法 (主题 1) 地点: 包氏教学楼阶四				
第一单元, 14:00-15:40				
主持人: 吕建平 (安徽师范大学)				
B11	14:00-14:20	孙鑫	北京大学北京国际数学研究中心	刘维尔量子引力在二维渗流模型中的应用
B12	14:20-14:40	方胜	北京师范大学系统科学学院	Geometric Upper Critical Dimensions of the Ising Model

B13	14:40-14:55	邓盛锋	陕西师范大学	Critical behavior of the SIR model with mobility and disorder
B14	14:55-15:10	王旭东	南京理工大学	Ergodic property of random diffusivity models
B15	15:10-15:25	石雷	西安科技大学	Pseudo Transitions in the Finite-Size Blume-Capel Model
B16	15:25-15:40	雷慧霞	北京师范大学	体心立方晶体成核过程中的结构演化路径
15:40-16:10		茶歇与讨论		
第二单元, 16:10-17:50 主持人: 汤雷翰 (西湖大学)				
B17	16:10-16:30	阴帅	中山大学	狄拉克费米子系统的驱动临界动力学及其应用
B18	16:30-16:50	向雅心	南京大学	开放亚稳量子系统的切换动力学
B19	16:50-17:05	胡皓	安徽大学	各向异性补丁相互作用导致多重相变
B20	17:05-17:20	程鸾	华南师范大学	边界效应与自相似结构对 QGP-强子相变的影响
B21	17:20-17:35	李福祥	湖南大学	非平衡拓扑量子体系中的普适行为
B22	17:35-17:50	余镇浩	浙江大学物理学院	Activation-to-collision crossover governs the dynamical behavior of supercritical fluids
分会场 C: 量子流体、量子相变、量子热力学、量子混沌 (主题 2) 地点: 包氏教学楼 4 号楼 101				
第一单元, 14:00-15:40 主持人: 郭文安 (北京师范大学物理与天文学院)				
C09	14:00-14:20	郑波	云南大学	磁性斯格明子 in 环境相互作用下的非平衡动力学和相变
C10	14:20-14:40	严正	西湖大学	Sampling fine-level entanglement spectrum and probing the emergent symmetries of critical points
C11	14:40-15:00	邵慧	北京师范大学	随机铁磁——反铁磁耦合 $S=1/2$ 海森堡链的基态性质
C12	15:00-15:20	余雪佳	福州大学	Topological Physics in Quantum Critical Systems
C13	15:20-15:40	余金龙	海南大学	动力学霍尔响应的解析研究
15:40-16:10		茶歇与讨论		
第二单元, 16:10-17:50 主持人: 王文阁 (中国科学技术大学)				
C14	16:10-16:30	吴飙	北京大学	Quantum KAM Conjecture

C15	16:30-16:50	田矗舜	中国科学院理论物理研究所	A crash of quantum chaos with supersymmetry and superstring
C16	16:50-17:10	黄亮	兰州大学	The Correspondence Principle, Ergodicity, and Finite-Time Dynamics
C17	17:10-17:30	王成震	兰州大学	波混沌系统中的非线性效应及其逆向设计
C18	17:30-17:45	王晓	中国科学技术大学	ETH 非对角元函数的半经典描述
分会场 D: 非线性科学、动力学系统、复杂时空结构（主题 3） 地点：包氏教学楼 4 号楼 103				
第一单元，14:00-15:25 主持人：占萌（华中科技大学）				
D09	14:00-14:20	刘宗华	华东师范大学	大脑功能的物理机制研究
D10	14:20-14:40	李云云	同济大学	Large-scale dynamics in visual quorum sensing chiral suspensions
D11	14:40-14:55	蒋思杨	武汉大学数学与统计学院	网络交互对集体动力学的影响
D12	14:55-15:10	胡义鹏	华中师范大学	从高阶到超阶：复杂网络中多尺度相互作用对同步与双稳态的影响
D13	15:10-15:25	李炳伟	杭州师范大学	反应扩散系统中自组织靶波奇美拉态的涌现
15:25-16:00		茶歇与讨论		
第二单元，16:00-17:40 主持人：刘宗华（华东师范大学）				
D14	16:00-16:20	占萌	华中科技大学	新能源并网系统统一模型与暂态同步稳定统一分析
D15	16:20-16:40	熊大兴	闽江学院，闽江理论物理协作中心	Thermal transport in one-dimensional long-range interacting Fermi-Pasta-Ulam-Tsingou-type models and the relevant nonlinear dynamics
D16	16:40-16:55	王海英	上海理工大学	Susceptible-infected-recovered-susceptible processes competing on simplicial complexes
D17	16:55-17:10	郑春明	云南大学	可激发随机相振子的相干性与耗散之间的权衡
D18	17:10-17:25	冯霞	西安石油大学	超声刺激机械敏感离子通道激发高频靶波驱赶心脏螺旋波
分会场 E: 非线性科学、动力学系统、复杂时空结构（主题 3） 地点：包氏教学楼 4 号楼 105				

第一单元, 14:00-15:25				
主持人: 曾春华 (昆明理工大学)				
E09	14:00-14:20	姚成贵	嘉兴大学	The dynamical mechanism for the sleep
E10	14:20-14:40	纪鹏	复旦大学	Inferring the functional connectivity from signal propagation in complex networks
E11	14:40-14:55	陈汝印	温州医科大学	Spatiotemporal characteristics of short-term monocular deprivation effect based on EEG
E12	14:55-15:10	王降圣	同济大学	自适应反馈对广义振子模型中集体动力学的影响
E13	15:10-15:25	梁晓明	江苏师范大学	单向耦合双稳态系统环中持续振荡研究
15:25-16:00		茶歇与讨论		
第二单元, 16:00-17:25				
主持人: 纪鹏 (复旦大学)				
E14	16:00-16:20	张永文	昆明理工大学	平流层爆发性增温的临界性和可预测性
E15	16:20-16:40	徐克生	江苏大学	Short-term plasticity promotes synchronization of coupled chaotic oscillators in excitatory-inhibitory networks
E16	16:40-16:55	Jack Murdoh Moore	同济大学	Network Spreading from Network Dimension
E17	16:55-17:10	霍思宇	西安交通大学	星型网络中外部信号诱导的遥同步研究
E18	17:10-17:25	樊华伟	西安邮电大学	Multistability Phenomena in Nonlinear Physical Systems
分会场 F: 玻璃态系统、自旋玻璃及其他随机阻挫系统 (主题 4)				
地点: 包氏教学楼 1 号楼 101				
第一单元, 14:00-15:40				
主持人: 谭鹏 (复旦大学)				
F09	14:00-14:20	徐宁	中国科学技术大学	稳定键及其在非晶固体中的作用
F10	14:20-14:40	童华	中国科学技术大学	Perfect glasses: A new class of ordered states without symmetry breaking
F11	14:40-15:00	王利近	安徽大学	玻璃低频振动特性研究
F12	15:00-15:20	周迪	北京理工大学	三维软物质拓扑力学材料

F13	15:20-15:40	张会军	西安交通大学	Crossover of solid-to-liquid clustering reveals the origin of glass transition
15:40-16:10		茶歇与讨论		
第二单元，16:10-17:40 主持人：徐宁（中国科学技术大学）				
F14	16:10-16:30	谭鹏	复旦大学	Disentangling hierarchical relaxations in glass formers via dynamic eigenmodes
F15	16:30-16:50	马晓光	南方科技大学	胶体团簇的热力学与拉伸力学
F16	16:50-17:10	夏成杰	华东师范大学	球形颗粒堆积的“停车位”模型
F17	17:10-17:25	张玄	浙江大学化学系	Epitaxy-mediated transformation to ice VI and XII from unreported ices
F18	17:25-17:40	李斌	中国科学院理论物理所	玻璃系统中的普适老化和弱各态历经破缺
分会场 G：软物质与自组装、活性物质、液体物理（主题 5） 地点：包氏教学楼阶一				
第一单元，14:00-15:25 主持人：张何朋（上海交通大学）				
G09	14:00-14:20	侯中怀	中国科学技术大学	生物相分离非平衡动力学与功能机制的理论研究
G10	14:20-14:40	孟凡龙	中国科学院理论物理研究所	类玻璃化弹性体的蠕变屈服理论
G11	14:40-14:55	吴宥仲	西安交通大学物理学院	基于邻居数定义状态数的格子系统构型熵及其应用
G12	14:55-15:10	朱昌良	南方科技大学	物理机制与人工智能算法协同演进研究——以非晶网络泊松比调控为例
G13	15:10-15:25	黄雨婕	上海大学	异质冰成核中界面水的结构有序性的调控作用——来自分子动力学模拟的原子级洞察
15:25-16:10		茶歇与讨论		
第二单元，16:10-17:20 主持人：吴晨旭（厦门大学）				
G14	16:10-16:30	张何朋	上海交通大学	Chiral Active Matter
G15	16:30-16:50	Shigeyu ki Komura	国科温州研究院	Information Swimmers
G16	16:50-17:05	祁楷	中国科学院上海微系统与信息技术研究所	粘弹性溶液中的微纳马达集群是更为有序还是更混乱？

G17	17:05-17:20	郑铭媛	香港科技大学 (广州)	活性玻璃在临界条件的囚禁效 应与涨落特征
分会场 H: 软物质与自组装、活性物质、液体物理（主题 5） 地点：包氏教学楼阶二				
第一单元，14:00-15:25 主持人：满兴坤（北京航空航天大学）				
H09	14:00-14:20	石国升	上海大学	界面离子效应诱导的反常结晶 及其相关应用
H10	14:20-14:40	丁泓铭	苏州大学	生物大分子界面作用及相分离 研究
H11	14:40-14:55	郭盼	上海大学	界面水的分子功能性与调控
H12	14:55-15:10	杨金荣	华东师范大学	界面水的反常反应活性
H13	15:10-15:25	黄刚	成都理工大学	水界面有多厚？
15:25-16:10		茶歇与讨论		
第二单元，16:10-17:20 主持人：任春来（南京大学）				
H14	16:10-16:30	满兴坤	北京航空航天大学 学	玻璃态高分子溶胀动力学研究
H15	16:30-16:50	万端端	武汉大学	Self-propelled particles undergoing cyclic transitions
H16	16:50-17:05	李斌	中山大学	非活性与活性粒子在交联网络 中的扩散机制
H17	17:05-17:20	陈梦瑶	中国科学院深圳 先进技术研究院	流体超构材料驱动的非侵入流 场调控新范式
分会场 I: 细胞生命系统与生物物理（主题 6） 地点：包氏教学楼 1 号楼 103				
第一单元，14:00-15:45 主持人：曹远胜（清华大学）				
I09	14:00-14:20	李春贺	复旦大学	Revealing principles of cell fate decision: Landscape control and applications
I10	14:20-14:40	王欣	中山大学	瓦博格效应的理论原理研究
I11	14:40-15:00	林杰	北京大学	Universal Laws of Gene Expression
I12	15:00-15:15	罗亮	华中农业大学	Non-Kramers State Transitions in a Synthetic Toggle Switch Biosystem
I13	15:15-15:30	张东良	Max Planck Institute for the Physics of Complex Systems	An altruistic resource-sharing mechanism for molecular synchronization: The energy- speed-accuracy tradeoff

I14	15:30-15:45	吉文成	Weizmann Institute of Science	Design principles of transcription factors with intrinsically disordered regions
15:45-16:00		茶歇与讨论		
第二单元，16:00-17:25 主持人：傅雄飞（中科院合成生物所）				
I15	16:00-16:20	曹远胜	清华大学	Dynamic condensate formation enhances circadian clock robustness
I16	16:20-16:40	李雪飞	中国科学院深圳 先进技术研究院	细菌治疗肿瘤的定量合成生物 学研究
I17	16:40-16:55	白阳	中国科学院深圳 先进技术研究院	细菌细胞周期的随机动力学过 程
I18	16:55-17:10	姚玉祥	西湖大学	Role of frustrations in cell reprogramming
I19	17:10-17:25	周运	复旦大学物理学 系	Delineating the mechanism of phosphorylation sites in different functional domains affects the conformation and phase behavior of α -Synuclein
分会场 J：细胞生命系统与生物物理（主题 6） 地点：包氏教学楼 1 号楼 105				
第一单元，14:00-15:45 主持人：刘艳辉（贵州大学）				
J10	14:00-14:20	谭志杰	武汉大学	溶液环境对 RNA 螺旋结构柔 性影响的研究
J11	14:20-14:40	楚夏昆	香港科技大学 （广州）	染色质动力学与转录因子凝聚 共同调控增强子-启动子相互作 用
J12	14:40-15:00	彭云辉	华中师范大学	核小体动力学性质和相互作用的 计算研究
J13	15:00-15:15	时亚洲	武汉纺织大学	基于深度突变扫描与迁移率筛 选的 RNA 三级结构推断
J14	15:15-15:30	王珍	西安文理学院	Effects of dangling ends on the thermodynamic parameters and kinetics property the terminal of RNA duplex
J15	15:30-15:45	曾红丽	南京邮电大学	时间演化信息在基因序列数据 分析中的作用研究
15:45-16:00		茶歇与讨论		
第二单元，16:00-17:25 主持人：谭志杰（武汉大学）				

J16	16:00-16:20	刘艳辉	贵州大学	扭结扩散机制及复合结贯穿动力学研究
J17	16:20-16:40	马锐	厦门大学	Gaussian curvature-guided pattern formation of active fluids on curved surfaces
J18	16:40-16:55	李峤	南开大学	纳米孔生物单分子检测和单分子力学的理论模拟
J19	16:55-17:10	高翔	陕西师范大学	心肌细胞机械传导建模和在干细胞疗法与超声除颤中的前瞻应用
J20	17:10-17:25	潘瞳	复旦大学物理学系	Tau 蛋白 PHF6 片段末端修饰调控其纤维与膜相互作用的分子机制
分会场 K: 生态复杂系统、演化博弈、社会复杂系统（主题 7） 地点：包氏教学楼 2 号楼 101				
第一单元，14:00-15:40 主持人：梅文俊（北京大学）				
K10	14:00-14:20	胡延庆	南方科技大学	复杂网络上的导航
K11	14:20-14:40	高见	香港大学	Understanding the Science Behind Medicines
K12	14:40-15:00	田亮	香港浸会大学	An Interpretable AI framework Quantifying Traditional Chinese Medicine Principles Towards Enhancing and Integrating with Modern Biomedicine
K13	15:00-15:20	蒋俊杰	西安交通大学	通用自适应全脑动力学预测方法：在脑疾病中的应用及展望
K14	15:20-15:40	Carlo Vittorio Cannistraci	Tsinghua University	Brain network science modelling of sparse neural networks enables Transformers and LLMs to perform as fully connected
15:40-16:10		茶歇与讨论		
第二单元，16:10-17:35 主持人：孟君（中国科学院大气物理研究所）				
K15	16:10-16:30	梅文俊	北京大学	时间序列中的机制性因果发现：行为系统方法
K16	16:30-16:50	孟君	中国科学院大气物理研究所	厄尔尼诺预测中的复杂系统理论与方法
K17	16:50-17:05	王重阳	电子科技大学长三角研究院（湖州）	Cluster synchronization on sparse simplicial complexes with higher-order repulsive coupling

K18	17:05-17:20	陈婷婷	浙江财经大学	Analyst network centrality, forecast accuracy, and persistent influence
K19	17:20-17:35	夏敏	华中师范大学	Decoding cross-cultural textbook networks: structural patterns, formation mechanisms, and predictive insights using a topology-cognition framework
分会场 L: 机器学习与人工智能复杂系统（主题 8） 地点：包氏教学楼 2 号楼 103				
第一单元，14:00-15:50 主持人：杨宁（北京大学成都前沿交叉生物技术研究院）				
L10	14:00-14:20	高泽峰	中国人民大学	AI 驱动的材料结构智能设计
L11	14:20-14:40	陈锟	中国科学院理论物理研究所	Deepseek 时刻背后的新奇物理
L12	14:40-15:00	何源	中国科学院近代物理研究所	加速器智能化控制
L13	15:00-15:20	李致朋	西北工业大学	系统科学赋能的智能跃迁：风光-储氢-RSOC 复杂适应系统的发展及应用
L14	15:20-15:35	沈翔瀛	中山大学	Disentangling Contributions to Auxeticity in Amorphous Networks via Interpretable AI
L15	15:35-15:50	唐宾泽	北京大学物理学院	机器学习与原子力显微镜结合的表面水结构研究
15:50-16:10 茶歇与讨论				
第二单元，16:10-17:45 主持人：陈锟（中国科学院理论物理研究所）				
L16	16:10-16:30	敖平	四川大学	如何在一般动力学过程中构建能量函数 - 是的，它存在
L17	16:30-16:50	杨宁	北京大学成都前沿交叉生物技术研究院	Stochastic Gradient Descent Drives Escape from Sharper Valleys During Early Transient Dynamics
L18	16:50-17:10	张昕亚	西湖大学	Heavy-tailed update arises from information-driven self-organization in non-equilibrium learning
L19	17:10-17:30	黄旭辉	太原理工大学电子信息工程学院	脑启发的神经网络快速连续学习方法研究
L20	17:30-17:45	Chen Cheng	University of Lorraine	Strings Attached: Commitor-Guided Discovery of Transition Pathways

郝柏林讲坛和大会报告（8月1日上午）

主会场				
地点：林杏琴会堂、包氏教学楼阶一和阶二（投屏）				
郝柏林讲坛，08:30-09:05				
主持人：郑伟谋（中国科学院理论物理所）				
第四讲	08:30-09:05 (28'+7')	欧阳颀	浙江大学/ 北京大学	The thermodynamic and dynamic properties of Kai system oscillator
大会报告第五章，09:05-10:14				
主持人：郑波（云南大学）				
大会报 告 12	09:05-09:28 (18'+5')	任捷	同济大学	非平衡热力学几何：从量子器 件到人工智能
大会报 告 13	09:28-09:51 (18'+5')	李敬源	浙江大学	非平衡生物大分子系统中的关 联行为
大会报 告 14	09:51-10:14 (18'+5')	武振伟	北京师范 大学	无序体系拓扑结构与物性
10:14-10:45 茶歇与讨论				
大会报告第六章，10:45-11:54				
主持人：汤雷翰（西湖大学）				
大会报 告 15	10:45-11:08 (18'+5')	陈雷鸣	中国矿业 大学	二维手性马尔萨斯活性群体动 力学
大会报 告 16	11:08-11:31 (18'+5')	曾春华	昆明理工 大学	Early warning signals for critical transitions in data- driven complex systems
大会报 告 17	11:31-11:54 (18'+5')	汤迎	成都电子 科技大学	Machine learning and stochastic physics
颁奖、回顾、展望，11:54-12:30				
主持人：赵鸿（厦门大学）				
11:54-12:10		最佳张贴报告奖		
12:10-12:20		会议统计数据与综述		
12:20-12:30		第九届会议承办单位介绍		

注：因参会人数超出林杏琴会堂容量，增设包氏教学楼阶一和阶二同步投屏大会报告。

分会报告（8月1日下午）

分会场 A: 平衡态系统与远离平衡态系统: 理论与计算模拟方法 (主题 1)				
地点: 包氏教学楼阶三				
第一单元, 14:00-15:10				
主持人: 徐留芳 (吉林大学)				
A23	14:00-14:20	苗兵	中国科学院大学	非平衡稳态的卡西米尔力
A24	14:20-14:40	马宇翰	北京师范大学物理与天文学院	动力学滞回的有限时间与有限尺寸标度
A25	14:40-14:55	李圣文	北京理工大学	宏观不可逆问题与关联信息熵增
A26	14:55-15:10	王鹏	宁夏大学	Entropy production of active Brownian particles in a rough potential field: An exact solution
15:10-15:30 茶歇与讨论				
第二单元, 15:30-16:40				
主持人: 苗兵 (中国科学院大学)				
A27	15:30-15:50	吕建平	安徽师范大学	准二维 XY 模型: 从临界相到有序相
A28	15:50-16:10	张万舟	太原理工大学	Tensor network Monte Carlo simulations for the two-dimensional random-bond Ising model
A29	16:10-16:25	郭伟	昆明学院	Collective behavior based on topological vision
A30	16:25-16:40	乔崇智	北京师范大学, 系统科学学院	基于本征微观态方法的临界弛豫动力学研究
16:40-17:00 茶歇与讨论				
第三单元, 17:00-18:10				
主持人: 贺达海 (厦门大学)				
A31	17:00-17:20	全海涛	北京大学	Promoting Fluctuation Theorems into Covariant Forms
A32	17:20-17:40	王骞	浙江师范大学	Excited-state quantum phase transitions and the entropy of the work distribution
A33	17:40-17:55	张堃	西北大学	Quantum fluctuation theorem of many-body coherence and correlation
分会场 B: 平衡态系统与远离平衡态系统: 理论与计算模拟方法 (主题 1)				
地点: 包氏教学楼阶四				

第一单元, 14:00-15:10				
主持人: 董辉 (中物院研究生院)				
B23	14:00-14:20	邹海源	华东师范大学	量子临界、多体疤痕和拓扑零模的热场动力学与 Fisher 零点研究
B24	14:20-14:40	董小玉	合肥国家实验室	二维拓扑序系统的纯边界相变
B25	14:40-14:55	李旭	昆明理工大学	受迫振动中的微观锁定现象
B26	14:55-15:10	石霆章	北京大学	运动平衡态有质量场能谱密度的洛伦兹变换
15:10-15:30		茶歇与讨论		
第二单元, 15:30-16:40 主持人: 阴帅 (中山大学)				
B27	15:30-15:50	杨志成	北京大学	Hydrodynamic modes in kinetically constrained long-range interacting models
B28	15:50-16:10	刘卯鑫	北京师范大学系统科学学院	Phase transition revealed by eigen microstate entropy
B29	16:10-16:25	万端端	武汉大学	Topological spin domain encoding via exceptional-point-like criticality in magnetic systems
B30	16:25-16:40	包睿成	东京大学	通过暂时耦合来加速开放量子系统的弛豫: 一个普适观点
16:40-17:00		茶歇与讨论		
第三单元, 17:00-17:55				
主持人: 卢至悦 (UNC Chapel Hill)				
B31	17:00-17:20	汤雷翰	西湖大学	Domain-wall statistics and weak first order transition in the two-dimensional random bond Ising model
B32	17:20-17:40	钟凡	中山大学	Complete Universal Scaling in First-Order Phase Transitions
B33	17:40-17:55	顾加银	南京师范大学	Upper Bounded Current Fluctuation in One-Dimensional Driven Transport Systems
分会场 C: 量子流体、量子相变、量子热力学、量子混沌 (主题 2)				
地点: 包氏教学楼 4 号楼 101				
第一单元, 14:00-15:15				
主持人: 吴建达 (上海交通大学)				
C19	14:00-14:20	于小泉	中国工程物理研究院研究生院	Ferrodark solitons in trapped superfluids: spin corrections

				and emergent quadratic and quartic potentials
C20	14:20-14:40	刘鑫	北京工业大学	量子涡旋纽结复杂系统的拓扑级联演化
C21	14:40-15:00	刘冲	西北大学	Vector breathers excited by single component modulation
C22	15:00-15:15	刘宁	安庆师范大学数理学院	自引力量子流体中的法拉第波
15:15-15:30		茶歇与讨论		
第二单元, 15:30-16:45				
主持人: 于小泉 (中国工程物理研究院研究生院)				
C23	15:30-15:50	吴建达	上海交通大学	Spin dynamics and dark particles in a weak-coupled quantum Ising ladder with $D_8^{(1)}$ spectrum
C24	15:50-16:10	豆福全	西北师范大学	腔-自旋链量子电池及其强化学习性能优化
C25	16:10-16:30	盛继腾	华东师范大学	腔光力学时钟同步热力学与暗模破坏冷却
C26	16:30-16:45	白正阳	南京大学	Non-stationary quantum many-body dynamics in Rydberg ensemble
16:45-17:00		茶歇与讨论		
第三单元, 17:00-17:45				
主持人: 吕京涛 (华中科技大学)				
C27	17:00-17:15	周能吉	杭州师范大学	各向异性自旋玻色模型中量子相变数值研究
C28	17:15-17:30	查大宝	南京师范大学	高压下氩的热导率: 相变以及非静水压效应的影响
C29	17:30-17:45	陈荣坤	云南大学	揭示单层 CrOCl 中磁无序在声子输运中的作用
分会场 D: 非线性科学、动力学系统、复杂时空结构 (主题 3)				
地点: 包氏教学楼 4 号楼 103				
第一单元, 14:00-15:10				
主持人: 徐克生 (江苏大学)				
D19	14:00-14:20	郑木华	江苏大学	Network Structure Shapes Information Communication Dynamics in Human Connectomes
D20	14:20-14:40	兰岳恒	北京邮电大学	重要动力学轨道的重整化群计算

D21	14:40-14:55	余东	长江大学	脑神经网络中结构-功能相互作用研究
D22	14:55-15:10	杜瑶	陕西师范大学	Multifunctional reservoir computing
15:10-15:30		茶歇与讨论		
第二单元, 15:30-16:40 主持人: 张朝阳 (宁波大学)				
D23	15:30-15:50	俞连春	兰州大学	Optimal Griffiths Phase in Human Brain Networks: A Revised Framework for Brain Criticality with Regional Heterogeneity
D24	15:50-16:10	邝华	广西师范大学	救援行为的人群疏散动力学建模及其复杂特性研究
D25	16:10-16:25	袁五届	淮北师范大学	化学突触归一化耦合的复杂神经网络的动力学同步
D26	16:25-16:40	刘聪	河北师范大学	淬火无序引发的混沌共振式最优弱信号响应研究
16:40-17:00		茶歇与讨论		
第三单元, 17:00-17:50 主持人: 俞连春 (兰州大学)				
D27	17:00-17:20	张朝阳	宁波大学	Bistable conduction and bistable spiral wave dynamics in electrically excitable media
D28	17:20-17:35	唐晨宇	University of Lorraine	生成式模型在构象转变过渡路径搜索中的应用
D29	17:35-17:50	张齐	江苏科技大学	Local entropy and nonextensivity of networks ensemble
分会场 E: 量子流体、量子相变、量子热力学、量子混沌 (主题 2) 地点: 包氏教学楼 4 号楼 105				
第一单元, 14:00-15:05 主持人: 王成震 (兰州大学)				
E19	14:00-14:20	董高高	江苏大学数学科学学院	Unveiling the importance of nonshortest paths in quantum networks
E20	14:20-14:35	丁成祥	安徽工业大学	Quench dynamics of an open quantum system
E21	14:35-14:50	张晓东	兰州大学	可积系统与混合可积系统时间反演对称性破缺的研究
E22	14:50-15:05	张瑞杰	兰州大学	在束缚狄拉克系统的微波实现中观测到克莱因隧穿导致的的粒子-空穴杂化现象

15:05-15:30		茶歇与讨论		
第二单元, 15:30-16:35 主持人: 苏山河 (厦门大学)				
E23	15:30-15:50	方萍	北京邮电大学	时间反演对称性调控量子混沌的普适动力学
E24	15:50-16:05	曹毅	中国工程物理研究院研究生院	Caustics in a Near-Resonance Quantum Kicked Rotor
E25	16:05-16:20	符浩	蚌埠学院	发散级数的“和”与长程 Kitaev 链的量子相变的关系
E26	16:20-16:35	刘泽楠	西湖大学物理系	Disorder operator and surface quantum criticality
16:35-17:00		茶歇与讨论		
第三单元, 17:00-17:45 主持人: 方萍 (北京邮电大学)				
E27	17:00-17:15	苏山河	厦门大学	Efficiency bounds for bipartite information-thermodynamic systems
E28	17:15-17:30	陆金成	苏州科技大学	Quantum Coherence, Geometric Effects, and Floquet Engineering in Periodically Driven Inelastic Heat Engines
E29	17:30-17:45	邱海波	西安邮电大学	Hysteresis loops in spinor Bose-Einstein condensates subject to synthetic gauge fields
分会场 F: 玻璃态系统、自旋玻璃及其他随机阻挫系统 (主题 4) 地点: 包氏教学楼 1 号楼 101				
第一单元, 14:00-15:15 主持人: 汪文龙 (四川大学)				
F19	14:00-14:20	崔冰宇	香港中文大学 (深圳)	Sound attenuation in quenched disordered solids
F20	14:20-14:40	尚宝双	松山湖材料实验室	非晶势能面的形貌与特征: 从弛豫到变形
F21	14:40-15:00	潘登	中国科学院理论物理研究所	Jamming criticality governs a biopolymer-like strong shear stiffening in soft granular composite
F22	15:00-15:15	陈烨嘉	中国科学院理论物理研究所	扩展 Ding-Zhuang 方法在无序晶格系统中的应用
15:15-15:30		茶歇与讨论		
第二单元, 15:30-17:00 主持人: 崔冰宇 (香港中文大学 (深圳))				

F23	15:30-15:50	王天宇	复旦大学	Statistical Analysis of Three-Spin Interaction in the Sherrington-Kirkpatrick Model in the High Temperature Regim
F24	15:50-16:10	汪文龙	四川大学物理学院	Temperature chaos may emerge many thermodynamic states in spin glasses
F25	16:10-16:30	黎勃	哈尔滨工业大学（深圳）	自旋玻璃、动态消息传递方法和渗流
F26	16:30-16:45	Luciano Hugo Miranda Filho	ITP CAS	Simulations of the Gardner transition in structural glasses using parallel tempering
F27	16:45-17:00	樊欣祎	中国科学院理论物理研究所	Planted vertex cover problem on regular random graphs and nonmonotonic temperature-dependence in the supercooled region
分会场 G: 软物质与自组装、活性物质、液体物理（主题 5） 地点：包氏教学楼阶一 第一单元，14:00-15:10 主持人：袁军华（中国科学技术大学）				
G18	14:00-14:20	韦齐和	南方科技大学	两维活液晶系统的湍流
G19	14:20-14:40	韩一龙	香港科技大学	胶体晶体中的界面运动与熔化
G20	14:40-14:55	赵永峰	苏州大学	活性粒子的逃逸问题
G21	14:55-15:10	李梦源	北京理工大学	活性上皮单层弛豫与异质环境活性粒子扩散的微观机制
15:10-15:30 茶歇与讨论				
第二单元，15:30-16:45 主持人：王延颢（中国科学院理论物理研究所）				
G22	15:30-15:50	袁军华	中国科学技术大学	Bacterial swimming motility near solid surfaces
G23	15:50-16:10	杨明成	中国科学院物理研究所	Surface Tension Between Coexisting Phases of Active Brownian Particles
G24	16:10-16:30	经光银	西北大学	Flowing Nematic Order Regulates orientation dynamics of swimming bacteria
G25	16:30-16:45	王庭	云南大学	手性活性颗子的非平衡动力学
16:45-17:00 茶歇与讨论				

第三单元, 17:00-17:40 主持人: 涂展春 (北京师范大学)				
G26	17:00-17:20	雷群利	南京大学	Anomalous Gas-Liquid Criticality in Hyperuniform Spinner Fluids
G27	17:20-17:40	徐浩然	浙江大学物理高等研究院	Emergent Order in Living Active Matter
分会场 H: 生态复杂系统、演化博弈、社会复杂系统 (主题 7) 地点: 包氏教学楼阶二				
第一单元, 14:00-15:10 主持人: 樊京芳 (北京师范大学)				
H18	14:00-14:20	董高高	江苏大学数学科学学院	Self-Liking Group in Networks With Multi-Class Nodes
H19	14:20-14:40	孔宜修	北京邮电大学	基于经济复杂性的贸易进口对经济增长的建模研究
H20	14:40-14:55	张晓奇	河南理工大学	Knowledge-based multiplex network representation and sub-structure detection for production network: An application to multi-regional input-output data
H21	14:55-15:10	崔晓华	北京师范大学	基于实证数据的兴趣转移行为分析及建模
15:10-15:30 茶歇与讨论				
分会场 I: 细胞生命系统与生物物理 (主题 6) 地点: 包氏教学楼 1 号楼 103				
第一单元, 14:00-15:10 主持人: 李辉 (北京师范大学)				
I20	14:00-14:20	杨一帆	西湖大学	生物衰老的动力学模型以及应用
I21	14:20-14:40	王维康	中国科学院理论物理研究所	Sloppiness and least action in cell state transition
I22	14:40-14:55	真庄铖	北京大学物理学院	磷酸化依赖的 ATP 酶活性调节蓝藻生物钟蛋白的单体洗牌动力学
I23	14:55-15:10	张潇逸	北京大学	Constructing a holistic map of cell fate decision by hyper solution landscape
15:10-15:30 茶歇与讨论				
第二单元, 15:30-16:40 主持人: 喻进 (美国加州大学尔湾分校)				
I24	15:30-15:50	王璟	国科温州研究院	新型机器人物质系统及其自组织与无序超均匀特性

I25	15:50-16:10	刘曦	香港科技大学	Renormalization-Inspired Effective Field Neural Networks for Scalable Modeling of Classical and Quantum Many-Body Systems
I26	16:10-16:25	罗程杰	德国马克斯·普朗克动力学与自组织研究所（MPI-DS）	电荷不对称性调控液滴尺寸
I27	16:25-16:40	唐一鸣	复旦大学	α 突触核蛋白液液相分离微观物理机制的多尺度模拟研究
16:40-17:00		茶歇与讨论		
第三单元，17:00-17:50				
主持人：王维康（中国科学院理论物理研究所）				
I28	17:00-17:20	李辉	北京师范大学	细胞复杂系统的多尺度非平衡输运及调控
I29	17:20-17:35	刘钰莹	复旦大学	P1 片段的缺失对 α -Synuclein 单体构象与聚集倾向的影响
I30	17:35-17:50	杨中元	复旦大学	E46K mutation exacerbates α -synuclein LLPS and LSPT via CTD-driven electrostatic and β 6-mediated hydrophobic interactions
分会场 J：细胞生命系统与生物物理（主题 6）				
地点：包氏教学楼 1 号楼 105				
第一单元，14:00-15:10				
主持人：林杰（北京大学）				
J21	14:00-14:20	喻进	美国加州大学尔湾分校	Protein Readout and Mechanics on DNA via Physical Computing & Data Learning
J22	14:20-14:40	乐世敏	厦门大学	巨型 Nesprin-2 蛋白力学响应的单分子研究
J23	14:40-14:55	刘浩泉	华中师范大学	基于复杂网络与深度学习的 RNA 复合物相互作用研究
J24	14:55-15:10	张泽成	香港浸会大学	Universal scaling laws linking protein folding and native dynamics revealed by AlphaFold Database
15:10-15:30		茶歇与讨论		
分会场 J：玻璃态系统、自旋玻璃及其他随机阻挫系统（主题 4）				
地点：包氏教学楼 1 号楼 105				
第二单元，15:30-16:50				
主持人：杨志豪（香港教育大学）				

J25	15:30-15:50	黄海平	中山大学	大模型推理的自旋玻璃模型
J26	15:50-16:10	张格	香港城市大学	从熵的角度理解神经网络泛化能力
J27	16:10-16:30	王闯	中国科学院自动化研究所	人工神经网络训练的平均场动力学理论
J28	16:30-16:50	刘海文	北京师范大学	The route of random process to ultraslow aging phenomena
16:50-17:00		茶歇与讨论		
第三单元，17:00-18:00 主持人：黄海平（中山大学）				
J29	17:00-17:20	马俊杰	中国科学院数学与系统科学研究院	Approximate Message Passing for Rotationally-Invariant Models: A Unified Framework and Applications to Spiked Models
J30	17:20-17:40	杨志豪	香港教育大学	Probing Spin-glass-like Energy Landscape using Message-passing algorithms with Trust-Region
J31	17:40-18:00	赵金华	华南师范大学	Reinforcement and K -cores of networks
分会场 K：生态复杂系统、演化博弈、社会复杂系统（主题 7） 地点：包氏教学楼 2 号楼 101				
第一单元，14:00-15:15 主持人：关剑月（兰州大学）				
K20	14:00-14:20	荣智海	东华大学	Emergence of Cooperation via Reinforcement Learning in Multi-agent system
K21	14:20-14:40	苏奇	上海交通大学	Evolutionary dynamics of behavioral motivations for cooperation
K22	14:40-14:55	滑时佳	西北农林科技大学	自适应反馈演化博弈建模与动力学分析
K23	14:55-15:10	张继强	宁夏大学	基于超图的关注他人信息强化学习机制下公共物品博弈中合作行为的涌现
15:15-15:30		茶歇与讨论		
第二单元，15:30-16:40 主持人：苏奇（上海交通大学）				
K24	15:30-15:50	关剑月	兰州大学	具有博弈转换的高阶演化动力学

K25	15:50-16:10	吴枝喜	兰州大学	群体竞争动力学中的 Parrondo 悖论现象与策略优化研究
K26	16:10-16:25	黄昌巍	广西大学	Explosive transitions in coevolutionary dynamics of synchronization and cooperation
K27	16:25-16:40	李斌全	宁夏大学	弱选择条件下混合博弈中的 策略占优
16:40-17:00		茶歇与讨论		
第三单元，17:00-18:05 主持人：吴枝喜（兰州大学）				
K28	17:00-17:20	蔡蔚然	苏州大学	面向细胞生态系统解析的复 合图对比学习模型
K29	17:20-17:35	赵晨阳	华东师范大学	行为双模态下的条件合作演 化
K30	17:35-17:50	郑国忠	陕西师范大学	解读公平行为：基于强化学 习的视角
K31	17:50-18:05	杨璐赫	吉林工程技术师范 学院	重复社会困境中基于有限理 性的人类决策微观动力学的 重构
分会场 L：机器学习与人工智能复杂系统（主题 8） 地点：包氏教学楼 2 号楼 103				
第一单元，14:00-15:15 主持人：周海军（中国科学院理论物理研究所）				
L21	14:00-14:20	周昌松	香港浸会大学	Critical neural avalanches reconcile response reliability with sensitivity for optimal neural representation
L22	14:20-14:40	唐乾元	香港浸会大学	大脑任务切换与深度学习训 练的敏感性结构解码
L23	14:40-15:00	杨冬平	之江实验室	从感知到认知的神经动力学 机制
L24	15:00-15:15	陈阳	中国科学院自动化 研究所	支持概念自组织生成、理解 与交流的神经网络模型研究
15:15-15:30		茶歇与讨论		
第二单元，15:30-16:45 主持人：唐乾元（香港浸会大学）				
L25	15:30-15:50	周海军	中国科学院理论物 理研究所	最优侧向预测编码的统计物 理学
L26	15:50-16:10	熊龙	云南大学	非平衡相变、斯格明子与机 器学习

L27	16:10-16:30	秦佳杰 (严钢)	同济大学	High Reconstructability of Degree-Heterogeneous Networks
L28	16:30-16:45	杜文康	中山大学	Synaptic plasticity alters the nature of chaos transition in neural networks
16:45-17:00		茶歇与讨论		
第三单元，17:00-18:05 主持人：熊龙（云南大学）				
L29	17:00-17:20	邵宇秀	北京师范大学	适应性行为策略背后的神经 机制
L30	17:20-17:35	高翔	陕西师范大学	统计物理赋能教学 AI
L31	17:35-17:50	杨波	昆明理工大学	Scaling behavior of cross- entropy loss in the identification of percolation phase transitions
L32	17:50-18:05	马智钦	昆明理工大学	预测心律交替的开始

张贴报告目录

地点：1 号楼和 2 号楼之间大厅

主题 1：平衡态系统与远离平衡态系统：理论与计算模拟方法			
1-01	崔芳鸣	中国工程物理 研究院研究生 院	Extrapolated measurements of thermodynamic length in classical system
1-02	叶依林	Ecole Polytechnique	First-passage times to a fractal boundary: Local persistence exponent and its log- periodic oscillations
1-03	孙傲然	物理所	The Kac method for the motion of active particles
1-04	张鑫	西安科技大学	Geometric properties of the additional third- order transitions in the two-dimensional Potts model
1-05	夏心澍	中国工程物理 研究院研究生 院	超越恒温热源：具有恒定产热率的斯特林 循环
1-06	黄泓博	中国工程物理 研究院研究生 院	等温捷径的量子比特信息擦除
1-07	kun li	太原理工大学	New universality classes and BKT transition in the vortex lattice phases of Kagome Ice
1-08	包睿成	东京大学	任意扰动强度下的非平衡响应理论
1-09	王元睿	宁夏大学	Particle Distribution Law Induced by Colored Noise in a Bistable Potential Field: Counterintuitive Trimodal Distribution
1-10	闵严洁	华南师范大学	Buffon-Laplace Needle Problem
1-11	胡高科	南京航空航天 大学	Finite-size scaling behaviors of eigen microstates near critical point
1-12	王芳芳	北京师范大学	Exploring Third-Order Transitions in Two- Dimensional Models via Cluster Entropy and Principal Component Analysis
1-13	孟雨晨	华东师范大学	Detecting Many-Body Scars from Fisher Zeros
1-14	刘洋	华东师范大学	From Complexification to Self-Similarity: New Aspects of Quantum Criticality
1-15	尚群航	陕西师范大学	吸收态相变的本征微观态
1-16	叶澄	中国科学院理 论物理研究所	Tensor network dynamical message passing for epidemic models
1-17	苗林	汕头大学	Resonant diffusion of Debye Brownian oscillators in weakly tilted periodic potentials

1-18	郭彦江	南方科技大学	Thermalization process in a 1D lattice with Broken Time-Reversal Symmetry
1-19	刘文斌	嘉峪关市科学技术局	玻尔兹曼分布的修正形式
1-20	施宏达	云南大学	Weak ergodicity breaking and anomalous diffusion in collective motion of active particles under spatiotemporal disorder
1-21	彭子睿	中国科学技术大学	Universality of the complete-graph Potts model with $0 < q \leq 2$
1-22	向雅心	南京大学	Self-Organized Time Crystal in Driven-Dissipative Quantum System
1-23	高云静	上海交通大学	Mesons in quantum Ising ladder

主题 2：量子流体、量子相变、量子热力学、量子混沌

2-01	陆金成	苏州科技大学	Quantum Coherence, Geometric Phases and Floquet Engineering in Periodically Driven Heat Engines
2-02	管睿	上海大学	Global-local duality of energetic control cost in multipartite quantum correlated systems
2-03	马皖臣	上海大学	Dynamical non-Hermitian systems: Fingerprints and pure dephasing induced protection effect
2-04	孙月梅	江苏理工学院	Hybrid scaling mechanism of critical behavior in the overlapping critical regions of classical and quantum Yang-Lee edge singularities
2-05	赵磊	南京师范大学	Negative thermal transport and giant thermal rectification unveiled in a periodic-oscillating temperature system
2-06	马振渤	兰州大学	Weyl Formula for Three-component Particle Billiards
2-07	崔子栋	电子科技大学基础与前沿研究院	Quantum Flow matching
2-08	邴泓霖	兰州大学	Quantization Conditions of Scars in Magnetic Quantum Billiard
2-09	赵明睿	中国科学技术大学	Noise-induced Quantum Mpemba effect
2-10	彭晓珍	兰州大学	相对论量子隧穿的周期轨道描述
2-11	单永杰	兰州大学	Relativistic chaotic quantum ratchet
2-12	王欣宇	兰州大学	混沌狄拉克台球的光学模拟
2-13	董建军	重庆大学	强关联电子体系中量子功的蒙特卡洛方

法			
2-14	田浩鹏	北京师范大学	一维横场 Ising 模型及 XX 模型中半链纠缠熵的有限尺寸标度
2-15	宋佳璇	太原理工大学	Local supersolidity in ultracold atoms via Moiré-modulated Bose-Hubbard Model
2-16	叶表良	上饶师范学院	Coherence and uncertainty in cluster Ising
2-17	李清慧	鲁东大学物理与光电工程学院	J_1 - J_2 Heisenberg 模型的量子纠缠与相变
2-18	张盼盼	鲁东大学	Dzyaloshinsky-Moriya 作用对非厄米 XY 模型量子纠缠与相变的影响
2-19	杜建迎	南方科技大学	Nonequilibrium quantum battery based on quantum measurements

主题 3：非线性科学、动力学系统、复杂时空结构

3-01	蒋思杨	武汉大学数学与统计学院	A neat contribution index of network interaction to collective performance
3-02	张宇豪	北京师范大学	Curvature-mediated source and sink effects on the genesis of premature ventricular complexes in long QT syndrome
3-03	曹得很	华中科技大学	Nonlinear Circuit-Induced Oscillations in Capacitively Coupled Plasmas
3-04	李映雪	中北大学	Design, dynamic analysis, and application of a novel four-dimensional memristor-based chaotic system with hidden attractors
3-05	刘超超	陕西师范大学	由 Piezo1 介导的心肌细胞机械传导模型 超声时空调控心脏中的螺旋波
3-06	赵艺婷	陕西师范大学	
3-07	周文杰	陕西师范大学	基于可穿戴式超声设备的心脏除颤新方法
3-08	陆羿辰	华侨大学	Frustration-Induced Self-Organized Emergence: From Phase Separation to Lattice Symmetry

主题 4：玻璃态系统、自旋玻璃及其他随机阻挫系统

4-01	李春艳	北京师范大学	Route of Random Process to Ultraslow Aging Phenomena
4-02	段柏闻	香港城市大学	Difficulty in realizing static structure factors reveals the glass-dynamics onset temperature
4-03	张雨田	中科院理论物理	Phonon vortices in 2D: from crystal to

		研究所	glass
4-04	刘睿丰	中国科学院理论物理所	Local Constraints Meet Disorder: Extended Frameworks for Rigorous Analysis on Phase Transitions
4-05	任一雄	中国科学技术大学	Variational Evolutionary Network for Statistical Physics Systems
4-06	李南昕	南方科技大学	Fracture in attractive colloidal glasses under tensile stress
4-07	王顶	西湖大学交叉科学中心	Hidden Mattis order in the annealed Sherrington-Kirkpatrick model
4-08	张永明	南方科技大学	Experimental Study on the Dynamical Mechanism of Cooperative Spin Flips in Two-Dimensional Ising Spin Systems
4.09	周健文	中国科学院理论物理所	Thermodynamic phase transitions in the simplest kinetically constrain spin model

主题 5：软物质与自组装、活性物质、液体物理

5-01	陈璐	长春师范大学	Phase behaviors and dynamics of active particle systems in double-well potential
5-02	杨金荣	华东师范大学	高倍率水系锌电池涂层材料的界面设计
5-03	李朝润	云南大学	矢量噪声驱动下具有方向反转特性的集群运动研究
5-04	孙傲然	物理所	The Kac method for the motion of active particles
5-05	朱睿健	中科院理论物理研究所	Shape-Determined Kinetic Pathways in Two-Dimensional Solid-Solid Transition
5-06	姜旋	中国科学院大学	Parity-Dependent Head-Tail Coupling Governs Odd-Even Ice Nucleation Activity in Fatty Alcohol Monolayers
5-07	宋玉娟	同济大学物理科学与工程学院	由趋化成核诱发的活性相分离
5-08	焦宇星	中国科学院物理研究所	Mesoscale simulation model for odd fluids
5-09	裴继辉	北京大学	Transfer of active motion from medium to probe via the induced friction and noise
5-10	黄海诺	中国科学院物理研究所	Self-Assembly Behavior of Two Dimensional Ball-Stick Polygon

5-11	郅杰	华东师范大学	正多面体颗粒的随机聚集规律
5-12	夏新明	宁波大学	电场调控下的高含量二维反常盐晶体及其压电性研究
5-13	黄雨婕	上海大学	Role of the structural order of the hydration layer in regulating the heterogeneous ice nucleation efficiency
5-14	陈俊豪	物理学院, 浙江大学	Structural competition governs the dynamics of aqueous ionic solutions
5-15	黄木养	南方科技大学	Synchronization of colloidal clusters in a modulated rotating optical potential
5-16	陆羿辰	华侨大学系统科学研究所, 华侨大学数学科学学院	Frustration-Induced Self-Organized Emergence: From Phase Separation to Lattice Symmetry
5-17	杨福宝	中物院研究生院	环境自适应流体超构材料
5-18	黄子旗	中国科学院大学物理科学学院	The Effect on Ice Nucleation of Air-water Interface

主题 6: 细胞生命系统与生物物理

6-01	刘浩泉	华中师范大学	RNA-protein interaction prediction using network-guided deep learning
6-02	真庄铖	Peking University	磷酸化依赖的 ATP 酶活性调节蓝藻生物钟蛋白的单体洗牌动力学
6-03	张潇逸	北京大学	Constructing a holistic map of cell fate decision by hyper solution landscape
6-04	卓晨	华中师范大学	A Machine Learning Method for RNA-Small Molecule Binding Preference Prediction
6-05	陈宜煊	北京大学	Decoding genetic and morphological regulatory architecture in development
6-06	高佳铭	华中师范大学物理科学与技术学院	Predicting Small Molecule Binding Nucleotides in RNA Structures Using RNA Surface Topography
6-07	Xiangyu Wu	浙江大学	Phenomenological Model for Efficient General Regulatory Role of Metabolite
6-08	宋浩宇	浙江大学	Scale-free Spatio-temporal Correlations in Conformational Fluctuations of Intrinsically Disordered Proteins
6-09	郑宇翔	香港浸会大学	Frustration-Fluctuation Correspondence in Enzymes
6-10	徐焕	宁波大学	Computational Exploration of the Self-Aggregation Mechanisms of Phenol-Soluble Modulins $\beta 1$ and $\beta 2$ in

Staphylococcus aureus Biofilms			
6-11	张筱涵	宁波大学物理科学与技术学院	The Glycine-Rich Region as a Flexible Molecular Glue Promoting hPrP ₁₀₆₋₁₄₅ Aggregation into β -Sheet Structures
6-12	彭璐	北京师范大学珠海校区	基于算法信息论探索高活性肽
6-13	肖和	中国科学院大学理论物理研究所	Identifying Potential Regulators in Kidney Disease through Information Geometry
6-14	周匀	贵州师范学院	连续电介质模型界面上的离子静电自能
6-15	王任玉	北京大学	Dynamic condensate formation enhances circadian clock robustness
6-16	郭聪	上海大学	Mechanistic Insights into How Familial Mutations Affect α -Synuclein – Membrane Binding Characteristics
主题 7：生态复杂系统、演化博弈、社会复杂系统			
7-01	康举	中山大学	Intraspecific predator interference promotes self-organized biodiversity in ecosystems
7-02	陈奕多	兰州大学	异质环境反馈协同演化博弈动力学
7-03	王重阳	电子科技大学长三角研究院	Optimal synchronization of higher-order Kuramoto model on hypergraphs
7-04	王旭	北京师范大学	Holistic evolution of ecosystem in HRB from the perspective of Eigen Microstates
7-05	刘德明	兰州大学	Parrondo's paradox in tumor ecosystems: Adaptive therapy strategies to delay the development of drug resistance
7-06	钱雅彤	北京师范大学	Patterns and Drivers of Vegetation Dynamics in Africa: A Holistic Perspective
7-07	张桢纳	宁夏大学物理学院	多元强化学习协同下的资源配置优化
7-08	梁伟	国防科技大学	The Wiener Path Integral Interpretation of the 3:1 Combat Rule
主题 8：机器学习与人工智能复杂系统			

8-01	朱欣怡	电子科技大学	Efficient tracking of stochastic reaction networks by neural networks
8-02	苏茂	上海人工智能实验室	机器学习势函数的不确定度分析
8-03	马智钦	昆明理工大学	Predicting critical transitions with machine learning trained on surrogates of historical data
8-04	黄振业	西湖大学	Discontinuous phase transitions of feature detection in lateral predictive coding
8-05	白若然	中山大学	Spin glass model of in-context learning
8-06	张丽茹	中山大学	The Distribution of Kinetic Energy in Random RNNs
8-07	张春	西安石油大学	Rotational Triboelectric Nanogenerator with Machine Learning for Monitoring Speed
8-08	卢小杰	皖南医学院	Epileptic Seizure Detection Using Dynamic Brain Network Based on Entropy and Graph Neural Networks
8-09	王奔	浙江大学化学系	Phase behaviors of NH_4F crystals studied by machine learning potentials
8-10	王士摄	中山大学物理学院	How High Dimensional Neural Dynamics Are Confined in Phase Space,



报告摘要集

(郝柏林讲坛第一讲)

非平衡态半导体物理理论与展望



魏苏淮
教授

魏苏淮教授现任宁波东方理工大学讲席教授、物理学院院长，国家重点专项首席科学家，国家基金委重大项目负责人，美国物理学会会士（APS Fellow），美国材料研究学会会士（MRS Fellow）。1981年本科毕业于复旦大学并通过 CUSPEA 项目去美国留学，1985 年在美国威廉玛丽学院取得理学博士学位，1985 年-2015 年在美国可再生能源国家实验室(NREL)工作，2015 年回国前担任 NREL 理论研究室主任，实验室 Fellow，2015 年-2024 年任北京计算科学研究中心讲席教授、材料与能源研究部主任。在半导体能带理论、缺陷与合金物理、能源与光电材料设计、计算方法等方面取得了系统的原创性成果。已发表 Nature, Nature 子刊, Science 子刊等 SCI 论文 600 余篇，包括 70 多篇 PRL。论文引用大于 84000 多次，H 因子 140。

摘要：半导体是当前信息时代的核心材料，在电子器件，光电器件，和高效清洁能源等领域有着广泛的应用。随着时代的进步和人类文明的发展，对半导体材料的功能和性能提出了新的要求，亟需开发一批具有特殊力学、声学、光学、电学、磁学性能的新型半导体材料。基于密度泛函理论 (DFT) 的第一性原理计算可以在原子尺度上理解和预测材料特性。由于计算机计算能力的快速进步和计算方法的发展，目前基于 DFT 计算预测能力已经获得了极大的提高，促进了材料设计从实验引导的试错法向理论计算驱动的方法转变，在半导体材料设计中正在发挥着越来越大的作用。但是 DFT 计算通常是在零温下进行的，而大部分半导体器件通常是在非平衡态条件下工作的。如何描述非平衡条件（外场作用）下半导体的（稳态）性质以及缺陷和载流子行为是当前半导体理论研究的一大挑战。在本报告中，我会先简单介绍 DFT 计算方法的一些进展对能源和光电材料设计的贡献；然后我会举例介绍非平衡态第一性原理材料计算的方法和思路，并讨论在半导体能源和光电材料设计方面面临的一些挑战。



“鬼”成像：从天文到显微

吴令安

中国科学院物理研究所

摘要：在上世纪 50 年代，为了测量恒星的角直径，R. Hanbury Brown 首次测得光子的时空关联，为光子统计学及后来量子光学的发展奠定了基础。到了 90 年代，基于纠缠光子对的“鬼”成像成功实现了；再后来，“被量子启发”的关联成像扩展到更为广阔的经典关联成像。鬼成像、单像素成像、结构照明成像等非传统成像方式都基于二阶关联，现在也被纳入计算成像的范畴，其研究范围已覆盖整个电磁谱，甚至也已实现粒子的鬼成像。鬼成像的主要特点是不需要一个如 CCD 的面阵探测器而只需要一个单点探测器便可获得一个二维图像。本报告将介绍中科院物理所及合作者在关联成像研究中的最新进展；在可见^{1,2}和近红外波段已实现了实时的光谱单像素成像；在 X 光波段演示了物体的不同成分的光谱鬼成像³，和快速的 X 光鬼成像⁴。最后将简要展望应用前景。

参考文献：

1. Yue-Xi Zhang et al., Opt. Exp. **32**, 47216 (2024).
2. Zi-Qing Zhao et al., Opt. Lett. **50**, 169 (2025).
3. Jin-Tao Xie et al., Opt. Lett. **49**, 4162, (2024).
4. Jin-Tao Xie et al., Photonics Res. (2025), in production.

吴令安简历

吴令安 1962 年从英国牛津女中到北大物理系；毕业后当了三年农业工人再当了十年翻译，1981 年重返学堂，1987 年获美国德州大学奥斯汀分校物理学博士，回物理所工作至今。2009 年退休返聘；2015-2023 在中国科学院大学讲授量子光学。主要研究成果包括：1986 年首次基于光参量下转换实现挤压态 (squeezed states of light)，此方法已成为产生光量子纠缠态的主要方法；1995、2000 年分别首次在国内演示自由空间和全光纤的量子密钥分发；2005 年国际上首次以真热光实现强度关联“鬼”成像；2017 年首次实现基于台面 X 光源的单光子量级鬼成像；2020 年首次以散裂中子源实现中子的能谱鬼成像；近来实现了从红外到 X 光的实时动态鬼成像。



Stochastic dynamics in the brain

Jianfeng Feng (冯建峰)
Fudan University (复旦大学)

摘要: Neuronal activity is stochastic per se. Until now, we still have no clue on why neurons exhibit such random activity, in contrast to the current AI approach which only employs the first order moment (activation function) for computation. We first construct a whole brain model (the digital twin brain, DTB) with 86 B spiking neurons and 100 T parameters to simulate both the resting and task activity with a high accuracy. Using moment neuronal network approach including at least the first and second order moment, we then turn our attention to analyze the DTB dynamics. Results show when the DTB operates near critical point, it exhibits many optimal properties both for zebrafish, mouse, monkey and human DTB.

个人介绍:

冯建峰，国家高层次引进人才，长江学者，复旦大学浩清教授，现任复旦大学类脑智能科学与技术研究院、大数据学院院长，上海数学中心首席教授，英国华威大学计算机系教授。长期致力于数学、脑科学和计算机科学的交叉融合研究，推动计算脑科学及其应用领域的发展。

主要研究贡献包括：在精神疾病研究方向，提出并在治疗上论证了抑郁症“奖惩环路失衡”神经机制，通过大数据挖掘验证精神分裂的语言起源假说；在计算神经科学方向，发展了全世界首个全脑数字孪生脑模型和矩神经网络数学理论；在人工智能方向，发展了多种新型神经网络结构和算法等。共发表四百多篇学术文章，许多成果以通讯作者发表在 Cell, Nature 子刊，Science 子刊，Lancet 子刊，JAMA 子刊，IEEE TPAMI 和 PRL 等。中国 NIPs 第一人，2011 年获英国皇家学会沃夫森研究功勋奖（首位华人），2019 年作为三十年来的首位华人受邀在剑桥大学做 Paykel Lecture 年度冠名讲座，2023 年获洪堡研究奖。



(郝柏林讲坛第四讲)

The thermodynamic and dynamic properties of Kai system oscillator

Qi Ouyang

School of physics and Institute of Advanced Physics, Zhejiang University

Circadian clock is an essential function of living systems. Different cell types evolved different mechanisms to make the clock more accurate, which requires more energy. In cyanobacteria, a protein complex named Kai system is responsible for the cell's circadian rhythm. For this protein clock, each protein oscillator must be synchronized to make the cell function normally, which requires extra energy. In this talk, we report our studies of oscillator synchronization in Kai system, from thermodynamic and dynamic perspective. We believe that for quantitative biology and statistics of living system as well, Kai oscillator is an ideal system to study.



(大会报告 01)

微生物铁相互作用网络中的演化博弈与自组织



李志远
助理教授

李志远，本科毕业于北京大学物理学院（2005-2009），博士毕业于美国旧金山生物物理专业（2009-2014），后在普林斯顿大学理论科学中心与物理生物中心进行博士后研究（2015-2019），并 2019 年 9 月加入北京大学前沿交叉学科研究院定量生物学中心和生命联合中心。研究以“生物系统中的自组织规律”为核心，以数据挖掘和网络动力学等计算方法为手段，着重关注于微生物群落从生态到演化中的定量科学(<https://cqb.pku.edu.cn/zyli/>)。

摘要：铁是维持微生物生长所必需但又稀缺的关键营养元素。为获取铁，多数微生物会合成和分泌铁载体——一类具有高度结合铁能力的结构多样的小分子。这些铁载体通过特异性的膜蛋白识别并被摄取，从而在群体中形成了合作与作弊之间复杂的动态关系。

我们基于序列协同进化的生物信息学方法，构建了跨物种的铁相互作用网络，并达到了超过 90% 的实验验证准确率。进一步分析显示，不同生活方式的微生物（如病原菌与非病原菌）在铁网络结构上呈现出显著差异，反映出其生态策略的本质不同。

我们特别聚焦于铁载体介导的铁分配机制在生态系统中的动力学作用。通过构建动力学网络模型，我们揭示出在中等程度的作弊水平下，微生物群落的多样性和稳定性达到最优，表现出明显的“相变”行为：即作弊者比例的变化可驱动群落从单一主导到多样共存状态的跃迁。此外，在整合生态与进化动态的模型中，我们发现两种相互对立的演化驱动力——一方面是合作带来的群体利益增强，另一方面是作弊诱导的资源竞争加剧——共同推动了铁网络中化学功能的持续创新，导致多样性自发涌现，形成复杂的演化稳定态。

综上所述，本研究提出的“铁网络”的从序列到生态的框架，可以深化我们对微生物群体行为、演化机制与生态自组织的理解，也为未来在医疗、农业及工业等领域中实现微生物群落的精确调控提供了理论支持与新思路。



Critical phenomena from the fuzzy sphere microscope

W. Zhu (Westlake University)

We introduce a scheme to study the phase transition and critical phenomena on the space-time geometry $S^2 \times \mathbb{R}$, using the “fuzzy sphere regularization”. As a showcase, we apply this scheme to the quantum version of 3D Ising phase transition. The identified phase transition demonstrates almost perfect state-operator correspondence (i.e. radial quantization), an important property of the conformal field theory. The complete conformal data (scaling dimensions, operator product expansion coefficients, etc.) have been explicitly worked out in an efficient way, many of which are unknown before. Moreover, this fuzzy sphere scheme can be generalized to other phase transitions.



(大会报告 03)

超临界物理



金瑜亮
研究员

金瑜亮，中国科学院理论物理研究所研究员。本科毕业于复旦大学，博士毕业于纽约城市大学（获李政道先生的 mini-CUSPEA 奖学金支助），之后在美国杜克大学、意大利罗马大学（导师为 2021 年诺奖得主 Giorgio Parisi）、法国巴黎高师、日本大阪大学从事博士后研究。研究领域为软凝聚态、非平衡态统计及复杂系统。发表论文 40 余篇，引用 1600 余次。主持基金委中以国际合作、中科院从 0 到 1 等科研项目。

摘要：超临界流体是物质处于临界温度和临界压强之上的状态。我们提出了相图上超临界流体和气态、液态之间的边界（L+线和 L-线），并发现这两条边界线满足普适的标度率。我们进一步发现超临界流体的分子空间排列具有“亚近程结构序”，这使得超临界流体有可能成为物质的“第四相”，区别于气相（无序结构）、液相（短程结构序）和固相（长程结构序）。超临界边界线的普适标度率在气液相变、液液相变、Ising 模型铁磁相变、量子相变、黑洞热力学相变中都得到了验证。



(大会报告 04)

复杂系统的时空集群动力学与涌现：理论与应用

郑志刚

华侨大学系统科学研究所，厦门 361021

华侨大学信息科学与工程学院，厦门，361021

摘要：复杂系统由大量个体通过一定的相互作用方式组成，在时间和空间上会表现出各种集体有序行为，这些研究密切联系着多个不同领域的涌现动力学。涌现的机制研究是涌现动力学的核心。利用统计物理学和协同学方法建立的序参量理论，可以实现微观与宏观的有机结合。

本次报告将对复杂系统时间尺度的同步及其空间尺度的集群涌现行为及其序参量理论研究做一简单评述，并介绍课题组近年来在该领域的研究进展。

关键词：复杂系统，涌现动力学，序参量，同步，集群

参考文献：

1. 郑志刚，耦合非线性系统的合作行为与时空动力学（高等教育出版社，2004）
2. 郑志刚，胡岗，从动力学到统计物理学，北京大学出版社（2016）
3. 郑志刚，复杂系统的涌现动力学（上、下部），科学出版社（2019）
4. Z. Zheng, C. Xu, J. Fan, M. Liu, and X. Chen, Order parameter dynamics in complex systems: from models to data, Chaos 34, 022101 (2024). (Review article)
5. 郑志刚，复杂系统同步的自组织动力学与统计物理学，北京师范大学学报（自然科学版）59(6), 992-1001 (2023).
6. Jiajing Liu, et al., Chaos, Solitons & Fractals 186, 115282 (2024).
7. Yichen Lu, et al., Chaos, Solitons & Fractals 191, 115794 (2025).



(大会报告 05)

基于李-杨相变理论理解真实凝聚态体系中的相与相变



李新征
教授

李新征，1978 年出生，北京大学博雅特聘教授。研究方向是凝聚态物理中一些计算方法（特别是路径积分方法）的发展与应用研究。近几年，开始关注李-杨相变理论。2016 年，研究成果入选中国科学十大进展（3/3），2019 年获教育部自然科学一等奖（3/5）。教学上，出版教材一部、学术专著一部，主讲《群论 I》、《今日物理》、《高等量子力学》等课程，并参与《多体系统的量子理论》、《凝聚态物理导论》等课程的建设。

摘要：凝聚态物理从上个世纪中叶开始，很重要的一个研究方向就是计算方法的发展。不管是在电子结构还是在分子动力学层面，很多针对凝聚态体系可展开精确的分子模拟的计算方法先后诞生。这对于我们了解真实的物质世界是至关重要的！报告人一直从事这方面的研究。近年来，报告人与合作者们（组内学生为主，特别是叶麒俊博士）逐渐关注到李-杨相变理论，并认识到此理论对于我们理解真实的凝聚态体系具有重要的实用价值。比如，在描述凝聚态体系中一些需要动力学行为刻画物质存在形式的时候，我们需要借助动力学配分函数，基于李-杨相变理论来进行这方面的理论工作【1-2】。再比如，对于超临界区域，李-杨零点在复相图中的位置也可以被用来描述热力学系统的物性对热力学状态函数变化的响应【3】。甚至，在量子多体系统的电子结构计算中，对李-杨零点位置的分析还有助于我们理解与解决费米子符号问题【4】。在本报告，我们会从对李-杨相变理论的基本思想出发【5】，逐步介绍此理论及其新进展【1-6】。我们的目的，是想让听众重新了解并且开始重视这个相变理论中的瑰宝。我们衷心希望这个理论通过与凝聚态物理中一些计算方法的结合，可以在今后的几年为我们带来更多面对复杂的物质世界进行理论研究时的惊喜。

参考文献：

- 【1】 Q. J. Ye, L. Zhuang, and X.-Z. Li, **Phys. Rev. Lett.** **126**, 185501 (2021)
- 【2】 Q.-J. Ye and X.-Z. Li, **SCPMA** **66**, 227212 (2023).
- 【3】 X. Y. Ouyang, Q. J. Ye, and X. Z. Li, **Phys. Rev. E** **109**, 024118 (2024)
- 【4】 R. C. He, J. X. Zeng, S. Yang, C. Wang, Q. J. Ye, and X. Z. Li, in preparation
- 【5】 叶麒俊、欧阳霄宇、李新征, **物理** **52**, 786 (2023)
- 【6】 L. Liu, Y. H. Dong, Q. J. Ye, and X. Z. Li, arXiv:2505.20989



(大会报告 06)

玻璃化与结晶/熔化转变中的结构与动力学



李艳伟
教授/博士

李艳伟，北京理工大学物理学院教授。2016 年博士毕业于中科院长春应化所，之后(2016-2020)在新加坡南洋理工大学数学物理学院从事博士后研究工作，2020 年底加入北京理工大学物理学院。主要从事软物质体系相变相关研究，如粒子、细胞等在非晶、结晶/熔化转变中结构与动力学的演化与关联。主持国家自然科学基金青年、面上及优青项目。相关研究成果发表在 PNAS, Phys. Rev. Lett., Phys. Rev. E/Mater., Soft Matter. 等期刊。

摘要：液体降温过程中既可发生结晶转变形成晶态固体也可发生玻璃化转变形成非晶固体。结晶与玻璃化转变是自然界中常见的现象，也是统计物理、软物质物理等学科中的重要研究内容。在玻璃化转变方面，本报告展示塑性在静态性质与动力学关联中的重要地位，揭示细胞体系与粒子体系相比其过冷动力学的特殊性；在结晶/熔化方面，本报告聚焦二维体系熔化如何精确表征及鉴定相边界，并进而阐明吸引相互作用和组分配比对二维熔化机理的重要影响。



(大会报告 07)

生物斑图的定量合成生物学研究



傅雄飞
研究员

傅雄飞，现任中国科学院深圳先进技术研究院合成生物学研究所研究员/所长，定量合成生物学全国重点实验室副主任。研究方向：围绕“生物系统时空有序性的跨层次涌现原理”这一基本科学问题，通过数理理论结合定量实验的研究方法，研究空间扩张人工生物系统相关的基因回路设计、动力学模拟及稳定性分析等问题。

摘要：多细胞有序结构的形成原理是发育生物学和物理复杂系统等领域的共同难题，也是合成生物学的学科前沿。传统研究通常关注固定边界下的线性失稳过程，而生物有序结构形成通常伴随着细胞生长与运动等过程驱动的空间扩张。扩张前沿环境复杂，系统远离全局平衡态，对解析其形成原理构成挑战。我们近期的研究围绕着聚焦细胞生长与运动两个影响空间扩张的关键因素，解析多细胞有序结构形成的定量规律：**1)** 揭示了经典合成互抑制基因回路的“拨动开关”功能受细胞生长速率全局调控的局限性；阐明基因表达对生长速率变化的非平衡响应导致细胞表型势阱重塑；基于该理论，以生长速率为核心调控参数，精准合成了多样化菌落结构；**2)** 突破传统均质群体假设，揭示了趋化迁移的群体在扩张前沿自发形成空间有序排列的内在机制；并将该机制推广到宿主-病毒共迁移系统，提出了“迁移淘汰”相变机制；基于此，开发了空间噬菌体辅助连续进化系统，为生物元件研发提供高通量、低成本的定向进化工具。



(大会报告 08)

强化学习范式下的演化博弈动力学



陈理
教授/博士

陕西师范大学教授，博士生导师。博士毕业于东南大学物理系，后在德国德累斯顿复杂物理系统马普所，柏林洪堡大学，Robert Koch 研究所（德国国家疾控中心），从事博士后研究。近年来的研究兴趣包括信任、公平、合作等演化、生物集群行为、机器学习应用、与流行病的复杂传播行为等。已发表包括 *Nature physics*, *PR* 系列等期刊论文五十余篇，相关成果被 *Phys.org* 等媒体正面报道过，主持国家自然科学基金三项，出版专著一本。

摘要：合作、信任、公平等是社会发展的核心要素，其涌现机制到目前为止依然是未解之谜。之前的绝大多数理论工作采取模仿模仿学习框架；作为一种简单的社会学习范式，主要通过模仿其他收益更高策略的个体进行决策，忽视了个体通过不断自我反省进行经验总结这一事实。基于此，我们采取强化学习这一全新范式，个体将综合考虑过往经验、当前收益，以及未来预期进行行为决策。我们发现，新范式下的演化博弈无需引入其他外在因素，合作、信任、公平等均自发涌现，机制分析抓住了个体在演化过程中的心理变化。我们的工作暗示着强化学习或可为诸多涌现之谜提供统一框架，并为理解人类行为提供新的视角。



(大会报告 09)

活性物质晶体、液晶及其非平衡序的“熔化”



施夏清
教授

苏州大学软凝聚态物理及交叉研究中心、物理科学与技术学院特聘教授。2005 年毕业于南京大学物理系获理论物理学学士学位；2010 年于南京大学物理学院获物理学博士学位。2010 年 7 月加盟苏州大学软凝聚态物理及交叉研究中心。长期致力于活性物质集体动力学普适性的统计物理前沿研究。近几年研究集中于活性物质相态本质及其动力学稳定性。相关研究工作发表在 *Nature*, *PRL*, *PRX*, *Nature Communications*, *PNAS* 等国际一流期刊，研究工作获得国家优秀青年基金资助。

摘要：活性物质中的晶体与液晶有序态展现出超越经典平衡理论的独特“熔化”行为，其根源在于粒子位置、密度与取向序在流体动力学层面非平衡耦合机制。在活性晶体中，定向持久性驱动使活性晶体产生巨大自发形变，却维持长程键角序与可以突破平衡态 KTHNY 理论极限的代数位置序（关联指数 $> 1/3$ ）。理论分析表明对于系统中不同的序参量可以获得独立的有效温度：一个主导大尺度弹性形变，另一个主导局域键序涨落。这种非平衡涨落的影响在更广泛的取向有序液晶系统（如活性 XY 模型）中得到印证。时间关联的噪声虽然加速了取向关联的衰减，却仍能维持准长程序，其标度律明显偏离平衡态 Berezinskii-Kosterlitz-Thouless (BKT) 相变的预期。非平衡“熔化”往往导致有别于平衡态熔化的特异性，致密手性活性液晶可自发形成涡旋凝聚体，而在活性相分离系统呈现反常微相分离：稠密液相内气态泡呈代数分布，其自组织临界性动力学由“反向 Ostwald 熟化”主导。这些现象表明活性驱动通过序参量-密度场耦合重塑了有序相的稳定性与相变性质，为系统性建立非平衡相变动力学理论提供了新的启示。



(大会报告 10)

低维系统中声子输运和热传导



陈杰
教授

陈杰，国家级青年人才，同济大学物理科学与工程学院副院长，长聘教授，博士生导师。主要研究方向为声子调控和纳米尺度热传导，已在 *Reviews of Modern Physics*, *Physics Reports*, *Physical Review Letters* 等国际知名学术期刊发表 SCI 论文 90 余篇，含 ESI 高被引论文 10 篇和 ESI 热点论文 3 篇。全部论文在 Web of Science 数据库中被引用超 5900 余次，H 因子 43。主持国家级科研项目 9 项、省部级科研项目 4 项，参与国家自然科学基金重大项目一项、国家重点研发计划两项。受邀在国际会议上做邀请报告超 20 余次，授权国际发明专利 1 项。担任《中国科学：物理学 力学 天文学》青年编委、《Thermo-X》编委，曾获国家级青年人才、上海市青年五四奖章、上海市曙光计划、全球前 2% 顶尖科学家等奖励与荣誉。

摘要：最新芯片已进入 2 纳米制程，散热面临巨大挑战，小尺度非平衡态统计规律和热管理成为该领域的重要科学问题。针对芯片散热过程中小尺度、多界面、低维度的特点，本报告将从基础理论、调控机理到创新应用多维度介绍本课题组在该领域的相关研究进展。首先将讨论低维系统中新奇的声子输运机制，包括类流体声子输运、第二声现象、相干声子输运以及由此发展的相干声子热输运理论。第二部分将从微观模式层面出发，讨论热量通过固体-固体界面及固体-液体界面时的非平衡态输运机制，以及调控界面热阻的有效方法。最后，本报告将介绍调控实际二维材料中热传导的研究进展，包括揭示莫尔超晶格等调控机制、发展高效声子学功能元件以及预测新型二维材料热导率等。低维系统中声子输运和热传导的研究为芯片热管理领域的发展奠定了理论基础和技术支撑。

(大会报告 11)

复杂系统相变临界现象理论与应用



樊京芳
教授/博士

樊京芳，北京师范大学系统科学学院院长，教授，德国波茨坦气候影响研究所客座教授，国家级人才计划入选者。科研工作主要聚焦于复杂系统的相变与临界现象基本理论，和地球复杂系统的交叉，取得了一系列具有国际影响力的成果。成果发表于 Nat. Phys.、Nat. Clim. Chang.、Nat. Commun.、PNAS 等期刊。系列研究不仅揭示了复杂系统的物理机制，还为全球环境治理和应对气候变化提供了重要的科学依据。主持和参与基金委原创探索、面上、重点，国家重点研发计划，LASG 重点项目等。担任国际期刊 Journal of Physics: Complexity, Chinese Physics Letters 等编委，National Science Review 客座编委。2016 曾荣获以色列政府 PBC fellow。2023 年获“强国青年科学家”提名,2024 年获系统科学与系统工程科学技术青年科技奖,2025 年获清华大学-浪潮集团计算地球科学青年人才奖。

摘要：复杂系统中普遍存在相变临界现象，它描述了系统状态随外部条件的变化发生突变的普适规律。本报告围绕复杂系统相变的基本理论框架、临界现象的统计物理描述以及跨学科的实际应用进行深入阐述。首先，提出了一种非平衡渗流相变的新理论框架，以刻画复杂系统状态的突变行为，突破传统相变理论对平衡系统的局限性。其次，基于统计物理的相变理论，系统地阐明了高影响极端事件的突变机理与预测方法，为极端事件的风险评估提供了新的理论视角与工具。最后，探讨了复杂气候系统中临界点之间的级联效应，构建了微观相变理论与宏观气候变化之间的桥梁，揭示了气候系统复杂动力学的深层次机制。

(大会报告 12)

非平衡热力学几何：从量子器件到人工智能



任捷
同济大学
长聘正教授

同济大学国豪书院副院长，国家海外高层次“青年千人”计划，入选中组部“万人计划”领军人才。先后就读于中国科学技术大学，新加坡国立大学，博士后于洛斯阿拉莫斯国家实验室与麻省理工学院。长期从事声子自旋与量子声子学，拓扑人工微结构与非平衡物态调控，人工智能的信息统计物理研究。在 *Rev. Mod. Phys.*, *PNAS*, *NSR*, *PRL*, *Nature* 子刊等国际重要刊物上发表论文 150 余篇，H-index 41，总引用上万。目前任中国物理学会秋季会议组委会委员，中国超材料学会理事、组委会委员，*CPL*、*CPB*、《物理学报》和《物理》优秀青年编委，上海市优秀学术带头人，中国十大新锐科技人物卓越影响奖，美国物理学会 APS Outstanding Referee Award。

摘要：几何化是物理学许多分支的基本框架和主旋律。从量子物理，规范场论，拓扑物态到广义相对论，均是如此。近年来，热力学几何化也引起了人们的极大兴趣。在这个报告里，我将通过系列工作，阐述如何在全计数统计的生成函数意义下，建立一个描述非平衡热力学几何框架，来刻画时间驱动的非平衡输运及其涨落中的新颖行为。输运系统将涵盖随机量子系统、随机经典系统、宏观驱动扩散和有限时间热力学过程。结果表明，除了传统的动力学流外，时间驱动输运中还存在着内禀几何曲率对应的绝热贡献和几何度规项对应的非绝热贡献。几何曲率对应的绝热贡献时间反演反对称，将产生额外的甚至逆温差的流与涨落，而非绝热的几何度规项时间反演对称，描述了不可逆的热流耗散与涨落。上述的几何流对涨落定理和热力学不确定性关系产生会巨大影响，将给出热力学长度限制的熵产生和熵涨落的下界。流生成函数的对称性和几何曲率也将给出非互易输运泵浦的 No-Go 限制。

希望通过该报告传递这么一个思想：“非平衡热力学几何”可以被用来刻画非平衡时变系统的输运和涨落热力学并由此推导一般性的非平衡热力学约束。最后还有时间的话，我将讨论一下非平衡热力学几何在人工智能物理学里的基础作用。

References

- [1] RJ, Hanggi, and Li, *Phys. Rev. Lett.* 104, 170601 (2010);
- [2] RJ, Chernyak, and Sinitsyn, *J. Stat. Mech.* P05011 (2011);
- [3] RJ, Liu, and Li, *Phys. Rev. Lett.* 108, 210603 (2012);
- [4] Chen, Wang, and RJ, *Phys. Rev. B* 87, 144303 (2013);
- [5] Wang, RJ, and Cao, *Phys. Rev. A* 95, 023610 (2017);
- [6] Wang, Wang, Chen, Wang, and RJ, *Front. Phys.* 17, 13201 (2022);
- [7] Lu, Wang, Peng, Wang, Jiang, and RJ, *Phys. Rev. B* 105, 115428 (2022);
- [8] Wang, Chen, and RJ, *Phys. Rev. E* 106, L032102 (2022);
- [9] RJ, *Chin. Phys. Lett.* 40, 090501 (2023);
- [10] Wang, and RJ, *Phys. Rev. Lett.* 132, 207101 (2024)



(大会报告 13)

非平衡生物大分子系统中的关联行为

李敬源

教授

浙江大学物理学院教授。致力于发展关联统计分析方法以及分子动力学模拟研究生物大分子等复杂系统，揭示生物大分子非平衡过程中的关联行为。近期研究兴趣集中于固有无序蛋白以及生物大分子凝聚相中的关联行为及其物理规律。在 *Science*, *Science Advances* 等杂志发表论文多篇。论文引用逾 4500 次

摘要：蛋白质等生物大分子系统中相互作用温和并收到环境的显著影响，是典型的低信号高噪声系统。与此同时生物大分子系统中广泛存在着各种类型的集体行为，比如蛋白质折叠、别构效应等等。生物大分子集体行为的共性规律是一个非常重要且基础的科学问题。我们发展关联统计分析方法研究生物大分子的模拟轨迹，通过对生物大分子动力学过程进行简化与降维，揭示了形式丰富的关联行为，并提出环境驱动并介导了生物大分子动力学过程中关联行为涌现。研究聚焦在固有无序蛋白以及生物大分子凝聚相系统中的集体行为。研究刻画溶液环境驱动的固有无序蛋白构象涨落具有标度不变的长程时空关联，提出分子尺度的自组织临界现象；发现贻贝粘蛋白结构演化中 DOPA 和带正电氨基酸存在显著的空间关联，这使得蛋白具有超强吸附能力；发现离子介导的蛋白质离子结合位点的集体行为，并造成离子结合模式的对称性破缺。



(大会报告 14)

无序体系拓扑结构与物性



武振伟
副教授/博士

武振伟，北京师范大学系统科学学院副教授、博士生导师。2015 年于北京大学力学与工程科学系获理学博士学位（北大优博），2015-2018 年北京大学物理学院博雅博士后 Fellow，2018 年加入北京师范大学工作，历任讲师、副教授，2023-2024 年法国 CNRS/UGA 物理交叉科学实验室（LiPhy）访问学者。主要从事与非晶物质科学、及复杂物理系统相关方向的研究工作。

摘要： Liquids and glasses surround us in daily life, and glass materials have been utilized by humanity for more than five millennia. Yet, understanding what precisely defines the "glassy" state and how the glass transition occurs remains among the most challenging and intriguing problems in modern science. This fundamental question lies at the intersection of condensed matter physics, complex systems, and materials science. Recent research has increasingly shown that the medium-range arrangement of atoms, beyond just their nearest-neighbors, plays a crucial role in determining the physical behavior of disordered materials. However, our incomplete understanding of how topological properties remain invariant across diverse local structural arrangements continues to hinder efforts to establish clear structure-property relationships. This knowledge gap also hinders the development of robust theoretical frameworks to inform and guide materials innovation. In this talk, I will discuss how topological concepts can provide new insights into the atomic structure and structure-property relationships of disordered materials. I will highlight our recent key findings and outline important open questions that promise exciting opportunities for future research.

(大会报告 15)

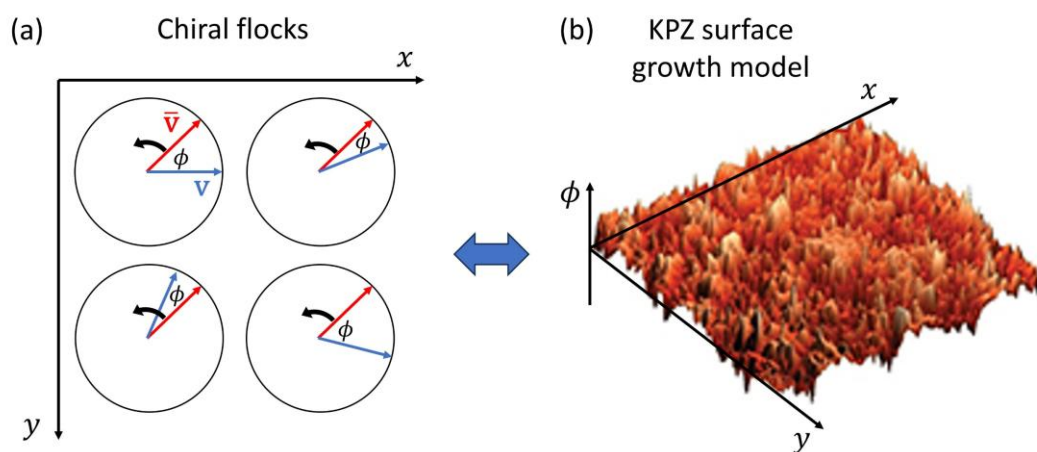
二维手性马尔萨斯活性群体动力学



陈雷鸣
教授

2006 年博士毕业于美国俄勒冈大学，2009 年 6 月到中国矿业大学工作至今，主要从事活性物质流体动力学理论研究。

摘要：我们研究二维手性“干”马尔萨斯活性群体的流体动力学行为，即粒子数与动量均不守恒的手性极性有序活性群体。在忽略涨落的情况下，该系统形成所谓的“时间晶体”，即所有活性粒子具备相同的速度并以固定频率同步旋转。但如果考虑噪声的影响，系统的宏观动力学行为则由(2+1)维 Kardar-Parisi-Zhang(KPZ)方程描述，这表明宏观极限下系统仅具备短程指向序。而在弱手性极限下，现实观测到的动力学行为则由 KPZ 方程的线性理论描述，从而展现出准长程指向序。



图表 1 (a) 在二维手性马尔萨斯活性群体中，整个群体的平均速度用 $\bar{v}$ (红色)，即时速度场用 $\tilde{v}$ (蓝色) 表示。(b) ϕ 的流体动力学行为可映射到(2+1)维 Kardar-Parisi-Zhang 表面生长模型。图(b)经授权引自 EPL 109, 46003 (2015)。



(大会报告 16)

Early warning signals for critical transitions in data-driven complex systems

曾春华, 2014 年 6 月获博士学位, 现为昆明理工大学二级教授, 主要从事统计物理与复杂系统的研究。在 Commun. Phys、Phys. Fluids(Letter)、Natil. Sci. Rev.、Phys. Rev. Research、Phys. Rev. B、Phys. Rev. E 和 New J. Phys.等期刊发表 SCI 论文 120 余篇。



摘要: 临界转变是一种突发性的、破坏性的、极其难以预测的自然灾害, 会导致大量人员死亡和广泛的财产损失。鉴于临界转变带来的巨大危险, 人们对准确预测这些事件给予了大量关注。我们研究了一类复杂系统中临界转变的早期风险。在生态学、生物学、气候学、地质学、社会学等实证数据上测试了基于替代数据的机器学习方法, 相比基于临界慢化传统预警方法(方差和滞后 1 自相关等), 该方法更具有可靠性、实用性、准确性(图 1D)。基于替代数据的机器学习方法的优势在于它不需要理想的数学模型, 只要满足特定系统: 预测临界突变动力学特征曾经发生过, 接近和远离临界突变具有不同动力学特征。临界突变在自然界是普遍存在的, 包括森林火灾、山体滑坡、地震、太阳耀斑、癫痫、基因突变、金融危机等, 该论文提出替代数据的机器学习框架预测复杂系统临界突变的早期信号, 为管理者制定减灾对策和战略决策提供科学依据和重要信息。



(大会报告 17)

Machine learning and stochastic physics



汤迎

教授/博士

汤迎，电子科技大学基础与前沿研究院教授，研究领域为机器学习、统计物理、随机动力学。近期研究成果包括：提出了演化神经网络的方法追踪高维随机反应网络演化；设计了基于神经网络的算法揭示非平衡统计力学中的动力学相变规律；发展了时间序列动力学互信息的计算框架等。

摘要： Machine learning and physics have deep connections. I will report our recent progress in AI for stochastic physics and stochastic physics for AI: efficient tracking of stochastic reaction networks by the variational autoregressive neural network, flow matching for quantum dynamics on quantum circuits, and more. The results demonstrate how machine learning and physics can cross-feed each other.



(邀请报告 A01)

全国统计物理与复杂系统学术会议，2025 年 7 月

从量子热力学“推导”统计物理

孙昌璞

中国工程物理研究院研究生院

传统观点认为，热力学的宏观定律可从统计力学中“推导”得出。然而，统计力学的基础至今仍存争议——其理论构建依赖于系综与时间平均的选择、先验等概率假设、最大熵原理、正则典型性乃至量子纠缠等关键前提，而这些假设的直接实验验证几乎难以实现。与之形成鲜明对比的是，自瓦特蒸汽机时代起，热力学基本定律便获得了坚实的实验支撑，其有效性历经时间检验。本研究提出一种反直觉且科学严谨的途径：不再从统计力学推导热力学，而是直接基于经实验验证的热力学定律，建立平衡态的统计分布。通过在量子力学框架下定义能量与热量，我们确立了量子热力学的可积性概念（类似于卡拉西奥多里对热力学第二定律的形式化表述），进而推导出统计力学的核心内容，且该推导对不遵循正则分布的系统同样适用。

这项研究为有限尺寸系统和有限时间过程的统计热力学提供了新的理论基础，不仅阐明了平衡态性质如何从基础热力学原理中涌现，还解决了有限尺度系统的临界标度问题，并为有限时间过程的功率 - 效率优化提供了理论依据。

个人介绍：

孙昌璞，理论物理学家，中国科学院院士，发展中国家科学院院士，中国工程物理研究院研究生院创院院长。本科毕业于东北师大物理系，于南开大学获博士学位。曾任东北师大教授，中科院理论所研究员和北京大学客座讲席教授。获得过国家自然科学二等奖和美国 ISI“经典引文奖”等奖励以及全国先进工作者等荣誉称号。他领导和组织我国物理学科十三五、十四五的战略规划工作，是中国物理学会副理事长，国家自然科学基金委员会监督委员会副主任，并担任中国科学院哲学研究所学术委员会主任、北京大学物理学科卓越人才培养指导委员会主任。

他长期从事量子物理、数学物理、量子信息基础理论的研究，其原创性的研究工作有重要国际影响。目前工作集中在复杂体系统计热力学、能源物理和可靠性理论的研究，开展了面向国家需求的科技发展战略研究和模式创新探索。目前他主持国家自然科学基金委员会的基础中心项目《基础能源物理的科学问题》。他十分重视教育和教学工作，连续讲授高等量子力学大课多年，著有《经典杨-米尔斯场理论》和《量子力学现代教程》。他多次被评为中科院“优秀导师”，指导的研究生有多人获全国“百篇优秀博士学位论文”、“中国科学院优秀博士学位论文”和中国科学院院长特别奖等。他也是人教社中学物理教材的总顾问和前言的撰写者。

个人照片：



(邀请报告 A02)

Linear, Non-linear, and Finite Response Theory for Stochastic Non-equilibrium Processes

广义玻尔兹曼系宗：适用于任意非平衡过程的统一响应理论



卢至悦

助理教授, PhD

报告人简介

现任美国北卡罗莱纳大学教堂山分校化学系助理教授，师从 Chris Jarzynski 博士，主要从事远离平衡统计力学与随机过程研究。

口头报告简介

本报告将传统的平衡态玻尔兹曼统计物理框架推广至任意非平衡、非稳态马尔可夫过程：在轨迹层面引入广义玻尔兹曼分布，构建统一的线性、非线性及有限扰动响应理论，给出任意阶响应导数的闭式解。该轨迹玻尔兹曼方法不仅为非平衡系统的敏感性分析与设计提供了实

摘要： Understanding how systems respond to external changes is fundamental across physics, chemistry, and biology. While existing theories work well near equilibrium, many critical processes—from protein folding to chemical reactions—occur far from stationary states or equilibrium, where current approaches fail. We present a unified framework that predicts system responses for any non-equilibrium Markov process by recognizing a generalized Boltzmann form. This theory enables accurate prediction of system behavior without requiring near-equilibrium assumptions, dramatically expanding our ability to analyze and control complex transient non-equilibrium processes. Moreover, our approach reveals a fundamental connection between equilibrium and non-equilibrium statistical physics while providing practical tools for designing responsive biological processes, optimizing chemical reactions, and engineering adaptive materials.

Reference:

Jiming Zheng, Zhiyue Lu, [arXiv:2501.01050](https://arxiv.org/abs/2501.01050)



(口头报告 A03)

热扩散不变量



须留钧
副研究员/博士

2022 年 6 月获复旦大学理论物理博士学位，2022 年 8 月被破格引入中物院研究生院。主要研究方向为热学超构材料、热质输运和奇异介质。作为第一作者或通讯作者在 *Reviews of Modern Physics*、*Nature Reviews Physics*、*Physical Review Letters*、*PNAS*、*Nature Computational Science*、*National Science Review* 等专业期刊发表论文。分别在 *Springer* (2023) 和 *World Scientific* (2025) 合著出版一部专著。

摘要：拓扑不变量已被广泛地用于电子、光子和声子结构的几何特征分类，但还没有一个不变量来对不同结构的功能属性进行分类。我们提出了一个热扩散不变量来揭示热功能和扩散率之间的相关性。其不仅为各种热超构材料建立了一个统一框架，也为预测和实现之前无法实现的自由形式瞬态热超构材料提供了一个简单范例。我们通过实验展示一个自由形式瞬态热隐身斗篷验证了其竞争力和鲁棒性。热扩散不变量也为瞬态热幻像等高级功能铺平了道路，并适用于热对流和热辐射。这些发现可能为热管理、超构材料设计和非平衡能量与物质输运开辟了一个基于不变量的新道路。



(口头报告 A04)

开量子系统的半马氏过程：首通时间统计的大偏差



柳飞
教授

北京航空航天大学物理学院教授。主要从事非平衡涨落的理论研究。近期关注开放量子系统的随机热力学，开量子系统计数统计和首通时间统计的半马氏方法等。发表学术论文近六十篇，专著一部，《量子轨迹的功和热》（科学出版社，2019）。

摘要：在一类具有有限且固定数量坍缩量子态的特定开放量子系统中，半马尔可夫过程方法被用于计算首通时间统计的大偏差性质。其核心公式是一个极点方程，该方程也适用于确定计数统计的标度矩生成函数。对于简单计数变量，首通时间的标度矩生成函数通过以下步骤得到：找到极点方程关于 z 变换参数的根的最大模，然后计算其对数。该过程类似于求解计数统计大偏差的过程。然而，对于类流变量，除非极点方程能简化为二次形式，否则该方法通常会失效。其根本原因在于根与联合变换收敛区域之间的非唯一性关系。我们通过一个共振驱动的二能级量子系统来说明这些结果，在该系统中，针对几个计数变量都有解析解。我们也应用这些解研究了经典运动学不确定性关系的量子违背。

参考文献：

1. **Fei Liu**, Shihao Xia, and Shanhe Su, Semi-Markov processes in open quantum systems III: Large deviation of first passage time distributions, Phys. Rev. E 110, 064145 (2024)
2. **Fei Liu**, Semi-Markov processes in open quantum systems: Connections and applications in counting statistics, Phys. Rev. E 106, 054152 (2022).



(邀请报告 A05)

扩散超构材料中的拓扑热输运



黄吉平
教授

复旦大学物理系教授、博导；上海理工大学理学院教授、博导、院长。研究方向：变换热学及其扩展理论、热超构材料及其工程应用、扩散调控。发展稳态热扩散变换理论，提出了热隐身这个概念，推动了热超构材料热点研究方向的形成，促成了超构材料热门领域的一个新的主要分支——扩散超构材料。开创性贡献已经获得同行的肯定与认可，应邀在 *Nat. Rev. Phys.* 和 *Rev. Mod. Phys.* 发表综述论文。

摘要：扩散超构材料是一类将扩散方程作为控制方程的人工结构材料，因其结构单元尺寸小于特征长度，从而具备自然材料所不具有的等效特性或功能。这里，首先介绍扩散超构材料的历史渊源，之后重点关注其中热扩散超构材料的拓扑性质。与在边界携带拓扑态的传统拓扑绝缘体相比，高阶拓扑绝缘体在角和边棱处展现出低维无带隙边界态。利用薛定谔方程与扩散方程形式上的相似性，高阶拓扑绝缘体的研究已从凝聚态物理扩展至热扩散领域。遗憾的是，已有热高阶拓扑绝缘体的所有角态均位于带隙内。迄今为止，另一种嵌入体态中的角态尚未在纯扩散系统中实现。在此，我们基于球杆结构构建高维 Su-Schrieffer-Heeger 模型，实现了“体态角态”。基于扩散哈密顿量的反厄米特性，我们通过理论计算、模拟和实验研究了这些角态的热行为。该研究结果为高效散热提供新机遇，并有助于推广基于扩散超构材料的拓扑态研究。

(邀请报告 A06)

Dissipative quantum phase transitions in electrically driven lasers



年磊磊
副研究员/博士

年磊磊，云南大学物理与天文学院副研究员，2016 年至 2021 年在华中科技大学获博士学位并从事博士后研究。长期从事纳米系统中的量子输运、光子统计和量子相变研究，已在 Nano Lett., J. Phys. Chem. Lett., Phys. Rev. A, Phys. Rev. B, Phys. Rev. Applied, Phys. Rev. E 等物理学期刊上发表学术论文 25 篇，主持国家自然科学基金青年项目 1 项。

摘要： Embedding quantum dot circuits into microwave cavities has emerged as a novel platform for controlling photon emission statistics by electrical means. With such a circuit version of the Rabi model, we reveal previously undefined quantum phase transitions in electrically driven lasing regimes, which do not require deep strong light-matter couplings. For one-photon interaction, the scaling analysis indicates that the system undergoes a continuous phase transition from thermal to coherent photon emissions. Going beyond this, a discontinuous quantum phase transition from superbunched to coherent states in two-photon processes, accompanied by the bistability within a mean-field theory, is predicted. Both the order of phase transitions and the critical electron-photon coupling can be easily controlled by an electric field, while the tunneling current can be used as a fingerprint of such transitions. Our prediction, along with its extension to multiphoton processes, represents a key step towards accessing lasing phase transitions.

(口头报告 A07)

声子的波粒双特性及其在强非平衡态中的调控



张忠卫
助理教授/博士

张忠卫博士，同济大学物理科学与工程学院助理教授。2022 年加入同济大学，上海市青年领军人才计划和上海市浦江人才计划。现主持国家自然科学基金项目和省部级项目各一项，主要从事低维系统的热声子物理与热输运特性的多尺度模拟研究。在热输运理论研究领域取得系列创新成果，迄今已在 *Physics Reports*、*Physical Review Letters*、*Nature Communications* 等期刊发表 SCI 论文 60 余篇，总引用近 3000 次（H-index 32）。

摘要：随着微纳电子器件向微型化与高集成度方向快速发展，半导体器件中的界面热阻和局域热点会导致声子呈现强非平衡态分布，这已成为制约器件性能提升的关键瓶颈。在理论层面，我们突破了传统声子气粒子模型的局限，提出了一种融合声子波动与粒子特性的新型热传导理论框架。通过引入波包量化方法，该理论成功阐明了热声子的本征波动相干效应和互相干效应。针对强非平衡态问题，本研究采用多尺度方法系统研究了半导体界面处的声子强非平衡态分布及其输运机理。在固液界面研究中发现，石墨烯表面电荷修饰可使界面 Kapitza 热阻显著降低达 97%，这一效应主要源于界面库仑相互作用的增强以及有序水分子层形成对声子波动特性的协同调控。在固固界面方面，通过结合分子动力学模拟与机器学习技术，我们揭示了 Si/Ge 异质结中界面纳米结构参数（高度、密度、取向）与声子非平衡热输运性能之间的非单调依赖关系，从而为界面热阻优化建立了定量设计准则。此外，通过对粗糙界面和非晶界面等复杂体系的系统研究，我们发现界面声子模式匹配度是决定波粒二象性热输运效率的关键因素。这些研究成果不仅深化了对强非平衡态下声子波粒二象性调控机制的理解，更为高性能半导体器件的热管理设计提供了重要的理论依据和技术支持。

- [1] Z. Zhang, Y. Guo, M. Bescond, J. Chen, M. Nomura, and S. Volz, Heat conduction theory including phonon coherence, *Phys. Rev. Lett.* **128**, 015901 (2022).
- [2] Y. Ma, Z. Zhang, J. Chen, K. Sääskilahti, S. Volz, and J. Chen, Ordered water layers by interfacial charge decoration leading to an ultra-low Kapitza resistance between graphene and water, *Carbon* **135**, 263 (2018).
- [3] S. Jin, Z. Zhang, Y. Guo, J. Chen, M. Nomura, and S. Volz, Optimization of interfacial thermal transport in Si/Ge heterostructure driven by machine learning, *Int. J. Heat Mass Transf.* **182**, 122014 (2022).
- [4] S. Shan, Z. Zhang, S. Volz, and J. Chen, Phonon mode at interface and its impact on interfacial thermal transport, *J. Phys. Condens. Matter* **36**, 423001 (2024).



(口头报告 A08)

Investigating the Modulation of Phonon Hydrodynamics in 2D



胡世谦
研究员

云南大学，研究员，博士生导师，入选云南省“兴滇英才支持计划”青年人才专项，云南省基础研究计划优秀青年项目，曾任日本学术振兴会（JSPS）特别研究员。目前主持国家自然科学基金青年项目，云南省基础研究计划 2 项；主要研究领域为微纳尺度传热、人工智能在热功能材料和热器件中的设计优化，已在 Nat. Commun., Phys. Rev. B, Appl. Phys. Lett., Matt. Today Phys. 等业内主流期刊上发表了论文四十余篇。

摘要：Micro - nanoscale non - Fourier heat conduction has emerged as a pivotal factor impeding the progress of electronic devices. Phonon hydrodynamics, as a crucial research direction in non - Fourier heat transfer, has garnered widespread attention. This study explores the modulation of phonon hydrodynamics in two representative 2D materials: twisted bilayer graphene and bilayer black phosphorus. In twisted bilayer graphene, our results demonstrate that the lattice thermal conductivity exhibits a distinctive "V - shaped" trend as the twist angle varies. This trend is primarily driven by the interplay between N - type and U - type phonon scattering rates. The flexural phonon modes play a pivotal role, with their contribution to thermal conductivity significantly decreasing as the twist angle changes. In bilayer black phosphorus, we reveal that the thermal conductivity generally decreases with increasing strain but shows a non - monotonic behavior at small strains. This behavior is attributed to the competition between strain - induced optical phonon softening and the maintenance / strengthening of the quadratic Z - axis acoustic mode through enhanced quasi - covalent bonds. These findings provide valuable insights into the modulation of phonon hydrodynamics in 2D materials through twist angles and strain engineering, highlighting the importance of interlayer interactions. This research offers essential guidance for the design and optimization of thermal management solutions in nanoscale electronic devices and energy conversion systems.

参考文献：

[1] Phys. Rev. B 110, 245305 (2024)

[2] Phys. Rev. B 109, 165413 (2024)



(口头报告 A09)

伪共形映射实现多物理耦合与瞬态系统中的扩散流调控



王骏
副研究员/博士

王骏，博士，副研究员，硕士生导师。2021 年获复旦大学物理学系博士学位，随后在华东理工大学物理学院从事博士后研究。2023 年 11 月起任职于上海第二工业大学，研究方向为复杂系统中的热能调控。近五年在

《PNAS》《Nature Computational Science》等期刊发表研究论文 30 余篇，并受邀为《Physics Reports》撰写热超材料领域的综述文章。已获授权国家发明专利 7 项，软件著作权 1 项。

摘要：扩散过程在物理、化学及生物系统中广泛存在，对于药物传递、化学反应调控以及微电子器件散热等过程至关重要。近年来，扩散超材料通过人工微结构设计实现对扩散流的操控，然而其普遍存在的各向异性与界面失配问题，严重制约了其在复杂环境中的实际应用。本文提出一种基于伪共形映射的扩散调控新方法，能够利用各向同性介质，实现对多物理场耦合系统及瞬态扩散过程中扩散流的精确操控。该方法突破了现有伪共形变换主要适用于稳态单物理场（Fick 第一定律）的限制，扩展至时间依赖的 Fick 第二定律及更一般形式，构建了一个统一的扩散调控理论框架。我们通过数值模拟与实验验证，展示了该方法在药物传输、反应-扩散系统调控及微电子散热优化等方向的广泛适用性。本研究为非平衡态系统中的扩散调控提供了新的理论工具和实现路径，具有重要的跨学科应用前景。



(口头报告 A10)

手性声子有效磁场及其近场行为研究



熊国欢
讲师/博士

熊国欢，博士，扬州大学物理科学与技术学院讲师、硕士生导师。师从手性声子领域专家张力发教授，曾获国家留学基金委资助赴新加坡国立大学访问研究。研究方向聚焦低维体系热输运、手性声子理论及拓扑声子学，主持国家级、省部级等科研项目多项。

摘要：传统固体物理学将声子视为线极化准粒子，然而近几年研究相继证实了与谷关联的圆极化手性声子的存在，这表明晶格可以做圆周或者椭圆周旋转运动。当晶格具有非零有效电荷时，晶格的旋转运动可产生等效磁场，这一现象为新型量子器件的设计提供了潜在途径。本研究基于玻恩-奥本海默近似，通过改进现有理论模型，系统探究了手性声子磁场的空间分布与叠加效应。

在前期工作中，我们与合作者采用点电荷近似和毕奥-萨伐尔定律，首次估算了碲晶体在温度梯度场下手性声子产生的有效磁场，发现其磁场强度在距场源约 0.1 埃米处迅速衰减。然而，点电荷模型未能充分考虑原子表面电荷的实际分布，导致对磁场近场行为和叠加效应的描述存在局限性。

本研究在绝热近似下建立基于球电荷分布的新理论框架。通过精确刻画电荷的空间分布特征，我们构建了更完善的手性声子磁场理论模型，重点探究磁场在原子尺度的实际空间分布规律、磁场叠加效应以及温度梯度对磁场强度的作用。该研究有望为相关实验观测和器件设计提供理论依据。

参考文献：

- [1] H. Zhu et al., Science 359, 579 (2018).
- [2] L. Zhang and Q. Niu, Phys. Rev. Lett. 115, 115502 (2015).
- [3] Wang T, Sun H, Li X, et al., Nano Lett. 24, 4311-4318 (2024).
- [4] G. Xiong, H. Chen, D. Ma, and L. Zhang, Phys. Rev. B 106, 144302 (2022).



(邀请报告 A11)

热力学长度以及实验测量



董辉
研究员/博士

董辉研究员，2006 年本科毕业于中国科学技术大学近代物理系，2011 年在中科院理论物理所获得博士学位。之后分别在加州大学伯克利分校和德州农工大学从事博士后研究。2017 年加入中国工程物理研究院研究生院(北京)。主要从事与能源转化的量子统计热力学和超快光谱研究。在 *Phys.Rev.Lett*, *Phys.Rev. A/E* 等杂志发表论文近 60 篇。获得海外高层次人才计划青年项目支持，主持国家自然科学基金面上项目，NSAF 重点项目，科技创新 2030 项目等。

摘要：平衡态与非平衡过程之间的关系是统计物理与热力学中的核心问题之一。一方面，非平衡过程的测量可用于提取平衡态空间的热力学信息，例如 Jarzynski 等式揭示了非平衡做功与平衡自由能差之间的精确关系；另一方面，平衡态空间的几何结构也对非平衡过程施加约束，近年来提出的热力学长度正是刻画有限时间不可逆过程中最小耗散或最小做功的几何量。它为理解非平衡耗散提供了统一的、基于平衡态性质的框架。本报告将介绍我们课题组近几年来在热力学长度理论构建与实验验证方面取得的进展。

(邀请报告 A12)

量子比特重置的最优能耗



贺达海
教授

贺达海，厦门大学物理学系教授，博士生导师。主要从事非平衡统计物理研究，包括低维晶格热化的混沌动力学机制、声子安德森局域化、量子热输运及随机热力学等方向。

摘要：自 1961 年 R. Landauer 提出以来，Landauer 原理作为信息热力学的基础理论，受到了广泛关注。Landauer 原理对擦除一比特信息所需的热力学成本设定了下界，但实现这种理论极限需通过无限长时间的准静态协议。随着电子器件和量子计算的快速发展，人们要求信息处理过程在越来越短的时间内完成。而有限的信息处理时间会导致额外的热力学成本和一定的错误率。这驱使人们探索在有限时间内最紧的 Landauer 界限。为此，我们提出了一个一般的理论框架，用以确定在任意擦除速度下量子比特重置的最小热力学成本和相应的最优协议，并重点讨论了快速驱动（短时）极限下，最优量子比特重置所满足的规律。我们的研究揭示了最小熵产生在短时极限下的发散行为取决于环境跃迁率的收敛和发散——收敛类在接近最小时间时呈现对数发散，而发散类在时间趋零时展现标度发散。此外，研究发现不同时长的最优控制协议存在普适的“相似”特征：对于不同持续时间的重置过程，最优协议可以通过简单的变量变换相互映射。该结果分别在费米热库和玻色热库等例子中得到了验证。

关键词：Landauer 原理、有限时间热力学、最紧 Landauer 界限，最优协议

参考文献：

- [1] R. Landauer, *Irreversibility and heat generation in the computing process*, IBM J. Res. Dev. 5, 183 (1961).
- [2] Y. Liu, C. Huang, X. Zhang and D. He, *Optimally fast qubit reset*, Phys. Rev. Lett. 134, 100401 (2025).



(口头报告 A13)

活性物质的热力学几何控制



李耿

助理研究员

北京师范大学系统科学学院助理研究员。主要从事统计物理学及相关理论在生物物理学、几何学和复杂气候系统中的交叉研究工作，具体研究兴趣点为纳米尺度小系统的统计和热力学行为，有限时间热力学过程的控制和优化，以及热力学方法在复杂气候系统中的应用。

摘要：活性物质代表了一类非平衡系统，其通过持续耗散能量产生定向运动。控制活性物质到达目标状态，在合成分子马达、靶向药物递送和自适应智能材料领域具有重要应用潜力。然而，活性物质固有的非平衡特性使得在最小化能量消耗的同时实现最优控制面临重大挑战。本研究将最初为被动系统能量消耗提供几何描述的热力学几何概念拓展至活性系统，提出了一种针对具有粒子相互作用的活性物质系统的最小能耗控制几何框架。我们推导出一个定义控制参数黎曼流形的能耗度规，使得能够应用强大的几何工具确定最优控制方案。几何视角揭示：与被动系统不同，活性系统能耗最小化需要平衡内禀耗散与外部耗散，其最优输运速度与活性布朗粒子的自驱动速度一致。这一发现丰富了热力学几何的普适性内涵。我们通过在几何框架下优化单热源活性热机的性能，展示了该方法的实际应用价值。



(口头报告 A14)

生化反应网络中最优控制的几何



张逸宽
北京大学
物理学院

张逸宽^{*1}, 欧阳颀², 涂豫海³

1. 北京大学物理学院
2. 浙江大学高等物理研究院
3. Flatiron Institute (熨斗研究所)

简介*: 北京大学物理学院博士生, 导师欧阳颀和涂豫海。

摘要: 尽管最优控制在连续状态变量的随机热力学系统中已有大量研究, 但对于离散状态变量系统 (如生化反应网络 CRNs) 的认知仍然不足。研究生命系统在不同状态之间切换的最优控制的方案, 可以帮助理解生命系统运作机制本身, 还可以指导生物网络元件的理性设计。本文构建了一个通用理论框架, 用于研究 CRNs 中实现初始态分布至目标态分布转换的最小耗散最优控制。我们推导出绝热极限下概率流的"基尔霍夫定律", 据此可解析确定任意局部速率约束允许的概率轨迹对应的最优动力学速率。通过使用最优速率, 我们发现总耗散由概率空间中的 L2 距离度量决定, 并推导出了取决于概率分布、网络拓扑和各反应容量的度量张量解析表达式。最小化总耗散将得到概率空间中的测地线轨迹, 其对应的最优控制方案由基尔霍夫定律确定。这项工作的结果, 不仅可以知道最优控制的方案, 还从热力学的角度定量地描述了生化反应系统在不同状态之间的耗散距离, 为定量理解生化反应网络在能量以及功能性之间的优化开辟了新的研究方向。

参考文献: Y. Zhang, Q. Ouyang, and Y. Tu, Geometry of Optimal Control in Chemical Reaction Networks in the Adiabatic Limit, Phys. Rev. Lett. 134, 018001 (2025).



(口头报告 A15)

全局相互作用复杂系统的联合概率分布函数



2001 年至 2010 年本硕博就读于厦门大学物理系，毕业后就职于华侨大学物理系。长期从事长程相互作用/长时记忆复杂系统的统计物理性质研究，特别关注复杂系统联合概率分布不满足独立相乘原理情况下的实证现象和理论问题。

黄志福

副教授/博士

摘要：基于任意两子系统间的相互作用能量等于各自内能乘以相互作用系数的关系，我们推导得到一序列相关的统计物理学量表达式，比如对应的内能系综平均值，内能分布函数等等。需要指出的是，我们得到的内能分布函数与众多包含长程相互作用的复杂系统中存在的能量分布函数相符。进一步的，在热力学第零定律的基础上，我们还得到了对应的两复杂系统内能的联合概率分布函数表达式。紧接着，我们还提出了两耦合复杂系统速度的变量代换处理方式，给出了两复杂系统速度的联合概率分布函数关系。在这里必须重点强调的是，我们得到的联合概率分布函数不再满足过去常见的**独立相乘关系**。最后，我们选择了具有代表性的几个外汇高频交易数据进行验证，发现理论和实际相符。

(口头报告 A16)

通过拓展等温捷径方案对基于棘轮势的粒子分离进行工程化设计



赵秀花
博士生

赵秀花，曾于北京师范大学物理学系获得学士学位，现为北京师范大学物理与天文学院理论物理专业博士生，导师为涂展春教授，研究方向为非平衡过程与随机热力学。

摘要：针对粒子分离这一典型的非平衡过程，我们提出了一种可控的热力学方案。通过拓展单粒子等温过程中的热力学控制手段，即等温捷径，我们实现了快速、可调、低能耗的粒子分离。考虑一维空间中具有时间周期 τ 和空间周期 L 的棘轮势，我们得到粒子的平均速度 v 与 $(1-D/D^*)/\tau$ 成正比，其中 D 是粒子的扩散系数。因此，通过预设参数 D^* ，可使不同扩散系数的粒子沿相反方向运动，从而实现有效分离。分离过程的能量成本可分为必需成本和额外成本。前者由分离前后粒子的内能变化决定，后者则取决于棘轮势中驱动参数的动力学函数，其理论下限与 $|v|L^2$ 成正比，其中 L 为参数空间中驱动回路的热力学长度。我们将该方法与传统棘轮机制进行了对比，结果显示，在较大的周期范围里，本方法在分离速度和能耗方面均表现出更优的性能。此外，该框架还可自然推广至二维空间，实现多类粒子的同时分离。本工作将热力学过程控制与粒子分离深度结合，为基于棘轮势的分离方法提供了进一步的热力学优化路径。

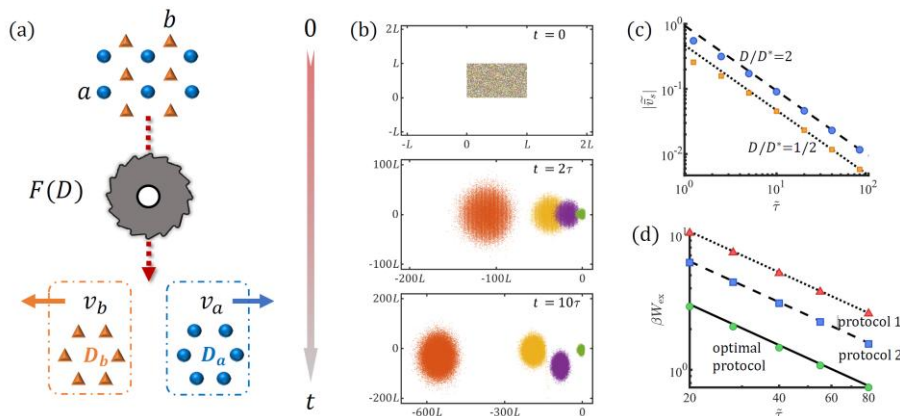


图 1：通过工程化设计周期性棘轮势，使粒子在非平衡驱动下沿扩散系数相关的方向运动，从而实现高效分离。

相关论文

Xiu-Hua Zhao, Z. C. Tu and Yu-Han Ma, Engineering ratchet-based particle separation via extended shortcuts to isothermality, Phys. Rev. E 110 (2024) 034105.



(邀请报告 A17)

Generalized Quantum Fluctuation Theorem for Energy Exchange



吴威，兰州大学教授，博士生导师。目前主要从事与量子耗散系统动力学相关的量子力学与量子热力学基础问题研究。

吴威
教授

摘要： The nonequilibrium fluctuation relation is a cornerstone of quantum thermodynamics. It is widely believed that the system-bath heat exchange obeys the famous Jarzynski-Wójcik fluctuation theorem. However, this theorem is established in the Born-Markovian approximation under the weak-coupling condition. Via studying the energy exchange between a harmonic oscillator and its coupled bath in the non-Markovian dynamics, we establish a generalized quantum fluctuation theorem for energy exchange being valid for arbitrary coupling strength. The Jarzynski-Wójcik fluctuation theorem is recovered in the weak-coupling limit. We also find the average energy exchange exhibits rich nonequilibrium characteristics when different numbers of system-bath bound states are formed, which suggests a useful way to control the quantum heat. Deepening our understanding of the fluctuation relation in quantum thermodynamics, our result lays the foundation to design high-efficiency quantum heat engines.



(邀请报告 A18)

Symmetry restoration and quantum Mpemba effects in chaotic and localization systems



刘铄
博士

2025 年，刘铄在清华大学高等研究院获得博士学位，导师为姚宏教授。博士毕业后，他将前往普林斯顿大学从事博士后研究工作。其主要研究兴趣包括量子动力学、量子计算、量子信息等。

摘要： The nonequilibrium dynamics of quantum many-body systems have attracted growing attention due to various intriguing phenomena absent in equilibrium physics. One famous example is the quantum Mpemba effect, where the symmetry is restored faster under a symmetric quench from a more asymmetric initial state. In this talk, we investigate symmetry restoration dynamics and the associated quantum Mpemba effects in both quantum chaotic and many-body localization systems using theoretical tools such as random quantum circuits and the effective models for MBL. We study symmetry restoration behaviors for different initial states and internal symmetries and present a unified framework to understand these diverse phenomena through the lens of quantum thermalization.

(口头报告 A19)

介观经典流体模型中的热传导行为

罗荣祥
博士

罗荣祥，硕士生导师，福州大学物理系。从事非线性复杂系统的动力学和统计物理的研究。我的课题是通过研究具有代表性的模型系统来揭示其动力学和统计力学性质之间的关系，进而对理解某些凝聚态系统的性质提供新的思路。目前，主要的研究方向是近平衡态系统的弛豫及输运问题。

摘要：能量输运的维度及尺寸依赖性对输运系数的影响，是理解微纳尺度下物质非平衡性质的关键。本报告基于多粒子碰撞动力学方法，对一维、二维和三维介观经典流体模型中的热传导现象，开展平衡态与非平衡态的模拟研究。报告将提供全面可靠的数值证据，论证在动量守恒的系统中，由流体力学效应主导的热传导可以呈现出如下特征[1,2]：

- (1) 在一维模型中，热导率 κ 随系统尺寸 L 呈 $\kappa \propto L^{1/3}$ 的发散关系，且热流关联函数 $C(t)$ 随时间 t 按 $C(t) \propto t^{-2/3}$ 的规律衰减；
- (2) 在二维模型中， κ 随 L 呈 $\kappa \propto \ln(L)$ 的发散关系， $C(t)$ 随 t 按 $C(t) \propto t^{-1}$ 衰减；
- (3) 在三维模型中， κ 与 L 无关， $C(t)$ 随 t 按 $C(t) \propto t^{-3/2}$ 衰减。

同时，报告将指出：在近可积条件下，动量守恒的介观经典流体模型中，由动力学效应主导的正常热传导行为，在一维、二维和三维系统中均能观察到[1]。这一发现表明，此前仅在一维系统中发现的这种正常热传导行为[3,4] 具有更广泛的普适性。此外，报告还将给出热传导存在维度交叉现象的数值证据 [1]。最后，报告将指出：在伪动量守恒的流体模型中施加磁场会使其反常热传导行为转变为正常行为，表明伪动量守恒并非导致反常热传导行为发生的充分条件[5]。

[1] [Rongxiang Luo](#) and Stefano Lepri, *Multi-Particle-Collision Simulation of Heat Transfer in Low-Dimensional Fluids*, [Entropy](#) **27**, 455 (2025).

[2] Stefano Lepri (ed.), *Thermal Transport in Low Dimensions: From Statistical Physics to Nanoscale Heat Transfer*, Springer, Berlin, (2016).

[3] Shunda Chen, Jiao Wang, Giulio Casati, and Giuliano Benenti, *Nonintegrability and the Fourier heat conduction law*, *Phys. Rev. E* **90**, 032134 (2014).

[4] Hanqing Zhao and Hong Zhao, *Testing the Stokes-Einstein relation with the hard-sphere fluid model*, *Phys. Rev. E* **103**, L030103 (2021).

[5] [Rongxiang Luo](#), Qiyuan Zhang, Guanming Lin, and Stefano Lepri, *Heat conduction in low-dimensional electron gases without and with a magnetic field*, [Phys. Rev. E](#) **111**, 014116 (2025).



(口头报告 A20)

矩阵方法构造非平衡统计系综理论



管绍华

助理研究员

本科毕业于山东大学，硕博毕业于中国科学院理论物理研究所，从事非平衡统计物理与复杂系统相关研究，致力于发展非平衡统计物理理论方法，研究生物系统、活性物质和神经网络等。

摘要：将平衡态统计力学理论拓展至非平衡系统，是现在统计物理研究中的核心挑战之一。在生物、社会等非平衡复杂系统中，Jaynes 的最大熵原理被广泛的应用于构造非平衡系统的统计力学模型^[1]，其对应的玻尔兹曼分布是当前选取约束下的最大熵分布。然而由于约束选取是经验性的，构造的玻尔兹曼分布往往不能真实的表达系统的概率分布。

为了解决上述困难，寻找严格的非平衡稳态系统的玻尔兹曼分布构建方法，我们提出了基于矩阵表示的统计系综理论方法^[2]。其核心在于构建微观状态的观测矩阵，进而通过矩阵变换推导出广义玻尔兹曼分布，从而绕过了传统的平衡态假设，这表明任意概率分布都对应着一个广义玻尔兹曼分布。这一数学过程揭示了不同系综中的哈密顿量结构来源于一种线性空间表示，其中物理观测量与共轭变量自然地作为线性空间中的基底与坐标。进而，我们在自旋模型、随机游走和主方程系统中进行了应用，给出了这三类系统中对应的观测矩阵及其物理含义，并讨论了细致平衡条件、有效温度、广义涨落耗散关系等概念。该理论方法为构建非平衡稳态系统的系综理论提供了一种新途径，使平衡态系综理论能够推广至更广泛的非平衡系统中，有助于推动非平衡统计力学理论的发展。

参考文献：

- [1] Guan S, Zhang Z, Zhang Z, et al. Universal scaling relation and criticality in metabolism and growth of Escherichia coli[J]. Physical Review Research, 2024, 6(1): 013035.
- [2] Guan S. Matrix approach to generalized ensemble theory[J]. arXiv preprint arXiv:2503.17898, 2025.

(口头报告 A21)

基于原始模型的电解质溶液表面张力解析理论



肖铁军
教授/博士

肖铁军，中国科技大学理学博士，美国爱荷华州立大学博士后，贵州师范学院教授。长期从事介观物理学体系的非平衡统计以及电化学理论这两方面的研究。承担国家自然科学基金 3 项、贵州省科技厅及贵州省教育厅自然科学基金项目各 1 项，在 *J. Chem. Theory Comput.*、*J. Phys. Chem. Lett.*、*J. Chem. Phys.*、*J. Phys. Chem B.*、*Electrochim. Acta* 等主流学术期刊上共发表 SCI 论文 30 多篇。

摘要：电解质溶液表面张力性质在众多物理化学、溶液化学、电化学和生物化学体系中都有重要的应用。然而，对电解质溶液表面张力的准确理论预测至今仍然是一大挑战。我们发展了一种预测电解质溶液表面张力随电解质浓度变化的解析理论。具体说来，我们将电解质溶液映射到原始模型（其中电解质阴阳离子用带电硬球描述，而极性溶剂则当成介电连续背景），此时电解质溶液的表面张力增量约化为原始模型体系的表面张力。进一步通过溶液积分方程理论及形态热力学理论，我们得到了原始体系的表面张力解析公式。基于此解析公式，电解质溶液的表面张力增量可分解为硬球贡献（主要贡献）及静电贡献（次要贡献）。我们的理论公式在无机盐水溶液以及非水溶液体系中得到了应用，对于几十种溶液的表面张力给出了良好的预测。

参考文献：

- [1] **T. Xiao**, Y. Zhou and H. Jiang, (2024) Ion-Specific Surface Tension of Aqueous Electrolyte Solutions: Analytical Insights from a Restricted Primitive Model, *J. Chem. Theory Comput.*, 20,10158-10166
- [2] **T. Xiao**, Y. Zhou and H. Jiang, (2024) Surface Tension of Simple Molten Salts: Insight from a Charged Hard Sphere Model, *J. Phys. Chem. B* 128,7882-7887
- [3] **T. Xiao** and Y. Zhou, (2023) A cavity formation energy formula for hard spheres in simple electrolyte solutions, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 25, 13080-13087



(口头报告 A22)

液态金属高压热力学行为研究：新的线性规则与状态方程构建



厉华明
副教授/博士

厉华明，太原理工大学物理学院副教授，硕士生导师，博士毕业于美国佐治亚理工学院。研究方向涉及凝聚态物质中非线性现象和复杂性，具体通过建立理论模型，运用解析分析和数值方法探索各种发生在无序晶体固体，非晶态固体和液体等的各种物理现象，已发表SCI论文十余篇。

摘要：本研究系统考察了液态金属（包括钠、钾、铋和镓）在高压环境下的热力学特性，发现了其压缩行为的新规律，并建立了适用于广泛压力范围的状态方程。研究揭示，液态金属的压缩因子与约化体积之间存在明显的线性关联，这种关系在不同温度条件下均保持稳定，表明高压下液态金属仍表现出一定的统计规律性。通过结合实验与理论分析，证实了约化体积模量和约化内压参数在等温条件下的线性特征，但在极高压区域（超过 10 GPa）会出现实验数据偏离线性趋势的现象。基于幂律形式和线性等温规则，采用两种改进的状态方程，并比较了它们对热膨胀系数和等容热容等关键热力学参数的预测效果。结果显示，在低压范围（低于 5 GPa），两种方程都能准确拟合实验数据，但在高压区域，基于线性规则的方程表现出更优的适应性。该研究不仅为液态金属的高压热力学建模提供了新的理论基础，对极端条件下的材料研发（如液态金属电池、核聚变冷却系统等）具有重要的实践指导价值。



(邀请报告 A23)

非平衡稳态的卡西米尔力



苗兵

教授/博士

苗兵，中国科学院大学教授，博士生导师。对与涨落有关的理论物理基础问题有广泛兴趣。2006 年博士毕业于中国科学院。2006 年 - 2011 年分别在加拿大圣弗朗西斯泽维尔大学和圭尔夫大学物理系，德国马普聚合物研究所理论系做博士后。2019 年 3 月和 9 月分别任德国马普智能体系研究所和法国波尔多大学理论物理组访问教授。现任兰州大学物理学院兼职教授。

摘要：卡西米尔力是由长程关联的涨落诱导产生的有效相互作用。平衡态涨落具有长程关联的条件是规范对称/标度不变/南部-戈德斯通模等。相较而言，动力学守恒量由非平衡效应可自发产生长程关联，因此非平衡涨落为卡西米尔力提供了更广阔的涨落背景。本报告介绍我们用基于 Dean-Kawasaki 方程的随机动力学场论研究非平衡稳态卡西米尔力的系列解析理论工作。具体而言，电解质体系在电场驱动下产生非平衡稳态流，进而诱导产生卡西米尔平板之间的长程非平衡卡西米尔排斥力，该有效相互作用在平衡态下为零。

(邀请报告 A24)

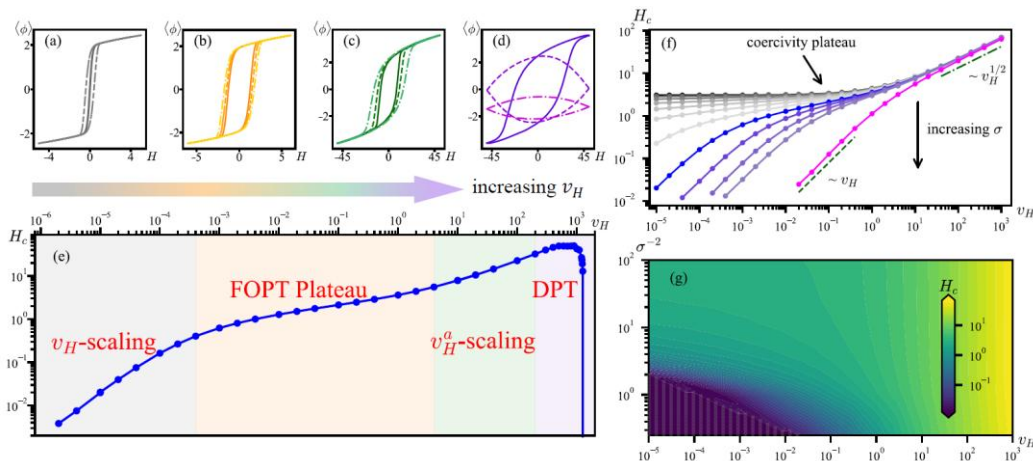
动力学滞回的有限时间与有限尺寸标度



马宇翰
副教授/博士

北京师范大学物理与天文学院副教授，2020 年于中国工程物理研究院获理论物理博士学位，入选 2021 年度国家“博新计划”。长期专注于非平衡热力学与统计物理基本问题与应用场景的研究，聚焦能源过程中的基本热力学限制与优化。已在领域一流期刊发表论文 29 篇，其中第一或通讯作者论文 23 篇(Phys. Rev. Lett. 2 篇, Phys. Rev. E/A/Res. 9 篇)，总引用超过 700 次。与合作者提出的简并热机模型展示的热力学优势的研究入选 Trending in PRL，被 Phys.org、Interesting Engineering 等国际著名科技媒体专题新闻报道。注重理论与实践结合，已授权 3 项、受理 2 项专利。

摘要： 滞回现象广泛存在于自然与工程系统中，涵盖微观至宏观尺度，涉及磁学、机械材料、电子光学器件等多个领域，其核心特征为历史依赖的动力学，即系统当前状态取决于瞬时驱动参数及其时间演化。其中磁滞现象因丰富物理内涵受长期关注，揭示的各向异性等属性为磁技术发展奠定基础。滞回曲线形态多样，研究焦点在于其随驱动参数的演化，包括有限时间与有限尺寸的标度律及动力学相变等。已有的研究表明存在与不存在准静态滞回的系统因遍历性差异表现出不同动力学行为。现有研究面临三个挑战：跨时间尺度动态滞回的标度关系探索不足、磁学唯象模型中准静态与动态滞后连续转变机制不明、实验与理论标度律对比存在模糊性。为此，本研究基于驱动随机 ϕ^4 模型提出“矫顽力全景图”的概念，构建了统一框架联系起不同时间尺度下驱动的滞回现象的动态标度关系，导出的序参量演化方程是连接微观动力学与宏观行为的桥梁，为解决理论与实验间的不匹配提供了新视角。



[1] Miao Chen, Xiu-Hua Zhao, and **Yu-Han Ma***, Coercivity Panorama of Dynamic Hysteresis, arXiv:2506.24035; Finite-time and Finite-size scalings of coercivity in dynamic hysteresis, arXiv:2507.07933



(口头报告 A25)

宏观不可逆问题与关联信息熵增



北京理工大学物理学院副教授。

李圣文

摘要：孤立的系统满足么正演化的规律，这使得多体系统的熵总保持为一个常数，这与宏观热力学的不可逆熵增行为看似矛盾，这被称为可逆性佯谬。我们注意到，若观察其中局部的子系统，这些局域性质往往会表现出向特定稳态迟豫的行为，这被称为局域迟豫。另外，由于有限尺度效应，经过一定时间的局域迟豫后，系统会停止衰减而表现出“回归”的现象。对于这些系统的瞬时演化状态，标准的热力学熵并不适用，但是若考虑各子系统之间的总信息关联熵，我们发现它会表现出单调增加的行为，而且对总关联熵求极大值也可以较准确的求得系统近似的稳态，形如一个推广的 Boltzmann 分布，与标准的 Boltzmann 分布有所不同。因此，多体系统的总体满足可逆性演化，而局域性质则表现出不可逆行为，这正是宏观不可逆性的来源。对于开放系统问题，总关联熵的增长也可以自然的回归到标准热力学中的不可逆熵增。这意味着，总关联熵的不可逆增加可以作为热力学熵增的有效推广。



(口头报告 A26)

Entropy production of active Brownian particles in a rough potential field: An exact solution

王鹏

副教授/博士

宁夏大学物理学院，主要从事统计物理与复杂系统的理论研究，研究方向人类动力学、生物组织中的活性物质输运等。

摘要: Entropy production of active Brownian particles in a rough potential field:
An exact solution

The control of active Brownian particles, a theoretically challenging open problem, holds significant promise for diverse applications spanning biology to artificial intelligence. This study focuses on regulating a non-equilibrium system formed by the active Brownian particles in a rough potential field via adjusting energy injection. By employing path integration and generating function methods, we derive analytical expressions for the fluctuation factor, entropy production, and diffusion coefficients. The key findings reveal that the entropy production, encompassing both stochastic entropy and entropy flux from the heat source, exhibits a characteristic "Z"-shaped variation with the control protocol. This morphological feature indicates a dynamic phase transition of the system from a non-equilibrium steady state to an equilibrium state as energy is dynamically injected. The exact analytical solutions obtained herein not only deepen our understanding of non-equilibrium thermodynamics in active matter systems but also offer methodological insights for the precise regulation of self-propelled particles in complex environments.



(邀请报告 A27)

准二维 XY 模型：从临界相到有序相



吕建平
教授/博士

吕建平，安徽师范大学物理与电子信息学院教授、院长，研究领域：理论物理-统计物理-相变与临界行为。近年来在超凡对数临界相、准二维体系、蒙特卡洛模拟等方面开展研究，相关工作在 PRL、NSR、PRE 等期刊发表。入选国家级重大人才工程青年学者，获得霍英东基金会高校青年教师奖。

摘要：以 Kosterlitz 和 Thouless 的工作为代表，二维 XY 模型在相变与临界现象的研究中发挥重要作用。然而，一些准二维 XY 模型的相变与临界行为曾经长期存在争议。典型例子是 XY 模型的表面临界性的相图，直到 2021 年前后，人们认识到强耦合区间的超凡对数临界相，并给出系统性的数值证据，相关问题才得以完全解决。目前，超凡对数临界相的相关研究已拓展到界面体系、经典与量子层展临界系统、量子测量、量子霍尔效应等。然而，更进一步的问题是：准二维 XY 模型能否发生连续对称性破缺？是否存在与之对应的有序相？针对这些问题，基于场论的研究未能给出确切答案。近期，我们构建一个准二维 XY 模型，采用大规模蒙特卡洛模拟，揭示连续对称性破缺、长程序与 Goldstone 模效应。

参考文献：

Minghui Hu, Chao Zhang, Dajun Zhang, Yanan Sun, Youjin Deng, Jian-Ping Lv,
Long-range Order in a Short-range Quasi-2D XY Model, 2506.19637, 2025

(邀请报告 A28)

Tensor network Monte Carlo simulations for the two-dimensional random bond Ising model



张万舟
副教授/博士

张万舟，副教授，2011 年博士毕业于北京师范大学，并就职于太原理工大学物理与光电工程学院工作至今，院统计物理团队负责人。曾访问纽约州立大学石溪分校杨振宁理论物理所、中国科学院理论物理研究所和中国科学技术大学。在 Physical Review 系列期刊发表学术论文近 20 篇。当前主要研究兴趣为张量网络蒙特卡罗方法及其应用。

摘要： Disordered lattice spin systems are crucial in both theoretical and applied physics. However, understanding their properties poses significant challenges to Monte Carlo simulations. In this work, we investigate the two-dimensional random bond Ising model using the recently proposed Tensor Network Monte Carlo (TNMC) method. This method generates biased samples from conditional probabilities computed via tensor network contractions and corrects the bias using the Metropolis scheme. Consequently, the proposals provided by tensor networks function as block updates for Monte Carlo simulations.

Through extensive numerical experiments, we demonstrate that TNMC simulations can be performed on lattices as large as 1024×1024 spins with moderate computational resources, a substantial increase from the previous maximum size of 64×64 in MCMC. Notably, we observe an almost complete absence of critical slowing down, enabling the efficient collection of unbiased samples and averaging over a large number of random realizations of bond disorders. We successfully pinpoint the multi-critical point along the Nishimori line with significant precision and accurately determined the bulk and surface critical exponents. Our findings suggest that TNMC is a highly efficient algorithm for exploring disordered and frustrated systems in two dimensions.

Ref: Tao Chen, Erdong Guo, Wanzhou Zhang*, PanZhang*, YoujinDeng*,
Tensor network Monte Carlo simulations for the two-dimensional random-bond
Ising model, Phys.Rev.B, 111, 094201 (2025).

(口头报告 A29)

Collective behavior based on topological vision



郭伟，理学博士，副教授，特聘教授，昆明学院物理科学与技术学院副院长。

郭伟

副教授/博士

摘要： In this talk, we report the collective dynamics of active particles with topological vision. The topological vision is defined as a combination of the visual field and topological neighborhoods. It breaks the action-reaction symmetry, thereby indicating that active particles exhibit the nonreciprocal topological interactions. Furthermore, our model considers position-based attractive force, wherein moving particles navigate using instantaneous visual information from neighboring particles within the topological vision, distinct from conventional models based on the velocity-velocity alignment. We demonstrate that the competition between the noise and the nonreciprocal topological interactions results in the emergence of four typical phases: gas phase, ordered phase, nematic bands, and aggregate traveling polar band. Moreover, the nonreciprocal topological interactions impact both anomalous diffusion and ergodicity breaking. Specifically, the weak nonreciprocal topological interactions lead to ergodic subdiffusion, while the strong nonreciprocal topological interactions give rise to nonergodic superdiffusion. These findings provide a theoretical basis for understanding the nonequilibrium collective transport of active particles with topological vision.



(口头报告 A30)

基于本征微观态方法的临界弛豫动力学研究



乔崇智，北京师范大学系统科学学院助理研究员，博士生导师。研究兴趣包括为相变与临界现象，受限流体热力学等。

乔崇智
助理研究员

摘要：非平衡相变与临界弛豫现象广泛存在于自然界与工业生产中，是理解复杂系统中涌现行为的重要途径。传统相变理论以序参量为出发点，难以对处于非平衡，序参量和哈密顿量未知的复杂系统相变过程进行准确描述。而目前对于临界弛豫过程的研究大多是通过序参量的演化计算平衡态临界指数，或通过自关联函数描述演化过程，难以直观地描述系统在弛豫过程中热力学量以及系统空间介观结构的演化过程。近年来提出的本征微观态方法为解决上述问题提供了新思路。本工作针对二维 Ising 模型由高温或低温的平衡态向临界区域弛豫的演化过程进行研究。通过本征微观态方法对大量弛豫过程的演化轨迹进行分析，得到了弛豫过程中系统热力学量和本征值的演化过程。系统地研究了本征微观态弛豫过程中的空间介观结构的变化情况，发现了本征微观态的空间介观结构可以作为系统的早期预警信号。并系统讨论了在临界弛豫过程中本征值的有限尺度标度行为。

(邀请报告 A31)

Promoting Fluctuation Theorems into Covariant Forms



全海涛
教授

全海涛，北京大学博雅特聘教授。2002 年和 2007 年分别在中南大学和中国科学院理论物理研究所获得学士和博士学位。2007 年至 2012 年分别在美国能源部洛斯阿拉莫斯国家实验室和马里兰大学从事博士后研究。2012 年入职北京大学物理学院，2019 年起任博雅特聘教授。全海涛的主要研究领域是统计物理和量子物理的基本问题。他先后获得过的奖励和荣誉包括：国家自然科学奖二等奖（第二完成人）（2008 年），全国百篇优秀博士学位论文奖（2009 年），中组部青年千人计划（2012 年），国家杰出青年科学基金（2018 年）。他指导的多名博士生获得北京大学优秀博士论文奖和北京大学优秀毕业生荣誉称号。他还担任学术期刊 *Thermo-X* 和 *Communications in Theoretical Physics* 编委和全国统计物理与复杂系统学术委员会委员。

摘要： The principle of covariance, a cornerstone of modern physics, asserts the equivalence of all inertial frames of reference. Fluctuation theorems, as extensions of the second law of thermodynamics, establish universal connections between irreversibility and fluctuation in terms of stochastic thermodynamic quantities. However, these relations typically assume that both the thermodynamic system and the heat bath are at rest with respect to the observer, thereby failing to satisfy the principle of covariance. In this study, by introducing covariant work and heat that incorporate both energy-related and momentum-related components, we promote fluctuation theorems into covariant forms applicable to moving thermodynamic systems and moving heat baths. We illustrate this framework with two examples: the work statistics of a relativistic stochastic field and the heat statistics of a relativistic Brownian motion. Although our study is carried out in the context of special relativity, the results can be extended to the nonrelativistic limit. Our work combines the principle of covariance and fluctuation theorems into a coherent framework and may have applications in the study of thermodynamics relevant to cosmic microwave background as well as the radiative heat transfer and noncontact friction between relatively moving bodies.

Ref: Ji-Hui Pei, Jin-Fu Chen, H. T. Quan, *Phys. Rev. Lett.* 134, 237102 (2025)



(邀请报告 A32)

Excited-state quantum phase transitions and the entropy of the work distribution

王骞，副教授，浙江师范大学。

摘要： Studying the implications and characterizations of the excited-state quantum phase transitions (ESQPTs) would enable us to understand various phenomena observed in quantum many-body systems. In this work, we delve into the affects and characterizations of the ESQPTs in the anharmonic Lipkin-Meshkov-Glick (LMG) model by means of the entropy of the quantum work distribution. The entropy of the work distribution measures the complexity of the work distribution and behaves as a valuable tool for analyzing nonequilibrium work statistics. We show that the entropy of the work distribution captures salient signatures of the underlying ESQPTs in the model. In particular, a detailed analysis of the scaling behavior of the entropy verifies that it not only acts as a witness of the ESQPTs but also reveals the difference between different types of ESQPTs. We further demonstrate that the work distribution entropy also behaves as a powerful tool for understanding the features and differences of ESQPTs in the energy space. Our results provide further evidence of the usefulness of the entropy of the work distribution for investigating various phase transitions in quantum many-body systems and open up a promising way for experimentally exploring the signatures of ESQPTs.

(口头报告 A33)

Quantum fluctuation theorem of many-body coherence and correlation



张堃
副教授

张堃，西北大学副教授。2022 年博士毕业于纽约州立大学石溪分校。研究方向为量子信息理论，在 Phys. Rev. Lett., PRX Quantum, Phys. Rev. A/B/D 等期刊共发表学术论文 20 余篇，其中以第一/通讯作者发表论文 16 篇。主持国家自然科学基金 1 项，省部级项目 3 项。

摘要： We formulate the quantum fluctuation theorem of many-body coherence and correlation dynamics, in both integral and detailed formalisms. The system and environment are both modeled as multipartite. We do not assume any thermodynamic structure of the system and the environment, as well as their interactions. The fluctuation theorem of the classical many-body correlation is founded on the two-point measurement scheme. We apply the quasiprobability description for the fluctuation theorem of quantum coherence and correlation. We illustrate three-qubit examples to support our results. The experimental verification proposals are also discussed. Our findings reveal that the theoretical framework of the fluctuation theorem can extend to a wider range of applications within the realm of quantum information, offering new insights into the behavior of nonequilibrium quantum information dynamics.

(邀请报告 B01)

Universal relations and bounds in quasistatic small heat engines



Gentaro Watanabe is a tenured associate professor at the School of Physics, Zhejiang University. His recent research focuses on thermodynamics of small systems and quantum thermodynamics.

Gentaro Watanabe

研究员，长聘副教授 / 博士

摘要: The efficiency of any heat engine, defined as the ratio of average work output to heat input, is bounded by Carnot's celebrated result. However, this measure is insufficient to characterize the properties of miniaturized heat engines carrying non-negligible fluctuations, and a study of higher-order statistics of their energy exchanges is required. Here, we generalize Carnot's result for reversible cycles to arbitrary order moment of the work and heat fluctuations [1]. Our results show that, in the quasistatic limit, higher order statistics of a small engine's energetics depend solely on the ratio between the temperatures of the thermal baths. We further prove that our result for the second moment gives universal bounds for the ratio between the variances of work and heat for quasistatic cycles. We test this theory with our previous experimental results of a Brownian Carnot engine [2] and observe the consistency between them, even beyond the quasistatic regime. Our results can be exploited in the design of thermal nanomachines to reduce their fluctuations of work output without marginalizing its average value and efficiency.

References

- [1] K. Ito, G.-H. Xu, C. Jiang, É. Roldán, R. A. Rica- Alarcón, I. A. Martínez, and GW, Commun. Phys. **8**, 60 (2025).
- [2] I. A. Martínez, É. Roldán, L. Dinis, D. Petrov, J. M. R. Parrondo, and R. A. Rica, Nat. Phys. **12**, 67 (2016).



(邀请报告 B02)

非平衡系统的强扰动响应理论

包睿成¹, 梁师翎^{2,3,4}

1. 东京大学 2. 德累斯顿系统生物学中心 3. 马普复杂系统物理研究所 4. 马普分子细胞生物学与遗传学研究所



梁师翎
博士后/博士

德累斯顿系统生物学中心(CSBD), 马普复杂系统物理研究所(MPI-PKS), 马普分子细胞生物学与遗传学研究所(MPI-CBG) ELBE 博士后研究员。2024 年博士毕业于瑞士洛桑联邦理工学院(EPFL), 2018 年本科毕业于北京师范大学。主要研究兴趣是统计物理基础, 小系统随机热力学, 以及非平衡热力学在生命等复杂现象中的应用。以第一/通讯作者在 Phys. Rev. Lett. (2)、Phys. Rev. E (1)、New J. Phys. (1) 等期刊发表多篇论文。

摘要: 揭示物理系统对外界扰动的响应规律, 是统计物理的核心问题之一。相比于平衡态下成熟的涨落-耗散定理, 对于远离平衡的系统, 人们至今尚未建立起普适的响应理论框架。尽管近年来非平衡线性响应理论取得了显著进展, 但对于自然界中更为常见的有限强度扰动所引发的非线性响应, 学界仍缺乏统一的理论描述。

本工作基于连续时间马尔可夫链中的一项新发现——系统响应与平均首达时间之间的深刻联系, 构建了一个针对典型局域扰动下非线性响应的完整理论框架。我们建立了一个严格而普适的恒等式, 通过一个简单的标度因子, 将任意可观测量在有限扰动下的非线性响应与其线性响应直接联系起来。该恒等式不仅揭示了非线性响应行为的普遍结构, 也导出了响应强度的普适性界限。

此外, 我们还提出了一个关于响应分辨率的普适不等式——该不等式以系统的内禀涨落为基础, 对可观测量的变化幅度施加限制, 从而为感知精度设定了一个基本的物理极限。

这些结果共同构成了一个严谨、普适的非平衡非线性响应理论框架, 为理解和分析远离平衡态的复杂物理过程提供了有力工具。



(口头报告 B03)

Maximum efficiency of low-dissipation heat devices at given power



叶卓林
讲师/博士

叶卓林，厦门大学硕士（2016），德国莱比锡大学博士（2023，CSC 资助），江西师范大学讲师，硕士生导师（2024）。读博期间，获 BuildMoNa 科研奖。从事热力学和统计理论、随机热力学、半导体器件物理等研究，在 Phys.Rev. 系列等学术期刊上发表论文 20 余篇。

摘要： In this presentation, we explore optimal performance bounds in thermodynamic devices, focusing on Carnot-type low-dissipation (LD) refrigerators, absorption refrigerators, and heat pumps. We analytically derive maximum efficiency at given cooling power for LD refrigerators, revealing distinct nonlinear and linear efficiency enhancements under varying parameter regimes. For absorption refrigerators, combining internal Carnot-type engines and refrigerators, we show that maximum efficiency at given power is the product of individual component efficiencies, with notable efficiency surges under specific power reductions. For heat pumps operating under finite-time reverse Carnot cycles, we provide analytical expressions for maximum efficiency at fixed power, including tight upper and lower bounds. Additionally, we introduce a unified framework incorporating heat leaks for LD Carnot-like heat engines, refrigerators, and heat pumps, deriving new results for efficiency at maximum power and power at maximum efficiency. We demonstrate that optimal performance across all devices can be achieved by optimizing the average entropy production rate over the cycle, extending beyond the LD assumption. These findings offer valuable insights for identifying practical operation regimes and enhancing the performance of thermodynamic systems.



(口头报告 B04)

量子热机 Mpemba 加速和信息驱动



刘德华
学生/博士

刘德华，南昌大学物理系博士生，师从王建辉教授，主要研究量子热器件的有限时间热力学研究，迄今为止，发表学术论文 6 篇，其中 Physical Review 4 篇。

摘要：围绕量子热器件的非经典优化策略，系统研究了弛豫加速与信息反馈对量子热机性能的提升作用。我们探讨有限时间量子 Otto 循环中 Mpemba 效应的引入机制，基于量子主方程构建距离函数以判定其存在，并发现该效应可在效率不变的前提下显著提升功率输出并降低功率波动。其次，我们构建了一个基于测量反馈的热机模型，用投影测量控制反馈操作，替代传统等容过程。通过引入能量本征态的相干叠加态作为观测算符的本征态，揭示量子相干在优化功率、效率与稳定性方面的重要作用。研究表明，弛豫加速与反馈调控的协同机制不仅增强了热机在非平衡条件下的能量转换效率，也为量子热器件的设计与性能优化提供了新的理论路径与实践依据。



(邀请报告 B05)

Fundamental rules of Drude weights and Seebeck effect in 1D Hubbard model



管习文
研究员/博士

中国科学院精密测量科学与技术创新研究院（APM）研究员，美国物理学会会士。1998 年吉林大学博士毕业后到 2002 年期间在德国和巴西从事博士后研究。2003-2012 期间在澳大利亚国立大学（ANU）物理与工程研究院任研究员、高级研究员。2013 年回国至今在 APM 担任研究员。

摘要： The Drude weight (DW) is a paramount quantity that characterizes the quantum transport properties of many-body systems. However, a rigorous understanding and exact computation of DWs, particularly for strongly correlated electrons with doping, are challenging. In this talk, we will discuss fundamental rules of DWs and Seebeck effects (SE) for generic filling factor in one-dimensional (1D) Fermi Hubbard model with arbitrary interaction strengths and magnetic fields. We built up its intrinsic connection to the Luttinger parameters and discover a microscopic origin of SE accumulation and inversion across phase transitions. Our results provide deep understanding of mutual influences among the spin and charge degrees of freedom and the caloritronics in transport, showing a counterintuitive subtle spin-charge coupling effect. Finally, we will also propose an experimental protocol to measure DWs in ultracold atomic systems.

(邀请报告 B06)

Bose-Hubbard Model on a Honeycomb Superlattice: Quantum Phase Transitions and Lattice Effects



张超
教授

张超，2018 年 12 月获得美国俄克拉荷马大学物理学博士学位，后在德国萨尔大学，美国麻省大学阿默斯特分校从事博士后研究员工作。2021 年回国，现为安徽师范大学教授。长期从事基于蒙特卡洛的方法对强相互作用的多粒子体的研究，具有扎实的研究基础和丰富的经验。截至目前已经取得了较为丰富的研究成果，在 *Physical Review X*, *Physical Review Letter*, *Physical Review B*, *Physical Review A*, *New Journal of Physics* 等国际知名期刊发表论文 29 篇，一作或者通讯 25 篇。

摘要： We investigate the ground-state and finite-temperature phase diagrams of the Bose-Hubbard model on a honeycomb superlattice. The interplay between the superlattice potential depth Δ/t and the onsite interaction U/t gives rise to three distinct quantum phases at zero temperature: a superfluid phase, a Mott insulator I phase with unit filling on each site, and a Mott insulator II phase characterized by density imbalance—double occupancy on one sublattice and vacancy on the other at unit filling. The SF–MI transitions are found to be continuous, consistent with second-order quantum phase transitions. We further extend our analysis to finite temperatures within the superfluid regime. Our work highlights how a honeycomb superlattice geometry enables access to interaction- and lattice-modulation-driven quantum phases, including a density-imbalanced Mott insulator and a robust superfluid regime, offering concrete theoretical predictions for cold-atom experiments.



(口头报告 B07)

长程相互作用系统的热力学性质与热力学定律的破坏



侯吉旋
副教授/博士

侯吉旋，男，生于 1983 年 8 月。2007 年毕业于北京理工大学，获理学硕士学位。2008 年毕业于欧盟 AtoSim 计划，获罗马第一大学物理学硕士学位和里昂高等师范材料学硕士学位。2012 年毕业于法国里昂高等师范，获物理学博士学位。2012 年起任东南大学物理系副教授。主要研究方向：高分子物理和统计物理。

摘要：长程相互作用系统是指粒子间相互作用势随距离缓慢衰减（通常为幂律形式 $V(r) \propto r^{-(d+\alpha)}$ ，其中 $-d \leq \alpha \leq 0$ ）的一类特殊体系。与短程相互作用系统不同，长程系统表现出独特的统计力学和热力学行为，挑战了传统理论的某些基本假设。这类系统的典型例子包括自引力系统、二维涡旋流体、库仑等离子体以及冷原子实验中的长程关联体系。

在热力学特性方面，长程系统最显著的特征是不可加性，即系统无法被划分为独立的宏观子系统，导致能量、熵等热力学量不满足简单叠加关系。此外，在微正则系综下，系统可能表现出负热容和温度跳变。更反常的是，某些长程系统在热接触时可能违反经典热力学直觉。在统计力学层面，长程系统带来了诸多挑战。首先，系综不等价性使得微正则系综和正则系综的预测可能不一致，例如负热容仅在微正则系综中出现。其次，系统的动力学弛豫时间极长，容易陷入亚稳态，导致非平衡行为，其寿命随系统尺寸指数增长。

本报告主要讨论的是：在热力学极限下证明了长程相互作用系统可以违反“热从高温流向低温”的传统热力学规则。通过一个精确可解的自旋链模型和微正则系综分析，当两个不同温度的长程系统耦合时，高温系统可能从低温系统吸热，导致后者温度进一步降低。即使两个系统的温度相等，也要发生热交换最终才能达到热平衡。这些反常现象源于系统的非凸熵函数和负比热特性，并通过微正则蒙特卡洛模拟得到验证，挑战了传统热力学（如热力学第零定律和克劳修斯表述）。本内容为理解非平衡统计力学和复杂系统的热力学极限提供了重要案例。这些发现不仅深化了对长程相互作用的理论认识，还在天体物理、等离子体和量子模拟等领域具有潜在应用价值。

(口头报告 B08)

Bipartite reweight-annealing algorithm of quantum Monte Carlo to extract large-scale data of entanglement entropy and its derivative



王哲
博士后
西湖大学

我们最近开发了一种能高效计算多体纠缠及其导数的量子蒙卡新算法，并实现了量子纠缠对于临界现象的有效表征。希望组委会能给我一个口头报告的机会，让我们在这个大平台上介绍一下我们的相关工作。相关的内容请参阅已经完成的两个工作：

1. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.05324> (Nature Communications, 2025)
2. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2409.09942> (Communications Physics, in review)

摘要： Entanglement entropy (EE) plays a central role in the intersection of quantum information science and condensed matter physics. However, scanning the EE for two-dimensional and higher-dimensional systems still remains challenging. To address this challenge, we propose a quantum Monte Carlo scheme capable of extracting large-scale data of Renyi EE with high precision and low technical barrier. Its advantages lie in the following aspects: a single simulation can obtain the continuous variation curve of EE with respect to parameters, greatly reducing the computational cost; the algorithm implementation is simplified, and there is no need to alter the spacetime manifold during the simulation, making the code easily extendable to various many-body models. Additionally, we introduce a formula to calculate the derivative of EE without resorting to numerical differentiation from dense EE data. We then demonstrate the feasibility of using EE and its derivative to find phase transition points, critical exponents, and various phases.

(口头报告 B09)

Geometric properties of the additional third-order transitions in the two-dimensional Potts model



张鑫

西安科技大学硕士

张鑫，西安科技大学硕士研究生，主要研究方向为复杂系统中的相变与临界态预警机制。已参与完成二维多态 Potts 模型，Blume-Capel 模型中高阶相变信号的系统性探究，相关成果以发表至 Physical Review E, Physics Letters A。研究工作旨在为复杂系统中的相变预测提供新的理论依据与方法支持。

摘要： Within the canonical ensemble framework, we investigate the presence of higher-order transition signals in the q -state Potts model (for $q \geq 3$), using two geometric order parameters: isolated spins number and the average perimeter of clusters. Our results confirm that higher-order transitions exist in the Potts model, where the number of isolated spins reliably indicates third-order independent transitions. This signal persists regardless of the system's phase transition order, even at higher values of q . In contrast, the average perimeter of clusters, used as an order parameter for detecting third-order dependent transitions, shows that for $q = 6$ and $q = 8$, the signal for third-order dependent transitions disappears, indicating its absence in systems undergoing first-order transitions. These findings are consistent with results from microcanonical inflection-point analysis, further validating the robustness of this approach.

参考文献：

- [1] Wei Liu, **Xin Zhang**, Lei Shi, Kai Qi, Xiang Li, Fangfang Wang, and Zengru Di. Geometric properties of the additional third-order transitions in the two-dimensional Potts model[J]. Physical Review E, 2025, 111(5): 054128.
- [2] Wei Liu, Lei Shi, **Xin Zhang**, Xiang Li, Fangfang Wang, Kai Qi, Zengru Di, Pseudo Transitions in the Finite-Size Blume-Capel Model. Physics Letters A, 2025: 130626.
- [3] Fangfang Wang, Wei Liu, Jun Ma, Kai Qi, Ying Tang and Zengru Di. Exploring transitions in finite-size Potts model: comparative analysis using Wang–Landau sampling and parallel tempering[J]. Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, 2024, 2024(9): 093201.



(口头报告 B10)

超临界的普适非对称性



李欣阳，2024 年博士毕业于中国科学院理论物理研究所，现为北京航空航天大学国际前沿交叉科学研究院博士后。研究方向为超临界相转变理论。

李欣阳
博士后

摘要：铁磁-顺磁相变（如伊辛模型的相变），由于其相图天然的对称性，在超临界区具有两条对称的相转变线，且满足一定的标度律。基于临界现象普适性原则，我们在同属于伊辛普适类的气液相变中定义了两条热力学相转变线，将其作为类液相、气液不分相与类气相的边界。在临界点附近，这两条相转变线的对称性及标度律与伊辛模型完全一致，并得到了现有实验数据的支持。这样定义的热力学转变线具有普适性，已经被推广至量子相变、液液相变、黑洞相变等体系中。此外我们发现，这些热力学相转变线的对称性也将满足一定的普适行为。这为超临界物理的研究提供了新的理论视角。



(邀请报告 B11)

刘维尔量子引力在二维渗流模型中的应用



孙鑫
博士/教授

孙鑫，北京大学北京国际数学研究中心教授。2011 年获北京大学学士学位，2017 年获麻省理工学院博士学位，曾任职于哥伦比亚大学、宾夕法尼亚大学，2023 年 9 月加入北京国际数学研究中心。研究领域为概率论和数学物理。2020 年获得伯努利学会新研究员奖，2021 年获得美国自然科学基金会早期事业奖；2023 年获洛勒·戴维逊奖，入选国家级高层次人才计划；2024 年获基础科学大会前沿科学奖，阿里巴巴达摩院青橙奖。受邀参加 2026 年国际数学家大会并做 45 分钟报告。

摘要： I will use 2D percolation as an example to demonstrate how Liouville quantum gravity (LQG) is used in the recent progress on the exact solvability in 2D statistical physics. Comparing to previous applications of quantum gravity in statistical physics based on the Knitznik-Polyakov-Zamolodchikov (KPZ) relation, the crucial novelty of the recent applications is the interplay between the exact solvability in Liouville conformal field theory and the coupling theory of LQG and SLE.



(邀请报告 B12)

Geometric Upper Critical Dimensions of the Ising Model



方胜，北京师范大学系统科学学院博士后。2017 年于兰州大学获取物理学学士学位，2023 年于中国科学技术大学获取凝聚态物理博士学位，研究方向为统计物理和复杂系统中的相变和临界现象，在 Phys. Rev. Lett、Phys. Rev. E 等国际期刊中发表论文 17 篇。

摘要： The upper critical dimension of the Ising model is known to be $d_c = 4$, above which critical behavior is regarded to be trivial. We hereby argue from extensive simulations that, in the random-cluster representation, the Ising model simultaneously exhibits two upper critical dimensions at $(d_c = 4, d_p = 6)$, and critical clusters for $d \geq d_p$, except the largest one, are governed by exponents from percolation universality. We predict a rich variety of geometric properties and then provide strong evidence in dimensions from 4 to 7 and on complete graphs. Our findings significantly advance the understanding of the Ising model, which is a fundamental system in many branches of physics.

(口头报告 B13)

Critical behavior of the SIR model with mobility and disorder



邓盛锋
副研究员/博士

邓盛锋，陕西师范大学物理学与信息技术学院副研究员。于 2015-2020 年在华中师范大学粒子物理研究所攻读博士学位，期间于 2018-2020 年到美国弗吉尼亚理工大学进行博士联合培养，2021-2023 年在匈牙利国家科学院能源研究中心复杂系统部进行博士后研究。主要从事反应-扩散系统的非平衡临界现象，复杂网络上的传播动力学和同步动力学等领域的研究。研究工作发表于 PRX Energy、Physical Review E、Chaos 等学术期刊。

摘要： The critical behavior of the nondiffusive susceptible-infected-recovered model on lattices had been well established in virtue of its duality symmetry. By performing simulations and scaling analyses for the diffusive variant on the two-dimensional lattice, we show that diffusion for all agents, while rendering this symmetry destroyed, constitutes a singular perturbation that induces asymptotically distinct dynamical and stationary critical behavior from the nondiffusive model. In particular, the manifested crossover behavior in the effective mean-square radius exponents reveals that slow crossover behavior in general diffusive multispecies reaction systems may be ascribed to the interference of multiple length scales and timescales at early times. Furthermore, we show that quenched disorder could affect the dynamical exponent.



(口头报告 B14)

Ergodic property of random diffusivity models



王旭东
副教授/博士

南京理工大学，数学与统计学院，主要关注物理和生物领域的扩散现象，从事反常扩散、遍历性、老化现象等方面的研究。在 *Physical Review E*、*New Journal of Physics* 等国际知名期刊上发表论文 20 余篇，主持国家自然科学基金和江苏省自然科学基金青年基金。

摘要： Brownian yet non-Gaussian diffusion has recently been observed in numerous biological and active matter system. The cause of the non-Gaussian distribution have been elaborately studied in the idea of a superstatistical dynamics or a diffusing diffusivity. Based on a random diffusivity model, we here focus on the ergodic property and the scatter of the amplitude of time-averaged mean-squared displacement (TAMSD). We find that ensemble-averaged TAMSDs are always normal while ensemble-averaged mean-squared displacement can be anomalous. Further, the scatter of dimensionless amplitude is completely determined by the time average of diffusivity. Our results are valid for arbitrary random diffusivity.

(口头报告 B15)

Pseudo Transitions in the Finite-Size Blume-Capel Model



石雷

西安科技大学硕士

石雷，西安科技大学硕士研究生，主要研究方向为复杂系统中的相变与临界态预警机制。已参与完成二维自旋为 1 的 Blume-Capel 模型，Potts 模型中高阶相变信号的系统性探究，相关成果以在 *Physics Letters A*, *Physical Review E* 发表。研究工作旨在为复杂系统中的临界预警提供新的理论支撑和方法支持。

摘要： This article investigates the pseudo transitions of the Blume-Capel model on two-dimensional finite-size lattices. By employing the Wang-Landau sampling method and microcanonical inflection point analysis, we identified the positions of phase transitions as well as higher-order phase transitions. Through Metropolis sampling and canonical ensemble analysis, we determined the geometric characteristics of the system at these transition points. When the crystal field parameter D exceeds 1.965, crossing the tricritical point, no third-order dependent phase transition is observed. However, a fourth-order independent transition was identified in the high-temperature region, and through Metropolis sampling analysis, a phase transition from the ordered paramagnetic phase to the disordered paramagnetic phase was confirmed, enhancing the phase diagram. Furthermore, the positions of the third-order phase transition obtained from both microcanonical and canonical analyses are consistent and mutually corroborative. We speculate that third-order dependent transitions vanish in the presence of strong first-order phase transitions.

参考文献：

- [1] Liu W, Shi L, Zhang X, et al. Pseudo Transitions in the Finite-Size Blume-Capel Model[J]. *Physics Letters A*, 2025: 130626.
- [2] Liu W, Zhang X, Shi L, et al. Geometric properties of the additional third-order transitions in the two-dimensional Potts model[J]. *Physical Review E*, 2025, 111(5): 054128.
- [3] Fangfang Wang, Wei Liu, Jun Ma, Kai Qi, Ying Tang and Zengru Di. Exploring transitions in finite-size Potts model: comparative analysis using Wang–Landau sampling and parallel tempering[J]. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2024, 2024(9): 093201.



(口头报告 B16)

体心立方晶体成核过程中的结构演化路径



雷慧霞
博士研究生

雷慧霞，北京师范大学物理与天文学院在读博士研究生。研究兴趣为无序复杂系统的相变过程，主要的研究题目为金属体系的结晶机制的研究。目前以第一作者发表 SCI 文章一篇，以第二作者发表文章三篇。

摘要：

五重对称结构，比如二十面体(ICO)，广泛存在于金属液体和玻璃中。目前已有大量实验和理论工作对五重对称结构的作用进行了研究，但对于其在成核早期阶段对结晶过程的影响仍然知之甚少。本工作利用拓扑团簇分类的方法(TCC)从整体和局部两个角度分析了铁过冷液体的系统结构演化行为。结果表明，液相中存在广泛的五边形双锥 (PB)、连体十二面体 (SD)、连体十四面体 (ST) 以及连体五边形双锥 (SDP) 等中间态结构。五重对称的 PB 团簇作为 ICO 结构的一个亚基，似乎阻碍了晶体成核，但在液体的初期有序过程中，PB 可能转变为 SD 结构。这些中间结构 (PB, SD, ST, SDP) 在演化过程中逐渐变成具有四重对称的八面体(OH)结构，并密堆到体心立方(BCC)晶格中。本工作从原子角度展示了铁由局部丰富的五重对称结构演化为体心立方(BCC)晶体结构的过程。这些发现加深了对微观结晶机制的理解，并为材料结晶过程的设计和控制提供了宝贵的见解。



(邀请报告 B17)

狄拉克费米子系统的驱动临界动力学及其应用



阴帅

副教授/博士

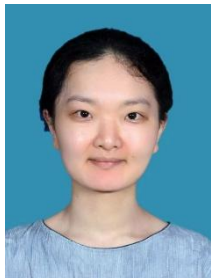
阴帅，2014 年中山大学物理学院博士毕业。2014-2019 年先后在台湾清华大学和清华大学高等研究院做博士后，2019 年入职中山大学物理学院。

摘要: The conventional Kibble-Zurek mechanism (KZM) and finite-time scaling (FTS) provide universal descriptions of the driven critical dynamics from gapped initial states based on the adiabatic-impulse scenario. In this paper, by leveraging the large-scale quantum Monte Carlo simulation, we investigate the driven critical dynamics in two-dimensional Dirac systems, which harbor semimetal and Mott insulator phases separated by the quantum critical point (QCP) triggered by the interplay between fluctuations of gapless Dirac fermions and order parameter bosons. A remarkable discovery is that, despite the existence of the gapless initial phase, the driven dynamics can still be captured by the FTS form. This leads us to propose a generalized criterion for the validity of KZM and FTS with a gapless initial state. Accordingly, our results significantly generalize the KZM theory to incorporate composite fluctuations and relax its requirement for a gapped initial state to systems accommodating gapless Dirac fermionic excitations. Through successfully extending the KZM and FTS theory to the strongly interacting Dirac QCP, our work not only brings new fundamental perspective into the nonequilibrium critical dynamics, but also provides a novel theoretical approach to fathom quantum critical properties in fermionic systems.



(邀请报告 B18)

开放亚稳量子系统的切换动力学



向雅心
博士

向雅心，2019 年本科毕业于南京大学，2024 年博士毕业于南京大学，目前在南京大学马余强课题组从事博士后研究。研究方向为量子开放系统非平衡多体物理的理论研究。近期成果有：1) 驱动-耗散量子系统中连续时间平移对称性的自发破缺 (Phys. Rev. Res., 2024, 6, 033185), 2) 生物大分子液体凝聚体结构和线性动力学的微观机制 (Phys. Rev. E, 2022, 106, 044403)。

摘要：经典系统的亚稳表现为噪声驱动下系统在不同吸引域之间的切换，而量子系统——如量子比特与里德堡原子——的亚稳则体现在集体量子跳跃（量子切换）和对应小谱隙的长寿命刘维尔空间本征模式。尽管所有刘维尔空间的亚稳模式均会在有限时间内衰减，量子集体跳跃现象却能无限持续下去。本研究针对一个双稳马尔可夫开放量子系统，基于大偏差原理、精确对角化以及量子跳跃蒙特卡洛模拟，系统研究了量子切换动力学与量子亚稳的关联。本研究通过谱分解阐明热力学极限下的不动点与有限系统中的量子亚稳态，明确区分了轨迹层面的噪声诱导亚稳与刘维尔本征谱层面的确定性亚稳：前者表现为随机切换，后者源于刘维尔算符的小谱隙。当系统不存在随机切换时，小谱隙是否引起弛豫慢化取决于初始状态；而一旦存在随机切换，系统将迅速丧失对初始条件的记忆，此时弛豫速率由量子亚稳态间稀有切换事件主导。我们发现切换速率遵循阿伦尼乌斯定律，这与刘维尔算符谱隙随系统尺寸指数缩放的特性相符，其中系统尺寸的倒数可视为远非平衡系统中的等效温度。本研究进一步利用系统的强耗散性，在半经典近似下通过动力学路径积分与瞬子理论研究其长时间切换动力学。由此，我们将势函数与稀有涨落的概率之间的对应关系推广至量子体系。该研究为理解远离热力学极限的强相互作用耗散量子系统的一级相变及弛豫动力学提供了全新理论视角。

(口头报告 B19)

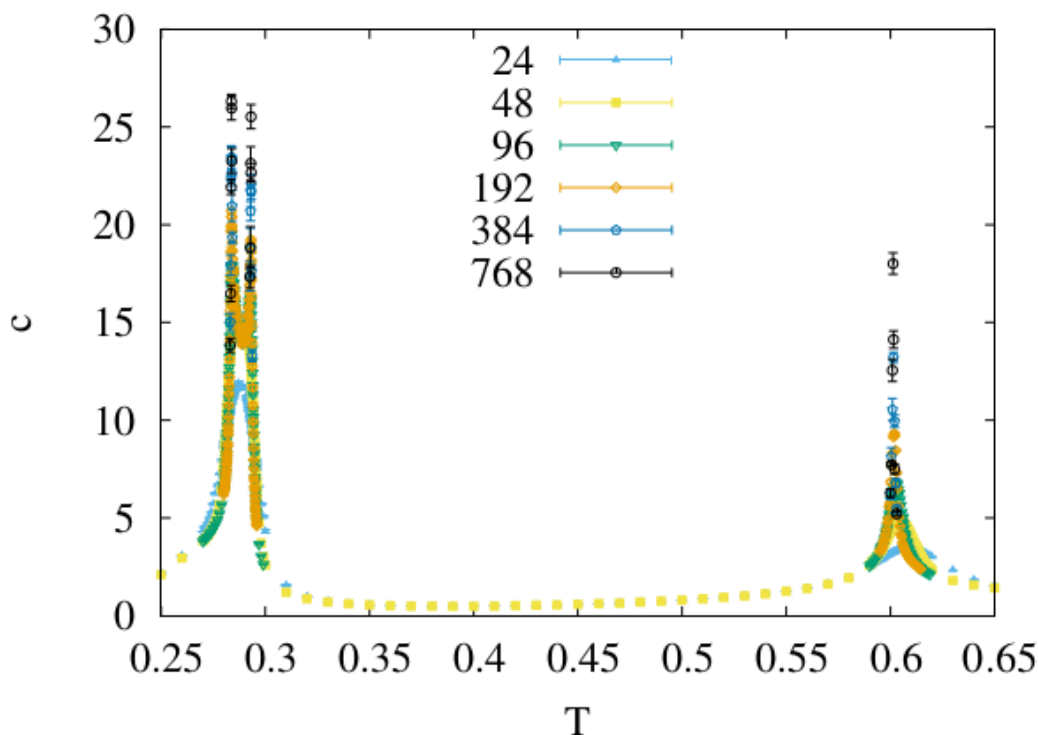
各向异性补丁相互作用导致多重相变



胡皓
教授/理学博士

2016 年获中国科学技术大学博士学位。曾到荷兰莱顿大学访学 (2011.11-2012.1), 到德国乌尔姆大学交流 (2012.10-2013.10)。2016 年 5 月至 2018 年 6 月在新加坡南洋理工大学从事博士后研究。2018 年 6 月获聘为安徽大学物理学教授。研究兴趣: 结合理论分析与计算机模拟的方法, 研究补丁粒子、DNA 包覆粒子等软物质系统, 以及逾渗和 Potts 等经典统计物理模型, 主要关注相变和临界现象, 还致力于发展相关的计算机模拟方法。

摘要: 人们设计粒子间各向异性补丁相互作用已促使产生多种不同结构的物相, 但关于不同物相之间相变和临界现象的理解还不够充分。针对双补丁粒子体系, 我们研究发现当温度升高时, 各向异性补丁相互作用与三角晶格结构的耦合可诱发多重相变。在补丁-补丁 (PP) 和非补丁-非补丁 (NN) 相互作用对称的条件下, 发现系统经历两次 BKT 相变, 中间相具有准长程关联。当 PP 与 NN 相互作用非对称时, 随温度变化观测到三次相变 (例如下图显示比热随温度变化有三个发散的尖峰), 其中两次发生在取向有序相之间。这些发现为设计各向异性补丁相互作用以研究相变及临界现象提供了新的机遇。





(口头报告 B20)

边界效应与自相似结构对 QGP-强子相变的影响



2015.1-2024.11 大连理工大学副教授

2024.11-至今华南师范大学副教授

程鸾

副教授/博士

摘要:

本工作采用多级反射展开方法研究了小尺度夸克物质的边界效应. 通过计算发现在边界效应的影响下, 小尺度夸克物质相较于热力学极限条件下具有更低的能量密度, 熵密度和压强. 在强子相中, K 介子在集体流, 量子关联和强相互作用的影响下, 与相邻 π 介子形成两体自相似结构. 通过两体分形模型对 K 介子的自相似结构影响计算得出, K 介子的自相似结构存在于碰撞系统中, 导致 K 介子的能量密度, 熵密度和压强增大. 本研究预测在低能碰撞 HIAF 能区, K 介子的自相似结构影响因子 $q_1 = 1.042$. 考虑边界效应和 K, π 介子的自相似结构对相变的影响, 计算发现 夸克物质在边界效应与自相似结构的影响下相变温度均有所升高. 若夸克物质的边界弯曲程度较大, 则相变温度的升幅相较于自相似结构的影响更明显.



(口头报告 B21)

非平衡拓扑量子体系中的普适行为



李福祥
教授/博士

李福祥，湖南大学物理与微电子科学学院教授。本科和硕士毕业于南京大学，博士毕业于美国德州农工大学，2015 年至 2018 年在美国洛斯阿拉莫斯国家实验室从事博士后工作，2018 年入职湖南大学。研究方向为凝聚态理论，自旋电子学，拓扑物理和量子信息理论。

摘要：Kibble-Zurek 机制是非平衡统计物理学中一个重要的理论，最初用于解释早期宇宙中拓扑缺陷的形成。它描述了系统在通过连续相变时的非平衡动力学，特别是在有限速率下淬火过程中拓扑缺陷的密度随淬火速率的普适标度行为。后来，这一理论被扩展到包括凝聚态物质系统中的相变。我们系统地研究了拓扑量子相变在非平衡动力学下缺陷的刻画方案和展现出来的新奇的普适标度行为。我们发现，在高阶拓扑相变中，传统的 Kibble-Zurek 机制不再适用，而展现出异常的标度指数。对于二维边界受阻的高阶拓扑系统，Kibble-Zurek 机制的标度必须修改以适应拓扑边缘带的有效维度，而非实际的物理维度。此外，边界条件在边界受阻的高阶拓扑相变中对标度行为有显著影响。相比之下，体受阻拓扑相变和单一多临界点的慢速淬火动力学遵循实际物理维度的标度。这些发现揭示了拓扑和非绝热动力学相互作用产生的新物理现象，丰富了人们对非平衡过程中缺陷产生机制的理解。

(口头报告 B22)

Activation-to-collision crossover governs the dynamical behavior of supercritical fluids



余镇浩，2021 级博士研究生，现就读于浙江大学物理学院，导师为石锐研究员，研究方向为统计物理与软物质物理，主要通过统计物理理论和模拟计算方法研究水的结构与反常物性、超临界流体的物性与临界现象、液液相分离等。获第七届全国统计物理与复杂系统会议优秀墙报。

余镇浩

4 年级在读博

摘要： Supercritical fluids (SCFs), which exist beyond the liquid–gas critical point, exhibit dynamic behaviors that remain poorly understood despite well-established thermodynamic descriptions. Here, we show that SCF dynamics arise from spatiotemporal fluctuations between particle-level collision and activation processes, leading to a crossover from power-law to Arrhenius temperature dependence upon densification. This dynamic crossover is coupled with a thermodynamic crossover across the Widom line. We propose a theoretical model that unifies the thermodynamic and dynamic properties of SCFs, accounting for the experimentally observed transition from Gaussian- to Lorentzian-type dynamic scattering functions. The model further predicts a universal critical scaling of the dynamic response function, validated by experimental data and finite-size scaling of simulation results. These findings reveal a fundamental mechanism underlying transport in SCFs and establish a unified framework for interpreting their anomalous behavior, with broad implications for fluid dynamics, phase transitions, and supercritical technologies.



(邀请报告 B23)

量子临界、多体疤痕和拓扑零模的热场动力学与 Fisher 零点研究



邹海源
研究员

邹海源，华东师范大学研究员。2008 年本科毕业于山东大学，2014 年博士毕业于爱荷华大学。2014-2021 年先后在匹兹堡大学和上海交通大学李政道研究所进行博士后研究，于 2021 年底入职华东师范大学。主要从事强关联多体系统计算和理论研究，重点关注张量网格算法的发展和应用，并结合不同理论手段，探索多体模型中的新奇物态、量子临界行为以及其内在统计规律。

摘要：有限体系下非解析性的复数延拓为理解量子多体系统的统计规律提供了新的思路[1]。相比于经典体系，热场动力学和 Fisher 零点可更好地展示量子体系中的分立能级，从而准确刻画多体系统中的临界行为、物态激发、以及量子涨落与热力学涨落的竞争。本报告从几个基本模型出发，从三方面展示了借助于复配分函数这一工具所得出的规律：(1) 热力学极限下量子多体系统的低能激发可被一定构型的 Fisher 零点来描述，量子相变点处不存在全局的零点线[2,3]。(2) 实时方向附近 Fisher 零点的构型可描述对本征态热化不同程度的破坏，弱破坏热化的多体疤痕所对应的零点接近但不触及实时轴[4]。(3) 拓扑零能边界模式使得实时 Fisher 零点产生配对效应，此效应在具有 Majorana 费米子以及非厄密拓扑的情形依然有效[5]。

Ref: [1] CPL 41, 100501 (2024). [2] CPL 40, 050502(2023). [3] PRR 6, 043139 (2024). [4] arXiv: 2501.09478 (2025). [5] arXiv: 2504.01824 (2025).



(邀请报告 B24)

二维拓扑序系统的纯边界相变



董小玉
初级研究员

董小玉，现任合肥国家实验室初级研究员。博士毕业于清华大学。之后分别在德国马克斯普朗克复杂系统物理研究所、美国加州州立大学北岭分校、比利时根特大学从事博士后研究。主要研究方向为强关联量子多体系统理论，以及基于张量网络的数值计算。

摘要：本次报告中我将介绍具有非手征拓扑序的二维系统的纯边界相变的一类微观实现。具有二维拓扑序的系统其体中是有能隙的，但其边界可以有能隙或者无能隙，取决于具体模型在边界附近相互作用的形式。保持体中的能隙不变，改变边界相互作用，可以实现纯边界相变，其相变点对应体的无能隙边界。我将以二维 Kitaev quantum double 模型为例，介绍系统构造所有有能隙边界的方法，以及描述纯边界相变的有效模型。

(口头报告 B25)

受迫振动中的微观锁定现象



李旭
副教授/博士

李旭，昆明理工大学理学院数据科学研究中心，副教授。2024 年毕业于北京师范大学，获理学博士学位。2021 年至 2023 年在法国国家科学院/图卢兹第三大学进行了联合培养。主要研究方向为统计物理，湍流的相变和临界行为等。以第一作者在 SCIENCE CHINA Physics, Mechanics & Astronomy 等期刊上发表论文多篇。参与国家自然科学基金多项。

摘要: This study employs the Eigen Microstate Approach (EMA) to uncover the underlying mechanisms of the lock-in phenomenon in force-induced vibrating cylinders from a microscopic perspective, introducing a novel criterion: microstate lock-in. The probability distributions of microstates and entropy qualitatively indicate whether the system is in a lock-in state, while spatial distributions provide a quantitative assessment. Additionally, the discovery of a unique symmetry-breaking phenomenon in oblique lock-in extends the definition of lock-in. The time evolution indirectly reveals the stability of the lock-in region. Finally, a phase diagram offers an overview of the system's states across the entire parameter space. These findings deepen our understanding of force-induced vibrations and lock-in phenomena and provide insights for applying this theory to more complex and chaotic systems.



(口头报告 B26)

运动平衡态有质量场能谱密度的洛伦兹变换



石霆章，本科毕业于北京大学地球与空间科学学院地质系，现就读于北京大学物理学院凝聚态物理与材料物理研究所，研究方向为连续自由度系统的随机热力学。

石霆章
博士研究生

摘要：在过往的相对论热力学研究中，运动物体的温度有时被视为一个标量。这一表述在宇宙微波背景辐射（CMB）的研究中很常见，地球与 CMB 的相对运动导致地球观测者观测到的辐射谱满足偶极各向异性的黑体辐射谱。然而在更普遍的情形下，运动中的平衡态场需要用一个四矢量逆温度来刻画。在本研究中，我们讨论了有质量场热平衡态能量谱密度的洛伦兹变换，论证了对于有质量场来说，运动中的热力学平衡态不再可以用偶极各向异性的标量温度来描写，而四矢量逆温度的表述则是合适的。这项研究表明了相对论热力学中，四矢量逆温度更好地刻画了热力学平衡态。这项研究的结果在宇宙中微子背景辐射的研究中有潜在的应用。



(邀请报告 B27)

Hydrodynamic modes in kinetically constrained long-range

Zhi-Cheng Yang
(Peking University)

摘要: We study a center-of-mass-conserving Brownian complex Sachdev-Ye-Kitaev model with long-range (power-law) interactions characterized by $1/r^\eta$. The kinetic constraint and long-range interactions conspire to yield rich hydrodynamics associated with the conserved charge, which we reveal by computing the Schwinger-Keldysh effective action. Our result shows that charge transport in this system can be subdiffusive, diffusive, or superdiffusive, with the dynamical exponent controlled by η . We further employ a doubled Hilbert space methodology to derive an effective action for the out-of-time-order correlator, from which we obtain the phase diagram delineating regimes where the light cone is linear or logarithmic. Our results provide a concrete example of a quantum many-body system with kinetic constraint and long-range interactions in which the emergent hydrodynamic modes and out-of-time-order correlator can be computed analytically.

(邀请报告 B28)

Phase transition revealed by eigen microstate entropy



(刘卯鑫)
(副教授/博士)

刘卯鑫，北京师范大学系统科学学院副教授。2007 年于北京大学物理学院获理学学士学位。2013 年于中国科学院理论物理研究所获理论物理博士学位。2013 年至 2018 年于北京计算科学研究中心从事博士后研究。2018 年至 2023 年就职于北京邮电大学。2023 年起就职于北京师范大学。研究兴趣为量子物理、统计物理、复杂系统交叉学科。已发表 SCI 论文 40 余篇。主持国家自然科学基金青年项目和面上项目。主持国防项目 3 项。

摘要： We introduce the eigen microstate entropy (SEM), a data-driven entropy measure derived from statistically independent eigen microstates. By establishing scaling relation in equilibrium systems, we demonstrate the capability of SEM in studying critical phenomena in various Ising and Potts models. Applying to non-equilibrium real-world complex systems, we uncover an initial entropy increase preceding the formation of biomolecular condensates in liquid-liquid phase separation in living cells, and we observe, in the context of El Niño events, a significant entropy increase occurring several months before the onset of El Niño. These results suggest that SEM can be considered as a precursor signal of phase transition in non-equilibrium systems.



(口头报告 B29)

Topological spin domain encoding via exceptional-point-like criticality in magnetic systems

Haozhe Hou, Duanduan Wan* and Meng Xiao*
School of Physics and Technology, Wuhan University

报告人：万端端（副教授，武汉大学）

投稿方向：1. 平衡态系统与远离平衡态系统：理论与计算模拟方法

Abstract: Precise control of magnetic spin textures is essential for spin-based information processing, non-volatile memory, and topological computing. Chiral state transfer (CST)—a non-Hermitian topological phenomenon where the final state depends solely on the direction of a loop around an exceptional point (EP)—offers topologically robust and deterministic state control but remains difficult to implement in magnetic systems due to the need for engineered gain and loss. Here, we show that CST-like behavior naturally emerges in a fully Hermitian magnetic system. Using the Ising model, we identify an exceptional-like point (ELP) at the magnetic phase transition point. Dynamically encircling this ELP induces chiral spin transition that is independent of initial conditions, mimicking CST without non-Hermitian ingredients. We harness this mechanism to realize programmable spin domain patterns using only uniform magnetic fields and temperature gradients. Our results reveal a topological route to dissipation-free spin control, bridging equilibrium criticality of the order parameter and non-Hermitian topology.



(口头报告 B30)

通过暂时耦合来加速开放量子系统的弛豫：一个普适观点



包睿成
博士生

2021、2024 年分别本科及硕士毕业于中国科学技术大学，获得理学学位，导师为侯中怀教授。主要研究兴趣是非平衡统计物理相关理论，包括随机热力学，信息论和物理交叉，开放量子系统理论等。目前本人在东京大学物理系攻读博士学位，导师是 Sosuke Ito 教授。本人对非平衡响应理论、开放量子系统的弛豫问题、粗粒化热力学等问题作出过一定贡献。

摘要：

弛豫过程是自然界中随处可见的一类自发、不可逆的过程，比如一倍热水放到冰箱里自然降温的过程就是典型的弛豫现象。如何加速开放量子系统中的弛豫过程是一个重要的基本物理问题，更快的弛豫过程能提高量子热机的性能、缩短量子态制备的时间。更一般的说，如果人们对某稳态（可能非平衡）感兴趣，想办法缩短系统达到稳态的时间是至关重要的，能显著减少时间成本。

我们从开放量子系统的 Lindblad 主方程出发，提出了一个普遍的观点：将感兴趣的弛豫过程短暂的和任一量子通道耦合后再解耦——即使这个量子通道可能只是噪声通道——也可能显著的加速该弛豫过程。受这个一般性观点启发，我们构造了一大类这样的量子通道：量子重置通道，严格证明和这类通道的短暂耦合能指数级别地加速一般的量子弛豫过程。技术上解决了之前加速弛豫论文中难以解决的共轭复数第二大特征值问题。这类量子通道的一个特殊例子是去极化通道，即将当前的量子系统拉向最大混合态的通道，它一般是被当成噪声处理，实验上较容易实现。我们发现去极化通道能明显加速带耗散横场伊辛模型的弛豫。我们进一步讨论了一般情况下短暂耦合量子重置通道的实验可行性，证明用类似 Trotterization 的方法可以较容易的实现一般的量子重置通道，给出了严格的误差上界。这证明了我们的理论在实际实验中的应用前景。

(邀请报告 B31)

二维 Random Bond 伊辛模型的磁畴界面统计与准一阶相变



西湖大学交叉科学中心

<https://cis.westlake.edu.cn/info/1012/1001.htm>

汤雷翰

讲席教授

摘要: The $\pm J$ random-bond Ising model is a paradigmatic example of a frustrated spin system, where a ferromagnetic phase exists only when the fraction p of ferromagnetic bonds is sufficiently high. Despite extensive studies, the nature of the transition out of this phase remains unresolved, particularly below the Nishimori line. Using an entropic sampling scheme, we investigate the model on a square lattice by tracking the evolution of magnetization-resolved ground states and low-energy excited states while gradually decreasing the fraction of ferromagnetic bonds. Around a critical value $p_c = 0.9$, the largely ferromagnetic ground state abruptly fragments into two opposing but compact domains of comparable size. As p decreases further, a cascade of ever-smaller domains follows. This “first-order-like” behavior is driven by a domain-wall energy $E(L) = \gamma(p)L + aL^\omega$, where the line tension $\gamma(p)$ vanishes linearly at p_c , $a > 0$, and $\omega = 1/3$ is the energy exponent of directed polymers in a disordered medium. The first instance of vanishing domain-wall energy occurs at the largest scale permitted by the system size L , marking the onset of domain fragmentation process. To confirm this scenario and extend the analysis to finite temperatures, we compute the free energy difference $\Delta F(p, T, L)$ under periodic and anti-periodic boundary conditions, using the same bond configuration for both. Through extensive Monte Carlo simulations on systems up to size $L = 64$, we perform finite-size scaling analysis to accurately determine the re-entrance behavior at low temperatures and multicritical scaling properties near the Nishimori point [1, 2].

References

- [1] Yi Liu, Ding Wang, Xin Wang, Dao-Xin Yao, Lei-Han Tang, Communications in Theoretical Physics. <https://doi.org/10.1088/1572-9494/ade49d>
- [2] Yi Liu, Ding Wang, Leticia Cugliandolo, Lei-Han Tang, in preparation.



(邀请报告 B32)

Complete Universal Scaling in First-Order Phase Transitions (一级相变的普适全标度)

Fan ZHONG 钟凡

中山大学物理学院教授

摘要:

Phase transitions and critical phenomena are among the most intriguing phenomena in nature and society. According to a modern classification, phase transitions are divided into first-order and continuous kinds. It is well established that continuous phase transitions are characterized by universal scaling behavior near their critical points, whereas first-order phase transitions (FOPTs) are typically described by nucleation and growth or spinodal decomposition. Recently, we have unambiguously demonstrated that FOPTs also exhibit universal scaling behavior whether in field-driven transitions, in fixed-field nucleation and growth, or even in thermal transitions, and both within a mesoscopic, coarse-grained Landau-Ginzburg theory and within the paradigmatic Ising model. These results open the door for extending the theory to other systems and experimentally testing them to systematically uncover their scaling and universal behavior. Here I will briefly review these progresses.

References

- F. Zhong and Q. Z. Chen, PRL **75**, 1757011, 2005.
- F. Zhong, Front. Phys. **12**, 126402, 2017.
- F. Zhong, Phys. Rev. E **86**, 022104, 2012.
- F. Zhong, CPL, **41**, 100502, 2024.
- Y. Zhang and F. Zhong, J. Phys. Soc. Jpn. **94**, 043001, 2025 (Letter).
- F. Zhong, CPL **42**, 030203, 2025.
- Y. Zhang and F. Zhong, arXiv:2506.00515v1, 2025

(口头报告 B33)

Upper Bounded Current Fluctuation in One-Dimensional Driven Transport Systems



顾加银
副研究员

顾加银，男，1990 年出生，江苏盐城人。2012 年于扬州大学获得物理学学士学位。之后赴中国科学院大学学习天体物理，于 2015 年获得理学硕士学位。再之后，辗转于武汉理工大学和比利时（法语）布鲁塞尔自由大学，分别于 2019 年 6 月获得天体物理方向博士学位，于 2020 年 9 月获得非平衡统计物理方向博士学位。2021 年 3 月至 2023 年 03 月期间，在北京大学从事非平衡统计物理相关的博士后研究工作。从 2023 年 4 月开始，加入南京师范大学从事教学与研究工作。目前的主要研究集中在非平衡统计物理领域，具体主题包括涨落定理、全计数统计、大偏差、随机热力学、量子热力学、张量网络在统计物理中的应用等等。

摘要： The current fluctuation in one-dimensional driven transport systems is conjectured to have an upper bound determined by its mean value together with the driving force. The resulting inequality arises from repulsive interactions between the transporting particles, and the bound is approached in near-equilibrium systems or far-from-equilibrium systems with weak interactions between the transporting particles. First, a coarse-grained model for one-dimensional transport systems is proposed. This model describes random particle exchanges between two reservoirs with constant rates, and the upper bound is identified from this model. Then, the inequality is rigorously proved in quantum ballistic transport systems. In addition, two specific diffusive systems are used to demonstrate the validity of the inequality. One is the exclusion process for which the inequality is proven. The other is the transport of charged particles. For this system, the inequality is numerically supported.

Reference: Jiayin Gu, Fan Zhang, *Upper Bounded Current Fluctuation in One-Dimensional Driven Diffusive Systems*, arXiv:2412.14293



(邀请报告 C01)

Entanglement Spectrum, Topology, and Quantum Criticality

H. Q. Lin

Abstract: In this talk, I briefly report our efforts on studying quantum phase transitions that fall outside the Landau- Ginzburg-Wilson (LGW) paradigm. Several widely used models were analyzed from the perspective of entanglement and entanglement spectrum. In the context of the deconfined quantum critical point (DQCP), we also addressed the notion of topology to systems without a bulk energy gap, including quantum critical points and critical phases. I shall also report corrections to the subleading logarithmic term of the entanglement entropy in systems with spontaneous broken continuous symmetry, which leads to much better estimations of the number of Goldstone modes.

Personal Profile: Hai-Qing Lin, currently chair professor at the School of Physics, Zhejiang University, mainly engaged in research on condensed matter physics and computational physics.

量子纠缠谱、拓扑和量子临界性

林海青

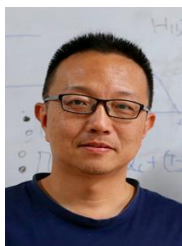
摘要：在这个报告里，我简要向大家汇报我们在研究朗道-金兹堡-威尔逊（LGW）范式之外的量子相变方面所做的努力。我们从量子纠缠和量子纠缠谱的角度分析了几种常见模型。在解定义量子临界点（DQCP）的背景下，我们还讨论了没有体能隙的系统的拓扑概念，包括量子临界点和临界相。我还将报告对具有自发破坏连续对称性的系统中纠缠熵的次级对数项的修正，这可以更好地估算戈德斯通模的数量。

个人简介：林海青，浙江大学物理学院讲座教授，主要从事凝聚态物性理论和相关的计算物理研究。



(邀请报告 C02)

Improved scaling of entanglement entropy and its applications



郭文安
教授

北京师范大学物理与天文学院教授，长期从事相变与临界现象的数值研究。

摘要：纠缠熵的标度行为是研究量子多体系统的有力工具，对于破缺连续对称性的系统，纠缠熵的标度行为原则上可以反映其 Goldstone 模的数目。然而，实际计算结果却严重偏离理论预期。通过考虑进一步的有限尺寸效应，我们推导了改进的纠缠熵标度行为，得到了符合理论预期的数值结果，并将这一标度理论应用于判断解禁闭量子相变模型的量子相变特性。特别是我们利用这一工具发现了无阻挫系统量子相变点出现特殊的共面序，并提出了导致该共面序的新奇演生阻挫机制。



(邀请报告 C03)

耗散体系中对称性保护拓扑态的量子相变

王振九 兰州大学

以耦合于高维费米面中的一维 Haldane 态为代表，我们探究了对称性保护拓扑态在环境耗散下所引发的量子相变。因环境的无能隙特征，路径积分下自旋在虚时方向上呈代数衰减的推迟相互作用。在耗散较强的情况下，时间上的非局域性抑制自旋的量子涨落，从而打破 Mermin- Wagner 定理，引发一维体系的连续对称性破缺；此情形下，存在临界环境耦合以使得自旋能隙闭合而破坏 Haldane 态。通过大尺度量子蒙特卡洛数值计算，我们发现在欧姆库环境中，Haldane 态和反铁磁序间量子临界点的动力学临界指数为 2。有别于传统无能隙对称性保护拓扑态，Haldane 态的边界半整数自旋在体态相变点呈现全新的临界标度行为。

(口头报告 C04)

Edge modes of topological Mott insulators and deconfined quantum critical point



刘玉海
副教授/博士

刘玉海，男，副教授，硕士生导师。博士毕业于北京师范大学，曾在北京计算科学研究中心从事博士后研究。2022 年入职北京邮电大学。从事相变与临界现象的研究，主要关注强关联电子系统和自旋系统，相关论文发表在 Nature communications, PRL/B/E 等期刊上。

摘要: Edge modes are a consequence of bulk topology or of anomalies. Here we study edge physics models that undergo bulk quantum phase transitions so as to address the interplay of topology, anomalies and edge criticality. We start with the Kane-Mele-Hubbard model that undergoes a bulk 3D XY transition as a function of the Hubbard interaction. For identical values of the Hubbard interaction in the bulk and on the edge, we find that the edge state at criticality is a realization of an extraordinary-log phase that dominates the spectral properties of the edge physics in the vicinity of this point. The second model we consider provides a realization of a deconfined quantum critical point between a dynamically generated quantum spin Hall state – a topological Mott insulator – and an s-wave superconductor. For this model and again for identical bulk and boundary couplings, the edge physics belongs to the ordinary phase. For the topological Mott insulator, the bulk Goldstone modes are shown to be irrelevant at the helical Luttinger liquid fixed point. The deconfined quantum critical point is an instance of an emergent anomaly, and we indeed do observe a sharp localized edge state at this point, even though charge fluctuations are gapless in the bulk. Our results stem from large-scale auxiliary field quantum Monte Carlo simulations.



热力学第二定律之热流主题——一个量子研究方案

王文阁

中国科学技术大学

摘要：根据热力学第二定律，热量只能从高温物体流向低温物体。该现象的微观动力学基础，是一个困扰物理学一百多年且尚未圆满解决问题。针对该问题，我们考察两个满足本征态热化假说的多体系统，一个为被研究系统，另一个为其环境。我们提出一个从总体薛定谔方程出发、有可能在一定程度上解决上述问题的研究方案。该方案包括以下几部分：（1）为避开可逆性问题，亦为量子力学之测量公理所允许，初态设置为被研究系统与其环境的直积态。（2）我们证明，热流方向问题可以被归结为总系统能量本征函数的某些结构性性质。（3）该方案需要证明，满足 ETH ansatz 的系统与环境具有该结构性性质。我们的研究显示，上述结构性性质的确在一大类系统中成立。



Current-driven Archimedes chiral molecular motor

吕京涛
教授

吕京涛，华中科技大学物理学院教授。在清华大学和中科院上海微系统与信息技术研究所获得学士和博士学位后，分别在新加坡国立大学、丹麦技术大学、哥本哈根大学从事研究工作。2013 年入职华中科技大学，主要从事低维体系中电荷、能量输运及统计性质的理论与计算研究。

摘要：Single-molecule junctions serve as an ideal platform for understanding nonequilibrium statistical and thermodynamic processes at small scales. Even at the single-molecule level, transport properties of molecules can be influenced by various degrees of freedom, such as molecular vibrons, localized plasmons, and spins, either within the molecule itself or in the surrounding environment. Studying these interactions and the accompanying energy conversion processes can enhance our understanding of fundamental small-scale thermodynamics and nonequilibrium statistics, while also expanding the functionality of single-molecule junctions in basic research. This talk will focus on the heat and work processes between electrons and atomic degrees of freedom molecules, focusing on theoretical design and experimental realization of a current-driven chiral molecular motor, akin to Archimedes screw.



(邀请报告 C07)

玻色气体量子热机性能优化：相变与多体效应的关键作用



王建辉
教授/博士

王建辉，南昌大学物理与材料学院教授、博士生导师，全国统计物理与复杂系统学术委员会委员。研究聚焦量子信息与热力学的交叉领域，致力于微纳尺度开放系统中量子信息反馈驱动的能量输运机制及转换器件研发。以第一作者或通讯作者发表 *Physical Review* 系列论文 30 余篇。

摘要：本报告聚焦玻色气体量子热机性能优化研究。针对周期性边界立方盒中弱相互作用玻色气体的量子 Otto 热机，通过调控系统体积与粒子相互作用强度实现绝热过程，剖析玻色 - 爱因斯坦凝聚（BEC）及粒子间相互作用对热机功率输出与效率的影响，发现凝聚临界点附近的量子效应显著提升性能。同时，研究 d 维谐振子势阱中有限粒子数理想玻色气体的内可逆量子 Brayton 热机，探讨其在凝聚、非凝聚及近临界区域的有限时间性能。结果表明，循环过程中的相变可通过提升功率与最大效率优化热机表现，且跨越 BEC 相变的 N 粒子量子热机性能优于单粒子热机集合，该差异与临界点附近定压比热容特性密切相关，为量子热机设计提供新思路。



(邀请报告 C08)

非平衡量子体系中的能量-信息热力学关系



刘俊杰
教授

刘俊杰，2007-2016 年在复旦大学物理系学习，获学士和博士学位。之后在美国麻省理工学院/新加坡-麻省理工联合研究中心、加拿大阿尔伯塔大学和加拿大多伦多大学从事博士后研究。2022 年起任上海大学理学院物理系教授、博士生导师。主要从事开放量子体系和量子信息热力学方面的理论研究工作，具体研究方向包括量子热机、能量-信息关系和非平衡统计与推断等。已在 Phys. Rev. Lett. 、 Nano Lett. 、 和 Phys. Rev. A/B/E/Research/Applied 等学术期刊上发表 30 余篇学术论文。

摘要：能量-信息热力学关系作为热力学与统计物理的重要研究课题之一，其理论渊源可追溯至著名的麦克斯韦妖思想实验。近年来，随着量子热力学领域的深入发展，这一基础关系在量子热力学机器、量子信息处理等前沿方向展现出重要的应用价值。在本报告中，我将介绍我们近期在非平衡量子体系的能量-信息热力学关系方面取得的理论进展：（1）建立了适用于非平衡量子体系的热力学推断理论，该理论仅需体系动力学信息即可推断出体系内能与信息熵之间满足的热力学权衡关系，可以描述各种纳米环境（包括非热化环境）作用下的非平衡量子热力学过程；（2）揭示了量子多体关联体系中调控能耗满足的广域-局域热力学关系，定量刻画了体系关联强度对调控能耗的具体影响机制。



(邀请报告 C09)

磁性斯格明子与环境相互作用下的非平衡动力学和相变

郑波 云南大学/浙江大学

摘要:

报告探讨磁性斯格明子在非均匀、各向异性的环境势场中的运动，揭示新颖的非平衡态动力学相和相变。特别是，尽管斯格明子之间存在排斥相互作用，但是，在环境势场和霍尔力的共同作用下，可以形成稳定的斯格明子对，并诱导复杂液晶态和各种异质运动状态。

个人简介:

1978.3–1982.2 中山大学物理系，获学士；1982.3–1988.2 中山大学物理系，获博士。1988–1996 中山大学物理系，讲师；1990–2002 德国 Siegen University 和马丁路德-Halle University，研究助理；2001–2023 浙江大学物理系，教育部长江学者特聘教授；2020 至今，云南大学物理与天文学院，特聘教授。多年来从事统计物理与复杂系统研究，发表论文 150 余篇，被引用约 5000 篇次。

(邀请报告 C10)

Sampling fine-level entanglement spectrum and probing the emergent symmetries of critical points



严正
研究员/博士

Zheng YAN is an Assistant Professor/Researcher at Westlake University. He received the Bachelor Degree from Dalian University of Technology in 2013 and the Ph.D. in Theoretical Physics from Fudan University in 2019. Thereafter he worked as a Postdoctoral Fellow, then a Research Assistant Professor at the University of Hong Kong. In 2023, he joined the Westlake University as a Principal Investigator. His main research areas are theoretical and numerical studies of quantum many-body physics, as well as related quantum simulation/computing and quantum materials cross-disciplinary research.

摘要: The reduced density matrix (RDM) plays a key role in quantum entanglement and measurement, as it allows the extraction of almost all physical quantities related to the reduced degrees of freedom. However, restricted by the degrees of freedom in the environment, the total system size is often limited, let alone the subsystem. To address this challenge, we propose a quantum Monte Carlo scheme with a low technical barrier, enabling precise extraction of the RDM. To demonstrate the power of the method, we present the fine levels of the entanglement spectrum (ES), which is the logarithmic eigenvalues of the RDM. Meanwhile, the (emergent) symmetry of a critical point is one of the most important information to identify the universality class and effective field theory, which is fundamental for various critical theories. However, the underlying symmetry so far can only be conjectured indirectly from the dimension of the order parameters in symmetry-breaking phases, and its correctness requires further verifications to avoid overlooking hidden order parameters, which by itself is also a difficult task. We propose using the ES to identify the underlying (emergent) symmetry of a critical point in quantum many-body systems, without prior knowledge about its low-energy effective field theory. It's because the Anderson tower of states in the ES clearly reflects the underlying (emergent) symmetry of the criticality. It is attributed to the fact that the entanglement spectrum can observe the broken symmetry of the entanglement ground-state after cooling from the critical point along an extra temperature axis.



(邀请报告 C11)

随机铁磁——反铁磁耦合 $S=1/2$ 海森堡链的基态性质

李思贝¹, 邵慧¹, Anders W. Sandvik²

1、北京师范大学, 北京, 中国, 100875

2、波士顿大学, 波士顿, 美国, 02215

摘要: 我们通过量子蒙特卡罗模拟和数值强无序重整化群计算, 研究了具有随机铁磁——反铁磁耦合的 $S=1/2$ 海森堡自旋链的基态性质[1]。我们的计算结果对之前的强无序重整化结论[2]提出了挑战, 表明动力学临界指数会随耦合分布而变化。对于双峰分布的情况, 我们的结果也与最近的自旋波和密度矩阵重整化群结果[3]不一致。此外, 我们在横向关联函数中观察到了特殊的双重标度行为, 表明基态可能是一种具有非常特殊临界行为的量子状态。这一研究工作揭示了无序量子系统基态性质的复杂性和非普适性。

[1] S. Li, H. Shao, and A. W. Sandvik, *Ground State of the $S=1/2$ Heisenberg Spin Chain with Random Ferromagnetic and Antiferromagnetic Couplings*, Phys. Rev. Lett. **134**, 086501 (2025).

[2] E. Westerberg, A. Furusaki, M. Sigrist, and P. A. Lee, *Random quantum spin chains: A real-space renormalization group study*, Phys. Rev. Lett. **75**, 4302 (1995).

[3] M. Fava, J. L. Jacobsen, and A. Nahum, *Heisenberg spin chain with random-sign coupling*, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. **121**, 2401292121 (2024).



(邀请报告 C12)

Topological Physics in Quantum Critical Systems



余雪佳
教授

余雪佳

福州大学物理与信息工程学院

余雪佳，北京大学博士，福州大学物理系教授。曾获北京市优秀博士论文奖与北京大学优秀毕业生等荣誉。一直从事统计物理中量子相变拓扑物理相关的理论研究，近年来在 PRL、Science Bulletin、Communications Physics、Phys.Rev 系列等期刊发表多篇论文。

摘要: Topology forms a cornerstone of modern condensed matter and statistical physics, offering a new framework to classify the phases and phase transitions beyond the traditional Landau paradigm. However, it has long been widely believed that topological physics is destroyed when the bulk energy gap closes, making it highly nontrivial to consider topology in gapless quantum critical systems. To address these challenges, recent advancements have sought to generalize the notion of topological physics to systems without a bulk energy gap, including quantum critical points and gapless phases, collectively referred to as gapless symmetry-protected topological phases. The discovery of nontrivial topology in quantum critical systems suggests that topology plays a crucial role in classifying phase transitions even if they belong to the same universality class, fundamentally enriching the textbook understanding of phase transitions. Moreover, extending topological concepts to gapless quantum many-body systems challenges the traditional belief in condensed matter physics that topological edge states are typically associated with bulk energy gaps. Given its importance, In this talk, I will introduce recent progress in the study of topological physics in quantum critical systems, covering both theoretical and experimental advancements.

参考文献

1. Ruben Verresen et. al., Phys. Rev. X 11, 041059 (2021)
2. Xue-Jia Yu et. al., Phys. Rev. Lett. 129, 210601 (2022)
3. Xue-Jia Yu et. al., Phys. Rev. Lett. 133, 026601 (2024)
4. Ziqi Tan,...,Xue-Jia Yu et.al., arXiv: 2501. 04679 (2025)

(邀请报告 C13)

动力学霍尔响应的解析研究

余金龙
副研究员/博士

海南大学物理与光电工程学院副研究员，博士生导师；担任海南大学应用物理学专业责任教授、院长助理。本科毕业于华中科技大学；博士毕业于清华大学，导师尤力教授。博士毕业后分别在清华大学跟随翟荟教授、奥地利科学院跟随 Peter Zoller 院士从事博士后研究工作。2022 年加入海南大学。长期从事基于冷原子系统的量子模拟工作，发表文章 13 篇（包括 4 篇 PRL、1 篇 Science Advances），并受邀担任 PRL、PRR、PRA、PRB、《中国物理 B》等国内外学术期刊审稿人。

摘要：动力学霍尔响应^[1]是在少能级量子系统中探测阿贝尔及非阿贝尔规范场几何、拓扑结构的一种常见手段。先前关于动力学霍尔响应的理论推导^[1,2]考虑的是由瞬时本征态出发得到的响应（“瞬时本征态方案”）；但相关实验工作^[3,4]处理的却是含时演化缓变态的响应问题（“含时缓变态方案”），实验结果与相关理论的一致性尚存疑问。我们仔细分析了相关实验条件下，系统含时演化波函数的解析结构，并由此得到了系统动力学霍尔响应的解析表达式，为相关实验工作展示的“含时缓变态方案”提供了严格的理论基础^[5]。该解析结果表明，“含时缓变态方案”给出的霍尔响应一般会随时间振荡，其时间平均正好给出“瞬时本征态方案”预言的结果。此工作展现的解析推导过程，对于相关实验中通过动力学方法探测贝里曲率、拓扑不变量等重要观测量提供了一般的解决方案。

[1] V. Gritsev and A. Polkovnikov, Dynamical quantum Hall effect in the parameter space. PNAS 109, 6457 (2012).

[2] M. Kolodrubetz, Measuring the Second Chern Number from Nonadiabatic Effects. Phys. Rev. Lett. 117, 015301 (2016).

[3] P. Roushan, C. Neill, Y. Chen et al., Observation of topological transitions in interacting quantum circuits, Nature 515, 241 (2014).

[4] S. Sugawa, F. Salces-Carcoba, A. R. Perry, Y. Yue and I. B. Spielman, Second Chern number of a quantum-simulated non-Abelian Yang monopole. Science 360, 1429 (2018).

[5] Zhenyu Cai and Jinlong Yu, Analytical Results for Dynamical Hall Responses via Time-dependent Slow-varying States, Manuscript in preparation.



(邀请报告 C14)

Quantum KAM Conjecture



吴飙
教授

北京大学博雅特聘教授。1992年在北京师范大学本科毕业；

1995年在中国科学院大学获得硕士学位；2001年在美国德州大学奥斯汀分校 (University of Texas at Austin) 获博士学位；2004年入选中国科学院“百人计划”；2007年获首届香港大学崔琦奖(D. Tsui Fellowship)；2008年获国家杰出青年基金；2014年被聘为教育部长江学者特聘教授。从事凝聚态物理的理论研究，主要方向有量子动力学、量子算法、超冷原子气、几何相位等，发表论文100多篇。

摘要: Classical KAM theorem states that an integrable system gradually becomes chaotic with increasing perturbation strength. Our study indicates that the KAM theorem should also hold for quantum dynamics. We will use kicked rotor to illustrate how an integrable quantum system can gradually become chaotic. However, it is not clear currently how one can formulate the quantum KAM theorem so that it can be applied to quantum systems that do not have well defined classical limits.



(邀请报告 C15)

A crash of quantum chaos with supersymmetry and superstring

Chushun Tian

While canonical studies of quantum chaos departure from quantization of a classically chaotic system, a major step forward is to explore chaotic behaviors in such systems, that are endowed with quantum degrees of freedom or quantum structures, notably $SU(2)$ spin and supersymmetry (SUSY), and thus have no classical limit. In this talk, I will report our progress in this direction. I will first show, when the Sachdev-Ye-Kitaev model is endowed with SUSY(-like) structures, its Lyapunov exponent obeys a universal single-parameter scaling law, and the scaling flow drives the system from maximal towards minimal chaos. Then I will show this phenomenon can be understood from the perspective of (super)string scattering near the black hole. In particular, the Regge spin of Pomeron exchanged during string scattering obeys the same scaling law and, strikingly, the scaling flow drives Einstein gravitational scattering towards hadron scattering in QCD. This implies that maximal chaos corresponds to short (super)string scattering, while minimal chaos or near-to-regular motion to long (super)string scattering.

This series of works are in collaboration with Dr. Chen Ma at GSCAEP and Prof. Jin Chen at Xiamen Univ..

(邀请报告 C16)

The Correspondence Principle, Ergodicity, and Finite-Time Dynamics

Z. Q. Chen^{1,2}, R. H. Ni^{1,2}, Y. Song^{1,2}, L. Huang^{1,2}, J. Wang^{3,1}, G. Casati⁴.

(1) Lanzhou Center for Theoretical Physics, Lanzhou University, Lanzhou 730000, Gansu, China, (2) Key Laboratory of Theoretical Physics of Gansu Province, Key Laboratory for Quantum Theory and Applications of MOE, and School of Physical Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China. (3) Department of Physics, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian, China. (4) Center for Nonlinear and Complex Systems, Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia, Università degli Studi dell'Insubria, Como, Italy.



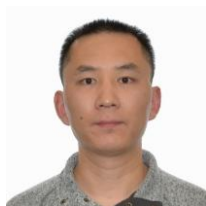
报告人：黄亮，兰州大学物理学院教授，主要从事量子混沌与波混沌、非线性动力学等相关研究。

黄亮 教授

摘要： The quantum-classical correspondence stands out as one of the most intriguing challenges in the realm of quantum mechanics. Within the context of quantum chaos, the conventional approach, which relies on spectral statistics to infer distinct classical dynamical properties, fails in typical scenarios, such as slow relaxation processes, dynamical localization or other deviations from ergodicity. To address this difficulty, we propose a novel approach the essence of which lies in associating a quantum energy shell with classical finite-time trajectories. Our results extend the knowledge of quantum-classical correspondence, they offer explanations for previously conflicting findings, and they also bear significance for applications in quantum metrology, sensing, and computation when the determination of the ergodicity degree of the quantum states is in need.

(邀请报告 C17)

波混沌系统中的非线性效应及其逆向设计



王成震
兰州大学青年
研究员/博士

王成震，男，2025 年 3 月开始为兰州大学物理科学与技术学院青年研究员，理论物理方向硕士研究生导师。分别于 2013 年、2016 年获得兰州大学学士、硕士学位，并于 2021 年 6 月在美国亚利桑那州立大学获得博士学位，导师为来颖诚教授。2021 年 8 月-2025 年 1 月在美国维思大学从事博士后研究，合作导师 Tsampikos Kottos 教授。主要从事复杂波动系统中波动传输的非线性效应、相对论性量子混沌以及逆向设计

摘要：量子混沌与波混沌为研究复杂波动体系的输运及调控提供了基础理论框架，而且也为无线通信等新兴技术提供新思路。当前量子混沌与波混沌研究主要集中在线性体系，其中的非线性效应的研究仍有大片空白。报告人将非线性引入波混沌系统，构建了波的非对易传输、相干完全吸收的理论范式，突破了传统的非对称传输上限，并基于微波网络实验实现。利用近年来提出的逆向设计思路，给出量子混沌与复杂波混沌系统中波动传输的智能调控方案。

参考文献：

1. **Cheng-Zhen Wang**, Rodion Kononchuk, Ulrich Kuhl, Tsampikos Kottos, Loss-Induced Violation of the Fundamental Transmittance-Asymmetry Bound in Nonlinear Complex Wave Systems, *Physical Review Letters* 131, 123801 (2023)
2. **Cheng-Zhen Wang**, John Guillaumon, William Tuxbury, Ulrich Kuhl*, and Tsampikos Kottos*. "Nonlinearity-induced Scattering Zero Degeneracies for Spectral Management of Coherent Perfect Absorption in Complex Systems." *Physical Review Applied* 22, 064093 (2024).
3. John Guillaumon†, **Cheng-Zhen Wang**†, Zin Lin*, and Tsampikos Kottos*, Inverse design based on *in vivo* adjoint method for wave control in complex systems, arXiv:2503.21107 (†: equal contribution)



(口头报告 C18)

ETH 非对角元函数的半经典描述



王晓

在读博士生

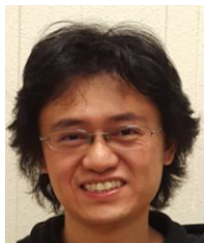
王晓，现为中国科学技术大学近代物理系在读博士生。师从中国科大王文阁教授。主要研究方向为 ETH、量子热力学、量子混沌。

摘要：报告主要介绍一项关于 ETH 非对角元函数解析研究的最新进展。近年来，随着理论和实验研究的深入，ETH 被统计物理界寄予厚望。它被认为是理解热化过程的一个重要工具，并受到了广泛的关注。目前，通过诸多具体模型中的数值计算工作，学术界已经对 ETH 的主要性质有了一些了解。但由于数学结构的复杂性，有关 ETH 的一般解析工作、特别是研究 ETH 非对角元的解析工作十分稀少。报告人及其合作者近期使用半经典方法，得到了 ETH 非对角元函数的一个半经典表达式，并使用该表达式讨论了非对角元函数的平台宽度、总体量级与谱密度的关系以及非对角元函数长尾部的指数衰减率等主要性质。这些结论让我们热化过程有了很多新的理解，特别是我们得出了“达到热化所需的时间尺度与哈密顿量在相空间中的梯度成反比”的结论。本报告将对上述内容作具体的介绍。



(邀请报告 C19)

Ferrodark solitons in trapped superfluids: spin corrections and emergent quadratic and quartic potentials



于小泉，中国工程物理研究院研究生院研究员。主要从事非平衡统计物理，量子流体中拓扑激发的非线性动力学，和量子无序系统方面的研究工作。

于小泉
研究员

摘要： We propose a framework for topological soliton dynamics in trapped spinor superfluids, decomposing the force acting on the soliton by the surrounding fluid into the buoyancy force and spin-corrections arising from the density depletion at soliton core and the coupling between the orbital motion and the spin mixing, respectively. For ferrodark solitons (FDSs) in spin-1 Bose-Einstein Condensates (BECs), the spin correction enables mapping the FDS motion in a harmonic trap to the atomic-mass particle dynamics in an emergent quartic potential. Initially placing a type-I FDS near the trap center, a single-sided oscillation happens, which maps to the particle moving around a local minimum of the emergent double-well potential. As the initial distance of a type-II FDS from the trap center increases, the motion exhibits three regimes: trap-centered harmonic and anharmonic, followed by single-sided oscillations. Correspondingly the emergent quartic potential undergoes symmetry breaking, transitioning from a single minimum to a double-well shape, where particle motion shifts from oscillating around the single minimum to crossing between two minima via the local maximum, then the motion around one of the two minima. In a hard-wall trap with linear potential, the FDS motion maps to a harmonic oscillator.



(邀请报告 C20)

量子涡旋纽结复杂系统的拓扑级联演化



刘鑫 教授

刘鑫，北京工业大学物理与光电工程学院教授。获兰州大学理论物理学博士和澳大利亚昆士兰大学数学博士学位。曾获悉尼大学校立博士后研究学者基金，剑桥大学牛顿数学研究所访问学者基金。学术服务包括以色列国家自然科学基金评审专家，美国数学会《数学评论》特约评论员等。曾入选北京市级人才计划项目。科研领域为应用数学与理论物理，方向为经典场论（流体力学）中的纽结拓扑不变量、物理中的各种拓扑激发、拓扑量子场论中的纽结不变量等。

摘要：

旋涡演化机理是涡复杂系统动力学的挑战性问题。我们采取的思路是从拓扑学角度研究流体涡丝暨缺陷所形成的纽结复杂系统的退化路径。包括两个方面：一是量子缺陷的数值模拟，对象为包含三个或以上纠缠纽结、复杂度可控的系统，目的是确定拓扑特征与能量转移的明确关系；另一方面是用数值模拟来校验代数拓扑给出的估测。此二者相辅相成，可用前者的数据来调整和完善后者，以期确定系统拓扑和能量之间的关系。远期目标是在涡旋动力学（以及更复杂的流体系统如湍流）中建立一种新的研究范式。

本报告展示我们最近观察到的量子流体中的涡旋博罗明环（Borromean rings）在 Gross-Pitaevskii 方程（GPE）主控之下的拓扑级联演化过程。典型的衰减路径包括怀特海德链环（Whitehead link）→霍普夫环（Hopf link）的连通和→三叶结（Trefoil knot）等→最终形成不连接、不打结的平庸环。我们将展示各种退化路径对系统初始几何构型即初条件的依赖，以及一系列自发重联事件的微过程。进一步，本报告还将给出我们基于数值观察发展出来的代数拓扑观点，如流体纽结多项式、正交空间测地线方法等。

参考文献：

- [1] Guan H, Zuccher S, Liu X*: *Topological cascade of quantum Borromean rings*, Physics of Fluids 37 (2025) 024126 (11pp). DOI: 10.1063/5.0252708.
- [2] Liu X, Ricca RL*, Li X: *Minimal unlinking pathways as geodesics in knot polynomial space*, Nature Communications Physics 3 (2020) 136. DOI: 10.1038/s42005-020-00398-y.

(邀请报告 C21)

Vector breathers excited by single component modulation



西北大学理论物理团队成员，主要研究领域为数学物理与可积系统，近期主要关注矢量场非线性激发动力学

刘冲

副教授/博士

摘要： We demonstrate that vector (two-component) breathers of the Manakov equations can be excited through a simple initial modulation imposed only on a single component. We investigate two types of breathers—vector rogue waves and super-regular breathers—that can be triggered by nonideal localized perturbations. Both fundamental and complex higher-order breathers can be generated using such initial modulations. The characteristic time of evolution corresponding to the maximum broadening of the spectra is analyzed in detail. It is shown that only the excitation of higher-order breathers allows for a difference in characteristic times between the two components. The variation of this time difference with respect to the parameters of the initial conditions is systematically analyzed.

References

- [1] C. Liu, S.-C. Chen, and N. Akhmediev, Fundamental and Second-Order Superregular Breathers in Vector Fields, *Phys. Rev. Lett.* 132, 027201 (2024).
- [2] C. Liu, L. Li, S.-C. Chen, X. Yao, W.-L. Yang, and N. Akhmediev, Experimental observation of recurrence and spectral asymmetry of the two-component Akhmediev breathers in a single mode optical fibre, *arxiv*: 2503, 08513 (2025).



(口头报告 C22)

自引力量子流体中的法拉第波



刘宁

讲师/博士

刘宁，北京师范大学物理学系博士，现为安庆师范大学数理学院讲师。主要研究方向超冷原子气体，奇异量子流体以及引力理论等。

摘要：本研究通过理论分析探讨了自引力玻色-爱因斯坦凝聚体（SGBEC）中由散射长度周期性调制所诱导的法拉第波现象。基于 Gross-Pitaevskii-Poisson 方程的线性稳定性分析，我们推导出描述系统动力学演化的 Mathieu 方程，并构建了调制和 Jeans 稳定性相图。研究结果表明：当 Jeans 频率较大时，Jeans 不稳定性区域显著扩展；驱动频率越低，参数共振导致的不稳定激发模式（“不稳定舌”）数量越多。进一步分析耗散和有效温度对法拉第波的影响。本研究在自引力量子流体中揭示了参数共振引发的法拉第波，为通过实验室实验研究引力本质（经典或量子属性）提供了新思路。此外，研究结果对暗物质模型及玻色星稳定性等天体物理问题具有潜在意义。

(邀请报告 C23)

Spin dynamics and dark particles in a weak-coupled quantum Ising ladder with $D_8^{(1)}$ spectrum

吴建达

吴建达，李政道学者。长期致力于量子相变、量子临界热力学及动力学、贝特拟设及可积系统动力学等相关领域的研究工作。2004 年及 2007 年于中国科学技术大学获得学士及硕士学位、2014 年博士毕业于美国莱斯大学、2014-2017 年在美国加州大学圣地亚哥分校从事博士后工作、2017-2018 年担任德国马普复杂系统物理所客座研究员。2018 年至今就职于上海交通大学李政道研究所及物理与天文学院。迄今已在包括 PRL、Nature 及 Nature 子刊、Science Bulletin 等在内的高水平学术期刊上共发表论文三十余篇。获批 2025 年国家自然科学基金原创探索项目。先后在国内外重要学术会议、学术机构给邀请学术报告八十余次。

Abstract:

When two quantum critical transverse-field Ising chains (TFIC) are weakly coupled, the weak inter-chain coupling can drive the system to emerge as an integrable model with eight particles, organized by the $D_8^{(1)}$ Lie algebra. Realizing the quantum criticality of the TFIC is a key step to access the exotic integrable system. In my talk, after briefly exposing the quantum criticality of the TFIC, I will begin my journey with an inelastic neutron scattering experiment on CoNb_2O_6 , which claims observation of evidence of E_8 physics in the material. Despite a ten-year gap, recent THz spectroscopy on the same material reignited our interest, leading us to challenge the E_8 paradigm and propose the $D_8^{(1)}$ picture. I will discuss why the $D_8^{(1)}$ physics provides a comprehensive understanding for the experimental observations. Along the course, we also surprisingly found long-life-time dark particle, a special kind of many-body magnetic excitation, in the integrable system which accommodates the $D_8^{(1)}$ physics. We further propose a thermal activation detection of the lightest dark particle.

参考文献

1. Y. Gao, Y. Jiang*, and **Jianda Wu***, “Mesons in a quantum Ising ladder”, Accepted by J. High Energy Phys. (In production, 2025)
2. Y. Gao#, J. Yang#, H. Lin, R. Yu, **Jianda Wu***, “Thermal activated detection of dark particles in a weakly coupled quantum Ising ladder”, Phys. Rev. B 111, L241105 (2025).
3. Y. Gao, X. Wang, N. Xi, Y. Jiang, R. Yu*, **Jianda Wu***, “Spin dynamics and dark particle in a weak-coupled quantum Ising ladder with $D_8^{(1)}$ spectrum”, Phys. Rev. B 111, L201117 (2025).
4. N. Xi#, X. Wang#, Y. Gao, Y. Jiang, R. Yu*, **Jianda Wu***, “Emergent $D_8^{(1)}$ spectrum and topological soliton excitation in CoNb_2O_6 ”, arXiv:2403.10785

#: contribute equally; *: corresponding author



(邀请报告 C24)

腔-自旋链量子电池及其强化学习性能优化



豆福全
教授/博士

西北师范大学教授、博士研究生导师，北京理工大学博士，北京应用物理与计算数学研究所博士后，主要从事量子物理、冷原子物理相关方面的研究，在 Phys. Rev. 系列等期刊发表学术论文 80 余篇，出版专著 1 部（科学出版社）。主持国家自然科学基金面上项目等 10 项，参与国家自然科学基金重大研究计划项目等 10 项。获甘肃省高校科技进步一等奖等奖项 40 余项。

摘要：量子电池研究是目前量子热力学前沿热点课题，如何构建高效量子电池模型并对其性能进一步优化是量子电池研究中的焦点问题之一。本报告在介绍量子电池基本概念及研究现状的基础上，介绍课题组最近的一个工作：腔-海森堡自旋链量子电池及其强化学习性能优化。提出了腔-自旋 j ($j=1/2, 1, 1$)量子电池模型，考虑了封闭和开放量子系统两种情况，探究了其性能以及自旋大小、自旋间相互作用、环境温度与腔的耗散等因素对性能的影响，并利用机器学习中的 SAC 算法对其性能进行了优化，获得了优化路径，探索了其优化机制。该结果为量子电池新模型构建以及性能优化提供了新思路。

参考文献

[1] Peng-Yu Sun, Hang Zhou, and Fu-Quan Dou, Cavity-Heisenberg spin- j chain quantum battery and reinforcement learning optimization, arXiv:2412.01442.



(邀请报告 C25)

腔光力学时钟同步热力学与暗模破坏冷却



盛继腾

教授/博士

华东师范大学量子科学与精密测量研究院教授，国家优秀青年科学基金获得者。主要从事光与物质相互作用研究，聚焦腔光力学、量子光学和非线性光学方向，在 *Phys. Rev. Lett.*、*Sci. Adv.*、*Nat. Commun.* 等学术期刊上发表论文 40 余篇。主持国家重点研发计划课题、国家自然科学基金委面上项目、上海市基础研究特区计划项目

竺

摘要：腔光力学研究光场与力学振子的相互作用，为探索宏观量子物理和非平衡热力学提供了重要平台。本次报告将介绍近期我们基于腔光力学系统实现时钟同步热力学和暗模破坏冷却两个工作。我们在腔光力学中实现两个随机自治时钟的同步，并研究了其热力学熵特性。两个时钟在腔场调控的耗散耦合下自发同步，同步度与总热力学熵呈现非单调行为，而与同步熵呈单调递减关系。研究结果证明了在一个有效的线性系统中实现时钟同步的可能，揭示了时钟同步与热力学关系。我们还实现了两个近简并纳米薄膜振子的突破暗模极限光力冷却。通过引入新光学模式提供额外耗散通道以破坏暗模，将总声子数降低至暗模冷却极限以下一个数量级。实验结果为多简并力学振子的基态冷却和量子纠缠奠定重要基础。

(口头报告 C26)

Non-stationary quantum many-body dynamics in Rydberg ensemble



白正阳
助理教授

白正阳，南京大学助理教授。博士毕业于华东师范大学精密光谱科学与技术国家重点实验室，2018-2020 年在英国诺丁汉大学开展博士后研究，2020-2024 年任职华东师范大学，2025 年-至今任职南京大学。目前的研究兴趣主要围绕光与原子相互作用产生的若干非线性与非平衡物理问题，具体研究方向包括：光学孤子的形成与传输、多体系统中非平衡动力学相变、量子信息与量子测量等。目前，已在包括 *Physical Review Letters*, *Science Advances*, *Optica*, *Applied Physics Reviews* 等学术刊物发表文章 30 余篇，部分理论预言被国内外实验组证实。先后获得上海市自然科学二等奖（第二完成人）、上海市浦江人才等项目资助。

摘要： The strong interactions between Rydberg atoms provide a useful tool for studying non-equilibrium physics in many-body systems [1]. The interplay between strong Rydberg interactions and dissipation results in exotic nonequilibrium phenomena. Optical bistability and self-organized criticality have been demonstrated experimentally [2, 3]. In this talk, we focus on the non-equilibrium physics in Rydberg systems. The first part will introduce the ergodicity-breaking dynamics in Rydberg systems. By scanning the laser frequency, the system exhibits a non-equilibrium phase transition from ergodic toward ergodic breaking dynamics. The broken ergodicity is featured by the long-time phase oscillation, which is attributed to the formation of Rydberg excitation clusters [4]. The second part will introduce the dissipative time crystal. Due to the facilitation mechanism, Rydberg system can be reduced to the quantum contact model [5]. The richer phase structure emerges. The quantum coherence can break the rapidity-reversal symmetry of the classical DP and strongly modifies the phase diagram from a continuous to a discontinuous transition. In the presence of both slow reloading and loss of emitters around the critical point, the two coexisting states (i.e., absorbing and active states) become metastable, and consequently, a non-stationary phase arises. The system undergoes repeated phase transitions and self-organizes to a continuous time crystals phase [6].

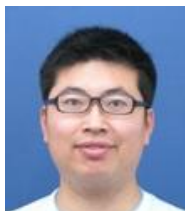
Key words: Rydberg atom; Nonequilibrium phase transition; Time crystals

References

- [1] M. Saffman, T. G. Walker, and K. Mølmer, *Rev. Mod. Phys.* 82, 2313 (2010).
- [2] C. Carr, R. Ritter, C. Wade, C. Adams, K. Weatherill, *Phys. Rev. Lett.* 111, 113901 (2013).
- [3] S. Helmrich, et al, *Nature* 577, 481 (2020).
- [4] D. Ding, Z. Bai, Z. Liu, B. Shi, G. Guo, W. Li, C. Adams, *Science Advances*, 10, ead15893 (2024).
- [5] M. Marcuzzi, M. Buchhold, S. Diehl, I. Lesanovsky, *Phys. Rev. Lett.* 116, 245701 (2016).
- [6] Y. Xiang, Q. Lei, Z. Bai, Y. Ma, *Phys. Rev. Res.* 6, 033185 (2024).

(口头报告 C27)

各向异性自旋玻色模型中量子相变数值研究



周能吉
教授/博士

研究领域为相变和临界现象、开放系统量子系统，最近关注自旋玻色耦合系统的基态量子相变以及量子动力学相关问题。在 Phys. Rev. 系列刊物, New J. Phys., Annalen der Physik 等国际主流杂志共发表 SCI 论文 37 篇，其中第一作者或者通讯作者的论文共计 19 篇。主持并完成国家自然科学基金项目 2 项（面上和青年项目），省自然科学基金项目 2 项（一般项目和青年项目）。

摘要：自旋玻色耦合系统中存在丰富而新颖的物理现象，也在量子信息、量子光学及量子计算等领域有着广泛应用。通过基于变分方法的大规模数值计算，本论文系统地研究了高密度谱下各向异性自旋玻色模型基态性质，包括自旋磁化、自旋相干、冯·诺依曼熵等自旋相关物理量行为，以及量子涨落、量子关联以及声子个数等玻色子库相关物理量行为。根据 Z_2 对称性自发破缺这一行为，我们还引入了宇称参数来描述基态量子相变现象。最终，我们得到：在对角耦合情况下，自旋玻色模型将发生局域-非局域量子相变，而在非对角耦合情况下该量子相变消失了。另一方面，在旋转波近似情况下，基态相图则变得复杂，存在自由相、局域相、非局域相等状态，对应者不同的波函数构型。此外，随着隧穿强度的增加，非局域相将逐渐消失，最终只存在自由-局域量子相变现象。

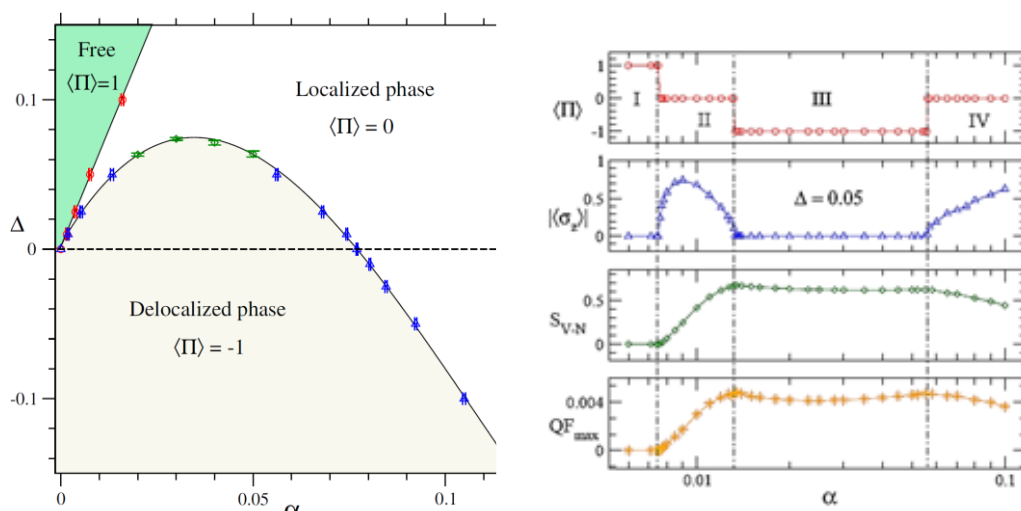


图 1: (a) 旋转波近似情况下，各向异性的自旋玻色模型基态相图。(b) 弱隧穿强度下，各物理量随自旋环境耦合强度变化的行为。其中状态 II 和 IV 属于局域相，而状态 I 和 III 则分别对应着自由相和非局域相。



(口头报告 C28)

高压下氩的热导率：相变以及非静水压效应的影响



查大宝
在读博士

南京师范大学物理科学与技术学院在读物理学博士研究生，导师张力发教授。研究方向：极端条件（高温高压）下晶体中的声子行为。

摘要：氩气因其优异的化学惰性及形成准静水压的能力，是高压实验研究中广泛采用的传压介质。然而，其在高压下发生的相变及非静水压效应会诱发显著的晶格畸变，从而对材料中声子主导的热导率产生重要影响。基于第一性原理计算与声子玻尔兹曼输运理论的研究表明：在相变共存区（以 fcc 为主），fcc 与 hcp 相热导率的压力依赖性差异随压力增大而显著增大，在压力高于 60 GPa 时差值可达 25%，表明两相对热导率的贡献均不可忽略。更为重要的是，非静水压应力诱导的晶格畸变显著增强了声子散射，导致热导率呈现强烈的各向异性（主方向间差异>16%），进而修正了静水压模型对理论热导率的系统性高估倾向。该研究揭示了高压下相变与非静水压应力的耦合效应对氩热导率的关键影响。



(口头报告 C29)

揭示单层 CrOCl 中磁无序在声子输运中的作用



陈荣坤
博士研究生

云南大学物理与天文学院 2024 级理论物理博士研究生，师从云南大学胡世谦研究员，获云南省教育厅科学研究基金项目支持。其主要研究领域涵盖非傅里叶声子热输运、机器学习以及磁性系统的热输运问题。截至目前，已在《Physical Review B》、《Journal of Applied Physics》等主流物理学期刊发表学术论文 5 篇。

摘要：在强耦合磁振子 - 声子系统中，磁无序在塑造声子特性和热输运行为方面起着至关重要的作用。然而，传统的研究方法通常依赖于非磁性（NM）近似，从而忽略了磁有序所产生的影响。为了克服这些现有的限制，我们提出了一个集成的计算框架。该框架巧妙地将特殊准随机结构（SQS）方法、第一性原理计算以及玻尔兹曼输运理论有机地结合在一起。通过这种协同的方式，该框架能够系统地探究磁无序在单层 CrOCl 中声子热输运过程中所扮演的角色，尤其着重于研究其对晶格热导率的影响。我们的研究表明，从铁磁（FM）相到顺磁（PM）相的转变增强了谐波相互作用，导致光学声子硬化。此外，这种相变还导致晶格热导率发生了显著的变化。通过对三阶原子间力常数（IFC3）相对误差的深入分析，我们将这些变化归因于磁序对高阶相互作用的复杂影响，这种影响进而决定了声子 - 声子散射的强度。本研究建立了一个稳健的框架，用于探索磁性材料中的热输运，并突出了磁无序在调控声子介导的热传导方面所起的关键作用。



(邀请报告 D01)

非平衡系统中的新颖斑图及其结构调控



申传胜
教授/博士

博士生导师，安徽省教学名师，现任安庆师范大学副校长，学报自然科学版编委会主任，安徽省耕地质量智慧监测与地力提升重点实验室主任。主讲蒙特卡罗方法等课程，主持省级研究生名师工作室，主要研究领域为复杂系统建模、仿真与调控。2016-2017 年于德国柏林洪堡大学国家公派出国留学访问学者，主持完成国家自然科学基金面上项目 2 项和中英国际合作交流项目 1 项，发表高水平论文 50 余篇，获第八届安徽省自然科学优秀学术论文三等奖。担任中国系统工程学会系统理论专委会委员、中国工业与应用数学学会复杂网络与复杂系统专委会委员等。

摘要：我们将介绍四种非平衡系统斑图动力学及其结构调控的新机制：（1）发现一种新颖的周期加倍螺旋波，通过施加同频周期力，消除传统周期加倍螺旋波的线缺陷。（2）在 CGLE 模型中发现螺旋波存在双稳态：基态与激发态。通过单次脉冲刺激可实现状态切换，关键突破在于揭示相同介质参数下可存在两种动力学状态，颠覆介质性质唯一决定波动态的传统观点。（3）在时间离散系统中发现一种新颖的螺旋波，称之为复合螺旋波。该螺旋波由内部小螺旋与外部大螺旋组成。研究表明该结构是两种输运作用竞争的结果。（4）发现时间离散系统中的类图灵斑图结构不依赖于振幅方程，而是由初始状态主导。四项研究共同揭示，斑图结构不仅受传统参数调控，更可通过初始条件设计、脉冲干预、多态竞争利用及相位调制等新途径控制。这为心脏动力学、生态预测及材料科学等领域提供了跨学科理论框架。

发表的相关论文

- [1] Period-doubled spiral waves without line defects in oscillatory systems. **Phys Rev E** 00: 004200 (2025)
- [2] Structure of random Turing-like patterns in discrete-time systems is determined by the initial conditions. **Phys Rev E** 111: 014206 (2025).
- [3] Composite spiral waves in discrete-time systems. **Phys Rev E** 108: 044205 (2023)
- [4] Excited state of spiral waves in oscillatory reaction-diffusion systems caused by a pulse. **Phys Rev E** 101(4): 042219 (2020)

(邀请报告 D02)

重置布朗运动的广义反正弦定律



陈含爽
教授/博士

安徽大学物理与光电工程学院教授。2005 年获安徽师范大学学士学位，2008 年及 2011 年分别获安徽师范大学和中国科学技术大学硕士和博士学位，获安徽省百篇优秀硕士学位论文，中科院院长奖。研究方向为非平衡统计物理、大偏差理论和模拟、复杂网络动力学。在 *Phys. Rev. E*, *J. Stat. Mech* 等期刊发表论文 50 余篇，研究成果受到了 *PRL*、*Adv. Phys.*, *Phys.Rep.* 等杂志的正面引用。

摘要：布朗运动的核心特征之一是其位置强关联性衍生的“动力学刚性”，这一特性集中体现于粒子居留正（负）半轴时间、位置极值到达时间及末次穿越原点时间的分布规律中。早在 20 世纪 40 年代，法国数学家莱维便发现这三类时间均遵循同一概率分布——该分布以中间时刻为对称中心呈 U 型形态，其累积分布函数由反正弦函数精确刻画，即经典的反正弦定律。近年来，重置机制诱导的新颖物理效应推动了非平衡统计物理与首达问题的研究热潮。直观而言，随机重置操作会破坏布朗粒子的动力学刚性，但如何定量描述重置效应并重构反正弦定律仍是该领域的关键科学问题。本文针对泊松重置条件下的布朗运动，系统解析了居留时间、极值时间与末次穿越时间的概率分布，发现重置操作显著改变了三类时间的分布特性。与标准布朗运动不同，重置条件下三类时间分布不再满足同一性。随着重置速率的增加，居留时间分布从 U 型转变成 W 型，平均极值时间非单调变化。研究进一步拓展了三类时间的两两联合分布解析解，并通过关联系数定量刻画了其统计相关性，为理解重置随机系统的非平衡动力学提供重要的理论框架。



(口头报告 D03)

声子角动量的太赫兹电场激发以及调控



孙鸿
博士研究生

目前在南京师范大学张力发教授团队读博，研究方向为手性声子及声子角动量调控。手性声子是凝聚态物理新兴且潜力大的研究对象，其特性为探索微观物理规律提供新视角。声子角动量是声子手性直观表现，对开发量子器件、提升信息存储传输效率、推动纳米技术发展意义重大。深入研究这两个相关领域，有望在微观尺度揭示物质与能量作用新机制，为科技进步奠定理论和技术基础。

摘要：近年来，随着对声子本征模式研究的不断深入，人们发现声子除了具有能量、准动量等特性外，还可能表现出确定的手性并携带相应的角动量[1]。作为声子的全新自由度，声子手性和角动量已经在多种材料中得到实验验证，例如单层二硒化钼，并且在超快退磁和自旋塞贝克效应等复杂物理现象中展现出重要作用。得益于最近在利用太赫兹脉冲对晶格动力学进行超快控制实验中的重要进展[2]，我们提出了通过交变太赫兹电场实现材料中声子角动量的激发以及调控的新思路。基于非线性响应理论框架，通过偶极近似，我们推导了太赫兹电场激发声子角动量的一般公式，并探讨了声子角动量的共振激发，温度依赖及其与驱动电场极性间的关系。我们的理论分析表明，这种光学激发过程涉及两种不同光学声子模式之间的单声子跃迁，其中声子角动量算符的非对角元（即带间跃迁）发挥关键作用。通过对晶体点群对称性的分析，我们发现与通常的光电流效应需要材料具备空间反演对称性破缺条件不同的是，此过程对于所有 32 个晶体学点群均表现出非零响应张量，这意味着该方法具有广泛的应用潜力。此外，通过第一性原理计算，我们在极性材料纤锌矿氮化镓中预测了由强度为 10^7 (V/m) 的太赫兹电场所激发的声子角动量大小，结果显示其在单位原胞内的值可达 $\hbar$ 的数量级，远高于其他激发手段的结果。最后，我们还发现，使用圆偏振或椭圆偏振光能够更有效地诱导显著的声子角动量。这些研究成果为基于声子角动量的材料设计与调控提供了一种全新的策略。

参考文献：

- [1] Zhang, Lifa and Niu, Qian. Physical Review Letters 112.8 (2014): 085503.
- [2] Basini, M., Pancaldi, M., Wehinger, B. et al. Nature 628, 534-539 (2024).



(口头报告 D04)

神经网络中对称与反对称连接的竞争



李栋
博士

李栋，博士，2009年毕业于北京师范大学物理学系理论物理专业。现工作于汉堡大学医学中心计算神经科学研究所，稍后会入职南通大学电气与自动化学院。主要从事非线性动力系统与计算神经科学的研究。

摘要：对称与反对称连接之间的竞争在很大程度上决定了神经活动的成对关联水平，进而影响了神经网络的整体动力学特征，并最终调节其执行各种功能的能力。在这项工作中，我们探讨了对称与反对称连接如何影响神经网络在执行工作记忆、长时记忆等不同认知任务时的表现。我们分析了这两类连接的竞争机制如何在生物神经网络中得以实现，并探讨了突触可塑性在这一过程中所扮演的关键作用。此外，我们基于已有的实验和理论研究，讨论了这些连接模式在大脑皮层中的可能分布。这些分析为理解皮层网络如何通过改变结构影响动力学状态并最终决定认知功能提供了新的视角。

(邀请报告 D05)

无记忆储计算：打破记忆限制实现全局预测校准和模型鲁棒性



顾长贵
教授

顾长贵，上海理工大学管理学院教授，博士生导师。2011 年 12 月博士毕业于华东师范大学物理系，2012.4 - 2014.12 在荷兰莱顿大学医学院从事博士后工作。研究领域包含系统理论及其在具体领域的应用，例如生物钟。已在 PNAS、PRL、PRE 等期刊发表 SCI 论文百余篇，相关研究成果被《纽约时报》、美国物理联合会主页等报道。主持国家自然科学基金面上项目 2 项、青年项目 1 项。获得上海市首届青年东方学者称号。目前担任上海市非线性科学研究会副理事长、中国系统工程学会系统理论专业委员会委员和《复杂系统与复杂性科学》编委。

摘要：储层计算（Reservoir Computing, RC）作为一种轻量级且功能强大的机器学习框架，在复杂系统动力学重构与预测领域展现出显著优势。然而，其预测能力从根本上受限于固有的记忆依赖性，导致训练后模型仅能学习局部状态转移，从而制约了长期预测性能。为突破这一关键局限，报告提出无记忆储层计算（Memoryless Reservoir Computing, MsRC）。该创新框架通过在输入层构建单项式特征向量，保障了层间信息的稳定流动。特别地，利用由瞬态扰动特性确定的状态矩阵训练输出权重 W_{out} ，有效克服了经典 RC 中节点记忆造成的预测局限。为验证所提框架的有效性，研究进行了两项关键性能评估：(1) 验证其在复杂动力系统中的全局预测校准及缺失变量推断能力；(2) 评估其在训练数据不完整与参数变化条件下的鲁棒性。验证采用了多个代表性系统的数据集，涵盖经典混沌系统、耦合动力系统及真实世界气候系统。与经典 RC 相比，MsRC 在实现同等预测目标的同时，显著降低了模型复杂度与数据需求：所需的节点数量和训练数据量均减少了一个数量级以上。这些显著改进表明，MsRC 为发展下一代储层计算架构提供了极具前景的方向。

(邀请报告 D06)

Neural Correlates of Serial Dependence: Synaptic Short-term Plasticity Orchestrates Repulsion and Attraction



弭元元
长聘副教授

弭元元，清华大学心理与认知科学系长聘副教授。毕业于北京师范大学物理学系，先后在以色列 Weizmann Institute of Science 和美国 Columbia University 做博士后。研究方向为计算神经科学，主要专注于研究脑在网络层面处理动态信息的一般性原理，包括工作记忆的容量与调控、时空信息的网络编码等；并基于此发展了类脑运动模式的快速识别算法、运动目标的预测追踪算法等。以第一或者通讯（含共同）在 *Neuron*, *PNAS*, *Progress in Neurobiology* 等神经科学领域刊物和机器学习旗舰会议 *NeurIPS* 等发表论文。获得国家自然基金委交叉学部优秀青年基金项目、青年人才托举工程项目的支持和北京市科技新星的荣誉称号。

摘要：Serial dependence reflects how recent sensory history shapes current perception, producing two opposing biases: repulsion, where perception is repelled from recent stimuli, and attraction, where perception is drawn toward them. Repulsion typically occurs at the sensory perception stage, while attraction arises at the post-perception stage. To uncover the neural basis of these effects, we developed a two-layer continuous attractor neural network model incorporating synaptic short-term plasticity (STP). The first layer, dominated by synaptic depression, models sensory processing and drives repulsion due to sustained neurotransmitter depletion. The second layer, dominated by synaptic facilitation, models post-perception processing and drives attraction by sustained high neurotransmitter release probabilities. Our model successfully explains the serial dependence phenomena observed in the visual orientation judgement experiments, highlighting STP as the critical mechanism, with its time constants defining the temporal windows of repulsion and attraction. Furthermore, the model provides a neural foundation for the Bayesian interpretation of serial dependence. This study advances our understanding of how the neural system leverages STP to balance sensitivity in sensory perception with stability in post-perceptual cognition.

(邀请报告 D07)

感知决策策略转换灵活性的多巴胺调控效应动力学建模



黄子昱
教授/西安交通大学

简介：黄子昱，西安交通大学类脑智能研究中心，生命学院教授，获高层次科技创新人才（学科拔尖），类脑相关重点项目首席、智能重大专项专家。从事类脑智能、神经工程与计算神经科学研究，担任 SCI 期刊 *Mathematical Biosciences and Engineering* 副编辑。研究成果发表 SCI 论文 70 余篇，主持完成重大专项重点项目 1 项。

摘要：多巴胺（DA）对多种认知功能所依赖的时域信息整合能力调节至关重要。然而，DA 通过跨脑区环路及多种受体实现时域信息动态整合的神经机制仍不甚明了。在本研究中，我们构建了一个包含前额叶皮质（PFC）中 D1 受体和丘脑背内侧核（MD）中 D2 受体的神经环路模型，探讨 DA 如何通过双通路协同调控时域信息的整合并促进感知决策策略的适应性变化。研究表明，D1 和 D2 受体的激活水平调节着 PFC-MD 环路内的多种抑制性神经元的活动模式以及突触连接强度。这些调节作用决定了感知决策计算过程的鲁棒性和灵活性，能够实现首因（primacy）、近因（recency）和平衡（balance）决策策略之间的转换。理论分析发现，DA 通过调控转换阈值（switching threshold）影响决策状态对外部刺激的敏感性及其对干扰的抗性（resistance），从而表现为不同的决策策略。上述发现为阐明 DA 介导的决策过程中时域信息整合的神经机制建立了理论框架，并为理解神经调质对复杂认知过程的影响提供了新见解。



(口头报告 D08)

复杂网络中热虹吸效应的生成与调控



熊科诏

副教授/博士

副教授，硕导，现就职于西安科技大学理学院。本科毕业于陕西师范大学（2009-2013），博士毕业于华东师范大学（2013-2019，硕博连读），美国科罗拉多大学博士联合培养（2017-2019，国家留学基金委全额资助），复旦大学博士后（2020-2022）。

摘要：该工作研究了简单网络中的热虹吸现象，并探讨了基底势能对该现象的调控作用。结果发现，通过合理设计网络结构，可以在系统中诱导热虹吸效应，而增强基底势则能够逐渐削弱并最终消除该效应。此外，我们进一步在更复杂的网络拓扑上验证了这一调控机制。为了揭示其背后的物理机制，我们基于声子谱理论进行了分析，理论结果与数值模拟完全吻合。这些结论有助于深入理解微纳尺度下的热传导机制，为高效热管理提供新的思路。



(邀请报告 D09)

大脑功能的物理机制研究



刘宗华
教授

刘宗华博士，华东师范大学物理与电子科学学院二级教授，理论物理研究所所长。获教育部新世纪优秀人才支持计划、上海市浦江人才支持计划、上海市曙光人才支持计划、教育部自然科学二等奖和上海市教学成果二等奖。出版专著四部：《混沌动力学基础及其应用》、《复杂系统与复杂网络》、《混沌动力学基础及其在大脑功能方面的应用》与《复杂网络上的流行病传播》。主持国家自然科学基金重点项目 2 项及科技创新 2030-重大项目课题

摘要： In recent years, exploring the physical mechanisms of brain functions has been a hot topic in the fields of nonlinear dynamics and complex networks, and many important achievements have been made, mainly based on the characteristic features of time series of human brain. To speed up the further study of this problem, herein we make a brief review on these important achievements, which includes the aspects of explaining: (i) the mechanism of brain rhythms by network synchronization, (ii) the mechanism of unihemispheric sleep by chimera states, (iii) the fundamental difference between the structural and functional brain networks by remote synchronization, (iv) the mechanism of stronger detection ability of human brain to weak signals by remote firing propagation, and (v) the mechanism of dementia patterns by eigen - microstate analysis. As a brief review, we will mainly focus on the aspects of basic ideas, research histories, and key results but ignore the tedious mathematical derivations. Moreover, some outlooks will be discussed for future studies.

(邀请报告 D10)

Large-scale dynamics in visual quorum sensing chiral suspensions



李云云
同济大学

李云云 2011 年毕业于德国奥格斯堡大学，随后在香港浸会大学从事博士后研究，2013 年加入同济大学。一直从事随机动力学研究，在软物质和统计物理基础问题研究方面发表 50 余篇 SCI 论文，主持 3 项国家自然科学基金，1 项省部级基金，参与 2 项国家自然科学基金重点项目。

摘要: A well-established phenomenon in active matter is motility-induced phase separation. However, biological systems exhibit a much broader range of collective behaviors and functions due to the exchange of information among their components. In this study, we investigate a two-dimensional active suspension where individual particles either become chiral or reverse their chirality when the density of neighboring particles within their visual cone surpasses a certain threshold - an instance of non-reciprocal interaction akin to quorum sensing in biology. By means of numerical simulations, we found that the suspension can transition between different configurations, including randomly uniform states, two-phase separation, and global strongly hyperuniform states by tuning the range and aperture of the particle visual cone. Notably, phase separation is accompanied by the emergence of stationary edge currents that circulate around the dense regions, while the particle distribution within these regions exhibits effective hyperuniformity. Large-scale particle circulation and hyperuniformity are genuine non-reciprocal effects which occur even in the absence of steric interactions. Moreover, in mixtures containing passive and quorum sensing chiral particles, 5% or less of the latter suffices to generate sustained edge currents. While a full understanding of collective dynamics in biological systems proves still elusive, the findings presented here could provide inspiration for designing artificial systems, such as decentralized micro-nanorobotic systems.

(口头报告 D11)

网络交互对集体动力学的影响



蒋思杨
博士生

蒋思杨，武汉大学数学与统计学院博士生，导师为周进教授。研究方向为复杂网络同步、控制、重要性结构识别等。主持国家自然科学基金青年博士生基础研究项目。目前以第一作者在 *Physical Review Letters*、*Physical Review E* 发表论文。

摘要：复杂网络通过构建抽象的节点以及它们之间的交互关系，刻画了多种不同类型复杂系统的拓扑结构和动态行为特征。其中，网络交互对集体动力学（如同步、扩散、传播等）的影响机制尤为关键。网络中的交互的权重如何影响集体表现？交互的方向和位置起到什么样的作用？哪些交互更重要？本报告考虑交互的方向性与位置性，量化网络中任一交互对集体的贡献值并排序 [1]，揭示了网络中边重要性分布的“二八率”，少部分边产生大贡献，特别地在有向猫脑网络中检测到仅一条交互就占 90% 以上的贡献。进一步，探讨一类典型的交互组合结构（圈结构）在集体动力学中的关键作用 [2]，并提出了一种寻找重要圈、控制重要圈的方法。旨在为跨学科应用场景中的优化调控提供理论参考。

[1] S. Jiang, J. Lu, J. Zhou, and Q. Dai, *Phys. Rev. E* 109, 054301 (2024).

[2] S. Jiang, J. Zhou, M. Small, J. Lu, and Y. Zhang, *Phys. Rev. Lett.* 16,130,18740 2 (2023).

(口头报告 D12)

从高阶到超阶：复杂网络中多尺度相互作用对同步与双稳态的影响



胡义鹏
博士研究生

胡义鹏，贾亚

华中师范大学物理科学与技术学院

课题组近年来围绕各类复杂系统的动力学模拟、理论分析展开相关工作，成果发表于《Communications Physics》

《Physical Review E》等国际学术期刊。研究内容涵盖从复杂网络同步行为，到生物神经网络与激发介质中模式形成的动力学机制，致力于探索多尺度复杂系统中的结构—功能关系。

摘要：

在大规模复杂系统中，节点之间的相互作用往往不仅限于两两耦合，三元及以上的多体协同在神经系统、社交网络、生态系统等真实网络中普遍存在，并对集体动态过程产生深远影响。高阶相互作用（Higher-Order Interactions, HOI）作为多节点间的协同作用，已被证明在复杂系统的同步、双稳态和模式形成中扮演关键角色。我们通过在群体振子模型与激发介质中引入 HOI，揭示了其对同步以及跃迁路径的调控作用。在群体空间相位耦合中，HOI 可以与空间漂移共同作用，显著改变系统的多稳态结构与跃迁连续性。在可激发介质中，HOI 的引入有效抑制了螺旋波的自持续，并存在明显的强度阈值，超过该阈值将导致螺旋波消散，展现出 HOI 在相变调控中的作用。

进一步地，我们提出了“超阶相互作用”（Hyper-order Interactions, HpOI），用以刻画多个高阶结构之间因共享节点而产生的竞争与合作关系。不同于传统的 HOI 仅聚焦于群内耦合，HpOI 关注高阶结构之间的相互作用。通过在扩展的 Kuramoto 模型中引入 HpOI，我们发现：合作性可增强系统同步效果，竞争性 HpOI 则抑制系统的全局同步。值得注意的是，HpOI 由合作性转向竞争性的过程中，系统同步过程中的双稳态区域先减小后增大。这种非线性调控机制与诸多系统的同步行为相联系并在多种真实网络（神经网络、社交网络、自然网络）中得到了验证。理论推导与数值模拟一致表明，HpOI 是连接结构尺度与动力学响应之间的关键桥梁，为理解复杂系统中的跨群体协调与竞争机制提供了新的视角。



(口头报告 D13)

反应扩散系统中自组织靶波奇美拉态的涌现



李炳伟
教授/博士

李炳伟，杭州师范大学物理学院教授、博士生导师。2004 年本科毕业于杭州师范大学，2009 年于浙江大学获得博士学位，2013-2014 期间在比利时根特大学物理与天文系访问。研究兴趣为复杂系统中的斑图动力学。以第一作者或通讯作者在 *Physical Review Letters*、*Physical Review E* 等期刊发表论文二十余篇，主持并完成多项国家自然科学基金和省自然科学基金。

摘要：奇美拉态（Chimera states）的发现是近二十年来非线性动力学领域的一个重要进展。最近，我们在一类代表振子与环境耦合的反应扩散系统中观察到一种新的奇美拉态——自组织靶波奇美拉态。不同于经典的靶波，自组织靶波奇美拉态的波源是由一组非同步的振子所构成。这个发现与传统观点——源源不断的有序靶波是从同步振子构成的波源产生——有很大不同。我们进一步提出一个唯象模型予以解释。此外，我们在其他模型中也验证了这种自组织靶波奇美拉态的存在。



(邀请报告 D14)

新能源并网系统统一模型与暂态同步稳定统一分析



占萌
教授/博士

占萌，华中科技大学电气与电子工程学院教授，博士生导师，长期从事非线性动力学和复杂系统研究，近十年专注于以新能源为主体的新型电力系统稳定控制研究。先后主持中国科学院“百人计划”项目、4 项国家自然科学基金面上项目、国家自然科学基金国际(地区)合作与交流项目、国家自然科学基金联合基金重大集成项目课题、国家电网公司及南方电网公司科技项目等。目前在国内外学术期刊上发表 SCI 论文 100 多篇，包括 *Physics Reports*、*Physical Review Letters*、IEEE 汇刊、IET、中国电机工程学报等主流期刊，被谷歌学术引用 3000 多次，H 因子 32，研究工作获得同行的广泛关注。任 IEEE 高级会员、中国电机工程学会会员、中国物理学会会员。

摘要：全球范围内以风电和光伏为主导的新能源正在如火如荼地大力发展，大功率电力电子装备正在全面改变和重塑传统电力系统。这些变化正深刻改变着全球能源格局和电力系统的规划、调度、运行等多个方面。以同步机为主导的传统电力系统认知体系、理论建模、分析方法等都需要重新加以审视。当前国内外电网也出现了各种不明机理事故，严重威胁电力系统安全稳定运行。2021 年中国科协发布了 10 个前沿科学问题中包括：以新能源为主体的新型电力系统稳定机理。报告将介绍我们在新能源并网系统统一模型与暂态同步稳定统一分析方面的最新进展。尝试建立包括不同新能源（如风电和光伏）、不同新能源装备（如全功率型风机、双馈型风机、光伏等）的适用于低电压穿越各个阶段的暂态统一模型，并进一步利用其不同切换阶段的非线性动力学特征，开展统一的暂态同步稳定分析。研究发现，即使对于一个大型新能源场站，基于简单二阶非线性广义摇摆方程模型的理论分析结果与电磁暂态仿真计算误差也只有 1% 左右。研究工作所建立的广义摇摆方程有望成为类似于传统电力系统中同步发电机摇摆方程的中心方程，研究工作有望提升我们对于新能源并网系统模型与暂态同步稳定分析的统一认识，并可用于实际工程。

(邀请报告 D15)

Thermal transport in one-dimensional long-range interacting Fermi-Pasta-Ulam-Tsingou-type models and the relevant nonlinear dynamics



熊大兴
教授/博士

熊大兴，男，2001—2010 就读于厦门大学物理学系，先后获得理学学士和博士学位。2011—2021 在福州大学物理与信息工程学院先后担任讲师、副教授、教授。现为闽江学院物理与电子信息工程学院、闽江理论物理协作中心教授，主要从事统计物理学与复杂系统交叉领域研究工作，关注低维体系中能量输运及相关的非线性动力学问题。

摘要： Despite the widespread anticipation that interaction range would significantly influence thermal transport behavior, our current understanding has primarily focused on systems with nearest-neighbor (NN) couplings. Only recently have the thermal transport properties of systems with long-range (LR) interactions begun to attract interest from the scientific community [1, 2]. In this presentation, I will discuss the progress on this topic [3-6]. Specifically, I will demonstrate that a certain type of one-dimensional (1D) LR interacting Fermi-Pasta-Ulam-Tsingou-type (FPUT-type) system can exhibit subdiffusive or even ballistic thermal transport under different strengths of LR interactions. It is noteworthy that the observation of subdiffusive transport in Hamiltonian systems has been unprecedented, while the manifestation of ballistic transport was exclusively confined to integrable systems. The underlying mechanisms are microscopically linked to distinct scattering behaviors/ nonlinear dynamics of phonon-discrete breathers (DBs) within the system. These findings suggest that 1D LR interacting FPUT-type systems exhibit a wider range of transport behaviors compared to their short-ranged counterparts with NN coupling only.

- [1] Benenti, D. Donadio, S. Lepri, and R. Livi, Non-Fourier heat transport in nanosystems, Riv. Nuovo Cim. 46, 105-161 (2023).
- [2] G. Benenti, S. Lepri, and R. Livi, Anomalous Heat Transport in Classical Many-Body Systems: Overview and Perspectives. Front. Phys. 8, 292 (2020).
- [3] J. Wang, S. V. Dmitriev, and D. Xiong, Thermal transport in long-range interacting Fermi-Pasta-Ulam chains, Phys. Rev. Res. 2, 013179 (2020).
- [4] D. Xiong and J. Wang, Subdiffusive energy transport and antipersistent correlations due to the scattering of phonons and discrete breathers, Phys. Rev. E 106, L032201 (2022).

(口头报告 D16)

Susceptible-infected-recovered-susceptible processes competing on simplicial complexes



王海英
副教授/博士

2019 年获北京航空航天大学管理科学与工程博士学位，西澳大学联合培养博士（导师：Michael Small）。2019 年加入上海理工大学管理学院。主持国家自然科学基金青年项目。研究领域：网络拓扑结构分析、网络传播动力学、基于人工智能的网络动力学分析等。

Contagions do not exist in isolation but in the presence of other propagating quantities, with which they may compete. Furthermore, higher-order interactions (interactions involving more than two nodes) are widely represented in real-world systems. We propose a stochastic model for susceptible-infected-recovered-susceptible (SIRS) processes competing in a simplicial complex that accommodates higher-order interactions. We also propose deterministic microscopic Markov chain (MMC) and mean-field (MF) forms of this model, which we analyze to reveal conditions for the persistence of each infection. We verify our analysis via numerical simulations, which also unveil critical mass effects, discontinuous phase transitions, and bistability. The stochastic model exhibits eight distinct classes of dependence of final state on initial conditions. All eight of these classes can be approximately reproduced with MMC, but only seven are seen under MF. The class observed in MMC and approximated in the stochastic model, but missing from MF, involves three distinct steady states for a single set of parameter values. However, in the absence of higher-order interactions MF exhibits an additional class, not observed in MMC or the stochastic model, corresponding to an infinite spectrum of steady states, in which the ratio of infection levels remains at its initial level. Both MMC and MF models can exhibit sustained oscillations in which one contagion disappears while the other tends to a limit cycle.



(口头报告 D17)

可激发随机相振子的相干性与耗散之间的权衡

郑春明，男，云南大学物理与天文学院副教授，从事统计物理与随机、非线性动力学方向的研究，目前主要关注随机振子、神经元和活性物质等的统计动力学。

摘要：热力学不确定性关系（TUR）限制了随机振荡系统中的相干性。在本次报告中，我将展示动力学限制和热力学限制在可激发系统（例如神经元）中都起着重要作用。

(口头报告 D18)

超声刺激机械敏感离子通道激发高频靶波驱赶心脏螺旋波

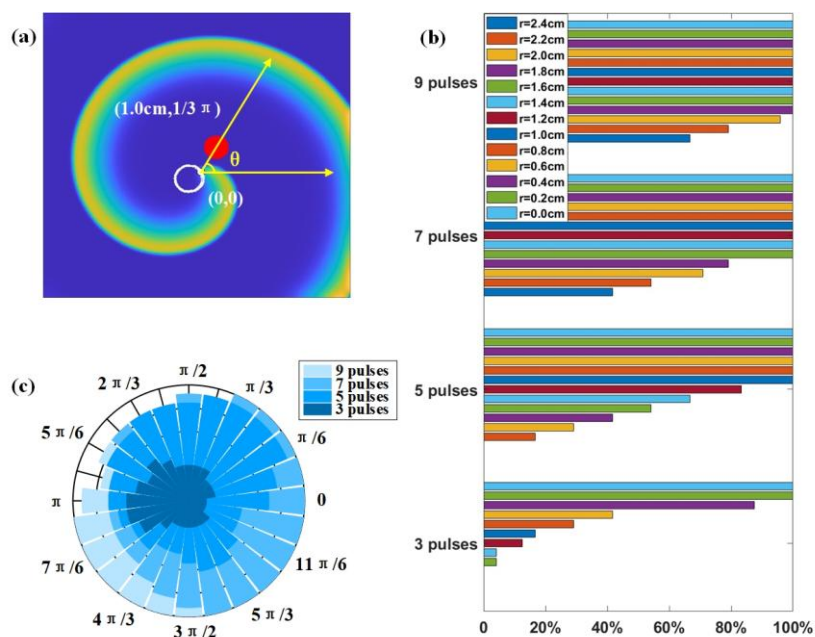


冯霞
讲师

西安石油大学理学院讲师。浙江大学博士，导师张宏教授。

主要从事心脏系统中螺旋波的机制解析和仿真模拟工作，特别关注利用虚拟电极效应和可穿戴式超声技术治愈心动过速和心颤等高危疾病的新疗法。

摘要：传统心律失常疗法存在侵入性与潜在风险。为此，本研究提出一种创新非侵入策略：利用超声刺激激活心肌细胞膜上的 Piezo1 离子通道，通过机械拉伸效应精准调控心脏电活动。为阐明机制并优化治疗参数，我们构建了整合马尔可夫四态模型与 Fenton-Karma 心脏模型的多尺度计算框架。数值模拟揭示了超声通过调控 Piezo1 开放概率激活心肌细胞，产生高频靶波以消除组织中的异常螺旋波。系统探讨了超声频率、辐射压强、作用时间及区域对消除效果的影响，确定了最优参数组合。研究表明螺旋波初始相位和运动复杂性虽影响消除过程，但可通过调整脉冲参数及施加次数有效克服，如下图所示。综上，本方法利用超声激活 Piezo1 调控心脏活动，为心律失常治疗提供了安全、高效、非侵入性的新途径，具有显著临床应用前景。





(邀请报告 D19)

Network Structure Shapes Information Communication Dynamics in Human Connectomes



郑木华
教授

郑木华，教授，博导，江苏特聘教授。2017 年博士毕业于华东师范大学，师从刘宗华教授；曾在美国纽约城市大学联合培养，2017 至 2020 年在巴塞罗那大学 Marián Boguñá 和 M. Ángeles Serrano 教授课题组从事博士后研究工作。主要从事非线性物理和复杂网络交叉领域的研究工作，目前已在 PNAS (2 篇 1 作)，Nat. Commun., Commun. Phys. 等国际著名期刊发表 SCI 论文近 40 篇。相关研究成果被权威媒体报道。先后主持/参与欧盟、国家和省部级项目 5 项。

摘要： The human brain is a complex network where structural architecture shapes the dynamics of information processing and communication. However, how the brain network structure affects the dynamics of information communication is not very clear. Here, we first explore the spatial multiscale organization of the healthy human brain and find the multiscale self-similar properties of human connectomes. Then, we show that the self-similar features may offer highly efficient information communication purposes. Ultimately, we investigate the recovery of structure and information communication dynamics of stroke brain networks over time. Our findings provide new insights for understanding the relationship between structure and function in the human brain.



(邀请报告 D20)

重要动力学轨道的重整化群计算



兰岳恒
教授/博士

兰岳恒，男，北京邮电大学理学院教授，博士学位在佐治亚理工学院获得。主要从事非线性科学、统计物理、生物物理、复杂信息和智能系统等领域的研究工作。现为北京邮电大学“数学与信息网络”教育部重点实验室副主任，多次被邀请在国内外学术会议上报告自己的工作，同时担任期刊“理论物理通信”的编委，也是多个国际著名杂志的审稿人。发表学术论文 100 余篇，包括国际顶级杂志 PRL, PNAS, Nature 子刊论文多篇。

摘要：系统从一个态到另一个态的转变，通常是通过连接轨道来完成的；而系统的往复运动，都是与（准）周期轨道联系在一起的。所以它们的存在性判定和计算是非线性动力系统的重要研究内容。重整化群方法，首先出现在量子场论的计算中，在凝聚态和统计物理中得到了很大的发展。它联系不同尺度物理规律或特征，近年来在机器学习机理的研究中也有巨大影响。如果将时间平移不变作为群变换，重整化群方法也可以用于非线性动力学，很方便地进行维度的约化或轨道的计算。这里，我们将利用这一方法，解析或数值计算典型动力系统的连接轨道或周期轨道。此方法可以拓展到较为高维的耗散结构的计算中去。



(口头报告 D21)

脑神经网络中结构-功能相互作用研究



余东

特聘教授/博士

余东，长江大学特聘教授，主要从事计算与脑网络神经科学研究，重点探索大脑网络的多尺度建模及其在认知功能和神经疾病中的作用机制。2025 年于华中师范大学物理科学与技术学院获得理学博士学位，导师为贾亚教授。目前已在国内外 SCI 期刊合作发表学术论文 30 余篇，其中以第一作者身份在 *Physical Review E*、*PLoS Computational Biology*、*Nonlinear Dynamics*、*Chaos, Solitons and Fractals* 等国际知名期刊发表 SCI 论文 11 篇。

摘要：大脑可以被看做是由突触连接起来的神经元组成的网络，脑局部和全局的功能由神经元群的动作电位实现。一些研究已经发现了大脑表达出特异性的组织结构。这种结构如何调控神经网络的功能，以及功能又如何反过来促进结构的形成？近期，我们结合图论和计算神经科学的方法，从三个方面探讨了网络的结构-功能的相互作用关系：1）在动态变化的神经网络中，结构与功能如何相互影响与演化，其潜在机制是什么？2）针对特定的认知功能（如工作记忆），静态结构如何调控其功能表现？3）网络结构如何与其他神经调节因素协同作用以调控神经网络的功能表现？在本报告将对该部分工作进行系统性介绍。



(口头报告 D22)

Multifunctional reservoir computing



杜瑶

陕西师范大学 博士生

摘要:

Whereas the power of reservoir computing (RC) in inferring chaotic systems has been well established in the literature, the studies are mostly restricted to monofunctional machines where the training and testing data are acquired from the same attractor. Here, using the strategies of attractor labeling and trajectory separation, we propose a scheme of RC capable of learning multiple attractors generated by entirely different dynamics, namely multifunctional RC. Specifically, we demonstrate that by incorporating a label channel into the standard reservoir computer, a single machine is able to learn from data the dynamics of multiple chaotic attractors, while each attractor can be accurately retrieved by inputting just a scalar in the prediction phase. The dependence of the machine performance on the labeling and separation parameters is investigated, and it is found that the machine performance is optimized when the parameters take intermediate values. The working mechanism of multifunctional RC is analyzed by the method of functional networks in neuroscience, and it is revealed that each attractor is represented by a stable, unique functional network in the reservoir, and the optimal performance arises as a balance between the stability, complexity, and distinguishability of the functional networks.

(邀请报告 D23)

Optimal Griffiths Phase in Human Brain Networks: A Revised Framework for Brain Criticality with Regional Heterogeneity



俞连春
副教授/博士

俞连春，博士、兰州大学物理科学与技术学院副教授，硕士生导师。2003 年获兰州大学物理学士，2009 年获兰州大学物理博士。2011 年至 2012 年在法国巴黎第七大学材料与系统复杂性实验室从事博士后研究。主要从事统计物理复杂系统理论在脑科学领域中的应用，计算神经科学，基于磁共振技术的脑影像数据分析等研究。在物理学、脑科学期刊发表 SCI 学术论文近 60 篇。担任中国神经科学学会计算神经科学专委会委员，Frontiers in Computational Neuroscience 助理编辑。

摘要： While the Critical Brain Hypothesis offers a powerful theoretical framework for understanding brain dynamics, inconsistencies in model predictions and experimental data, particularly regarding the role of hierarchical modular network organization and regional heterogeneity in shaping brain dynamics, highlight the need for a refined framework to better understand the emergence of criticality and its influence on cognitive functions. Here, by analyzing the large-scale brain imaging dataset and constructing a whole-brain model incorporating hierarchical structural connectivity and region-specific excitability, we demonstrate that an optimal alignment of these heterogeneities in real brains induces a broadest Griffiths phase (GP)—a stretched critical regime characterized by non-universal critical dynamics and preserved scaling relations. This updated framework captures key empirical features of human brains, including semi-independent synchronous-asynchronous transition among functional modules, and critical exponents holding to the scaling relation but varying across individuals. Crucially, the GP optimizes the balance between global and local information flow, fostering functional connectivity patterns that maintain segregation-integration balance. Despite inter-individual variability in global excitability, healthy adult human brains predominantly operate within the optimal GP, which supports diverse cognitive demands through robust critical dynamics within its range. Our work established that the GP in human brains, arising from the synergy between global excitability, structural modularity and regional heterogeneity, provides a more precise framework for understanding brain criticality and its role in supporting cognitive flexibility, offering profound implications for understanding brain health and disease.



(邀请报告 D24)

救援行为的人群疏散动力学建模及其复杂特性研究



邝华
教授/博士

邝华，广西师范大学教授，博导，中国核学会计算物理分会理事，广西物理学会常务理事，广西首批“千骨计划”人选。先后在香港城市大学、美国奥本大学访学。目前主要从事统计物理与复杂系统、交通流理论及非线性物理的应用研究。主持完成国家自然科学基金 4 项，省部级项目 3 项，获广西科技进步二等奖 1 次。发表论文 50 余篇，其中发表在《Physical Review E》的论文被 Nature China 以 Research Highlight 的形式给予报道。

摘要：行人应急疏散系统作为典型的多粒子自驱动系统，其理论研究不仅能够深化人们对相互作用复杂多体系统远离平衡态时的演化规律的认知，更能促进统计物理学、力学、复杂性科学、管理科学等多学科的交叉融合与创新发展。本报告聚焦非常规突发事件（如，火灾、洪涝、恐怖袭击等场景）下人员的心理特征与运动规律，通过构建动力学模型，重点阐述救援行为及不同救援方式所诱发的人群拥堵机理、系统稳定性分析与控制研究中取得的重要进展，以期为人群风险的精准预测与科学防控提供理论支撑和可行性建议。



(口头报告 D25)

化学突触归一化耦合的复杂神经网络的动力学同步



袁五届
教授/博士

淮北师范大学教授，安徽省教学名师，安徽省非线性科学学会理事，长期从事统计物理与复杂系统科学研究，主持国家自然科学基金面上项目和青年项目共 2 项，第一作者或通讯作者发表 SCI 论文 20 多篇，多种 SCI 收录期刊《Physical Review Letters》、《Physical Review E》、《IEEE transactions on circuits and systems II》等审稿人。

摘要：神经放电同步是大脑神经电活动的重要现象，与学习记忆、运动感知以及行为协调等多种大脑功能密切相关。已有的研究表明，神经元在电突触的线性耦合下很容易达到动力学的完全同步，然而在非线性的化学突触耦合下很难完全同步。最近研究发现，在特殊的神经网络结构（所有节点的入度都相同）下，化学突触耦合的网络动力学可以达到完全同步。但是该研究的结论只针对该特殊的网络结构，不能应用于一般的真实神经网络结构中。为此，依据一定的生物学基础，我们提出了一种化学突触归一化耦合的神经网络动力学模型，通过理论分析和数值模拟发现，该网络在耦合强度大于某个临界值时可以实现神经放电的完全同步，并且耦合强度的该临界值不依赖于网络的具体结构，只与突触耦合的动力学参数有关。



(口头报告 D26)

淬火无序引发的混沌共振式最优弱信号响应研究



刘 聪

讲师/博士

刘聪博士，河北师范大学物理学院讲师，2024 年于兰州大学获得物理学博士学位，导师为吴枝喜教授。主要从事非线性动力学、统计物理与复杂系统方面的研究。以第一作者在 Physical Review Research、Physical Review E、Chaos 等物理学主流期刊上发表论文 6 篇。

摘要：2021 年诺贝尔物理学奖颁给了统计物理与复杂系统领域的三位科学家，其中乔治·帕里希凭借其对“涨落与无序相互作用”的杰出理论研究而获得一半奖金。作为自然界两种基本要素的无序与涨落如何影响系统的集体动力学行为再次引发了大家的讨论。本报告围绕“无序如何影响非线性动力系统的弱刺激响应”这一具体问题展开，重点澄清由淬火无序引发的共振式最优弱信号响应与混沌边缘的内在关系，并讨论该结果对于真实神经网络中最优信息交互现象的启示。相关内容近期以 letter 形式发表于 Physical Review Research 上，详见 Phys. Rev. Research 6, L042019 (2024)。

(邀请报告 D27)

Bistable conduction and bistable spiral wave dynamics in electrically excitable media



张朝阳
副教授/博士

张朝阳，宁波大学物理学院副教授，2015 年博士毕业于北京师范大学，2019-2020 年在美国加州大学(UCLA)医学院进行博士后访问研究，研究方向为计算心律失常与计算神经科学。主持国家自然科学基金面上项目，获宁波市青年科技创新领军人才、宁波市领军拔尖人才项目。近年来以第一作者发表 *Physical Review Letter*, *Physical Review E* 等，另外，在医学期刊发表一区 top 论文多篇。

摘要： Stimulus-dependent fast and slow conduction waves in the same nerve system have been shown experimentally, which give rise to two modes of nerve functions. We use computer simulations to show that the fast and slow waves are a bistable conduction caused by a positive feedback loop of the wavefront upstroke speed, mediated by the sodium channel inactivation properties, which is further potentiated by the presence of the calcium current. The theoretical insights provide a generic mechanism for stimulus-dependent fast and slow conduction in the nerve systems, which may be also applicable to other electrically excitable tissues, such as cardiac muscles. We also show that the positive feedback loop between sodium current activation and wavefront ramp-up speed causes a saddle-node bifurcation to result in bistable spiral waves in electrically excitable media, in which both slow and fast waves are triggered by different stimulation protocols. Moreover, the two types of spiral wave conduction may interact to give rise to more complex spiral wave dynamics. The transitions between different spiral wave behaviors via saddle-node bifurcation can be a candidate mechanism for transitions widely seen in cardiac arrhythmias and neural diseases.



(口头报告 D28)

生成式模型在构象转变过渡路径搜索中的应用



唐晨宇

博士后研究员

唐晨宇，2018 年进入中国科学院理论物理所王延颢课题组攻读博士学位，2024 年获得博士学位，现在洛林大学 Christophe Chipot 组从事博士后研究。目前研究方向为结合分子动力学模拟与机器学习采样复杂分子体系构象转变中的过渡态和过渡路径。

摘要：在计算生物物理学中，理解分子构象的转变过程是一项重要且困难的问题。诸如伞状采样、元动力学、或自适应偏置力等传统的增强采样方法往往依赖事先选定的集体变量（CV），引入 CV 构建的偏置势进行自由能采样以搜索分子构象转变过渡态和过渡路径。这不仅会引入人为构造的偏差，在采样中破坏真实的动力学过程，还可能忽略某些重要的集体变量，不能描述真实复杂的构象转变机制。

我们在本报告中提出一种新的方法框架，将生成式模型与一种基于变分方法的过渡态搜索网络（VCN）结合，能够在不预设 CV 的情况下，利用无偏置的分子动力学模拟迭代地搜索构象过渡路径。该方法为过渡态和过渡路径采样的研究提供了一种数据驱动的新思路，也为增强采样方法提供了有力的补充。我们通过小分子构象转换和快速折叠蛋白质的案例，展示了这一方法能够在几乎无需人工干预的情况下，捕捉物理上合理的转变机制。

Understanding conformational transitions in biomolecular systems is a fundamental challenge in computational biophysics. Traditional approaches often rely on the pre-selection of collective variables (CVs), which can bias the analysis and limit the discovery of complex transition mechanisms. In this talk, we present a novel framework that integrates generative diffusion models with the Variational Commitor Network (VCN) to identify transition pathways without the need for predefined CVs. Our approach uncovers representative pathways directly from molecular dynamics data. This method provides a powerful and data-driven alternative to enhanced sampling techniques, offering new insights into rare-event dynamics in biomolecular systems. Applications to conformational switching and fast-folding proteins illustrate the method's ability to recover physically meaningful transition mechanisms with minimal human intervention.



(口头报告 D29)

Local entropy and nonextensivity of networks ensemble



张齐

副教授/博士

张齐，博士，副教授，硕士研究导师，江苏科技大学理学院应用物理学系主任，获国家启明计划博士后专项，江苏省双创博士，镇江市金山英才等人才计划支持，入选 Elsevier 全球前 2% 科学家。研究方向为统计物理与信息科学。

摘要： Network ensemble, as a theoretical model, has been widely used to describe complex systems with heterogeneously - interacting units. The existence of heterogeneous interactions among different units makes the network ensembles nonextensive. However, a theoretical proof of this nonextensivity is still missing. In this work, based on the nonlinear change of local entropy in the network ensembles, which is represented by the matrix with local constraints, we prove that the network ensembles are nonextensive, i.e., nonextensivity exists in the network ensembles. As the network's size grows, it will brings new units to the network ensemble and causes a nonlinear increase in the possible number of configurations in the network ensembles.

(邀请报告 E01)

Progresses on Some Open Problems Related to Infinitely Many Symmetries



楼森岳
教授/博士

宁波大学物理科学与技术学院。曾正确预言(1988)了 Higgs 粒子的质量范围($m_H = 123 \pm 47 \text{ GeV}$); 宏观实验验证了双原子格点体系的孤子模式及从孤子到混沌的演化; 提出或建立了形变映射、多线性分离变量、形式级数对称、非局域对称局域化、超对称系统玻色化、局域和非局域对称对偶、可积分分解、形变术、超对称、任对称、暗方程、多地系统和多地物理学等非线性系统的理论或求解方法。

Abstract: The quest to reveal the physical essence of the infinitely many symmetries and/or conservation laws that are intrinsic to integrable systems has historically posed a significant challenge at the confluence of physics and mathematics. This scholarly investigation delves into five open problems related to these boundless symmetries within integrable systems by scrutinizing their multi-wave solutions, employing a fresh analytical methodology. For a specified integrable system, there exist various categories of n -wave solutions, such as the n -soliton solutions, multiple breathers, complexitons, and the n -periodic wave solutions (the algebro-geometric solutions with genus n), wherein n denotes an arbitrary integer that can potentially approach infinity. Each subwave comprising then-wave solution may possess free parameters, including center parameters c_i , width parameters (wave number) k_i , and periodic parameters (the Riemann parameters) m_i . It is evident that these solutions are translation invariant with respect to all these free parameters. We postulate that the entirety of the recognized infinitely many symmetries merely constitute linear combinations of these finite wave parameter translation symmetries. This conjecture appears to hold true for all integrable systems with n -wave solutions. The conjecture intimates that the currently known infinitely many symmetries is not exhaustive, and an indeterminate number of symmetries remain to be discovered. This conjecture further indicates that by imposing an infinite array of symmetry constraints, it becomes feasible to derive exact multi-wave solutions. By considering the renowned Korteweg-deVries (KdV) equation and the Burgers equation as simple examples, the conjecture is substantiated for the n -soliton solutions. It is unequivocal that any linear combination of the wave parameter translation symmetries retains its status as a symmetry associated with the particular solution. This observation suggests that by introducing a ren-variable and a ren-symmetric derivative, which serve as generalizations of the Grassmann variable and the super derivative, it may be feasible to unify classical integrable systems, supersymmetric integrable systems, and ren-symmetric integrable systems within a cohesive hierarchical framework. Notably, a ren-symmetric integrable Burgers hierarchy is explicitly derived. Both the supersymmetric and the classical integrable hierarchies are encompassed within the ren-symmetric integrable hierarchy. The results of this paper will make further progresses in nonlinear science: to find more infinitely many symmetries, to establish novel methods to solve nonlinear systems via symmetries, to find more novel exact solutions and new physics, and to open novel integrable theories such as the ren-symmetric integrable systems and the possible relations to fractional integrable systems.



(邀请报告 E02)

社会传播中记忆与非记忆采纳机制的动力学影响研究



林诏华

福建医科大学/讲师

研究方向为复杂网络与非线性动力学，复杂系统与网络科学。研究兴趣涵盖计算神经科学、机器学习、全脑动力学、复杂网络上的流行病传播和社会传播等领域。致力于运用统计物理、网络科学与机器学习方法揭示复杂系统中行为演化的动力学机制。近五年主持国家级课题 1 项，校级课题 1 项，参与国家级课题 5 项。

摘要：在社会网络中，个体的采纳行为既可能基于当前信息，也可能受到过往信息的影响。基于此，本文提出一种“易感 - 采纳 - 易感 (SAS)”的阈值模型，研究两类节点（基于记忆与非记忆的采纳方式）之间的竞争及其对信息扩散的影响。我们建立了均匀和非均匀平均场理论，并通过模拟分析发现：当两类节点的采纳阈值相同时，记忆长度增加会提高传播阈值，从而抑制信息扩散；而在两类节点的采纳阈值不同时，当非记忆节点的采纳阈值低于记忆节点时，增加记忆节点的记忆长度对前者传播阈值影响较小；但若非记忆节点的阈值远高于记忆节点，则记忆长度的增加会显著抑制前者的信息传播。我们还发现，网络异质性越强，信息扩散的爆发规模减小，而传播阈值则降低。本文研究结果有助于更深入理解现实社会中记忆机制与行为差异如何共同塑造信息传播过程。

(口头报告 E03)

Multi-types of instability process of periodic orbits in nonlinear chains



符维成
副教授/博士

符维成，2019 年 6 月获厦门大学理论物理专业理学博士学位，同年 7 月入职天水师范大学。现为天水师范大学电子信息与电气工程学院副教授、硕士研究生导师。主要从事热化动力学、输运理论以及机器学习等方面基础理论研究。主持完成国家自然科学基金青年基金项目 1 项，主持在研国家自然科学基金地区基金项目 1 项。2024 年先后入选甘肃省第三批陇原青年英才和第五批青年飞天学者；2023 年入选天水市领军人才(第二层次)。

摘要：Nonlinear normal modes are periodic orbits that survive in nonlinear many-body Hamiltonian systems, and their instability is crucial for relaxation dynamics. Here, we study the instability process of the $\pi/3$ -mode in the Fermi-Pasta-Ulam-Tsingou- α chain with fixed boundary conditions. We find that three types of bifurcations—period-doubling, tangent, and Hopf—coexist in this system, each driving instability at specific reduced wave-number $\tilde{k}$. Our analysis reveals a universal scaling law for the instability time $T \propto (\lambda - \lambda_c)^{1/2}$, independent of bifurcation types and models, where the critical perturbation strength λ_c scales as $\lambda_c \propto (\tilde{k} - \tilde{k}_c)$, with $\tilde{k}_c$ varying across bifurcations. We also observe a double instability phenomenon for certain system sizes, meaning that larger perturbations do not always lead to faster thermalization. These results provide new insights into the relaxation and thermalization dynamics in many-body systems.

Reference:

- [1] Liangtao Peng, Weicheng Fu*, Yong Zhang*, and Hong Zhao, *Instability dynamics of nonlinear normal modes in the Fermi-Pasta-Ulam-Tsingou chains*, New Journal of Physics 24, 093003 (2022)
- [2] Weicheng Fu, Zhen Wang, Yong Zhang, and Hong Zhao, *Multi-types of Instability Process of Periodic Orbits in Nonlinear Chains*, arXiv.2501.16821

口头报告 E04

钠离子通道损伤下神经元放电模式与信号传导行为的非线性动力学机制



(王恒通)
(副教授/博士)

王恒通，男，博士，副教授，硕士生导师。主要从事理论物理和神经科学交叉领域的研究工作，在 *Phys.Rev.E*、*Chaos* 等期刊上累计发表科研论文 20 余篇，发明专利 2 项。主持和参与国家自然科学基金、陕西省自然科学基金基础研究计划等科研项目 10 余项。主持和参与校级以上教学改革项目 10 余项，发表教学论文 12 篇。获得陕西省科学技术二等奖、陕西省高等教育教学成果二等奖、全国高校物理实验教学青年教师讲课比赛陕西省赛一等奖、陕西省“三下乡”活动省级先进个人等荣誉。

摘要：钠离子通道 (Nav) 的功能障碍广泛存在于创伤、缺血、基因突变与神经性疾病中，对神经元放电模式与信号传导过程产生显著影响。本报告聚焦于钠通道耦合左移 (coupled left-shift, CLS) 损伤机制下，神经元与有髓轴突系统的非线性动力学变化。首先，通过构建 Nav-CLS 模型并结合 codimension-1 与 codimension-2 分岔分析，系统揭示了钠离子通道损伤神经元放电模式的多样性与其动态生成机制，给出完整的放电模式在参数空间的分布。其次，报告进一步构建含多节点的有髓轴突模型，研究钠通道损伤对信号传播速度、信息保真度与熵的调控规律，发现轻度损伤在一定范围内反而可增强低频信号的传播效率。研究揭示了离子通道微观损伤与神经元放电和信号传导等宏观行为之间的非线性耦合机制，也为理解疼痛增强等病理现象提供了理论借鉴。

关键词：钠通道损伤、神经元放电模式、非线性动力学、信号传导



(邀请报告 E05)

通用储备池计算

王新刚

教授/博士

陕西师范大学物理学与信息技术学院教授。研究方向包括混沌理论、耦合振子同步、复杂网络动力学、计算神经科学，以及机器学习理论。近年来的研究兴趣集中在复杂动力系统的机器学习方向，包括利用深度学习算法预测和优化复杂系统动力学行为以及利用复杂系统理论分析深度学习的动力学机制。

摘要：报告简介我们最近在通用储备池计算方面的研究进展，包括：（1）多稳态的机器学习学习和吸引域重构；（2）多个混沌系统的机器学习和预测；（2）异质性时空复杂网络系统的即插即用机器学习。

(邀请报告 E06)

Synchronization transition in the four-dimensional Kuramoto with isoclinic rotation



邹为
教授

邹为，华南师范大学教授、博士生导师，2010 年于中国科学院武汉物理与数学研究所获应用数学博士学位，博士论文获 2011 年度中国科学院优秀博士论文奖。先后获得德国洪堡学者、香港香江学者、广东省青年珠江学者。长期致力于复杂系统、非线性科学理论研究，在复杂耦合非线性系统的集体动力学行为研究问题上取得系列成果。现任中国物理学会 Chin. Phys. Lett.、Chin. Phys. B、物理学报和物理四刊联合青年编委。

摘要：In this work, we focus on examining the phase transition to synchronization in four-dimensional (4D) Kuramoto model with isoclinic rotation. We uncover that the synchronization transition is continuous as increasing the strength of coupling. Surprisingly, we find that the uniformly incoherent state loses its stability via a Hopf bifurcation at the critical coupling strength. Subsequently, a time-dependent rhythmic state appears as further increasing the coupling strength, which is found to exist for a pronounced interval of coupling strength. For a sufficiently large coupling strength, the system transits to partially locked states, whereas the rhythmic state no longer exist. We provide the analytic description of the onset of the rhythmic state by performing the linear stability of incoherence. We also obtain a self-consistency equation for the order parameter, which theoretically predicts the degree of coherence of the partially locked sates for the sufficiently large coupling strength.



(邀请报告 E07)

高阶耦合模式下的同步动力学



邹勇
教授

邹勇，博士生导师，致力于同步动力学与非线性时间序列的前沿研究，重点聚焦于混沌非线性动力学分析、机器学习、气候系统复杂性等跨学科领域。发表论文 SCI 他人引用共计 4645 次，ESI 高被引论文 6 篇，引用超过 100 次的论文有 12 篇（其中四篇引用次数超过 400 次，单篇最高引用 485 次），h 指数为 30，Goolge Scholar 引用 6860 次。

摘要：传统上，大多数类型的簇状奇异态（Chimera states）仅限于具有成对节点相互作用的经典网络。本文通过将耦合方式扩展至高阶傅里叶耦合模式，我们在相位动力学模型中发现了一种新型的部分同步态——在同步区域内，周期振子群体进一步分裂为 q 个动力学等效的子群，相邻子群间存在 $2\pi/q$ 的相位差，从而形成多相位簇状同步态。在理论研究方面，我们采用同步动力学自洽性分析和摄动降维理论，从理论上推导出这些多相位簇状同步态，并通过谱分析进一步验证了其稳定性。此外，我们在可兴奋性 θ 神经元模型中还发现了多相位簇状扭曲态和凸起态，这些结果为高阶耦合模式的普遍特性提供了证据。



(口头报告 E08)

广义 Kuramoto 模型的临界性和普适性



邱仲普
博士生

邱仲普，北京师范大学系统科学学院博士生，导师为樊京芳教授。本科就读于四川大学物理学（试验班）专业，曾入选 2018 年度基础学科拔尖学生培养试验计划（珠峰计划）。主要从事统计物理基础理论、相变与临界现象、地球系统复杂性与临界性分析、复杂网络上的同步与涌现动力、AI4Climate 等方面的研究。

摘要：在非平衡相变领域，同步相变普适类如何受序参量维数 D 和空间维数 d 共同影响尚待明晰。本研究以 D 维 Kuramoto 模型（DDKM）为对象，系统探究对称性与空间维数对同步相变临界性的作用。通过对偶数 D 维广义 Kuramoto 振子在完全图和 d 维晶格上同步相变的研究发现，在全局耦合系统中，所有偶数 D 对应的普适临界指数 $\beta = 1/2$ 和 $\nu_{\text{bar}}=5/2$ ，揭示出非常规的上临界维度 $d_u=5$ ，大规模数值模拟进一步验证了该理论预测。在局部耦合系统中，基于自旋波理论和时间序列建网技术的新颖分析框架，揭示了夹带转变中的临界性，广义的 Edwards-Anderson 序参量亦证实了所预测指数。理论与数值研究共同揭示，偶数 D 时同步相变的普适类与内秉维数 D 无关，却高度依赖空间维度 d 。本研究为阐释非平衡系统普适性，以及空间维度与对称性对集体行为的调控机制，提供了统一清晰的物理框架。

(邀请报告 E09)

The dynamical mechanism for the sleep



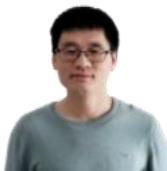
姚成贵
教授/博士

博士，嘉兴大学教授。2011 年于中科院武汉物理与数学研究所获得理学博士学位。主要研究方向：睡眠动力学，非线性动力学，神经动力学及其数学建模。目前发表 SCI 论文 50 余篇，主持完成国家自然科学基金面上项目，主持完成国家自然科学基金青年基金项目，浙江省自然科学基金面上项目，中国博士后基金。

摘要： The 90-minute ultradian rhythm is a hallmark of healthy human sleep, yet its governing mechanisms remain elusive. In this study, we develop a biologically grounded sleep model to unravel the complex dynamics underlying this rhythm. Our model integrates both circadian and ultradian drives, which collectively shape sleep architecture, along with bidirectional “flip-flop” switches that control transitions between wakefulness, nonrapid eye movement (NREM) sleep, and rapid eye movement (REM) sleep. Calibrated with empirically derived neurophysiological parameters, the model successfully reproduces core sleep features, including the 24-hour circadian rhythm and the 90-minute ultradian rhythm. To dissect state transition mechanisms, we employ potential landscape analysis to quantify how global stability is modulated by three key factors: circadian drive, homeostatic drive, and REM pressure. Our results reveal that the ultradian rhythm emerges from an interplay between a weak ultradian drive and REM pressure. In a reduced model focusing on NREM-REM interactions, we demonstrate that the periodic transitions between NREM and REM sleep arise from a saddle-node bifurcation on an invariant circle (SNIC) induced by REM sleep pressure. Additionally, the ultradian drive entrains the rhythmic NREM-REM system to exhibit the stable 90-minute ultradian rhythm, as characterized by the Arnold tongue. Our work provides the mechanistic explanation of the 90-minute ultradian rhythm, identifying REM pressure as its core regulator and highlighting the SNIC bifurcation together with the Arnold tongue as its dynamical mechanisms.

(邀请报告 E10)

Inferring the functional connectivity from signal propagation in complex networks



纪鹏

复旦大学，研究员

纪鹏，复旦大学类脑智能研究院研究员，其学术工作致力于探索复杂系统的理论建模与计算分析，人工智能算法研究，并深入解析脑动态机制

摘要： Many collective phenomena in networked systems are caused by perturbations of the dynamics. The geometry of signal propagation is determined not only by the network topology but also by various forms of nonlinear interactions that may occur between nodes. As a result, progress is often system-dependent and has limited potential to be applied across different fields. We therefore seek a general framework to systematically capture how perturbations propagate between nodes, in terms of properties of the network and the system's dynamics. For a range of nonlinear dynamical models, we obtain nonequilibrium response functions, which are characterized by the interplay between network paths, interaction dynamics, and perturbations. These functions allow inference of a time-dependent effective connectivity, which can be viewed as a functional connectivity, and identify the contributions of direct and indirect paths to the process. Furthermore, given the neuronal resolution of whole-brain recordings in zebrafish, we reconstruct the corresponding response functions that capture the directionality of signal propagation between neurons. The reconstructed response functions yield more accurate predictions of neural dynamics than anatomical-based models.

(口头报告 E11)

Spatiotemporal characteristics of short-term monocular deprivation effect based on EEG



陈汝印
副研究员

陈汝印，温州医科大学副研究员，浙江-加拿大转化视觉认知联合实验室秘书，研究方向为视觉认知神经科学。主持国家自然科学基金青年项目，参与国家重点研发计划课题，获浙江省自然科学三等奖（排名第二），担任 Frontiers in Neuroscience 的 Review Editor，以第一作者或通讯作者在 Chaos, Solitons & Fractals, Chaos, Physica A, J. Stat. Mech. 等国际学术期刊发表多篇论文。

摘要： Monocular deprivation not only affects the plasticity of the visual cortex but also involves interactions among multiple brain regions. Consequently, research on monocular deprivation should expand to investigate whole-brain connectivity and its spatiotemporal dynamics. Here, through a one-hour visual deprivation experiment on the dominant eye of subjects, we observed significant changes in both the topological structure of brain functional networks and brain dynamics, evident in both monocular and binocular visual tasks before and after deprivation. First, statistical analysis demonstrated significant enhancement in both integration and segregation of functional brain networks after the monocular deprivation. Based on the connectivity matrix, we also calculated the eigenmodes. The eigenmode results indicated that monocular deprivation can reverse activation patterns of the brain, and the brain regions involved in the second eigenmode reversal highlight the crucial role of attention in modulating visual plasticity. After 24 hours, the reversal of these eigenmodes returns to the pre-deprivation state. During stimulus presentation, the brain's instantaneous phase shifts from a synchronized state to a chimera state, with monocular deprivation primarily affecting the chimera state. Specifically, monocular deprivation changes the synchronization in the prefrontal cortex, indicating an impact on attention modulation after deprivation. Increased neural activity in both the occipital and prefrontal cortices after monocular deprivation further supports this finding. Moreover, monocular deprivation had a more pronounced effect on local brain region synchronization in the left hemisphere compared to the right, revealing functional brain asymmetry. These results are of significant importance for further understanding neural plasticity mechanisms and visual information processing.



(口头报告 E12)

自适应反馈对广义振子模型中集体动力学的影响



王降圣
博士后/理学博士

同济大学物理科学与工程学院博士后，合作导师严钢教授。2025 年博士毕业于上海理工大学系统科学专业，导师顾长贵教授。研究兴趣包括非线性动力学与复杂网络等。目前发表 SCI 论文 6 篇，其中以第一/通讯作者身份在 *Phys. Rev. Res.*, *Phys. Rev. E*, *Chaos*, *New J. Phys.*, *Nonlinear Dyn.* 期刊发表论文 5 篇。曾获博士国家奖学金、校一等奖学金、校优秀毕业生、第七届中国系统科学大会张贴论文一等奖等，是 *Sci. Rep.*, *J. Phys. A* 期刊的审稿人。

摘要：自适应反馈机制在调控复杂系统同步行为中发挥着重要作用，尤其在多振子系统和高维动力学模型中被证实可以产生丰富的集体动力学行为。本报告介绍最近的三个研究工作，系统探讨了自适应反馈对广义振子模型中集体行为的影响机制与动力学特性。

第一项工作研究了在高阶单纯复形上定义 D 维 Kuramoto 动力学的集体行为，发现了不同维度拓扑信号的自适应耦合引发的一阶相变现象，特别是在奇数维节点动力学中表现出双重不连续相变。

第二项工作揭示了在自适应耦合的三维极限环振子中，固有频率分布对多簇节律态形成的影响。特定的固有频率参数会使系统产生双重一阶相变与两次的振幅“抑制-恢复”转换，而其他的情况下仅表现单次一阶相变与多簇节律态，展示了振幅在高维振子相变中的关键作用。

第三项工作提出爆炸导引 (Explosive Entrainment) 的概念，揭示外部周期驱动下的自适应响应可诱导突然发生的相位锁定，并伴随明显的迟滞现象。与传统的爆炸性同步不同，该机制适用于内部耦合不明或者固定、而外部强迫可控的系统，如生物节律或化学振荡系统，其在不同动力学模型中的结果被展示。

这三项研究从不同角度揭示了自适应反馈对广义振子模型中突然同步与特殊协同态涌现的影响，拓展了对广义振子模型中同步机制的理论理解。



(口头报告 E13)

单向耦合双稳态系统环中持续振荡研究



梁晓明

江苏师范大学物理与电子工程学院教授，博士毕业于华东师范大学，研究领域为非线性动力学，发表 SCI 论文 30 余篇。

摘要：负耦合能在奇数个双稳态系统组成的单向环中引发非对称排斥作用，促使双稳态系统在两个稳定不动点间切换，产生类似行波的持续振荡；而在偶数个双稳态系统组成的单向环中，无法观察到该现象 [Phys. Rev. E 68, 045102 (R) (2003)]。

本报告将介绍我们的研究：把单向环中的负耦合改为正耦合，在特定初值条件下，可在偶数个双稳态系统间产生对称吸引作用并引发行波振荡，奇数个双稳态系统则无此现象。同时，还会介绍偶数个双稳态系统单向环中形成持续振荡所需的初始条件与耦合强度范围，以及持续振荡的幅度、频率与耦合强度的对应关系。



(邀请报告 E14)

平流层爆发性增温的临界性和可预测性



张永文
副教授/博士

昆明理工大学，理学院，副教授。2017 年于中国科学院理论物理研究所获博士学位，2018 年至 2020 年在以色列巴伊兰大学物理学院从事博士后研究工作。主要研究方向为复杂系统科学与地球系统的交叉研究、复杂系统的相变和临界行为等。以第一作者或通讯在 GRL、PRR 和 PRE 等期刊上发表学术论文 30 余篇。主持国家自然科学基金青年基金、国家重点研发计划子课题、兴滇人才项目等。

摘要：平流层爆发性增温（Sudden Stratospheric Warmings, SSWs）是大气内部变率中最显著的现象之一，其特征表现为极地平流层西风急剧减弱乃至反转，伴随极涡结构的崩溃。尽管已有大量观测与模拟研究，SSW 事件的“突发性”本质机制仍未被完全揭示。本文基于 1940 - 2023 年间共 51 次 SSW 事件，运用本征微观态理论，识别出 SSW 过程中存在明显的相变与临界特征。本征微观熵在 SSW 发生前呈显著上升趋势，表明其具有提前预警 SSW 临界跃迁的潜力，并在事件周期内呈现“先增后减”的系统性演化特征。进一步地，我们利用一个低维的简化波-平均流耦合模型，模拟了行星波活动与极涡强度之间的非线性反馈，从理论上揭示了本征熵变化与 SSW 临界转变之间的内在联系。上述结果为理解 SSW 的突发性机制和可预测性提供了新的理论框架。

(邀请报告 E15)

Short-term plasticity promotes synchronization of coupled chaotic oscillators in excitatory-inhibitory networks



徐克生
教授/博士

徐克生，江苏大学物理与电子工程学院教授，硕士生导师，大学物理教学部副主任，智利优秀博后基金获得者。2015 年 6 月获得华东师范大学理论物理博士学位。2013.9-2014.9 在美国纽约大学博士联合培养，2015.6-2019.4 在智利瓦尔帕莱索大学从事博士后研究。研究领域为计算神经科学及其在内脑中的应用。徐克生在 Physical Review E、Chaos、Nonlinear dynamics、Chaos Soliton & Fractals 等国际期刊发表 30 篇 SCI 学术论文，是 Physical Review E、Nonlinear dynamics 等国际期刊审稿人。主持完成了智利优秀博后项目和江苏大学高层次人才启动项目，目前主持国家自然科学基金项目 1 项。

摘要： Experimental and theoretical studies provided evidence that coordinated actions of excitation and inhibition (EI) are balanced by combinations of synaptic weights and synaptic plasticity. Nevertheless, whether the dynamic nature of individual cells significantly contributes to the emergence of spatiotemporal patterns under the consideration of short-term plasticity (STP) in neural networks is unclear and remains elusive. We present a coupled neural system of Hindmarsh–Rose neurons to understand the underlying mechanisms of irregular, chaotic firing activities in tuning the interaction of EI balance and STP, thereby controlling the emergence of collective behaviors. Through synaptic weights tuning and STP for balancing levels of excitation and inhibition, both chaotic and nonchaotic EI networks of excitatory connections subject to STP produce a higher degree of synchronous firing patterns than those two EI networks without STP. Furthermore, chaos-based neural networks produce complete synchronization more easily than nonchaotic-based neural networks under consideration of STP. The comparison with the results obtained in chaotic and nonchaotic neural networks implies that STP and synaptic weights are two ways for regulating EI balance and, therefore, play a major but different role in the emergence of intermediate synchronous activities, coexisting multistable firing patterns and complete synchronization.

(口头报告 E16)

Network Spreading from Network Dimension



Jack Murdoch
Moore
副教授/博士

2018 年获得西澳大学（全球 QS 排名 77）数学博士学位。2019 年-2023 加入同济大学从事博士后工作（导师：严钢教授），2023 年留校聘为副教授。主持国家自然科学基金委员外国学者研究基金项目，获科技部外国青年人才和东方英才青年项目。研究领域：专注运用统计物理、网络科学与人工智能，揭示复杂系统（如大脑、经济、气候）背后的普适规律。

摘要： Continuous-state network spreading models provide critical numerical and analytic insights into transmission processes in epidemiology, rumor propagation, knowledge dissemination, and many other areas. Most of these models reflect only local features such as adjacency, degree, and transitivity, so can exhibit substantial error in the presence of global correlations typical of empirical networks. Here, we propose mitigating this limitation via a network property ideally suited to capturing spreading. This is the network correlation dimension, which characterizes how the number of nodes within range of a source typically scales with distance. Applying the approach to susceptible-infected-recovered processes leads to a spreading model which, for a wide range of networks and epidemic parameters, can provide more accurate predictions of the early stages of a spreading process than important established models of substantially higher complexity. In addition, the proposed model leads to a basic reproduction number that provides information about the final state not available from popular established models.



(口头报告 E17)

星型网络中外部信号诱导的遥同步研究



霍思宇
助理教授，博士

霍思宇，博士毕业于华东师范大学，师从刘宗华教授。主要研究兴趣是利用统计物理、系统科学和数据驱动的方式方法探究脑功能的物理机制。近五年在 National Science Review (IF: 23.2)、Communications Physics、Physical Review Research 等权威期刊发表 SCI 论文 12 篇，包括 6 篇中科院一区 Top 论文。先后入选基金委中德林岛人才项目，上海市“超级博士后”激励计划，西安交通大学“青年优秀人才支持计划”。主持省部级项目 3 项，获省部级人才计划 1 项，省部级自然科学奖 1 项。

摘要：遥同步 (Remote Synchronization) 是非线性动力学与复杂网络中的重要现象，能够解释大脑中非直接连接区域之间如何实现功能协同。尽管已有研究广泛探讨了内在耦合条件下的遥同步机制，现实系统中外部刺激与耦合强度的共同作用却尚未得到系统研究。本报告聚焦外部刺激与耦合强度对遥同步的联合作用问题。在星型网络中引入 Stuart-Landau 振子作为节点模型，结合数值模拟与理论分析，识别出两种诱导遥同步的机制：其一为外部刺激与叶节点的直接共振；其二为刺激先与中枢节点 (hub) 发生共振，再经由结构耦合促成叶节点间的同步。进一步分析表明，遥同步仅在特定耦合强度范围内出现，且在刺激频率与 hub 或叶节点的本征频率一致时最为显著。上述结果揭示了耦合结构与外部驱动之间的协同调控作用，为理解实际系统中遥同步的形成机制提供了理论基础。

(口头报告 E18)

Multistability Phenomena in Nonlinear Physical Systems



樊华伟
博士

樊华伟，西安邮电大学理学院讲师。主要从事复杂系统中的同步，以及机器学习在复杂系统中应用的研究。近年来，提出了本征矢量集团同步分析理论，发展了基于机器学习的同步预测方法，并开展非线性动力学在腔光磁系统中的相关应用研究。研究成果发表于 NSR, PRL, PRR, PRE, PRB 等期刊。

摘要：Nonlinear cavity magnonic systems, governed by photon-magnon Kerr interactions, provide a paradigm for exploring fundamental multistability phenomena. First, theoretical analysis reveals that bifurcation structures host hidden states undetectable in standard hysteresis loops—manifested as a "folded" third state coexisting with two observable stable states, thereby establishing hidden multistability as a universal feature of nonlinear systems. Second, the system's evolution toward specific attractors is dictated by the coupled phase-amplitude dynamics in the phase space, rather than excitation numbers alone, with basin topology governing state transfer between coexisting bistable/tristable states. Third, theoretical investigation uncovers the explosive growth of bistability: magnetic nonlinearity induces cavity magnon polaritons whose bistable dynamics exhibit explosive growth under photon-mode driving. These findings are significant for multistable systems, with implications for nonlinear physical systems.

参考文献：

- [1] M.-X. Bi*, **H. Fan*** et al. , Phys. Rev. Lett. 132, 137201 (2024).
- [2] M.-X. Bi, **H. Fan**[#] et al. , Phys. Rev. B 109, 184308 (2024).
- [3] M.-X. Bi, **H. Fan**[#] et al. , Phys. Rev. B 111, 184309 (2025).

(邀请报告 E19)

Unveiling the importance of nonshortest paths in quantum networks

董高高
教授/博士

董高高，美国波士顿大学联合培养博士，教授，博导，江苏省高校“青蓝工程”优秀青年骨干教师，“青蓝工程”中青年学术带头人，教育部大规模复杂系统数值模拟重点实验室固定成员，现任中国统计物理复杂系统学术委员会委员。主要研究方向：复杂系统弹性及临界行为分析、渗流相变行为、量子信息等方面的研究。共发表论文 70 余篇，部分工作以第一/通讯作者被《Science Advances》、《PNAS》(2 篇)、《National Science Review》、《Communications Physics》等期刊收录，合著专著 4 部。先后主持国家级科研项目 3 项，参研中英国际合作项目 1 项(中方主持)，欧盟合作项目 1 项。获省部级一等奖 3 项，包括：江苏省科技进步奖一等奖（排名第二）、教育部高等学校科学研究优秀成果奖一等奖（排名第三）、江苏省工业与应用数学学会青年奖、江苏省工程师学会科学技术奖二等奖（排名第一），担任国际期刊 Frontiers in Physics (JCR 二区) 等期刊编委以及《Mathematics》英文期刊 (JCR 一区) 相关领域的客座编辑。

摘要：量子网络 (QN) 展现出比经典渗流理论预测的更强连通性，但这一现象的物理起源一直难以捉摸。为了解决这个问题，我们采用了一种统计物理框架——纠缠度渗流 (concurrence percolation)，来探究一种名为 (U, V) 花型网络的分层无标度网络中增强连通性的来源。这类解析可解的网络允许通过两个可调路径长度参数 $U \leq V$ 精确控制路径连通性，使我们能够计算出远超数值模拟极限的临界指数。我们的分析表明，尽管经典渗流与纠缠度渗流都满足超标度关系 (hyperscaling relation)，但它们属于不同的普适类。这种差异源于两种模型如何将并行的、非最短路径贡献纳入整体连通性之中。不同于主要依赖最短路径的经典渗流，纠缠度渗流对更长的替代路径敏感，并在路径变长时表现出更强的抗绕道能力。这种增强的鲁棒性也在现实世界的分层无标度互联网结构中得到验证。我们的研究揭示了量子网络设计中的一个基本原则：当非最短路径丰富时，它们能显著提升量子网络的连通性，超越经典极限，为优化量子通信架构提供了新思路。



(口头报告 E20)

Quench dynamics of an open quantum system



丁成祥, 安徽工业大学

dingcx@ahut.edu.cn

丁成祥
教授

摘要: Taking the quantum Kitaev chain as an example, we have studied the universal dynamical behaviors resulting from quantum criticality under the condition of environmental temperature quench. Our findings reveal that when the quantum parameter is at its critical value, both the excess excitation density at the end of linear quench and the free relaxation exhibit universal scaling behaviors. The scaling laws observed upon quenching to the zero-temperature quantum critical point and nonzero temperature points exhibit distinct scaling exponents, which are all intimately related to the dynamical critical exponents of the quantum phase transition. Additionally, for the case of linear quench to finite temperatures, we have also discovered an intrinsic universal dynamical behavior that is independent of quantum criticality. Our research offers profound insights into the relationship between quantum criticality and nonequilibrium dynamics from two perspectives: Kibble-Zurek-like scaling behavior and free relaxation dynamics. Notably, the Kibble-Zurek-like scaling behavior in this context differs from the standard Kibble-Zurek mechanism. These two aspects jointly open up a new avenue for us to understand quantum criticality through real-time dynamical behavior, even at finite temperatures.



可积系统与混合可积系统时间反演对称性破缺的研究

张晓东

兰州大学

摘要：近年来，量子混沌因其在复杂量子系统统计刻画中的重要性而受到广泛关注。我们围绕时间反演对称性破缺在可积系统及混合系统中的谱统计演化问题开展了研究，依托超导微波谐振腔实验平台，结合随机矩阵理论（RMT）和 Rosenzweig–Porter（RP）模型，系统探讨了时间反演对称性破缺对谱统计的影响。

首先，在理想可积系统中，我们通过在圆形微波腔中引入磁化铁氧体，并施加外磁场调控其磁化状态，实现了从 Poisson 统计向高斯么正系综（GUE）统计的谱过渡。实验共测得约 1000 个本征频率，并分析了其最近邻间距分布、数方差等统计量，结果显示与 RP 模型预测高度一致，首次在实验层面验证了该模型在时间反演破缺条件下的适用性。

随后，我们构造了混合可积—混沌系统，并研究了其在不同时间反演对称性条件下的谱统计演化。在无磁场条件下系统呈 Poisson–GOE 过渡，施加磁场后进一步演化为 GUE 分布。为描述这一多阶段过渡过程，我们提出并推导了适用于该类系统的扩展 RP 模型，并与实验数据对比，验证了模型的理论一致性和普适性。

我们的研究为理解量子系统中时间反演对称性破缺下的谱统计机制提供了实验支持，并进一步拓展了 RP 模型的应用范围。



(口头报告 E22)

在束缚狄拉克系统的微波实现中观测到克莱因隧穿导致的粒子-空穴杂化现象



河北邢台人，2017 年考入兰州大学，2021 年推免至兰州大学物理学院，2024 年硕博连读转为博士研究生。

张瑞杰

博士研究生

(在读)

摘要：克莱因隧穿是狄拉克方程最引人注目的推论之一。尽管已有研究在传输或准束缚态场景下通过模拟系统对该现象进行了实验探索，但量子化克莱因隧穿的直接观测仍属空白。如今这一空白被填补——我们利用介电微波谐振器的二聚体链实现了有界狄拉克系统，不仅测量到由不同粒子与空穴波函数杂化形成的奇异量子化能级及相应旋量态，所有观测结果还与狄拉克方程此前未经检验的预测定量吻合。另外我们发现这些杂化态具有非均匀特性，因为粒子和空穴与互补波数有关。它们在界面处的波函数梯度中显示出突然的不连续性，并且还表现出独特的手性支配的能量反射对称性。我们进一步推导了一个广义的 Weyl 定律，该定律结合了 Klein 隧穿校正来预测平均态密度。我们的研究为理解和实现有界狄拉克系统中量子化克莱因隧穿的粒子-空穴物理机制迈出关键一步，同时也为操控粒子-空穴杂化旋量波提供了潜在应用方向。

(邀请报告 E23)

时间反演对称性调控量子混沌的普适动力学



方萍
副教授

方萍，副教授，博士生导师，2016 年获得厦门大学理学博士学位。历任清华大学高等研究员助理研究员，北京邮电大学特聘副研究员、副教授。主要从事量子混沌、波混沌及相关统计物理基础研究。发表 PRL, PRB, PRA, PRE 等高水平期刊论文多篇，获第十七届北京青年优秀科技论文奖。主持国家自然科学基金青年项目、北京市自然科学基金面上项目、北京邮电大学青年人才支持计划项目，参与国家自然科学基金重点项目。

摘要：量子混沌作为不可积系统量子动力学的核心问题，在量子-经典对应理论、量子力学现象及统计物理基础研究中具有重要意义。受击转子模型作为量子混沌的标准模型，在理论和实验研究中发挥着关键作用。本研究聚焦于受击转子系统的普适动力学与谱特性，重点探讨对称性对系统行为的支配作用。通过分析系统的扩散行为与无序时序关联函数（OTOC）动力学，我们揭示了由时间反演对称性主导的普适标度律，这些规律与随机矩阵理论（RMT）的预测高度一致，表明对称性在量子混沌动力学中的决定性影响。此外，我们研究了系统的谱统计特性，进一步验证了量子混沌与随机矩阵理论之间的深刻联系。这些研究不仅深化了对量子混沌普适规律的理解，也为量子信息、热化过程及非平衡量子系统等领域的应用提供了理论支撑。

- [1] P. Fang, C. S. Tian and J. Wang, Symmetry and dynamics universality of supermetal in quantum chaos, PHYSICAL REVIEW B 92 (2015) 235437.
- [2] C. Hainaut, P. Fang, A. Rancon, J. F. Clment, P. Szriftgiser, J. C. Garreau, C. S. Tian, R. Chicireanu, Experimental Observation of a Time-Driven Phase Transition in Quantum Chaos, PHYSICAL REVIEW LETTERS 121 (2018) 134101.
- [3] F. X. Chen and P. Fang, System symmetry and the classification of out-of-time-ordered correlator dynamics in quantum chaos, arXiv:2410.04712 (2024).

(口头报告 E24)

Caustics in a Near-Resonance Quantum Kicked Rotor



曹毅

学生/硕士

曹毅，2019 年毕业于四川农业大学，获工学学士学位；2024 年于燕山大学理学院获理学硕士学位；目前就读于中国工程物理研究院研究生院。他目前的研究兴趣包括带隙孤子，Landau-Zener 隧穿动力学，Berry 相位，有限温度动力学。

摘要：焦散现象是波或射线在传播过程中因折射、反射或衍射而汇聚形成的强度增强区域，广泛存在于经典与量子领域。在经典光学^[1]中，表现为光线通过曲面或非均匀介质（如水面、透镜）形成的明亮曲线或焦点。量子力学^[2]中，粒子波函数的相位干涉会在经典轨迹包络线附近产生概率密度集中的焦散，如电子显微镜中的像差或量子混沌系统的能级分布。

在这项工作中，我们研究了量子踢转子的动力学演化，并在近共振参数区观察到有趣的焦散现象。我们推导了量子演化的路径积分表达式，并根据这个表达式，解析地确定了焦散形成的条件，从而解释了数值观测到的现象。特别是，我们还发现混沌和非线性相互作用会破坏经典轨道的相位匹配，从而导致焦散结构的破坏。

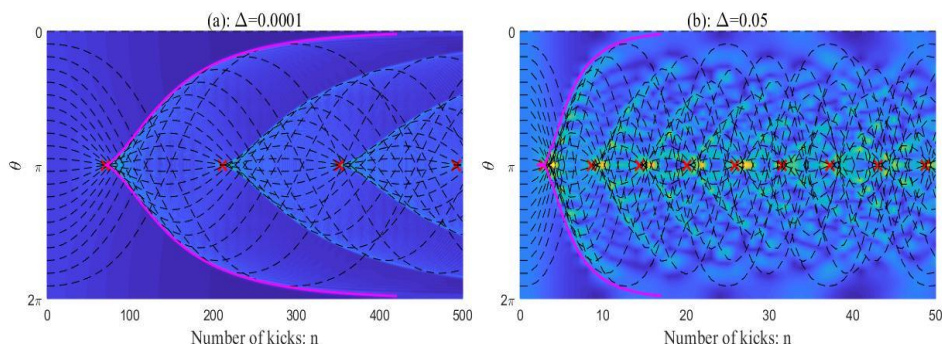


图 1 量子与经典焦散现象。

参考文献

- 【1】 M.V. Berry and C. Upstill, IV Catastrophe Optics: Morphologies of Caustics and Their Diffraction Patterns, Progress in Optics, 1980, 18, 257-346.
- 【2】 M. V. Berry and D. H. J. O'Dell, Ergodicity in wave-wave diffraction, Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical, 1999, 32, 3571.



(口头报告 E25)

发散级数的“和”与长程 Kitaev 链的量子相变的关系



符浩
副教授/博士

符浩，蚌埠学院副教授。2013 年本科毕业于南京信息工程大学。于 2016 年至南京师范大学物理科学与技术学院进行硕博连读，并于 2021 年获得理学博士学位。长期从事凝聚态物理和统计物理的理论研究，研究领域包括：量子相变，拓扑相变以及动力学量子相变等，以第一/通讯作者在 Phys. Rev. B、Phys. Rev. Res.、New J. Phys.、物理学报等国内外学术期刊发表学术论文数篇。

摘要：发散级数的“和”广泛地出现在数学和自然科学的多个领域。数学家们得到了一些求“和”的形式结果，如 $\sum_{n=1}^{\infty} n:=-1/12$ 。尽管这些结果与我们的直觉相矛盾，但它们有时可以直接应用在物理和工程中。在 1948 年，Casimir 得到了两个平板之间的吸引相互作用(现被称为 Casimir 力)，并在实验上得到了验证，进而证明数学上对发散级数的求“和”能够与现实的实验结果相一致。另一方面，我们发现在长程 Kitaev 链的量子相变中，系统的两个量子相变点分别与两个可能发散的级数——即黎曼 ζ 函数和狄利克雷 η 函数相关联。当这些函数发散时，系统中与之对应的相变点仍然可能存在，并且相变点的位置正好对应于这两个发散级数的“和”。更进一步地，我们还发现系统的准粒子能谱是关于波矢 k 的不连续函数，因此也产生了缠绕数为半整数的拓扑相。



(口头报告 E26)

Disorder operator and surface quantum criticality



刘泽楠
博士

本人博士毕业于中山大学物理学院，导师是姚道新教授。现在是西湖大学物理系博士后，合作导师是严正研究员，研究方向是量子蒙特卡罗和量子自旋系统。

摘要：无序算符是近年来提出的用于探测系统高形式对称的非局域观测量，它可以揭示量子多体系统的共形场论信息等非局域信息。在本工作中，我们首次提出利用无序算符探究边界态和边缘临界行为。通过大规模的量子蒙特卡罗，我们研究了二维四八晶格海森堡模型边界上无序算符的标度行为。在无序相，无序算符满足边长律并附带对数修正项，这个对数项反映(1+1)维边界的低能物理和共形场论信息，并且可以提取对应的 Luttinger 液体参数 K 。在临界点时，有效的 Luttinger 液体参数 K 被压制但仍然保持有限值，这预示着体临界涨落和无能隙边界态的耦合。我们创造性地提出对数项由 Luttinger 液体参数 K 和体临界涨落的流中心荷共同贡献，并通过数值计算进一步证明这个猜想。这个猜想表明该非平凡的边缘临界行为由有效的(1+1)维 CFT 和 (2+1)维的 $O(3)$ CFT 耦合而诱导的。我们的工作为探测边界态和边缘临界行为提供了新的探测方法和视角。

Reference: Zenan Liu, Rui-Zhen Huang, Yan-Cheng Wang, Zheng Yan and Dao-Xin Yao, Physical Review Letters 132, 206502 (2024)



(口头报告 E27)

Efficiency bounds for bipartite information-thermodynamic systems

苏山河, 陈金灿

厦门大学物理学系

摘要: Understanding and constraining entropy production and efficiency in nonequilibrium systems is central to advancing quantum thermodynamics. Here, we propose a general framework for deriving a lower bound on the entropy production rate of a subsystem by leveraging the Cauchy–Schwarz inequality. This approach naturally extends to yield universal upper and lower bounds on the energy conversion efficiency between two coupled subsystems. Our method, applicable to a wide range of Markovian stochastic processes, yields sharper bounds on the thermodynamic behavior of complex systems, especially in contexts involving information processing. We illustrate the validity and utility of the framework through a prototypical two-quantum-dot system, demonstrating that the derived inequalities significantly sharpen the predicted bounds on efficiency.

(口头报告 E28)

Quantum Coherence, Geometric Effects, and Floquet Engineering in Periodically Driven Heat Engines



苏州科技大学物理科学与技术学院讲师，苏州大学物理学博士，导师为蒋建华教授。

陆金成

讲师/博士

Recent advances in quantum thermodynamics have revealed the significant role of quantum coherence, geometric phases, and periodic driving in optimizing the performance of nanoscale heat engines. In this work, we explore how these effects enhance the thermodynamic properties of inelastic heat engines, which rely on electron-photon scattering processes for energy conversion.

First, we demonstrate that quantum coherence dramatically improves the output power and efficiency of periodically driven inelastic heat engines compared to their elastic counterparts. By employing a quantum master equation approach, we show that geometric effects, such as Berry curvature, play a crucial role in maximizing work output and energy conversion efficiency. Next, we investigate the thermodynamic uncertainty relation (TUR) in periodically driven thermoelectric engines, uncovering a Berry-phase-like contribution that breaks conventional steady-state bounds. This geometric effect enables periodically driven engines to surpass steady-state limitations in efficiency, power, and constancy. Finally, we apply Floquet engineering to strongly driven inelastic heat engines, revealing that fast driving frequencies and large driving amplitudes create additional incoherent transition channels, further boosting power and efficiency beyond static or weakly driven systems. Notably, periodic driving also relaxes conventional TUR constraints, offering new optimization strategies.

Our findings establish periodically driven quantum heat engines as a promising platform for high-efficiency energy conversion, where coherence, geometric phases, and Floquet control synergistically enhance performance.



(口头报告 E29)

Hysteresis loops in spinor Bose-Einstein condensates subject to synthetic gauge fields

邱海波

西安邮电大学

摘要: We explore the hysteretic dynamics of spinor Bose-Einstein condensates of ultracold atoms loaded in static 2D ring geometries and subjected to varying synthetic magnetic fields. Electrically neutral, pseudo-spin-1/2 condensates are probed by one-component weak-link potentials that make available paths for the transit of vortices into and out of the ring in both components, and thus can control the number of flux quanta threading the ring hole. For perpendicular fields, domain walls that are dynamically generated in the relative phase of the spin components are shown to play a key role in driving the hysteretic behavior of the whole system through changes in the net magnetic flux. In the presence of spin-orbit coupling, hysteresis is exhibited around the phase transitions found by the metastable current states for varying fields.



(邀请报告 F01)

Mechanisms and Pathways of nonequilibrium phase transitions in amorphous systems



徐莉梅
教授/博士

徐莉梅，北京大学博雅特聘教授，博士毕业于美国波士顿大学。2007-2011 年先后在犹他大学化学系和日本东北大学从事博士后研究和担任助理教授；2011 年至今先后任北京大学副教授、教授。主要研究方向包括相变与临界现象、非平衡相转变以及水的特性等。研究成果入选中国科技十大进展和中国十大科技进展新闻（2018）；获教育部自然科学一等奖（2019）。入选国家海外高层次人才计划（2011）；获批国家自然科学基金委杰出青年基金项目（2015）。

摘要： Glassy systems, as a class of disordered materials, exhibit unconventional behaviors that defy classical theories based on crystallinity and equilibrium thermodynamics. In this talk, I will present recent progress in understanding the mechanisms and pathways of nonequilibrium phase transitions in such systems. Special emphasis will be placed on how thermodynamic driving forces, structural rearrangements, and dynamical responses intertwine during the transitions, as interpreted through the framework of the potential energy landscape. This perspective not only elucidates the fundamental processes underlying amorphous transformations but also contributes to the development of a unified theoretical framework for complex disordered matter.

(邀请报告 F02)

Unveiling the Mystery of the Fragility of Supercooled Liquids

Yuan-Chao Hu¹

¹松山湖材料实验室，广东省东莞市，523808



胡远超，国家高层次青年人才，松山湖材料实验室研究员，工学博士，博士生导师。于 2018 年在中国科学院物理研究所和香港城市大学获得博士学位。曾任东京大学 JSPS 博士后和耶鲁大学助理研究员。主要研究方向为利用计算机模拟研究非晶态材料与物理，以及利用数据科学和人工智能加速新材料的研发。曾获得国家自然科学基金面上项目支持。相关研究工作在 Nature Materials, Nature Energy, Nature Physics, Nature Communications, PNAS, Science Advances, Advanced Materials 等国际学术期刊，担任包括 Nature, Nature Physics, PRL 等知名学术期刊审稿人。

摘要：Kinetic fragility is one of the most important concepts in glass science, which describes how fast the activation energy of structural relaxation increases during cooling. A fragile liquid shows remarkable super-Arrhenius behavior whereas a strong liquid nearly follows the classical Arrhenius law with a constant activation energy. The physical origin of this difference has fascinated glass scientists ever since it was proposed about three decades ago. In recent years [1], we have been devoted to performing comprehensive computer simulations to investigate the key factors that control liquid fragility. With a two-dimensional monodisperse non-additive model, we effectively tuned the liquid fragility in a wide range by changing the binary composition and degree of non-additivity. We further identified that the fragility is strongly correlated to the fundamental dynamical relaxation units and their spatial cooperation. A hidden causal link to the microscopic structural ordering was built. The origin of liquid fragility is not necessarily always linked to dynamical heterogeneity. Based on the microscopic understanding of the liquid fragility, we further developed anisotropic models in two dimensions (spin liquids) and three dimensions (patchy particles), in both of which widely tunable fragility is achieved, spanning over plastic crystals to supercooled liquids. A possible correlation between liquid fragility and glass-forming ability is also explored.

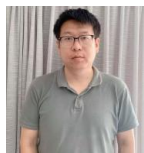
参考文献：

[1] S. Ishino, Y.-C. Hu, and H. Tanaka, Nature Materials **24**, 268-277 (2025)



(邀请报告 F03)

The Role of Excitations in Supercooled Liquids: Density, Geometry, and Relaxation Dynamics.



吉文成现为魏茨曼科学研究所博士后, 致力于研究生物系统、玻璃态材料以及人工神经网络等复杂系统的动力学机制, 尤其专注于从能量景观的视角深入探索并揭示这些系统的内在规律。

吉文成 博士

摘要: Humans have made glasses for thousands of years, but have yet to understand why the glass transition occurs and how solids are formed. Indeed, the physical mechanism behind their rigidity is an enduring question central to Condensed Matter. The relevance of this problem extends to fields such as Computer Science, Mathematics, and Optimization, as glass formation relates to the geometric question of how complex, rough energy landscapes are explored dynamically. A central component of various theories of the glass transitions is the existence of groups of particles that transition to a new local minimum of the energy, and participate in structural relaxation. These objects are called “local excitations”. Yet, their number and nature have remained an elusive question. To make progress in this field, now methods must be designed to extract excitations at the relevant energy scale, so as to quantify them precisely and test or build new theoretical descriptions.

Here, we introduced an algorithm that extracts the elementary excitations of glasses numerically up to an energy scale never reached before. We measure excitations systematically to characterize their density, geometry, and location and find that these quantities are remarkably predictive of structural relaxation. The geometry of excitations reveals the presence of a dynamical transition, supporting that the latter governs structural relaxation even at low temperatures.



(邀请报告 F04)

经典相变过程中的熵规则



孙刚
教授/博士

北京师范大学高等量子材料中心教授。2016 年于北京大学、波士顿大学（联合培养）获得博士学位。曾先后在悉尼大学，东京大学从事博士后研究。研究兴趣集中在复杂体系的相变和临界现象，主要包括不同维度下的液体-液体相变、液体-晶体相变、液体-玻璃转变以及玻璃-玻璃转变等。曾获国家自然科学基金委优秀青年基金（海外）支持，北京大学创新奖，北京大学光华奖等。迄今在 *Nature Materials*, *Nature Communications*, *PRL*, *PNAS*, *JCIS* 等国际学术期刊上发表学术成果三十余篇，获得国家发明专利一项。

摘要：

物质的晶体多态性在自然界中十分普遍。例如，在金属晶体中，常见的两种密堆积排列方式——FCC（面心立方）和 HCP（六方密堆积）——总是相伴出现。晶体多态性不仅丰富了自然界的物质形态，也赋予材料多样的性能和功能，是理解自然界物质性质和开发新型材料的基础。然而，面对不同的晶体结构，液体在结晶时会优先选择哪一种？是什么决定了液体结晶的路径？自 1943 年，König 发现水在结冰过程中会出现亚稳态的立方相以来，这个问题已困扰学界超过 80 年。

本团队基于前人的实验和模拟研究，借助经典分子动力学模拟方法，深入探讨了水、不同金属以及硬球模型体系在结晶路径选择中的机制，揭示了液体在相变过程中焓与熵之间的竞争关系。我们发现，水在结晶前就表现出显著的局域结构对称性偏好，具有更广泛存在于过冷液体中的立方对称的局域结构，而六角对称的局域结构较少出现。进一步研究表明，六角结构的焓更低、更稳定，但立方结构的熵更大。由此可见，液体在结晶过程中倾向于选择熵较大的晶体相，而非能量较低、热力学更稳定的相。

这种熵驱动的选择机制不仅适用于水等能量主导的体系，也适用于金属和硬球等以熵为主导的体系。这一发现成功克服了 1897 年威廉·奥斯特瓦尔德（Wilhelm Ostwald）提出的结晶路径分步法则（Ostwald's rule）在热力学上的局限性，加深了我们对经典热力学相变的理解，并对热力学与统计物理的发展起到了积极推动作用。



(邀请报告 F05)

Unified theory of phonon behavior with phase diagram of non-Debye anomalies



蒋敏强
研究员/博士

现为超常环境非线性力学全国重点实验室副主任、中科院力学所学位委员会副主任、学术委员会委员、中国力学会爆炸力学专委会副主任、TAML 期刊副主编等。主要从事爆炸与冲击、固体力学、非晶态物理等方面的研究，在 PRL, Science Adv., JMPS 等发表学术论文 150 余篇，获 2020 年国家自然科学奖二等奖。主持国家杰出青年科学基金、院稳定支持基础研究领域青年团队计划、基金委国际合作重点项目，曾获国家优秀青年科学基金、德国“洪堡学者”奖学金、英国麦克斯韦青年作者奖、中科院卢嘉锡青年人才奖等。

摘要: The classical Debye model successfully predicts phonons of solids in the continuum limit. With increasing wavenumber of phonons, however, their vibrational density of states (VDOS) gradually deviates from the Debye prediction and eventually manifests as the Van Hove singularity (VHS) for crystals, but as a boson peak (BP) for glasses. To date, there is still much controversy over whether these two non-Debye anomalies are equivalent or not. Treating the vibrational excitation of solids as the elastic phonons resonating with local modes, here we propose a unified model and demonstrate that it describes the VDOS in both crystals and glasses. Our modeling enables the construction of a “phase diagram” of non-Debye phonon anomalies, providing a panoramic view about the VHS and BP. We clarify that VHS and BP can evolve as two variants of the same entity when the dispersion displays continuous softening, otherwise they emerge separately due to the resonance-induced extra acoustic softening, further proved by their coexistence. The model is supported by a comparison with experimental heat capacity data over a wide range of real solids, including 143 crystalline and glassy substances. These findings not only end the long-standing controversy between VHS and BP, but also deepen our fundamental understanding of continuum elasticity of real solids in general.



(邀请报告 F06)

基于多体图神经网络的非晶塑性预测与可解释性分析



王琦
副研究员/博士

王琦，中物院材料所副研究员，博士生导师。长期致力于借助人工智能、计算模拟和实验研究的创新融合，实现非晶/高熵等复杂无序合金的性能预测与设计。以第一(含共同)或通讯作者发表论文 20 余篇，包括 Nature (1), Nature Communications (3), Science Advances (2)和 npj Computational Materials (2)等，引用数 2700 余次。入选中国科协某领域青年人才托举工程、四川省杰青和四川省天府人才计划，获中国材料研究学会非晶与高熵合金杰出青年科学家奖、中物院十大青年锐杰和江油市十大杰出青年等。

摘要：非晶合金中的塑性变形表现出明显的不均匀性，仅少数局域区域——剪切转变区（shear transformation zones, STZs）——发生显著的塑性重排。如何基于结构信息精准预测这些稀有的塑性事件，一直是非晶领域的重要挑战。本研究基于深度图神经网络（graph neural networks, GNNs）的方法，通过系统性地引入从二体、三体到四体的逐级递进的原子相互作用，揭示了不同相互作用阶次对非晶合金塑性事件预测精度的影响规律。研究表明，引入三体相互作用的深度图神经网络，显著优于传统的仅限于二体相互作用的模型；而进一步增加到四体相互作用，对于预测精度的影响很小。此外，通过分析深度图神经网络预测的非仿射变形对原子位置的梯度，我们首次将剪切转变区原子划分为结构不稳定的“触发区”（triggers）和被动响应的“跟随区”（followers），并揭示了两类原子随变形过程的演化。这一可解释性分析不仅揭示了非晶合金局域塑性事件背后的结构脆弱性起源，也为理解和设计具有可控塑性行为的非晶合金提供了新的视角。



(邀请报告 F07)

玻璃态弛豫耗散：构型距离和逾渗观点

于海滨
华中科技大学

摘要：

非晶态物质，微观结构长程无序，体系在能量上处于亚稳态；相应的物理、化学和力学等关联性质、特征及结构随时间演化。由于无序结构的复杂性，现有固体物理和材料科学理论、模型和研究范式都无法有效解释和描述其结构及结构与性能关系、新现象，急需科学新理论、新方法和新范式。以非晶态物质的弛豫现象为起点，探讨“结构-弛豫-性能”关系。通过系统测量非晶态材料的弛豫行为，建立了 β 弛豫与金属玻璃塑性变形机理、相变存储材料相变速率以及贗玻璃转变本质之间的内在联系；澄清了金属玻璃 β 弛豫的宏观热力学特征和弛豫微观原子运动机理。类似缺陷在晶体中的作用， β 弛豫体现了微观原子链状协同运动，体现了无序体系中隐藏的时间有序，是非晶材料宏观变形和热稳定性的关键因素。提出构型距离的概念建立了非晶物质动力学耗散的统一原理，证明无序体系的动力学与动力学逾渗之间普遍联系。



(口头报告 F08)

可辨粒子晶格模型玻璃薄膜的快动力学



翟强

助理教授/博士

翟强，陕西汉中人，西安交通大学物理学院助理教授。2019 年博士毕业于德克萨斯大学奥斯汀分校，2020 至 2022 年于德州材料研究所从事博士后研究。研究兴趣为玻璃态物理，如非平衡态自旋玻璃动力学和结构玻璃转变等相关问题。主要研究结果发表于 Phys. Rev. Lett., Phys. Rev. B, Phys. Rev. E, J. Stat. Mech. 等期刊。

摘要：自由表面可加速玻璃薄膜界面处粒子迁移率。目前，关于玻璃界面快动力学研究的难点在于：确定加速区域深度 ξ ，弛豫时间空间定量形式 $\tau_\alpha(z)$ ，及加速过程自表面向膜内传递的物理机制。近来可辨粒子薄膜模型已成功地复现了聚苯乙烯薄膜的迁移率¹与比热测量实验²。本工作³中，我们定量分析了高迁移率层厚度与温度之间的关系，结果与分子动力学计算结果吻合。实验与模拟中所报道的高迁移率层厚度温度依赖关系的矛盾可能源于 ξ 的定义。此外， $\tau_\alpha(z)$ 被认为可区分现存的玻璃转变理论。通过对 $h = 100$ 的厚膜分析， $\tau_\alpha(z)$ 可在近界面处拟合为双指数形式，并在远离界面处拟合为 $1/z$ 形式。根据 ECNLE 理论，远离界面 $\tau_\alpha(z)$ 的幂律是由于弹性场在界面处被截断引起的。然而，可辨粒子晶格模型中并不存在弹性，这表明此晶格模型中远离界面处 $\tau_\alpha(z)$ 的幂律需新的物理来解释。

本工作感谢国家自然科学基金-12405042 的支持。

关键词：玻璃转变；晶格模型

参考文献：

- [1] Q. Zhai, X.-Y. Gao, C.-S. Lee, C.-Y. Ong, K. Yan, H.-Y. Deng, S. Yang, and C.-H. Lam, “Surface mobility gradient and emergent facilitation in glassy films,” *Soft matter* 20, 4389–4394 (2024).
- [2] Q. Zhai, X.-Y. Gao, H.-Y. Deng, C.-S. Lee, S. Yang, K. Yan, and C.-H. Lam, “Heat capacity and relaxation dynamics of glassy films: A lattice model study,” *Phys. Rev. E* 111, 015406 (2025).
- [3] Q. Zhai, H.-Y. Deng, X.-Y. Gao, Leo S. Lam, S. Yang, K. Yan, and C.-H. Lam, “Penetration of surface effects on structural relaxation and particle hops in glassy films”, arXiv:2503.23428v2.



(邀请报告 F09)

稳定键及其在非晶固体中的作用



徐宁
教授

中国科学技术大学讲席教授，未来技术学院副院长。长期从事软凝聚态物理领域的基础研究。在包括 Nature 及子刊、PNAS、Science Advances、Physical Review Letters 等学术期刊上发表了 67 篇 SCI 论文。曾获国家自然科学基金委杰出青年科学基金资助，入选国家高层次人才特殊支持计划领军人才、国家百千万人才工程，享受政府特殊津贴。

摘要：尽管非晶固体中的每根键（即粒子间相互作用）对于维持粒子上的力平衡都是必要的，但并非所有键都对非晶固体的力学稳定性至关重要。我们将那些移除后会导致力学失稳的键定义为“稳定键”，并发现它们在表征非晶固体的临界稳定性和结构异质性方面发挥着重要作用。以无摩擦粒子的堆积为例，我们观察到在堵塞转变（jamming transition）以上，稳定键继承了来自 isostaticity 的临界稳定性特征。虽然所有键的弱力分布表现出强烈的压强依赖性，但稳定键的弱力分布则一直与理论值保持一致，直到达到一个转变点，此时稳定键的数量达到最小值。这个转变点标志着稳定键和临界稳定性的本质发生了转变，从以 isostaticity 为主导转变为以应力为主导。此外，稳定键在空间上与之前定义的软点（soft spots）相关联，这表明它们可能有效地表征了非晶固体的结构异质性。

(邀请报告 F10)

Perfect glasses: A new class of ordered states without symmetry breaking

Xinyu Fan¹, Ding Xu¹, Jianhua Zhang¹, Hao Hu², Peng Tan³, Ning Xu^{1,4}, Hajime Tanaka^{5,6}, and Hua Tong¹

¹ Department of Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China

² School of Physics and Optoelectronic Engineering, Anhui University, Hefei 230601, China

³ State Key Laboratory of Surface Physics and Department of Physics, Fudan University, Shanghai 200433, China

⁴ Hefei National Research Center for Physical Sciences at the Microscale and Chinese Academic of Sciences Key Laboratory of Microscale Magnetic Resonance,

University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China

⁵ Department of Fundamental Engineering, Institute of Industrial Science, University of Tokyo, 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153-8505, Japan



童华

中国科学技术大学

摘要: Order and disorder are fundamental concepts in condensed matter physics and materials science. Crystals exemplify order through the breaking of translational and rotational symmetries, while quasicrystals, with forbidden rotational symmetries and no periodicity, has shifted this paradigm. Here, we introduce a novel ordered state in two dimensions: perfect glasses, which display order without symmetry breaking. This state is realised by maximising steric order through a generalized orientational order parameter, developed to probe the structural origins of glassy dynamics in supercooled liquids, suggesting its potential as a true order parameter for the glass transition. Despite their disordered appearance, perfect glasses exhibit profound steric order, characterised by long-range orientational correlations revealed through a novel, path-integral-like approach. We find that perfect glasses show phononic vibrational modes following the Debye law, fully affine elastic responses, thermodynamic ultrastability, and suppressed long-wavelength density fluctuations resembling hyperuniformity. Thus, perfect glasses are a unique form of ordered matter — noncrystalline yet possessing crystal-like properties. These findings expand our understanding of ordered states, particularly entropy-driven ordering and the nature of amorphous materials, while providing a powerful methodology for exploring order within disordered systems.



(邀请报告 F11)

玻璃低频振动特性研究



王利近
教授/博士

王利近，安徽大学教授，博士生导师。主要从事非平衡态非晶液-固转变及玻璃态物理的计算模拟研究。在 Jamming 转变、玻璃化转变、非晶固体本征振动模式及声波衰减等研究中取得系列研究成果，以第一作者或通讯作者身份在 *Physical Review Letters* (3 篇)、*Nature Communications* (2 篇) 等期刊发表 SCI 论文 19 篇。主持纵向科研项目 5 项（包括国家自然科学基金面上、青年 C 类项目和安徽省高校杰出青年科研项目等）。担任 *Physical Review Letters*、*Nature Communications*、*Reports on Progress in Physics* 等国内外期刊的审稿人。

摘要：

晶体低频振动模式态密度与频率的标度关系遵从德拜理论预测；然而，玻璃低频振动模式态密度比德拜理论预测值大，即，相比于理论预测，玻璃中存在低频“过剩模式”。对玻璃中低频过剩模式特性的研究对理解实验中观测到的玻璃低温反常热力学性质至关重要。1983 年 Karpov 等人通过理论预测：不依赖于空间维度，玻璃低频过剩模式态密度正比于频率的四次方。2015 年，诺贝尔物理学奖得主 G. Parisi 与其合作者通过数值模拟研究首次发现，三维自旋玻璃的低频过剩模式态密度与频率的四次方呈正比。此后，学术界开展了大量数值模拟工作，以深入探讨结构玻璃低频过剩模式态密度特性。在本报告中，我将结合自身及合作者近期的研究工作，介绍近年来关于结构玻璃低频过剩模式态密度的研究进展。此外，介绍我们近期在低频过剩模式态密度与声波衰减关系研究方面的最新进展。



(邀请报告 F12)

三维软物质拓扑力学材料



周迪
副教授，博士

周迪，北京理工大学物理学院副教授，2010 年获北京大学物理学学士学位，2016 年获美国伊利诺伊大学厄巴纳香槟分校物理博士学位，指导老师为 Anthony J. Leggett 教授。2016 年至 2020 年分别在美国密歇根大学安娜堡分校和佐治亚理工大学从事博士后研究工作。主要的研究领域为拓扑力学超材料、非线性动力学、低温玻璃态的量子场论模型等。以第一 / 通讯作者，在 Phys. Rev. X、Phys. Rev. Lett.、Nature Communications 等期刊共发表十余篇学术论文。

摘要：软物质是材料物理和生物化学的重要研究领域，对于研究生物系统的本构关系、化学过程和设计新型超材料具有重要科学意义[1, 2]。近年来，人们通过对软物质系统进行深入研究，发现“力学软模 (floppy mode)”和“自应力 (state of self-stress)”互为手征对偶关系，使软物质的力学色散关系获得量子化的几何绝热相位，进而提出了全新的“拓扑力学”概念。这些具有拓扑稳定性的软物质表现出其他拓扑声学、电学、光学平台所不具备的奇异特性。拓扑力学软模刚度为零，表现为高柔软性和低损耗[3, 4]；拓扑自应力刚度极大，表现为开放边界与材料内部的刚度可比较。这种静定的软物质体系广泛存在于自然界，如细胞骨架、气凝胶、生物纤维、肌球蛋白丝、阻塞过程和刚度渗透等，备受国内外广泛关注和研究。在这个报告中，我们将介绍近年来我们在软物质拓扑力学领域的最新研究成果[5]。

参考文献：

- [1] D. Zhou, L. Zhang and X. Mao, Phys. Rev. X, 9, 021054 (2019).
- [2] D. Zhou, L. Zhang and X. Mao, Phys. Rev. Lett. 120, 068003 (2018).
- [3] D. Zhou, D. Z. Rocklin, M. Leamy, and Yugui Yao, Nature Comm. 13, 3379 (2022).
- [4] F. Ma, Z. Tang, X. Shi, Y. Wu, J. Yang, D. Zhou, Y. Yao, and F. Li, Phys. Rev. Lett. 131, 046101 (2023).
- [5] Z. Tang, F. Ma, F. Li, Y. Yao, and D. Zhou, Phys. Rev. Lett. 133, 106101 (2024).

(邀请报告 F13)

Crossover of solid-to-liquid clustering reveals the nature of glass transition



张会军
副教授/博士

张会军博士，西安交通大学副教授。学士、博士就读于北京科技大学材料物理和凝聚态物理专业。加入西安交通大学之前，于香港科技大学物理系从事博士后工作(导师 Yilong Han)。主要运用计算机模拟结合统计方法进行软物质物理的理论与模拟研究，如亚稳态结构（如玻璃态、纳米晶）设计，玻璃转变，及力学性能的微观机理等。工作以第一作者发表在 PRX, RPL, Nat. Commun., Acta Mater.等领域权威期刊。

摘要： Revealing the microscopic origin of glass transition and the solidity in amorphous solids is a long-standing challenge for scientists. Extensive studies on dynamic of glasses have constructed a picture that solid glasses undergo local flow and partial structural relaxations through cage-breaking. Given the solidity of glass, cage-breaking in glass should be distinct from that in liquid, however, the details of the cage-breaking behaviors remain unclear crossing the glass transition. Here we monitor the evolution of cage-breaking in simple glass formers and unveil the glass transition as a change from the solid-clustered liquid to liquid-clustered glass. The spatial fluctuation of cage-breaking exhibits a peak at the glass transition point. The breakings of cages with time follow the Avrami model, but their occurrence rates decrease to a constant in glass regimes, which is ascribed to the localization of cage-breaking after glass transition. As density increasing, more particles are arrested in cages permanently and participate string-like collective motion, which gives rise to the Boson peak. Moreover, particles with cage-breaking in glasses cause unstable vibrational modes. The number of such irreversible motion (i.e., imaginary frequencies) quickly declines after glass transition, consistent with the formation of solidity in glasses. These findings uncover the glass transition in perspective of cage-breaking and reconcile the solidity with local flows in solid glasses.



(邀请报告 F14)

Disentangling hierarchical relaxations in glass formers

谭鹏
复旦大学

摘要: Hierarchical dynamics in glass-forming systems span multiple timescales, from fast vibrations to slow structural rearrangements, appearing in both supercooled fluids and glassy states. Understanding how these diverse processes interact across timescales remains a central challenge. Here, by combining direct particle-level observations with a dynamic eigenmode approach that decomposes intermediate-timescale responses into distinct modes, we reveal the microscopic organisation of relaxation dynamics in twodimensional colloidal systems. We identify five classes of modes characterizing hierarchical dynamics: (i) quasi-elastic modes, (ii) slow-reversible string modes contributing to dynamic heterogeneity, (iii) slow-irreversible string modes leading to flow, (iv) fast- β modes with fast-reversible strings, and (v) random noise modes. The emergence of quasi-elastic modes marks the onset of glassy dynamics, while reversible string modes dominate dynamic heterogeneity throughout both supercooled and glassy regimes. Our findings offer a unified microscopic framework for understanding how distinct relaxation processes interconnect across timescales, illuminating the mechanisms driving glass formation.



(邀请报告 F15)

胶体团簇的拉伸热力学



马晓光

助理教授/博士

马晓光是南方科技大学复杂流动及软物质研究中心/物理系助理教授、博士生导师。研究领域包括软物质与生物物理、复杂系统与统计物理。加入南科大前，于中山大学获得本科、硕士学位，香港科技大学获得博士学位，并在宾夕法尼亚大学从事博士后研究。课题获基金委面上项目、科技部重点研发、广东省与深圳市支持。课题组欢迎物理、统计、生物背景学生、博后加入。

摘要：我们用二维胶体实验研究颗粒团簇在单轴拉伸时微观构型与宏观力学响应的关系。实验利用光镊操控与排空吸引力制备条带状胶体颗粒团簇样品，并通过光镊操控实现了团簇应变与应力测量；同时，利用显微镜粒子跟踪轨迹获得团簇构型随应变的演化。实验发现，当团簇应变增加时，部分颗粒间的连接（“键”）会依次断开。每个断键都对应应力-应变曲线中的弹性-塑性-及断裂行为。我们建立了由可断弹簧组成的网络模型，计算配分函数、自由能，获得了不同应变下团簇构型分布与（期望）应力。理论预测与实验结果基本吻合。研究展示了胶体在团簇热力学与力学研究中的应用价值。



(邀请报告 F16)

球形颗粒堆积的“停车位”模型



夏成杰

副教授/博士

夏成杰，2018 年在上海交通大学获博士学位并入职华东师范大学物理与电子科学学院，2021 年晋升副教授。主要研究方向为磁共振成像应用于软物质和颗粒物理研究。近年在 *Nature Physics*, *Physical Review Letters* 等期刊上发表论文，曾获上海市“超级博士后”资助，主持国家自然科学基金面上项目、上海市自然科学基金等项目。

摘要：颗粒物质及其他非晶态物质的堆积几何结构对体系的宏观行为具有至关重要的影响，然而粒子尺度的组装机制非常复杂，统计力学规律尚不明确。本研究发展了一种基于随机序列的堆积模型，在模型中引入来自颗粒堆积体积系综理论的有效温度，从而联系了颗粒局域堆积结构与宏观状态方程。通过粒子间有效的吸引相互作用、近邻粒子的堆积序列以及外加势场，本模型拆解了构形熵、颗粒间摩擦、各向异性剪切作用对局域堆积结构各自的影响 (*Phys. Rev. E*, 111, 025406 (2025))。模型成功重现了之前实验中发现的球形颗粒体系的一些近似的普适规律 (*Nat. Phys.* 20, 646 (2024))：包括堆积密度、接触数、接触结构的各向异性、有效温度等参量之间的关系，更为这些关于颗粒摩擦、堆积制备过程影响体系结构的经验规律提供了理论阐释。这一模型为理解粒子堆积体系非热平衡的组装过程提供了一种潜在的统计力学研究方法。

(口头报告 F17)

Epitaxy-mediated transformation to ice VI and XII from unreported ices



张玄
博士

张玄¹, Kenji Mochizuki^{1,*}

¹ Department of Chemistry, Zhejiang University, Hangzhou, 310028, P. R. China

*E-mail: kenji_mochizuki@zju.edu.cn

摘要: 水具有 20 余种晶体形态和 2 种非晶形态, 呈现出丰富的多态性。然而其非晶态的转化机制仍鲜为人知: 加热低/高密度非晶冰时, 随升温速率和压力改变[1], 它们既能转化为稳定冰晶 (Ih、III、V、VI), 也能形成亚稳态冰晶 (IX、IV、XII)。其中, 冰 IV 与 IX 难以从液态水中结晶——为何它们能在非晶态中自发成核?

近日, 本团队在模拟中发现在氢有序冰 Ih 的压力诱导非晶化过程中伴随着一种未报到的氢有序晶相 (冰 M), 其与非晶态的混合物进而可以转化为冰 XII [2]。这表明冰 M 可能在非晶冰结晶的过程中起到关键作用, 其中的机制尚不明确。此外, 在实验中冰 VI 和冰 XII 可以在相同压力下从非晶态中结晶[1], 而冰 VI 的形成过程尚未在模拟中观察到过。

本项目通过分子动力学模拟揭示了氢无序的冰 M (冰 Md) 的(001)晶面诱导冰 XII 生长的机制; 以及其(210)晶面诱导冰 VI 生长的机制, 在此过程中观察到了一种新晶相冰 Md2 的形成。研究表明可能存在于非晶态冰种的冰 M 具有诱导冰 XII 与冰 VI 形成的能力。这些发现将为理解非晶冰的结构提供新的角度。

References:

- [1] Tonauer, C. M. et al., J. Chem. Phys. 158, 141001 (2023)
- [2] Mochizuki K., J. Phys. Chem. C, 128(2024) 18582-7.



(口头报告 F18)

玻璃系统中的普适老化和弱各态历经破缺



李斌

博士研究生

理论物理所博士研究生，目前正在玻璃系统的非平衡动力学，尤其关注非平衡统计物理、动力学相变以及无序体系中的弛豫行为。

摘要：随机能量模型（Random Energy Model, REM）是为数不多的渐近激活老化动力学可解的玻璃模型之一。然而，现有的老化理论（即 Bouchaud 的陷阱模型）与有限尺寸系统中的动力学模拟结果存在偏差。本研究发现，这种差异源于能垒分布中不可忽略的有限尺寸修正效应：有限尺寸效应会在时间关联老化函数中引入对数衰减项，从而破坏自旋玻璃相中 Bouchaud 陷阱模型预测的渐近长时间平台行为。令人惊讶的是，即使在热力学极限下，有限尺寸效应仍会对平台渐近值产生修正，导致在热力学自旋玻璃转变温度 T_c 之上出现温度 T_d 处的意外动力学转变——此时发生弱遍历性破缺。基于数值势垒树方法和展开理论获得的能垒分布，我们提出了包含有限尺寸效应的广义陷阱模型。该模型理论推导的老化行为成功解释了具有高斯型和指数型随机能量的随机能量模型的蒙特卡洛动力学模拟数据。我们的结果表明，对于激活老化动力学而言，系统尺寸趋于无限大与时间趋于无限长这两个极限不可交换。



(邀请报告 F19)

Sound attenuation in quenched disordered solids



崔冰宇
副高/博士

崔冰宇博士本科毕业于英国帝国理工学院。博士毕业于英国剑桥大学。2020-2023 年分别在以色列特拉维夫大学和美国宾夕法尼亚大学从事博士后研究。自 2023 年 12 月起，他加入香港中文大学（深圳）理工学院担任助理教授。他的研究兴趣包括但不限于非晶态物理，非平衡态统计物理，光与物质作用，量子力学基础等。他主要通过构建原子分子层面上解析模型来理解复杂体系的物理化学性质。

摘要： In crystalline solids, the propagation of elastic waves is equivalent to lattice waves within a unit cell when the wavelength is comparable to the cell size. Wave attenuation occurs in the presence of disorder. By simulating the coherent inelastic neutron scattering process, we investigate and compare the properties of sound wave propagation in quenched disordered solids with various types of stiffness fluctuations. Our results reveal a quadratic broadening in the dynamical structure factor for one-dimensional chains under weak disorder, which leads to a correction in the sound speed for a perfect chain with inversion symmetry. The wave damping further gives rise to a characteristic peak in the spectrum of the (reduced) vibrational density of states. This peak may be identified as the anomalous "boson peak" observed in amorphous systems.



(邀请报告 F20)

非晶势能面的形貌与特征：从弛豫到变形



尚宝双
特聘研究员

尚宝双博士毕业于中科院力学所，分别于北京计算科学研究中心、法国 Liphys 实验室从事博士后研究工作，现为松山湖材料实验室卓越青年学者并入选广东省高层次人才计划青年人才项目，目前共发表学术论文 28 篇，其中以第一作者或通讯作者身份在 PRL、PNAS、Acta Mater. (4 篇)、PRB (2 篇) 等杂志发表论文十二篇。主要利用分子动力学模拟从事金属玻璃及过冷液体的基础理论研究工作，研究方向为：金属玻璃塑性变形及过冷液体玻璃形成微观机制研究。

摘要：非晶固体一般是由液体快速冷却并避免结晶形成的，在形成过程中伴随着明显的动力学变化。此过程中体系的弛豫时间——从一种状态恢复到平衡状态所需的时间——会经历一个巨大的变化范围。这个范围从极短的 1 皮秒 (ps) 延伸到超过 100 秒，这是一个跨越了十几个数量级的巨大差异，而且这一切都发生在仅仅几十度的温度变化区间内。在这个过程中，非晶材料的动力学行为展现出三个独特的特性：非 Arrhenius 性、非指数性、非线性。这三‘非’特性对于理解非晶材料的本质至关重要。本次报告将以动力学弛豫的非指数性为切入点以及展示这种非指数性同势能面形貌的关联，通过统计手段来揭示非晶势能面形貌的拓扑结构与特征，以及进一步利用变形及弛豫来理解和调控势能面，为理解非晶的本质及调控非晶性能提供参考。



(邀请报告 F21)

Jamming criticality governs a biopolymer-like strong shear stiffening in soft granular composite



潘登

助理研究员/中国科学院
理论物理研究所

潘登，中国科学院理论物理研究所助理研究员，研究课题包括无序复杂体系理论与模拟、非平衡态统计物理问题、机器学习与统计物理的交叉等。主要关注阻塞相变，非晶固体的弹性、塑性与屈服等问题。现承担基金委关于非晶体系势能景观的研究一项，已发表论文 10 余篇。

摘要： Soft composites engineered through embedding stiff grains in a soft polymeric matrix (e.g., hydrogel) exhibit striking biopolymer-like nonlinear mechanical responses. Emerging evidence implicates jamming criticality as the governing principle behind these anomalous behaviors. Conventional paradigms primarily attribute the jamming transition to energy-dominated mechanisms, particularly bending-dominated deformations. In contrast, we demonstrate that geometric frustration quantified through configuration entropy serves as an independent driver of nonlinear mechanics. By establishing scaling relations rooted in shear-jamming criticality, we develop a unified framework explaining key features of soft composite mechanics, most notably the biomimetic shear-hardening phenomenon. Our multiscale methodology combining theoretic models and simulations enables rigorous discrimination between the universality classes of shear-activated versus isotropic jamming pathways.



(口头报告 F22)

扩展 Ding-Zhuang 方法在无序晶格系统中的应用



陈烨嘉，中国科学院理论物理研究所博士研究生，导师为周海军教授。目前的主要研究方向为统计物理中的无序系统。

陈烨嘉
研究生

摘要：无序晶格系统中的长程序行为是统计物理的核心问题之一。本报告基于对 Ding-Zhuang 方法的推广，结合 Pirogov-Sinai 理论框架，建立了研究此类系统长程序相变的系统性方案。我们将 Ding - Zhuang 方法公理化为由 Peierls 条件和局域对称性条件构成的理论框架。该框架表明，对于满足这两类条件的高维无序系统 ($d \geq 3$)，在低温及弱随机场扰动下，长程序依然稳定存在。在报告中，我们将概述该框架的核心思想，并通过具体模型实例（如随机场伊辛模型、具有随机缺陷的硬球模型等）阐明其应用。此工作本质上是传统 Peierls 方法在无序系统中的系统性推广，为理解此类系统的相变机制提供了新的理论工具和视角。



(邀请报告 F23)

Statistical Analysis of Three-Spin Interaction in the Sherrington-Kirkpatrick Model in the High Temperature Regime



王天宇
青年副研究员

王天宇博士毕业于杜克大学计算机系，本科毕业于香港科技大学数学系，现任复旦大学上海数学中心青年副研究员。

他的主要研究方向为机器学习理论及相关问题，已在高水平期刊及会议（IEEE Trans. Inf. Theory, JMLR, NeurIPS, ICML, INFORMS J. Comp.）发表多篇文章。他曾获上海海外领军人才资助（现为白玉兰计划），并入选上海扬帆计划。

摘要： In his renowned book, M. Talagrand posed a question regarding the moment properties of interactions among three spins in the Sherrington-Kirkpatrick (SK) model. This question extends a celebrated result of A. Hanen. In relation to this issue, we analyze the interaction of three spins at different sites in the Sherrington-Kirkpatrick model with an external field, and calculate the mean-field limit of this interaction.



(邀请报告 F24)

Temperature chaos may emerge many thermodynamic states in spin glasses



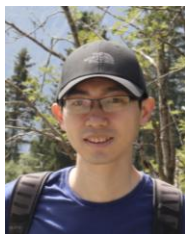
汪文龙：现任四川大学物理学院特聘研究员。凝聚态计算物理，主要研究统计物理无序系统、非线性孤波、与数值计算技术。2015年毕业于美国 Univ. of Massachusetts Amherst，之后在美国 Texas A&M Univ. 和瑞典 Royal Inst. of Tech. 分别从事两年博士后研究，并于 2019 年入职四川大学物理学院。

摘要： The number of thermodynamic states of three-dimensional spin glasses has been a central problem for decades. The droplet picture asserts that large-scale excitations are forbidden as the interface free energy exponent is finite. However, there is mounting evidence that there are many thermodynamic states from the computational perspective. Here, we link these pertinent properties with the well-known temperature chaos, which refers to the chaotic exchange of the weights of the pure states as the temperature decreases. At an observing temperature, a sample may or may not have pure state coexistence depending on whether it is undergoing temperature chaos, which is a random process. Therefore, temperature chaos is likely responsible for the emergence of many pure states, providing a natural and intuitive explanation for the coexistence of expensive domain-wall excitations and many pure states at the disorder-averaged level.



(邀请报告 F25)

自旋玻璃、动态消息传递方法和渗流



黎勃，哈尔滨工业大学（深圳）助理教授。2018 年博士毕业于香港科技大学物理系，随后在香港教育大学、英国阿斯顿大学担任博士后、欧盟玛丽学者。长期致力于无序系统的统计物理、复杂网络系统、最优化与机器学习等领域的研究。

摘要：对平衡态自旋玻璃等复杂相互作用系统的理论研究，以及对其崎岖能量景观的刻画，催生了许多令人意想不到的跨学科成果。例如，空腔方法在图上的组合优化和统计推断等问题中引出了表现优异的消息传递算法。然而，该方法在推广到非平衡动力学问题时仍面临诸多困难。近年来的研究发现，在一些特殊情形下，可以构造出高效的动态消息传递算法，为相关动力学问题的建模与分析提供了新的工具。本报告将简要介绍该方向的研究进展，探讨动态消息传递方法在无序系统动力学和传播过程中的应用，并进一步讨论一些传播过程所对应的渗流现象。



(口头报告 F26)

Simulations of the Gardner transition in structural glasses using parallel tempering



Luciano
Doctor

Introduction:

Currently a postdoctoral researcher at the Institute of Theoretical Physics, Chinese Academy of Sciences (China), under the supervision of Prof. Yuliang Jin. Holds a Ph.D. in Physics from Universidade de Brasília (Brazil), including a collaborative period at Aix-Marseille Université (France) in 2016. Experienced in computational methods, focused on disordered systems, active matter, chaos, and statistical physics.

摘要： In hard spheres, deep in the glass phase, the Gardner transition is accompanied by rapidly growing time scales, making it impractical to characterize the transition in terms of the divergence of susceptibility. The parallel tempering technique is employed to circumvent this difficulty, enabling easier escape from metastable states through configuration swaps. To clarify phase transitions in this class of models, this work discusses the implementation of parallel tempering and presents preliminary susceptibility results in structural (hard-sphere) and spin glasses.

(口头报告 F27)

Planted vertex cover problem on regular random graphs and nonmonotonic temperature-dependence in the supercooled region



Xin-Yi Fan is currently a Ph.D. candidate at the Institute of Theoretical Physics, Chinese Academy of Sciences. Her research interests lie in the application of spin glass theory to combinatorial optimization and statistical inference problems.

樊欣祎
硕士

摘要: We introduce a planted vertex cover problem on regular random graphs and study it by the cavity method of statistical mechanics. Different from conventional Ising models, the equilibrium ferromagnetic phase transition of this binary-spin two-body interaction system is discontinuous, as the paramagnetic phase is separated from the ferromagnetic phase by an extensive free-energy barrier. The free-energy landscape can be distinguished into three different types depending on the two degree parameters of the planted graph. The critical inverse temperatures at which the paramagnetic phase becomes locally unstable towards the ferromagnetic phase (β_{pf}) and towards spin glass phases (β_{pg}) satisfy $\beta_{pf} > \beta_{pg}$, $\beta_{pf} < \beta_{pg}$, and $\beta_{pf} = \beta_{pg}$, respectively, in these three landscapes. A locally stable antiferromagnetic phase emerges in the free-energy landscape if $\beta_{pf} < \beta_{pg}$. When exploring the free-energy landscape by stochastic local search dynamics, we find that in agreement with our theoretical prediction, the first-passage time from the paramagnetic phase to the ferromagnetic phase is nonmonotonic with the inverse temperature. The potential relevance of the planted vertex cover model to supercooled glass-forming liquids is briefly discussed.



(邀请报告 G01)

Capillary Effect beyond Lucas-Washburn Law



吴晨旭
教授/博士

吴晨旭，厦门大学南强特聘教授，从事软物质物理研究。1995-1998 东京工业大学应用电子学博士两年半提前半年毕业，1998-2001 东京工业大学物理电子学系及东北大学流体科学研究所任文部省教官。2002 年获国家杰出青年基金，国务院第七第八届物理学科评议组成员，中国物理学会软物质生物物理专业委员会副主任，中国物理学会凝聚态理论与统计物理专业委员会委员，中国物理学会秋季年会组委会成员。

摘要：Capillary-driven flow of fluids occurs frequently in nature and has a wide range of technological applications in the fields of industry, agriculture, medicine, biotechnology, and microfluidics. By using the Onsager variational principle, we propose a model to systematically study the capillary imbibition into a tilted tube, and find different laws of time-dependent capillary invasion length for liquid-liquid displacement system other than Lucas-Washburn type under different circumstances. The good agreement between our model and experimental results shows that the imbibition dynamics in a capillary tube with a prefilled liquid slug can be well captured by the dynamic equation derived in this paper. Our results bear important implications for macroscopic descriptions of multiphase flows in microfluidic systems and porous media.



(邀请报告 G02)

纳米限域二维水通道的界面自组装行为与宏观渗透率调控



陈亮
教授/宁波大学

陈亮，宁波大学物理学教授、博导。基于碳基表面离子吸附平衡及应用研究，进行离子的精准筛分与富集（Nature 2017; Adv. Sci. 2024; Nat. Commun. 2022, 2025），相关成果被诺贝尔物理学奖得主 Novoselov 和 Geim 在 Nature 和 Science 论文中作为理论依据和实验验证引用；制备具有铁磁性、压电性等特性的二维 Na_2Cl 、 NaCl_2 等新型晶体（Nat. Chem. 2018; Adv. Mater. 2023; Nat. Commun. 2025），并拓展出反常元素计量比晶体的研究新方向。

摘要：针对离子筛分领域的两大关键挑战——离子的埃米级精准识别与高通量-高选择性协同机制，提出了一种基于三级跨尺度调控的创新策略。在纳米片层界面（1 级），通过表面基团的氢键网络调控，实现了片层稳定，同时降低水输运阻力。在纳米限域通道（2 级），通过自组装优化二维水通道的有效面积与长度，建立离子筛分动力学定量模型。在宏观结构（3 级），设计纵向理想化通道网络，减少有效通道长度，使水通量数量级的提升。通过三级结构协同，突破了传统膜材料“渗透率-选择性”的平衡瓶颈，实现了超高水通量下的离子高截留率。开发出离子超高通量筛分等原创技术，推广应用于环境、能源、医药等领域。



(口头报告 G03)

牛顿第三定律被随机破缺的系统的物理行为



涂展春
教授

北京师范大学物理与天文学院教授。北京航空航天大学本科（1998），中国科学院理论物理研究所博士（2004），发表专著《生物膜弹性理论精要》，译著《细胞的物理生物学》。近期主要研究有限时间热力学，提出的等温捷径理论方案被实验同行所采纳，预言的内禀功-自由能等式被同行的实验所证实，导出的费曼棘轮最大功率下的效率公式被同行多次冠以本人的姓氏字母 Tu 或 T 作为角标进行引用。

摘要：近年来活性物质的研究，暗示两体相互作用可以不满足牛顿第三定律。一个有趣的问题是：如果系统中的两体相互作用平均来看仍满足牛顿第三定律，但被随机破缺，会有哪些可观测的物理效应呢？这里以两体系统为例，研究其力学、统计力学和量子力学行为。

(口头报告 G04)

非互易运动诱导相分离体系的自组织



段煜

副教授/博士

段煜于 2021 年在南京大学取得博士学位，后赴德国马克斯普朗克动力学和自组织所进行博士后研究，于 2025 年 2 月加入苏州大学软凝聚态物理及交叉研究中心，被聘为青年特聘教授。主要从事活性物质相关的非平衡统计物理的理论模拟研究。

摘要: Motility and nonreciprocity are two primary mechanisms that drive self-organization in active matter. We have recently explored their joint influence in a bio-inspired model of two-species quorum-sensing active particles interacting via mutual motility regulation. For sufficiently weak nonreciprocity, this system exhibits multi-component motility induced phase separation. By combining coarse-graining techniques with a generalized common tangent construction, we establish an analytical criterion for the associated phase coexistence, enabling a quantitative prediction of the phase diagram. For strong nonreciprocity where the dynamics is chase-and-run-like, the model supports a multitude of dynamical patterns including traveling domains, rotating spirals, and nonlinear oscillations. In addition, our numerical and theoretical analysis reveals a new phase of highly dynamical chasing bands induced by the combination of motility and nonreciprocity. We further show that most finite size patterns are unstable to long-wavelength perturbations, such that the large-scale dynamics consists of a multiscale bulk phase coexistence between domains either homogeneous or populated by mesoscopic chasing bands. These nonequilibrium phase-separated configurations exhibit intriguing properties, such as anomalous coarsening, while their dynamics prevents the emergence of large-scale collective motion. Most of our findings cannot be captured by standard phenomenological continuum models, and therefore call for a more advanced theoretical framework to understand the physics of nonreciprocal mixtures.

参考文献:

- [1] Y. Duan, et al., Dynamical Pattern Formation without Self-Attraction in Quorum-Sensing Active Matter: The Interplay between Nonreciprocity and Motility, *Phys. Rev. Lett.* 131, 148301 (2023).
- [2] Y. Duan, et al., Phase Coexistence in Nonreciprocal Quorum-Sensing Active Matter, *Phys. Rev. Res.* 7, 013234 (2025).



(邀请报告 G05)

混致不溶现象的微观起源及其对嵌段共聚物自组装行为的影响



李宝会
教授/博士

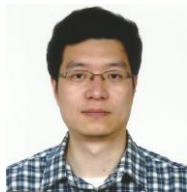
李宝会，南开大学物理学院教授、博士生导师。从事软物质理论计算与模拟研究。2009 年度获国家杰出青年科学基金资助和第六届中国青年女科学家奖；2010 年获国务院特殊津贴；2011 年获天津市自然科学二等奖；2015 年获天津市劳动模范称号；2016 年度天津市三八红旗手和三八红旗手标兵称号。曾任国际学术期刊科学报导的编委 (Editorial Board Member for Scientific Reports) 和欧洲物理快报的共同主编 (Co-Editor of EPL)。

摘要：混致不溶 (co-nonsolvency)，即高分子在两种可混溶的、单独使用时均为其良溶剂的混合溶剂中呈现不溶的现象，是高分子领域最有趣的现象之一。混致不溶现象已经被广泛研究，发现对单链高分子体系而言，混致不溶可导致链塌缩。并且近年来已经提出了几种驱动这一现象的机制，如优先吸附机制、氢键机制、两种溶剂分子相互结合形成复合体机制，以及两种溶剂分子之间的吸引诱导的相分离机制等。然而对这些机制一直存在争议。另外，当嵌段共聚物的一个嵌段发生混致不溶现象时，该现象可诱导嵌段共聚物自组装或影响其自组装行为。然而尚缺乏对这种影响的系统研究。本报告将介绍我们使用模拟退火方法对混致不溶现象的微观起源及该现象对嵌段共聚物自组装行为的影响的研究结果。我们的研究体系中包括高分子单链和多链体系，其中高分子为两嵌段共聚物和均聚物。我们首次发现体系中高分子/溶剂间的相互作用和溶剂混合熵之间的竞争是导致混致不溶现象的主要原因；并且，这一结论得到了 Flory-Huggins 理论的证实。另外，我们首次发现发生混致不溶现象的体系中溶剂发生液-液相分离，以及多链体系中链凝聚，而单链体系中链卷曲。针对其中一个嵌段可发生混致不溶现象的两嵌段共聚物/二元溶剂体系，发现混致不溶效应可导致共聚物自组装形成多种胶束和囊泡；并且，混致不溶效应与疏溶剂作用的协同可进一步增加胶束的种类。



(邀请报告 G06)

智能伊辛模型模拟投票中的相变现象



王延颢
研究员

王延颢，男，中国科学院理论物理研究所研究员。1990-1999 年就读于中国科学技术大学近代物理系，获核电子学士和核物理博士学位；1999-2004 年就读于美国罗彻斯特大学，获理论凝聚态物理博士学位；2004-2009 年分别在美国犹他大学化学系和美国能源部爱达荷国家实验室从事博士后工作；2009 年至今历任中国科学院理论物理研究所副研究员、研究员。研究兴趣在于综合运用分子模拟和统计理论方法研究软物质的物性和相行为，迄今发表 SCI 论文 90 余篇，他引 5000 余次，h-index 为 32。

摘要：我们提出智能物质的一个关键本质特征是其相互作用的非线性。例如，这种相互作用可以由系统状态的反馈来调节。为了研究智能物质中非线性相互作用的普适特征，我们将一维标准伊辛模型扩展为一个智能伊辛模型，其核心改变在于使相互作用强度成为一个依赖于系统磁化强度的变量，而非一个恒定值。该智能伊辛模型可以模拟个体在投票过程中，其决策受到选举期间动态变化的民意调查结果影响的情景。通过对具有正反馈机制的智能伊辛模型进行计算机模拟和解析计算，我们揭示了该模型在有限温度下会展现出相变，这是标准一维伊辛模型所缺乏的特性。通过改变反馈强度，随着温度的升高，系统可以从经历二级相变转变为经历一级相变，并表现出三临界点的特征。



(邀请报告 G07)

多肽细胞界面活性的熵焓调控机制研究

杨恺

教授

南京大学博士，苏州大学特聘教授/博士生导师，国家优青，江苏省“333 高层次人才”，苏州市高等院校紧缺高层次人才；在 Nature Nanotechnology、ACS Nano、Biomaterials、JPCL 等国际知名学术杂志发表研究论文一百余篇，先后主持和参与国家自然科学基金多项；曾获得江苏省科学技术二等奖、全国优秀博士学位论文提名奖等；主要从事细胞生物物理和生命体系软物质自组装方面的研究。

摘要：基于多肽的药物开发为抵抗如结核病（TB）等严重感染性疾病治疗问题提供了一条重要途径。然而，多肽序列和性质的多样性为多肽设计带来了巨大的挑战。在本研究中，我们建立了一种“AI—人类专家协商机制”，有效地利用机器学习来增强人类的专业知识，从从头设计出一种全新的、具有抗结核杆菌功能的“最小模型多肽”分子（K7W6）。K7W6 由赖氨酸和色氨酸组成，具有 α -helical 结构，在体外和体内均对导致结核病的各种感染性细菌（包括临床分离菌株和耐药菌株）具有高活性。并且，它还能协同增强一线抗生素利福平的抗结核病疗效，且对哺乳动物细胞具有较小的细胞毒性，不易产生细菌耐药性。生物物理实验和模拟显示，K7W6 的优异性能是由于其独特的聚集诱导的细胞膜界面活性（如对细菌膜的选择性和强扰动性）导致的：聚集的 K7W6 团簇在焓驱动下自发吸附到细菌膜表面上，之后，团簇在细菌膜介导的熵调控下进一步解聚为单体、继而发挥膜扰动功能。我们的结果为开发和设计新型多肽药物和药物载体提供了新的思路。



(口头报告 G08)

基于纳米孔轨道行走的 DNA 机器人动力学研究



孙李真
副教授/博士

本人于 2013 年在浙江大学获得博士学位，后于美国密苏里大学从事博士后研究工作，现任浙江工业大学应用物理学系副教授。研究方向主要包括单链核酸分子动力学行为、金属离子/药物分子-核酸相互作用、纳米机器人运动等方面的计算机模拟和算法开发。目前已在《Annu. Rev. Biophys.》、《J. Chem. Theory. Comput.》、《Nanoscale》、《RNA》等杂志发表 40 余篇论文。

摘要：DNA 分子凭借其稳定的化学性质与精确的配对规则，已成为人工纳米机器人领域重要的构筑材料之一。近年来，DNA 纳米机器人在功能拓展方面取得突破性进展，在精准医疗、新能源开发及环境治理等领域均展现出令人瞩目的应用前景。然而，DNA 机器人有限的自主移动能力制约了其应用范围的进一步拓展。最新研究揭示，基于多纳米孔阵列平台的轨道化设计或将成为突破这一局限的关键路径。

本报告将系统介绍课题组基于纳米孔轨道驱动 DNA 机器人运动行为的模拟研究成果。在模拟中，我们利用 DNA 机器人的三足式设计，验证性地实现了其在纳米孔轨道上的自主移动。研究表明，在不同驱动方式、轨道结构以及溶液环境的协同调控下，DNA 机器人呈现出包括布朗运动主导的随机游走、自由能梯度驱动的定向迁移以及多种运动方式转换在内的复杂动力学特征。

(邀请报告 G09)

生物相分离非平衡动力学与功能机制的理论研究

侯中怀
教授/博士生导师

侯中怀, 男, 1973 年 2 月出生。中国科学技术大学化学物理系、合肥微尺度物质科学国家研究中心理论与计算科学部教授, 国家杰出青年基金获得者 (2011)。1994 年本科毕业于中国科技大学化学物理系, 1998 年获中国科学技术大学博士学位, 2002 年 1 月起任中国科学技术大学教授。主要从事理论与计算化学研究, 致力于发展和应用统计力学理论与方法, 研究化学、生物与物理等交叉科学领域的非平衡、非线性与复杂性科学问题。已发表 SCI 论文 160 余篇, 近期承担基金委重点项目“化学活性系统非平衡统计动力学的理论研究”和重大项目“相分离与相变介导染色体蛋白质机器组装研究的新技术方法”等。

摘要:近年来, 人们在实验中发现了大量液液相分离现象, 它们在调控生物功能方面起着关键作用, 引起了广泛关注。生物相分离体系是典型的远离平衡的介观化学体系, 但目前研究主要集中在体外平衡态现象学观察, 而对实际生物体中各种非平衡因素影响下的相分离动力学、及其对生物功能的调控机制认识较少, 特别是理论研究比较缺乏。我们针对生物相分离以上特点, 发展出的一套从微观层次分子机制、到介观层次液滴成核生长、乃至宏观相行为与液滴动力学的多尺度理论研究框架[1], 并在不同尺度中加入非平衡因素的考虑。本报告将简要介绍该研究框架的几个应用实例。为理解热休克蛋白 HSF1 及其重要突变体的相行为, 我们用平均场方法从溶剂熵角度揭示了 HSF 蛋白最低临界共溶温度 (LCST) 相行为的分子机制, 并发展核磁数据驱动的粗粒化力场模拟得到了突变体的相行为差异机制[2]。我们探究了活性物质的存在对生物相分离行为的影响, 发现非平衡因素的加入可以改变系统相转变的边界, 进而导致液滴形貌翻转的有趣现象[3]。另外, 我们还采用相场模型, 与实验合作探索了相分离驱动染色体区室化的机制[4]。

参考文献

- [1] Li, L., **Hou, Z***. “Theoretical modelling of liquid–liquid phase separation: from particle-based to field-based simulation. *Biophys. Rep.* **2022**, 8(2), 55–67.
- [2] Ren Q, Li L, Liu L, Yao X, **Hou Z***, Xiang S*. The molecular mechanism of temperature-dependent phase separation of heat shock factor 1. *Nature Chemical Biology*, **2025**, 21, 831-842.
- [3] Jiang X, **Hou Z***. Activity-Induced Droplet Inversion in Multicomponent Liquid–Liquid Phase Separation. *Journal of Chemical Theory and Computation*, **2025**, 21(7), 3745-3751.
- [4] Wang Y, Jiang X, Gao X, Yao X, Hou Z, Liu D. Phase-driven repulsion ensures Aurora B centromere fidelity via epigenetic compartmentalization. *Molecular Cell (Submitted)*, 2025.



(邀请报告 G10)

类玻璃化弹性体的蠕变屈服理论



孟凡龙
研究员

孟凡龙，中国科学院理论物理研究所研究员，博士生导师。2010 年本科毕业于中国科学技术大学近代物理系，2015 年博士毕业于中国科学院理论物理研究所。2015 年-2019 年先后在剑桥大学、牛津大学、马普动力学和自组织研究所从事博士后研究。2019 年 12 月，孟凡龙加入中国科学院理论物理研究所任副研究员、研究员。孟凡龙目前主要从事软物质和统计物理方面的理论研究，包括经典软物质系统（例如高分子、液晶等）的统计物理理论，活性物质非平衡理论等。

摘要：类玻璃化弹性体（英文名：vitrimers）是 2011 年合成的一种新型高分子材料，通常在低温时表现和热固性材料类似（具备非常优秀的力学特性），在高温时可以通过键交换实现高分子网络拓扑结构的重塑（和热塑性材料类似）。我们通过构建针对键交换速率较低的种类玻璃化弹性体的连续型理论模型，研究了类玻璃化弹性体在施加固定大小应力场景中的蠕变屈服特性，发现类玻璃化弹性体可以在不同外部条件下实现应变变稠、应变变稀等流变学响应，给出了类玻璃化弹性体在小形变区和有限大小形变区的动力学响应相图。



(口头报告 G11)

基于邻居数定义状态数的格子系统构型熵及其应用



吴宥伸
副教授/博士

作者：吴宥伸 张胜利 张磊

作者单位：西安交通大学 物理学院 应用物理系

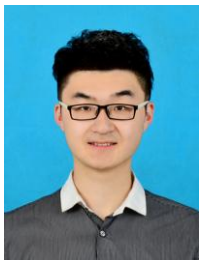
吴宥伸 博士，副教授，主要从事软物质物理学方向交叉领域研究，关注于荧光光谱分析技术在软物质材料结构特性和功能构效关系领域的应用。目前已在 *Advanced Materials*, *Advanced Science*, *Giant* 等期刊发表研究论文 50 余篇，申请获批国家发明专利 6 项。

摘要：本文提出了一种新颖的格子系统模型，其中每个元素的可能状态数由其最近邻居数定义，从而将格子的局部连接特性直接映射到构型自由度。我们系统研究了 N 个元素在一维线性链、二维近正方形网格和三维立方体格子中的构型熵，并结合对称性修正消除重复构型的影响。基于玻尔兹曼熵公式 $S = k_B \ln W$ ，我们计算了 $N = 1$ 至 $N = 125$ 范围内的微观状态总数 W 和相应的熵值，深入分析了对称性对状态数的修正效应。研究表明，三维立方体格子因其较高的邻居数而具有最高的构型熵，二维网格次之，一维链最低。对称性修正显著降低了系统熵值，对立方体结构的影响尤为显著。通过数值计算和对数状态数曲线分析，我们揭示了维度效应对构型无序度的深刻影响，为统计力学和相关领域提供了新的理论视角。将这一构型熵的概念应用解释六方冰表面融合与交联聚合物自修复现象，揭示了相应的物理机制。



(口头报告 G12)

物理机制与人工智能算法协同演进研究——以非晶网络泊松比调控为例



朱昌良
博士

朱昌良，香港中文大学物理学博士，师从徐磊教授。现为南方科技大学物理学博士后，合作导师为李保文院士。主要研究方向为复杂系统与机器学习，已以第一作者或共同第一作者身份发表 SCI 论文 7 篇，包括：Chem. Rev. 124, 4258 – 4331 (2024)、Appl. Phys. Rev. 11, 031401 (2024)、Adv. Sci. 2413805 (2025)、Small Struct. 2500201 (2025) 及 J. Appl. Phys. 135, 195103 (2024) 等。此外，主持国家自然科学基金理论物理专项和博士后

摘要：“AI for Science”已成为引领未来科研创新的重要方向。尽管现有研究中机器学习在材料、物理等领域已有诸多成功应用，但真正依托人工智能揭示深层物理机理，并以此反哺算法优化的系统化研究尚显不足。本文以非晶网络极端泊松比与其微观结构特征的关联为切入点，系统阐述了基于机器学习的方法如何助力发掘底层物理机制。研究表明，泊松比的本质由动力矩阵的低频振动模态所决定；基于此，我们将卷积神经网络的输入由传统的图像数据转向动力矩阵，大幅提升了对非晶网络泊松比的预测精度与效率。该案例不仅凸显了人工智能在揭示基础物理机理方面的独特价值，也展示了物理洞见对机器学习算法迭代升级的强大驱动力，从而构建了一条物理机制与 AI 算法互促共进的闭环研究路径。



(口头报告 G13)

异质冰成核中界面水的结构有序性的调控作用 ——来自分子动力学模拟的原子级洞察



黄雨婕
博士在读

黄雨婕，上海大学理学院化学系 2024 级博士研究生，师从王春雷研究员。主要采用分子动力学模拟方法，研究从固体表面到生物分子体系中界面水的无序—有序相变行为，及其在调控界面物理性质与生物分子功能中的作用。研究内容涵盖表界面润湿性调控、界面传热、冰的异质成核机制等方向，已发表 SCI 论文 2 篇。

摘要：

界面诱导的异质成核结冰广泛存在于自然与生命系统中，揭示其微观机制对于理解冰相变本质与调控冰形成行为具有重要意义。然而，界面水分子在成核过程中的动态行为及多层水结构的协同效应仍缺乏清晰认识。本研究通过全原子分子动力学模拟，系统探讨了从无机界面到生物界面中水的结构有序性与冰成核行为之间的关联。首先，基于 β -碘化银(1000)表面构建的模型体系中，我们调控表面电荷以影响界面水结构，发现第一层水形成的稳定六方氢键网络是诱导成核的基础，而决定结冰效率的是第二层水的结构有序性。我们发现其在界面水与体相水之间发挥“桥梁”作用，为预测成核能力提供了更可靠指标。其次，针对黄粉虫抗冻蛋白（TmAFP）的冰结合面

（IBS），我们首次捕捉到异质冰成核全过程的原子级动态过程，包括一维通道水、二维冰纳米层到三维晶核的逐步演化。研究表明 TmAFP 不仅通过空间位点的精确定位降低了成核自由能垒，还显著缩小了临界晶核尺寸。该研究揭示了抗冻蛋白可在特定温度范围内双向调控冰成核过程的 Janus 效应。两项研究从物理表面与生物分子界面两种典型体系出发，揭示了水结构有序性在异质冰成核中的核心作用，并为人工调控冰成核提供了理论依据。



(邀请报告 G14)

Chiral Active Matter

张何朋

上海交通大学

张何朋，上海交通大学特聘教授。2000 年本科毕业于复旦大学物理系，2004 年在美国纽约城市大学获得博士学位，之后到美国得克萨斯大学奥斯丁分校从事研究工作，2010 年加入上海交通大学自然科学研究院和物理与天文学院。关注软物质和生物物理系统中的多尺度、非平衡动力学问题；已在美国科学院院刊、物理评论快报等国际刊物发表论文四十余篇。工作获得基金委杰出青年、优秀青年和国家级重大工程人才项目的支持。

Active matter is a class of out-of-equilibrium systems composed of self-driven individuals, which are widely found across scales from the macroscopic to the microscopic. Typical examples include animal groups, cell tissues, micro-nano machines, and molecular motors. The individual components of these systems break detailed balance by consuming locally stored free energy to achieve self-propelled motion, and through interactions, they exhibit a rich variety of collective behaviors. In many active matter systems, the structure or motion of individuals exhibits chirality (i.e., mirror asymmetry), a feature that further extends the dynamic characteristics of active matter, enhancing the complexity of both individual and collective behaviors. This has thus attracted significant research interest. This talk will focus on a series of works from our research group on chiral active matter, including disordered hyperuniform states in chiral algal systems, chiral boundary flows in bacterial systems, and chiral emergence phenomena in non-reciprocal robotic systems. We reveal the out-of-equilibrium characteristics of these chiral dynamic phenomena from both theoretical and experimental perspectives, while also exploring the potential impacts and practical applications of chiral active matter in fields such as biology, mathematical modeling, and engineering.

(邀请报告 G15)

Information Swimmers



Shigeyuki Komura

Professor

Prof. Shigeyuki Komura is currently a PI at Wenzhou Institute, University of Chinese Academy of Sciences, Wenzhou (WIUCAS). With an emphasis on the relation to biological phenomena, he has conducted theoretical research to elucidate fluctuations, structures, and dynamics of biological soft matter (polymers, liquid crystals, colloids, bio-materials, etc.) from the viewpoint of material science. More detailed information can be seen at: <https://biosoft.sakura.ne.jp/>

摘要: Recently, much attention has been paid to active systems that utilize information instead of energy, i.e., informational active matter ^[1]. During the last decade, there have been many studies on information engines that use information to extract mechanical work. We first discuss the locomotion of a thermally driven elastic two-sphere microswimmer with internal feedback control that is realized by the position-dependent friction coefficients ^[2]. In our model, the two spheres are in equilibrium with independent heat baths having different temperatures, causing a heat flow between the two spheres. We generally show that the average velocity of the microswimmer is finite when the friction coefficients are position-dependent. Using the framework of stochastic thermodynamics, we obtain the entropy production rate and further discuss the efficiency of the thermal microswimmer. The proposed self-propulsion mechanism highlights the importance of information in active matter and can be a fundamental process in various biological systems.

Moreover, using an underdamped active Ornstein-Uhlenbeck particle, we propose two information swimmer models having either external or internal feedback control and perform their numerical simulations ^[3]. Depending on the velocity that is measured after every fixed time interval (measurement time), the friction coefficient is modified in the externally controlled model, whereas the persistence time for the activity is changed in the internally controlled one. In the steady state, both of these information swimmers acquire finite average velocities in the noisy environment, and the efficiency can be maximized by tuning the measurement time. The internally controlled swimmer is more relevant to biological systems and can generally achieve a larger average velocity and efficiency than the externally controlled model.

[1] B. VanSaders and V. Vitelli, arXiv:2302.07402

[2] J. Li, Z. Zhang, Z. Hou, Y. Hosaka, K. Yasuda, L. He, S. Komura, arXiv:2502.20752

[3] Z. Hou, Z. Zhang, J. Li, K. Yasuda, and S. Komura, EPL 150, 27001 (2025).

(口头报告 G16)

粘弹性溶液中的微纳马达集群是更为有序还是更混乱？



祁楷
副研究员

祁楷，现任中国科学院上海微系统与信息技术研究所 2020 前沿实验室独立 PI、课题组组长、博士生导师，青年研究员。于美国佐治亚大学获得博士学位，并在德国于利希研究所和瑞士洛桑联邦理工学院从事博士后研究。长期从事软物质模拟研究，包括活性物质、高分子聚合物相变等。截至目前，主持了 JWKJW 探索性项目和国家自然科学基金青年项目，已在 *Phys.Rev.Lett.*, *Nat.Comm.*, *Adv.Func.Mater.*, *Commun. Phys.* 等国际知名期刊发表论文 19 篇。入选上海市海外高层次人才计划（青年）、上海科技青年 35 人引领计划（提名奖）。

摘要：在跨越生物群体（鸟群、菌落）至亚细胞结构（细胞器运输）的多尺度系统中，活性粒子集体运动普遍存在。微生物所处的复杂流体环境通常由高分子溶液或胶体体系构成，这类复杂流体具有粘弹性，其弹性效应显著影响微生物动力学行为。现有研究聚焦于单粒子在粘弹性流体中的推进机制，而对聚合物动态形变调控集体游泳行为的机理仍存在认知缺口。该研究通过格子玻尔兹曼流体动力学模拟，系统探究了粘弹性介质中 *squirmer* 群体的协同演化规律。基于极化强度的定量分析表明：当马达体积分数 $\phi_s=0.15$ 时，聚合物会显著增强体系的有序性——中性泳体极化度达无聚合物体系的 26 倍，拉动体提升 5 倍。通过建立包含团簇分布、回转半径及结构各向异性参数的多尺度表征体系，该研究首次揭示微纳马达-聚合物的协同反馈机制：微纳马达运动诱导聚合物拉伸形变，使聚合物链沿游泳方向定向排列，该形变反作用于马达流场并强化马达取向一致性，形成自增强的极化放大效应。为了定量阐明这一机制，我们创新性地引入表征马达运动与聚合物形变耦合强度的对齐参数，从而建立了活性粒子与复杂流体相互作用的定量表征框架。本研究为理解活性物质在复杂流体环境中的集体运动提供了理论基础，并为利用聚合物介导的流体动力学相互作用调控活性系统提供了新策略。



(口头报告 G17)

活性玻璃在临界条件的囚禁效应与涨落特征



郑铭媛
博士

报告人 2023 年获得杜克大学博士学位，2018 年获得复旦大学学士学位，现为香港科技大学（广州）先进材料学域博士后研究员。研究方向包括 Monte Carlo 方法的开发与应用、微相结构的性质模拟、活性物质的自组装与相变行为、机器学习力场的构建与应用等。作为第一作者在 Phys. Rev. Lett.、J. Chem. Phys. 等杂志发表多篇 SCI 论文。

摘要：活性物质模型例如自驱动粒子系统引起了研究者的广泛兴趣，它们能够描述复杂的生物聚集（自组装）现象与相变行为，但其非平衡性质使得从第一性原理出发的理论描述仍面临挑战。特别是在高密度条件下，活性物质的动力学迟滞行为与传统玻璃态的形成机制之间的异同尚不明确。本文系统地研究了一种典型的活性布朗粒子-随机洛伦兹气体模型（Active Brownian Particle - Random Lorentz Gas, ABP-RLG），通过数值模拟分析其在不同空间维度（从二维到十二维）下的动力学特征。结果表明，相比于随机运动的普通布朗粒子，活性运动显著改变了囚禁结构，促使粒子倾向于探索更低维的囚禁几何结构，从而提升其逃逸能力，并引发独特的临界涨落行为。这些现象与传统液体玻璃形成机制存在本质区别，表现在非高斯参数的短时峰值上，揭示出活性系统中新的动力学标志。研究结果指出，活性不仅提升了有效扩散能力，还改变了动力学阻滞的本质机制，为理解活性玻璃态和非平衡系统中的临界行为提供了新思路。



(邀请报告 G18)

两维活液晶系统的湍流



韦齐和
教授

韦齐和，南方科技大学教授，博士生导师，德国洪堡学者和美国国家科学基金会 CAREER 奖获得者、国际光学工程学会 SPIE 会士。长期从事软物质物理、纳米制造、微纳光学、仿生等交叉学科研究，在多个领域做出原创性的贡献，包括单通道扩散、低对称粒子的布朗运动、超掩模板分子取向光刻技术，铁电液晶畴壁的拓扑结构、双展曲反铁电液晶等。

摘要：活液晶是一种独特的远非平衡体系，由溶致液晶和在其中游动的细菌构成。本研究深入探讨了限制在准二维薄膜中的活液晶的湍流运动行为，其中薄膜边界对液晶形成了平面锚定。我们观察到了一系列有趣的现象，包括：细菌速度呈现指数概率分布，活性湍流与介质的长程取向有序之间存在耦合，拓扑缺陷的产生和湮灭会随着细菌浓度的变化而发生。通过理论和数值计算，我们进一步讨论这些观察结果背后的物理机制。

(邀请报告 G19)

胶体晶体中的界面运动与熔化



香港科技大学物理系（2007-至今）。研究领域：胶体，颗粒物质，统计物理。

韩一龙
教授

摘要：我们研究热敏微胶小球组成的胶体多晶内部的界面的三方面行为。

（1）晶界预熔化^[1]。与通常研究的晶体表面上的晶界的预熔化不同，晶体内部的晶界预熔化难以在原子系统中观测，而在胶体系统中是否存在晶界预熔化还有争议。我们澄清了晶界预熔化的存在，并首次测量了预熔化的液体层厚度随体积分数的变化，呈对数发散。发现以往模拟样品都只包含单一晶角无法正确反映预熔化，因为不同角度的晶界会互相影响。预熔化的起始与结束的体积分数随晶界角变化可由我们的模型给出拟合。硬球模拟显示预熔化起始与结束的局部体积分数恰好等于硬球相图中的熔点与结晶点。（2）发现周期震荡剪切改变四方晶格到三角晶格固固相变的动力学路径，子相晶格生长前沿为一层液体，首次实验证实了理论预言的准熔化。并给出另一种更适合非平衡态下的解释^[2]。（3）剪切场下的晶畴长大行为^[3]。初期晶畴平均直径呈幂函数增长，符合正常生长行为。中期因为积压的应力造成生长停滞，后期晶畴快速增长，呈现异常增长行为，因为晶格取向与应力场方向差异大的晶畴被积压的应力所熔化，并迅速延着外场重结晶，这给出了多晶异常增长行为的一个微观过程描述。另外，首次在单粒子尺度上验证了晶界剪切耦合理论，晶畴旋转时位错运动等微观动力学过程。

[1] Grain boundary premelting in colloidal polycrystals, W. Li, Z. Xu, T. Still, A. G. Yodh and Y. Han, submitted.

[2] Nucleation kinetics and virtual melting in shear-induced structural transitions, W. Li, Y. Peng, T. Still, A. G. Yodh, and Y. Han, Rep. Prog. Phys. 88 010501 (2025)

[3] Shear-assisted grain coarsening in colloidal polycrystals, W. Li, Y. Peng, Y. Zhang, T. Still, A.G. Yodh, and Y. Han, PNAS, 117, 24055 (2020)

(口头报告 G20)

活性粒子的逃逸问题



赵永峰
副教授

赵永峰副教授 2012 年本科毕业于北京大学物理学院，2016 年博士毕业于香港大学物理系，之后分别赴法国巴黎第七大学与上海交通大学做博士后研究，现任职于苏州大学物理科学与技术学院。主要研究兴趣集中在活性物质理论与相关的生物物理问题。

摘要：活性自驱动粒子从势阱或受限环境中的逃逸关系着众多生命现象，但其逃逸时间缺少一般性的理论理解。本报告将介绍自驱动粒子从势阱中逃逸问题的理论进展。首先，本报告将介绍活性粒子受热噪声驱动从势阱中逃逸速率的一般解。我们给出了热噪声强度趋于 0 极限下的精确解。在一维空间中，逃逸速率相当于粒子从有效势阱中逃逸的 Kramers 解，但有效势阱由活性粒子的速度与势阱整体形状决定，使得活性粒子可产生反常的逃逸现象。其次，本报告将介绍如何构造广义的 Fick-Jacobs 方程以计算活性粒子从宽度可变的管道中的逃逸速率。

- [1] Eric Woillez, Yongfeng Zhao, Yariv Kafri, Vivien Lecomte, Julien Tailleur, “Activated escape of a self-propelled particle from a metastable state”, Phys. Rev. Lett. 122, 258001 (2019).
- [2] Yongfeng Zhao, “Active particles in a tube: A generalized entropy potential approach”, Phys. Rev. Research 7, 013015 (2025).



(口头报告 G21)

活性上皮单层弛豫与异质环境活性粒子扩散的微观机制



李梦源
理学学士
(博士在读)

北京理工大学大学计算物理专业博士研究生，研究方向为活性体系的玻璃动力学理论模拟。

E-mail: mengyuanli@bit.edu.cn

学术成果:

- [1] M. Y. Li and Y. W. Li, Phys. Rev. Res., 2024, 6(3), 033209.
- [2] M. Y. Li, N. Zheng and Y. W. Li, Phys. Rev. E, 2025, 111(3-2), 035412.

摘要: 活性物质可以从环境中获取能量实现自驱动，表现出集体运动、自组织等丰富的动力学行为。本报告聚焦活性细胞体系弛豫动力学及单个活性粒子在复杂受限环境中的扩散动力学。

1. 二维活性细胞的弛豫动力学：上皮细胞在间质-上皮可逆转化过程中可表现出动力学变慢，该现象与伤口愈合、癌症侵袭等生物过程直接相关。我们揭示了细胞活性对集体动力学和玻璃化行为的决定性作用。低活性下观察到常规过冷弛豫，而高活性体系表现为独特的间歇动力学行为。此间歇动力学与 T1 转变间歇发生密切相关。通过系统深入的模拟研究，我们建立了决定系统弛豫的定量关系，即，弛豫时间依赖于不可逆 T1 转变速率与由速度关联函数决定的协同运动关联长度，该关系在大活性范围内普适。

2. 单个活性粒子在刚/柔环二组分体系中的扩散：活性物质在复杂环境中的扩散对理解药物输运、细菌迁移等过程至关重要。我们采用分子动力学模拟研究了具有不同活性的单个活性布朗粒子在刚/柔性环组成的混合体系中的动力学，分析其长时扩散行为和微观运动特征。结果表明，活性粒子的扩散系数随着刚性环比例的增加呈现非单调变化。通过进一步定义捕获时间，即粒子被近邻环限制的时间间隔，发现捕获时间与扩散系数的变化存在明确相关性，表明活性粒子的长时扩散受限于短时局域约束。我们进一步给出从粒子活性预测非单调转变点的理论，理论结果与数值模拟符合良好。



(邀请报告 G22)

Bacterial swimming motility near solid surfaces



袁军华
教授

袁军华，现任中国科学技术大学物理学院及合肥微尺度物质科学国家研究中心教授。在中国科大获物理学学士学位，在加州理工学院获物理博士学位，之后到哈佛大学分子与细胞生物学系从事研究工作。2012 年加入中国科大。研究兴趣集中于物理与生物学的交叉研究，结合各种先进光学技术及统计物理模型，研究微生物运动。近年来在单分子、单马达、单细胞、细胞群体等多尺度上，关注微生物运动行为及信号转导。

摘要： Solid surfaces serve as platforms for bacteria to form biofilms, which constitute the primary mode of bacterial growth in nature and enhance their resilience to environmental challenges. In our recent work on bacterial surface swimming, we have developed new methods to examine the behavior of bacteria as they swim along these surfaces. We focused on understanding how bacteria optimize tumble bias to strategically navigate surface constraints.



(邀请报告 G23)

Surface Tension Between Coexisting Phases of Active Brownian Particles



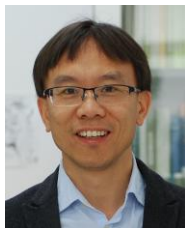
杨明成
研究员

中国科学院物理研究所研究员，中国科学院大学岗位教授；2003 年毕业于上海交通大学物理系，获理学学士学位；2008 年获该校理论物理博士学位；2009–2013 年在德国于利希研究中心从事博士后工作。研究领域为胶体软物质、活性物质等；研究工作获国家杰出青年科学基金等项目的支持。

摘要： Surface tension plays a pivotal role in interfacial phenomena and typically exhibits a positive value for interfaces of stable phase-separated systems. However, for motility-induced phase separation (MIPS) of active Brownian particles, the active surface tension, determined through active pressure, is surprisingly negative. This counterintuitive active surface tension has caused considerable debate over its interpretation and proper formulation. To address this challenge, we derive the active surface tension from its mechanical definition based on the conventional intrinsic pressure framework. The derived expression yields a markedly positive surface tension for the MIPS, aligning with direct mechanical stability analysis of active interfaces. Our findings significantly advance the understanding of active surface tension and pave the way for exploring complex active interfacial phenomena.

(邀请报告 G24)

Flowing Nematic Order Regulates orientation dynamics of swimming bacteria



经光银
教授

西北大学物理学院教授，2002 年本科毕业于中山大学物理系，2007 年博士毕业于北京大学物理学院，曾在法国巴黎 ESPCI、巴黎十一大完成博士后训练，于 2009 年在西安西北大学物理学院工作，主要研究兴趣包括活性物质、细菌游动与集群行为及其在生物医学中的应用。

摘要: Microswimmers such as motile bacteria constantly interact with flow fields and boundaries, dynamically adjusting their orientation to navigate through complex environments. Among the various mechanisms influencing their motion, hydrodynamic trapping near surfaces is particularly robust and widespread, posing a major challenge for controlling bacterial accumulation and biofilm formation. In this talk, I will present our recent discovery of a novel regulation mechanism in which dilute suspensions of actin filaments spontaneously form nematic alignment under shear flow and actively modulate bacterial distribution. These aligned filaments exert orientational torques on nearby swimming bacteria, effectively suppressing flagella-induced chiral drift and redirecting them away from surfaces toward the central region of the flow. Comparative experiments across multiple bacterial species and complex fluid systems highlight the unique capacity of actin filaments to detach bacteria from surfaces and enhance their accumulation in the bulk. By incorporating both shear-induced alignment torque and intrinsic chiral drift into a unified theoretical framework, we elucidate the orientational dynamics that govern bacterial spatial organization under flow. These findings provide new insights into microswimmer–fluid–structure interactions and suggest a promising strategy for using filament-like additives to suppress surface colonization, inhibit biofilm formation, and mitigate bacterial infections.



(口头报告 G25)

手性活性粒子的非平衡动力学

王庭

副教授

王庭，男，博士，云南大学副教授，硕士生导师。研究方向：活性物质和非平衡统计物理。主要研究活性粒子系统的压强，流变等非平衡统计热力学性质。

摘要：我们基于 3D 打印技术设计了电机驱动的活性粒子，发现其单体动力学行为可用经典的手性活性布朗粒子（ABP）模型很好地描述[1]。进一步，我们提出了一个极简模型，该模型不仅重现了实验观测的双峰速度分布，还预测了短时间尺度内位移分布从单峰向双峰的转变。这一转变源于活性运动与热扩散的竞争机制，实验结果验证了这一物理图像。此外，在受限条件下的多粒子模拟与实验中，我们观察到密度场、极化场和压强等有趣的非平衡动力学特征。

[1] Experimental modeling of chiral active robots and a minimal model of non-Gaussian displacements, Yuxuan Zhou, Maomao Ge, and Ting Wang, Phys. Rev. E 111.015404, 2025



(邀请报告 G26)

Anomalous Gas-Liquid Criticality in Hyperuniform Spinner



雷群利
副教授
南京大学

雷群利，南京大学物理学院准聘副教授、研究员，博士生导师。2011 年获南京大学物理学学士学位，2016 年获南京大学理论物理学博士学位，之后在新加坡南洋理工大学从事博士后研究工作。2021 年入选国家海外高层次人才项目。主要从事软凝聚态物理和统计物理方面的研究，具体包括：无序超均匀态、活性物质、动力学相变和临界现象、软力学超材料、自组装光子/声子晶体、高分子和生物物理等。目前已在包括 Sci. Adv., PNAS, Phys. Rev. Letts., Adv. Mater., ACS Nano 等在内的国际一流学术期刊上发表论文 20 余篇。

摘要： In statistical physics, a well-accepted knowledge is that liquid-gas (LG) phase transition with diverging critical fluctuations lies in the same universality class of Ising model. Yet, whether non-equilibrium effect alone can alter this conclusion remains an open question. We address this question by studying the LG criticality of a hyperuniform fluid composed of active spinners, where phase separation is induced by dissipative collisions. Strikingly, at the critical point, the hyperuniform fluid exhibits normal Gaussian density fluctuations instead of the diverging fluctuations. Through hydrodynamic field theory and renormalization-group analysis, we demonstrate that hyperuniformity reduces the upper critical dimension from ($d_c = 4$) (classical fluids) to ($d_c = 2$) due to an emerging long-range correlation induced by center-of-mass conservation in the system. Large-scale stochastic field simulations confirm this dimensional reduction and reveal anomalous finite-size scaling in critical density fluctuation, energy fluctuation, and Binder cumulant. Furthermore, hyperuniform fluid also exhibits non-classical spinodal decomposition dynamics with diverging decomposition time but non-diverging decomposition length scale. Our results provide an exception to the classical paradigms of LG critical phenomena and highlight how non-equilibrium effect can reshape both static and dynamic universality classes.



(邀请报告 G27)

Emergent Order in Living Active Matter

徐浩然

浙江大学物理高等研究院

徐浩然，浙江大学物理高等研究院百人计划研究员，博士生导师。2015 年本科毕业于中国科学技术大学物理学专业，2020 年博士毕业于香港中文大学物理专业，导师吴艺林。2020 至 2024 在于香港中文大学从事博士后研究工作，2024 年 6 月入职浙江大学物理高等研究院。徐浩然长期致力于生物物理和非平衡统计物理的前沿交叉研究专注于生命系统在时间和空间上的集群运动和自组织行为。具体方向涉及生命活性系统的自组织和非线性斑图，生命活性固体和液晶的自主运动，微生物群体中的机械/化学信号传递，以及活性物质集体行为数值模拟。近年来，唯一以第一作者在国际权威期刊 *Nature*, *Nat. Phys.*

摘要： Life developed in an environment that was driven far from equilibrium, often referred to as a non-equilibrium dissipative system. In such systems, energy and/or mass constantly enter and leave the system, which drives the spontaneous generation of ordered structures and patterns. Self-organization is a characteristic feature of living systems and is evident in biological systems ranging from sub-cellular components to multicellular organisms. Our objective is to deepen the understanding of living active matter self-organization by employing motile bacteria as a model system.

In this presentation, I will highlight several captivating instances of ordering observed in living active systems, which emerge solely from physical interactions. Additionally, I will explore the potential advantages that microbial communities can gain from these ordering mechanisms. The insights obtained from these investigations hold significance for non-equilibrium physics, microbial physiology, and the field of active matter engineering.



(邀请报告 H01)

弱相互作用下蛋白质凝聚体形成动力学



任春来：南京大学物理学院教授，博士生导师。2001 年，宁波大学获得学士学位。2006 年，南京大学获得博士学位。博士论文获得国家优秀博士论文提名。2006 年，留于南京大学物理系任教。2007-2009 年，分别在美国普度大学和美国西北大学从事博士后工作。2009 年晋升为南京大学物理系副教授，2023 年晋升为教授。目前已在 *Science Advances*, *J. Am. Chem. Soc.* 等国内外一流学术期刊上发表论文 40 余篇，并担任多个权威杂志独立审稿人。先后主持包括重点研发计划项目(子课题)、自然科学基金面上项目、自然科学基金青年项目等多项科研项目。

摘要：最新研究揭示，蛋白质体系的液液相分离过程呈现出非经典成核特征，包括：成核前出现的亚稳态非均匀小团簇、多步骤的成核路径、核生长停滞现象，以及凝聚体内蛋白质分子保持超快动力学等复杂行为。这些发现促使我们深入思考：如何修正经典成核理论以准确刻画蛋白质体系的相变？如何理解蛋白质凝聚体内分子的超快动力学？这种快速运动如何与凝聚体的宏观稳定性相协调？针对这些问题，我们利用粗粒化分子动力学模拟和元动力学方法相结合，系统研究了 FUS 蛋白的相变过程。我们证实实验中观察到的不均匀小团簇具有毫秒量级特征寿命（与蛋白质链扩散的时间尺度相当），而凝聚体内部蛋白构象变化（主要由可逆成键断键驱动）则发生在更快的百纳秒量级时间尺度。这种时间尺度上的差异导致存在一些聚集数比较大的核，可能因局部发生断键而并未及时找到临近的链成键时，造成核的解离。通过对成核势垒的计算，我们发现了具有显著平台特征的新势垒曲线，该平台区域对应于聚集数较大但又不稳定的核态。我们的发现不仅提出了修正的蛋白质相变成核物理图像，同时为理解凝聚体内蛋白质分子的超快动力学与宏观稳定性之间的协调机制提供了新的解释。



(邀请报告 H02)

单链大分子的构象调控理论

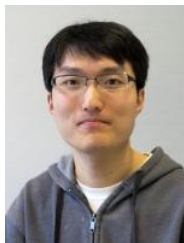


徐玉赐，宁波大学教授，博士生导师。主要研究方向为高分子凝聚态物理，包括高分子单链构象转变，高分子共混物的结构与性能及生物体系相分离等。在国外主流期刊 *Macromolecules*, *Science Advances*, *Nanoscale* 等杂志上发表多篇高水平论文，主持多项国家自然科学基金项目，多次应邀在国内外学术会议上做相关学术报告。

摘要：经典的 Flory-Huggins 理论被广泛应用到液液相分离体系，然后该理论并没有包含单链的信息，而高分子单链构象是整个高分子科学的核心，几乎所有高分子材料的物理性质都是链构象的体现，并且蛋白质折叠本身就是一个很重要的问题。因此传统的相变理论在描述一些具有特定结构或序列的高分子及生物大分子体系存在一些问题。解决这个问题的核心是需要发展一套基于单链的相变理论。课题组通过耦合固定质心的自洽场理论，将高分子单链信息融合到相变理论，发展了一套基于单链的相变理论。解决了平均场理论下考虑局部浓度涨落的难题；阐明了高分子溶剂中的单链转变机制，揭示了转变点普适的链长依赖关系；进一步研究了单链-单链融合引起的相变问题，提出了在稀溶液下平均场理论有效性的新判据，阐明了单链构象转变与相转变之间的关系，并揭示了复杂实验现象背后的物理机制。

(口头报告 H03)

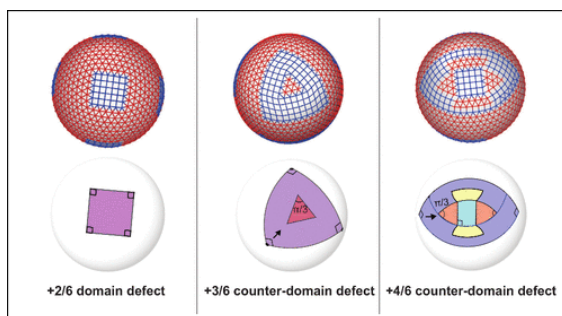
Novel Topological Defects Emerging from Competing Orders under Geometric Frustration



李峤
副教授

2009 年于上海交通大学获得应用物理学学士学位，2014 年于清华大学物理系获得理论物理博士学位，期间 2013-2014 年在加拿大滑铁卢大学访问研究。随后在 AMOLF 和代尔夫特理工大学从事博士后研究工作，2021 年加入南开大学物理学院任副教授。长期从事软物质统计物理理论和模拟研究工作，研究兴趣包括微分几何下的统计物理：生物膜弹性和动力学、胶体、高分子、蛋白核酸等生物分子的组装和动力学等。

摘要： Topological defects are fundamental concepts in theoretical physics, widely interested by fields from cosmology to condensed matter. To tile the surface by triangular lattice cells alone, topological defects become inevitable due to geometric frustration. The theory is well developed by Casper-Klug inspired by viruses. However, to tile the spherical surface by both types of lattice cells, the answer was wide open. We have discovered surprising novel types of topological defects, including enclaved and counter-enclaved domain defects, which possess unexpected topological intensities. We will also discuss the new global symmetries arising from the newly found topological defects. Our study unlocks new avenues for understanding numerous challenges in physics, nanoscience, and related biological physics.



- [1] H. Xie, W. Liu, Z. Lu, J. Z. Y. Chen, and Y. Li, Competing Hexagonal and Square Lattices on a Spherical Surface, Nano Lett. 25, 1193 (2025).
- [2] H. Xie, Y. Li, and J. Z. Y. Chen, Filling Spherical Surfaces by Mixed Triangle and Square Tiles, Phys. Rev. E 111, 045408 (2025).

(口头报告 H04)

竖直振动圆筒内密度驱动二元颗粒混合与分离相变的研究

黄德财

南京理工大学物理学院应用物理系 南京 210094

Email: hdc@njjust.edu.cn 15951864599



黄德财，男，副教授，博导，南京理工大学应用物理系，研究方向为软物质物理。研究内容包括：（1）功能材料和器件：包括微纳米颗粒的自组装动力学及其物理。

（2）颗粒流体相变物理：包括颗粒流体力学，多元颗粒体系相变动力学，颗粒力学和结构动力学研究。（3）非线性声学：包括声超材料设计与物性，离散介质中的非线性声学物理。

学物理。

颗粒物质在自然界广泛存在，具有宏观尺寸、离散态和耗散性等内禀属性，传统的热力学和流体力学理论不能适用。本文通过实验和计算机模拟系统研究了竖直振动圆筒内密度驱动二元颗粒混合与分离相变特性。结果发现，在当填充分数由小逐渐增大时，竖直振动圆筒中的颗粒体系呈现出四种不同的稳定分离状态：（1）巴西果效应分离状态，轻颗粒在轻重颗粒在下；（2）对称双对流分离状态，重颗粒在对流中心，轻颗粒在外围，左侧顺时针、右侧逆时针；（3）饺子型分离状态，重颗粒在对流中心，轻颗粒在外围；（4）对称双对流分离状态，重颗粒在对流中心，轻颗粒在外围，左侧逆时针、右侧顺时针。理论分析表明，低填充分数条件下浮力效应主导，巴西果效应显著；中等填充分数时，对流效应增强，圆筒容器右半区形成逆顺针对流卷；高填充分数阶段浮力与对流效应相互竞争导致对流停止；在较高填充分数条件下，对流效应重新占据主导，但是，圆筒容器右半区对流方向转变为顺时针。

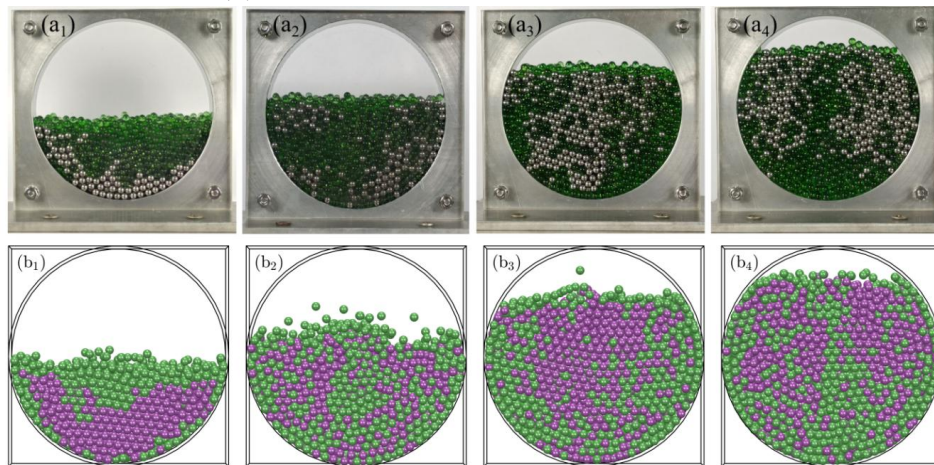


图 1 实验和模拟快照图。对应填充分数为： $\Phi = 0.48, 0.73, 0.87$, 和 0.95 。

基金项目：国家自然科学基金(11574153)和工信部特色理科专项基金(TSXX2022D007)。

参考文献：

- [1] Yufei Shao, Anghao Li, Zaizheng Wang, Min Sun, Decai Huang*, Resonance-induced acceleration of the RBNE-BNE segregation inversion, *AIChE Journal*, 69:e18101-12(2023). <https://doi.org/10.1002/aic.18101>
- [2] Anghao Li, Zaizheng Wang, Haoyu Shi, Min Sun, and Decai Huang*, Density-driven segregation of binary granular mixtures in a vertically vibrating drum: the role of filling fraction, (Online) (2025). <https://doi.org/10.1088/1674-1056/adc070>



(邀请报告 H05)

机器学习赋能水溶液研究



孙兆茹
研究员/博士

孙兆茹，上海科技大学物质科学与技术学院助理教授，山东大学物理学学士，北京大学凝聚态物理博士。2014 年至 2018 年在美国天普大学从事博士后研究工作。2018 年 9 月作为独立 PI 入职上海科技大学，其课题组主要从事溶液、非晶、冰结合蛋白等体系的理论计算研究。先后承担或参与完成国家自然科学基金委重大研究计划、国家自然科学基金、上海市启明星计划等项目，获得上海市青年东方学者、东方英才等荣誉称号。

摘要：自捷克科学家 Hoffmeister 提出离子的 Hoffmeister 序列以来，关于溶液中离子特异性及离子协同效应的研究已持续百余年。溶液中的离子在生理盐水、电解液等体系中发挥关键作用，而界面水在催化、能源与环境等领域亦至关重要。精确模拟水、溶液及界面系统不仅要求第一性原理级别的计算精度，同时需兼顾计算效率，以准确刻画电子结构和长程相互作用。本报告将介绍课题组在 MgCl_2 溶液、碳酸解离及界面诱导的受限水超快传输等方面的工作，我们结合第一性原理方法与机器学习方法实现了第一性原理精度的纳秒级分子动力学模拟，在离子中长程效应、氢键拓扑网络、电子结构等方面获取了新的认知。

参考文献

- [1] Li, Weiyu; Sun, Zhaoru. *J. Chem. Phys. Lett.* 2025, **16**: 503.
- [2] Pu, Weiwen; Sun, Zhaoru. *Comm. Phys.* 2025, **8**:167.
- [3] Zhao, Yueqi; Sun, Zhaoru. *Sci. Adv.* 2025, **11**:eadu6525.



(邀请报告 H06)

水冰的新奇结构与性质



黄盈盈
副教授/博士

黄盈盈，女，2018 年毕业于大连理工大学，获凝聚态物理专业理学博士学位，师从赵纪军教授（长江学者、国家万人计划领军人才）。毕业后，加入方海平教授（国家杰出青年基金获得者）团队，先后在上海应用物理研究所、上海高等研究院、华东理工大学从事科学研究工作。本人长期从事新奇结构与物性的研究，在新颖的水冰结构和具有反常化学计量比的二维晶体结构等方面取得系列研究成果。

摘要：水不仅是地球上最常见的物质，而且在彗星、小行星的原始天体以及木星、土星、天王星和海王星的巨行星及其卫星上也广泛存在。水分子之间存在强度和键角可调的氢键，因此水呈现出极其丰富的相图。目前，实验室中已经发现的不同温度和压强条件下的冰相多于 20 种。我们通过分子动力学和第一性原理的计算模拟发现：室温下，在高压和高电场强度的条件下，液态水可以自发形成一种高密度的新型铁电冰晶体——“冰 χ 相”；自由能计算表明，在水相图上的一个高压低温区，冰 χ 相是最稳定的结构，其作为被漏掉的相填补了水相图的高压区域；电滞回线的结果表明其具有铁电性质，从而证实了铁电冰相的存在，解决了长期以来对铁电冰是否存在的争议。基于沸石结构库中所有的沸石相的骨架结构，将其四面体骨架原子替换为水分子，然后通过第一性原理计算和分子动力学模拟的方法，筛选出了热力学稳定的负压冰相 EMT，并重新绘制了水在负压下的相图；这个多孔冰的质量密度为 0.5 g/cm^3 ，大约是常见冰相 Ih 密度的一半，是迄今为止密度最低的冰相；其储氢量超过已知最优氢气水合物的两倍，为清洁能源的利用提供新途径。此外，基于常见金属氧化物的拓扑结构，理论预言高压冰 $\text{NaO}_2\text{-Pa3}$ 相，它是超高压下的亚稳相，其独特的金属性源于相邻氧原子之间的轨道耦合，为巨行星内部磁场起源的研究提供了新视角。



(邀请报告 H07)

二元溶剂气-液相变中的热力学-动力学耦合研究



汤启云
教授

汤启云，东南大学物理学院教授，博导。2006 年本科毕业于南京大学理论物理学，2011 年在南京大学获理学博士学位，导师马余强院士。随后在中、美、德等国从事博士后工作。研究兴趣围绕软物质在界面附近非平衡过程展开，主要关注蒸发、吸附、结晶、老化等物理过程。在 *Phys. Rev. Lett.*, *Nat. Communications* 等期刊发表论文三十余篇。

摘要：不同于单组分溶剂，二元溶剂丰富的热力学行为提供多样化的参数空间，其气-液相变过程譬如蒸发被广泛用来调控软物质纳米结构。然而，传统蒸发诱导自组装主要研究液相的动力学，忽略了气相热力学的影响。我们构建二元溶剂热力学与动力学耦合理论框架，计算发现这种耦合会导致二元溶剂蒸发过程中出现液体反常膨胀，并且蒸发过程中液相压强降低可诱导液体进入不稳定区，自发相分离形成气泡，该发现与实验观察吻合。此外，我们将能量输运方程与物质输运方程结合，理论上预测局部加热会导致界面蒸发动力学减缓，从而挑战了加热加速蒸发这一常识。这种反直觉现象可归因于二元溶剂热力学的温度依赖性所决定的反常冷-热物质输运过程。相关研究表明二元溶剂复杂热力学-动力学耦合可产生丰富的相变动力学行为，不仅加深我们对于能量-动力学关系的理解，还可促进气-液相变在废水处理、化学蒸馏和干旱预防等领域的应用。



(口头报告 H08)

Directly simulate crystallization of all-atom water at kinetic limits



吴凯

中级职称/博士

2015 年获得西南交通大学学士学位，2021 年获得浙江大学博士学位，现为中国科学院大学特别研究助理。主要从事软物质建模研究及加速模拟算法开发，目前已在 Science Advances、JCP 等期刊发表 SCI 论文 6 篇，参与多项国家级科研课题。

摘要： The freezing of water governs critical processes in climate science, cryopreservation, and materials design. However, atomic-scale insights into ice nucleation have remained elusive due to the prohibitive computational cost of all-atom molecular dynamics (MD) simulations, hindering understandings and predictions of crystallization across disciplines. Here, we resolve this long-standing challenge through a minimal refinement of intermolecular interactions in widely used all-atom empirical water models, calibrated by experimental chemical potential differences between supercooled water and ice. This approach accelerates nucleation rates by 6–10 orders of magnitude to match experimental values, enabling direct MD simulations of water crystallization on microsecond timescales in the “no man’s land” regime. Crucially, the refined model preserves water’s structural anomalies and quantitatively predicts crystallization kinetics involving the speed limit of freezing and the cooling-rate threshold of vitrification, complementing state-of-the-art experiments. These advances unlock atomic-scale insights into ice formation on graphene, protein surfaces, and in the vicinity of solutes—environments central to climate science and biotechnology that were previously inaccessible to atomic-scale computational studies. Our framework establishes a paradigm for refining computationally efficient models through targeted experimental constraints, achieving predictive accuracy in modeling complex molecular behavior.



(邀请报告 H09)

界面离子效应诱导的反常结晶及其相关应用



石国升
研究员/博士

石国升，上海大学环境与化学工程学院研究员、博导、上海市无机二维超材料原子级调控及应用重点实验室主任，主要研究领域集中在复杂离子溶液中生物分子和碳基结构的特性研究。在 *Science*、*Nature*、*Nat. Chem.*、*Phys. Rev. Lett.*、*Angew. Chem. Int. Ed.* 等国际权威学术期刊上发表高水平论文 100 多篇，获登记软件著作权和授权发明专利 10 多项，完成便携式单兵海水淡化装置，构建了水合离子- π 作用经典力场生成软件，开发出了全新材料“反晶”物质，研究成果颠覆了教科书里面的一些传统看法，其在水处理、药物分子设计、新材料开发、储能等方面展现了巨大的应用潜力。主持国家基金和科技部基金 4 项，主持中央军委专用技术/共用技术装备（2022）、中核“十四五”装备预研专用技术重点（2021）、上海市科委（2024）和企业等 20 多项。

摘要：盐溶液复杂系统中水合离子-表面相互作用诱导的界面离子结晶行为研究，对理解基本的自然现象和探究重要的生物过程都扮演着至关重要的作用。结晶最常见的统计物理问题之一，常温常压下只有在饱和浓度时离子才从溶液中析出有序结晶，日常生活中最常见的食盐（氯化钠）晶体，常温常压下氯化钠（ NaCl ）是唯一完全由钠和氯元素形成的晶体，其中钠氯离子比为 1:1。然而报告人及其合作者发现在热扰动帮助下，于不饱和盐溶液中，在石墨、石墨烯及金属等表面生成稳定的氯化二钠(Na_2Cl 钠氯元素比 2:1)、一氯化钙(CaCl)等具有反常化学计量比的全新二维晶体[Nat. Chem., 2018, 10, 776; Natl. Sci. Rev. 2021, 8, nwaa274; J. Colloid Interf. Sci. 2023, 648, 102]，这些反常化学计量比晶体表现出独特的物理、化学性质，如：金属性、室温铁磁性、异质结、类压电性和超过催化活性等；基于该原理制备的斗转氯化钠晶体以及 T-型反常多化学计量铁基立体框架催化剂，在微塑料降解、有机污染治理等方面表现出超高活性[Phys. Rev. Lett. 2025 in press; Nano Letters 2025, 25, 2334]。常温常压下反常化学计量比二维晶体稳定存在的发现，突破了传统教科书上对化学配比的认知，被 Nat. Chem. 以“超值二维晶体”为题进行报道，并被 2021 年 Nat. Rev. Mater. 在内的多篇不同领域的综述和进展报告以“原图摘录”的方式，作为近期重要进展引用报道。



(邀请报告 H10)

生物大分子界面作用及相分离研究



丁泓铭
教授/博士

苏州大学特聘教授，博士生导师，国家优秀青年基金获得者。2010 年、2015 年分别在南京大学物理学院取得学士和博士学位（导师：马余强院士），之后加入苏州大学软凝聚态物理及交叉研究中心工作。主要从事软凝聚态物理、生物物理和统计物理等领域的理论模拟研究，以第一作者/通讯作者（含共同）身份在 Nat. Commun.(3), Sci. Adv., PNAS, J. Am. Chem. Soc.(4), Angew. Chem. Int. Ed.(2), ACS Nano(4)等权威期刊发表论文 70 余篇，论文总引用超 3300 次（H-index 28）。

摘要：近年来，研究发现由生物大分子液液相分离而形成的无膜细胞器在信号传导、物质运输、免疫应答等细胞功能方面扮演了重要角色，而异常相分离（乃至相变）则是多种人类疾病如神经退行性疾病和癌症的可能病因。深入理解细胞内大分子驱动形成相分离的分子机理，建立能够解释和预测相分离现象的物理模型，并进一步能够精确调控蛋白质相分离是当前物理、生物、医学等交叉领域的重要难题。最近几年，我们从微观、介观到网络三个层次，深入探讨生物大分子的界面相互作用及相分离行为。在微观层次上，通过精确计算大分子结合自由能，揭示了生命过程中大分子相互作用的重要性，尤其关注了新冠病毒 RBD 与 ACE2 受体的结合机制。在介观层次上，通过跨尺度理论模拟方法研究了多个大分子相分离或自组装的行为，揭示了 ATP 对 FUS 蛋白相分离行为的双重影响机制。此外，通过复杂网络分析方法，深入研究了多组分大分子相分离的内部结构及各组分的重要性，并刻画了可能的相变行为。

(口头报告 H11)

界面水的分子功能性与调控



郭盼
讲师/博士

自 2009 年至 2020 年，于中国科学院上海应用物理研究所，在方海平教授和高崴研究员的指导下，从事表界面水性质和金属纳米团簇融合生长相关研究。2020 加入上海大学。长期从事复杂系统与统计物理领域水科学方面的研究，在分子动力学模拟以及机器学习等方面积累了丰富经验。研究成果发表于 *Phys. Rev. Lett.*、*J. Am. Chem. Soc.*、*Nat. Commun.*、*Phys. Rev. B*、*J. Chem. Phys.*、*Appl. Surf. Sci.* 等期刊。

水作为生命之源和诸多反应的介质，其分子行为在复杂界面体系中极为关键。本报告聚焦于界面水的结构、动力学及其对体系功能的调控作用，介绍我们在不同界面和纳米体系中针对水分子行为的最新研究进展。

我们基于分子动力学模拟揭示了水溶液中巯基羧酸修饰的金纳米颗粒（AuNPs）无需配体脱落的融合生长机制。对于配体覆盖不完全的 AuNPs，疏水效应调控配体层结构及融合过程。对于配体完全覆盖的 AuNPs，界面水的氢键行为调控颗粒的润湿性。进一步，结合经典与机器学习辅助的分子动力学模拟，我们发现极化效应能够显著增强水分子与金表面的相互作用，但同时加速了界面水分子的旋转动力学。紧邻铂表面的水层呈现独特的双层结构，强吸附层水分子表现出类冰的受限旋转与振动；而弱吸附层水分子则展现出类似气液界面的超扩散旋转。最后，采用从头算分子动力学模拟，我们定量揭示了氢键网络结构在平面水层与纳米液滴体系中如何调控气液界面水的反应性。纳米液滴界面水具微观不均匀性，倾向于形成供体-受体二聚体构型；平面水层的气液界面水则具有更均匀氢键网络。这种局域结构的差异导致平面水层的气液界面处反应自由能垒降低（1-2 kcal/mol），对应反应速率可提升一个数量级。

该报告从分子层面解析了水在多种复杂界面（纳米颗粒-水、金属-水、气-液）中的结构、动力学与反应性。揭示了界面水的功能（如调控融合、润湿性、反应活性）与其特定分子环境（疏水效应、氢键网络结构）密切相关。这些发现深化了对水分子界面行为的理解，为纳米材料设计、电化学界面优化、高效催化体系开发等领域实现水分子功能的精准调控提供了关键理论依据和创新策略。



(口头报告 H12)

界面水的反常反应活性



杨金荣
副教授/博士

本人长期致力于理论计算化学领域的研究，在第一性原理分子动力学模拟、纳米团簇、界面体系计算、机器学习以及化学反应动力学等多个方面，展现出良好的专业能力。至今，本人已在国际学术期刊上发表了 30 篇高质量的研究论文。研究成果以通讯作者或第一作者已在多个国际知名学术期刊上发表，包括 *Nat. Commun.*、*J. Am. Chem. Soc.*、*Angew. Chem. Int. Ed.*、*Energy Environ. Sci.*、*Matter* 等。

摘要：水在表界面处的催化反应对于新能源开发和环境保护等领域具有至关重要的作用。深入理解催化反应中材料界面水分子的结构、物性和分子机制，对于解决清洁能源、污水处理等关系国计民生的重大问题具有关键意义。然而，由于水的复杂性，分子和纳米尺度水在催化反应中的行为仍存在诸多未解之谜。界面水分子在催化反应中究竟作为反应物、催化剂、溶剂，还是兼具多重角色，一直是科学界争论的焦点。近年来，随着计算能力的快速提升，研究者已能够在原子尺度上对催化反应中界面水分子的行为进行理论模拟，这为解析水在催化反应中的作用提供了重要的理论基础。报告人将计算化学方法与统计物理理论交叉融合，围绕“表界面水如何介导催化反应”这一关键科学问题，以“揭示界面反应机理-阐释界面水动力学特性”为研究思路，系统开展了表界面水耦合动力学机制的研究，在气液界面和固液界面反应机理与优化设计方面取得了一系列创新成果。针对表界面水介导反应的核心问题，运用高精度量子化学方法和从头算分子动力学模拟，从分子层面揭示了气液界面水氢键网络作为电子传导路径加速界面反应动力学的微观机制；其次，针对动力学模拟中时间尺度与精度难以兼顾的困境，报告人将基于机器学习方法构建了具有从头算精度的神经网络固液界面势能面，首次发现了金属界面水的反常旋转超扩散动力学行为。



(口头报告 H13)

水界面有多厚？



黄刚
研究员

黄刚，博士，现任成都理工大学物理学院研究员。2008 年本科毕业于西华师范大学物理与电子信息学院，2011 年获得兰州大学理论物理硕士学位，2022 年在德国美因茨大学（Johannes Gutenberg University Mainz）获得物理学博士学位。2019 年至 2025 年在中国科学院理论物理研究所金瑜亮研究员课题组从事博士后研究，主要围绕软物质和人工智能系统中的复杂统计物理问题开展工作。研究兴趣包括非平衡统计物理、水界面分子结构与动力学、机器学习与神经网络的物理机制等方向。具体研究内容涵盖空气-水界面的和频散射（SFG）光谱理论建模、水界面氢键动力学、深度神经网络训练过程中的物理机制等。近年来在 *J. Chem. Theory Comput.*, *J. Chem. Phys.*, *J. Phys. Chem. C*, *ChemPhysChem* 等国内外学术期刊发表论文 10 篇。2025 年 2 月入职成都理工大学物理学院，致力于在统计物理与交叉学科方向上进一步推动理论与应用研究。

摘要：由于水界面具有独特的性质，例如二维氢键网络以及与体相水完全不同的氢键动力学，它在诸如气溶胶形成、大气化学反应、以及生物膜稳定性等多个科学领域中起着关键作用。然而，准确界定界面水和体相水的边界，也就是水界面的厚度，仍然对实验研究构成挑战。各种基于模拟的方法已被提出用于估算该厚度，其结果大致收敛在 3–10 Å 的范围内。我们引入了一种新的方法来测量空气-水界面的厚度：它基于密度泛函理论和深度势能的分子动力学模拟，并提供了一个与以往研究不同的视角。为了捕捉水界面中真实的氢键动力学，我们构造了两个极端情形：一个低估界面氢键动力学，另一个则高估之。我们的结果显示，随着水界面厚度增加至 4 Å，两个情形下的氢键动力学结果趋于一致。这个收敛点代表了真实的界面厚度，并通过我们对 OH 伸缩振动各向异性衰减以及界面自由 OH 动力学的计算得到了验证 [1]。

[1] Huang, G and Huang, J, Revisiting the Thickness of the Air–Water Interface from Two Extremes of Interface Hydrogen Bond Dynamics, *Journal of Chemical Theory and Computation*, 20, 1549-9626 (2024)



(邀请报告 H14)

玻璃态高分子凝胶溶胀动力学研究



满兴坤
教授/博士

北京航空航天大学物理学院，教授，博导。2004 年本科毕业于北京科技大学应用物理系。2009 年博士毕业于中科院化学所。2009-2011 年以色列特拉维夫大学博士后。2011-2013 年美国加州大学圣芭芭拉分校博士后。2013 年开始在北航工作。主持和参与多项国家自然科学基金委项目：国家优秀青年基金、重点、中以国际合作等。主要从事高分子动力学理论研究，研究体系包括嵌段共聚物、液滴、凝胶、高分子网络等等。在 *Phys. Rev. Lett.*, *Phys. Rep.*, *Adv. Mater.*, 和 *Macromolecules* 等期刊上发表多篇 SCI 论文。《*Chinese Chemical Letters*》第六届编委会委员、《*Advanced Physics Research*》第一届编委会委员、《*Macromolecular Theory and Simulations*》编委会委员。

摘要：玻璃态高分子在其良溶剂中表现出与软高分子（橡胶、凝胶等）完全不同的溶胀行为。随着溶剂的渗透，玻璃态高分子样品的厚度首先随时间线性增长而不是常见的菲克扩散时间标度律，同时其面积几乎保持不变。经过一段时间后，其厚度开始下降，而面积开始增加，最终达到平衡态。这一反常现象在过去的 50 多年中在很多高分子体系都有被观察到，比如 PMMA 在甲醇溶液中、PVC 在丙酮溶液中、PS 在烷基溶液中、甚至其他体系比如离子在共轭高分子中。虽然目前有很多研究这一问题的理论模型，但是几乎所有的模型都只是关注玻璃态高分子溶胀的非菲克扩散行为，也被称为“第二类扩散”，而忽视了该问题中的三维非线性形变的问题。我们基于昂萨格变分原理，提出了能够描述玻璃态高分子溶胀的统一理论。我们的理论不仅能够对玻璃态高分子溶胀提供完整和新颖的解释，而且还预测了扩散速度和溶胀特征时间与材料参数和实验条件的关系，为有效调控这一溶胀行为提供了理论指导。在这个报告中，我将给大家介绍我们是如何建立这样一个统一的理论模型，以及我们得到了那些新颖的结果和预测。

参考文献

- [1] Man X. K.; Doi M.; *Macromolecules* **2021**, *54*, 4626-4632.
- [2] Ding Z. Y.; Lyu P. H.; Shi A.; Man X. K.; Doi M.; *Macromolecules* **2022**, *55*, 7092-7099.
- [3] Lyu P. H.; Ding Z. Y.; Man X. K.; *Eur. Phys. J. E* **2023**, *46*, 40.
- [4] Lyu P. H.; Ding Z. Y.; Doi M.; Man X. K.; *ACS Macro Lett.* **2024**, *13*, 483-488.



(邀请报告 H15)

Self-propelled particles undergoing cyclic transitions

Ye Zhang and Duanduan Wan*

School of Physics and Technology, Wuhan University

报告人：万端端（副教授，武汉大学）

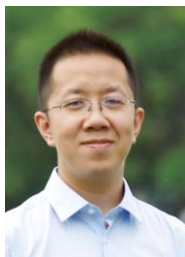
投稿方向：5. 软物质与自组装、活性物质、液体物理

Abstract: Cyclic transitions between active and passive states are central to many natural and synthetic systems, ranging from light-driven active particles to animal migrations. Here, we investigate a minimal model of self-propelled Brownian particles undergoing cyclic transitions across three spatial zones: gain, loss, and neutral regions. Particles become active in the gain region, passive in the loss region, and retain their state in the neutral region. By analyzing the steady-state behavior as a function of particle number and the size of the loss region, we identify a threshold particle number, below and above which distinct structural changes are observed. Interestingly, below this threshold, increasing the particle number reduces the state-switching time (the time required for a particle to transition from active to passive and back to active). In contrast, above the threshold, further increases in particle number result in longer switching times. In the subthreshold regime, our analytical model predicts structural characteristics and switching dynamics that align well with simulations. Above the threshold, we observe an emergent spatial clustering, with particles transitioning from passive to active states in close proximity. These findings provide insights into the collective dynamics of cyclic processes between active and passive states across distinct spatial zones in active matter systems.



(口头报告 H16)

非活性与活性粒子在交联网络中的扩散机制



李斌
博士，副教授

李斌，中山大学化学工程与技术学院副教授。博士毕业于吉林大学，先后在德国达姆施塔特工业大学、瑞典隆德大学做博士后研究，回国后加入国家纳米科学中心工作，后入职中山大学化学工程与技术学院工作至今。主要从事软物质体系分子模拟研究工作。目前在 ACS Nano, Nano Letters, Macromolecules, JCP 等国内外知名刊物发表论文 40 余篇。

摘要：我们利用粗粒化分子动力学模拟的方法，研究了非活性与活性纳米粒子在交联网络中的扩散行为和机制。我们发现，非活性的各向同性粒子和各向异性 Janus 粒子的扩散速率随着它们与网络相互作用的变化呈现非单调关系。Janus 粒子的两侧性质与交联网络作用相差较大的条件下，其转动速率较慢。我们发现 Janus 粒子在较短时间尺度上倾向于沿着两部分之间的界面方向进行扩散，而在相对较长时间尺度下则倾向于沿着连接 Janus 粒子两部分的向量方向，扩散呈现各向异性，并且这种各向异性扩散效应随着 Janus 粒子两部分性质差别的增大变得愈加明显。活性 Janus 粒子在交联网络中的平动和转动扩散都随着其活性的增强而变快，并且转动扩散和活性力的依赖关系与活性力施加的方向相关。活性 Janus 粒子的各向异性扩散也随着其活性的增强变得更加明显。



(口头报告 H17)

流体超构材料驱动的无侵入流场调控新范式



陈梦瑶
副研究员/博士

陈梦瑶，副研究员。2022 年 10 月毕业于香港中文大学物理系；2024 年 12 月于南方科技大学物理系完成博士后研究；2024 年 12 月起任职于中国科学院深圳先进技术研究院医工所副研究员。主要从事流体超构材料/流体器件以及热学超构材料/热学器件、流体与软物质的理论与实验研究。以第一作者以及共同一作发表论文于 PNAS, Advanced materials, Nature Sustainability, The innovation, Device, Applied Physics Letters, Physics of Fluids, Soft Matter 等期刊发表多篇论文，申请中国发明专利 7 项，国际发明专利 1 项，中国发明专利授权 2 项。主持中国博士后科学基金、广东省自然科学基金等科研项目。

摘要：流体操纵技术在工程与科学领域具有至关重要地位。不同于传统的流体操纵技术，流体超构材料凭借其独特的设计理念和功能特性突破了传统的流场调控局限：在不改变原始流场的条件下，实现目标流场的原位、连续且无侵入式调控。这种反直觉的流场操控方式不仅开创了流体控制的新范式，更为流体智能化调控提供了全新的思路。流体超构材料通过人工设计的几何结构实现等效参数（如等效渗透率、等效黏度），可实现诸多奇妙且超常规的流体操纵功能，比如流体隐身斗篷、流体旋转器、流体聚集器以及快速维持流体均匀性的均流器等。本报告将系统介绍基于多孔介质、流体偶极子以及 Hele-Shaw 流机制的流体超构材料及其相应实现的功能，通过总结这些研究，展示近年来流体超构材料在理论与应用层面的研究进展。

(邀请报告 H18)

Self-Liking Group in Networks With Multi-Class Nodes



董高高
教授/博士

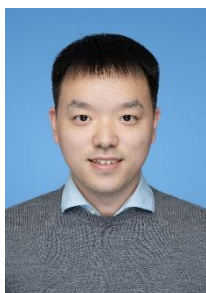
董高高，美国波士顿大学联合培养博士，教授，博导，江苏省高校“青蓝工程”优秀青年骨干教师，“青蓝工程”中青年学术带头人，教育部大规模复杂系统数值模拟重点实验室固定成员，现任中国统计物理复杂系统学术委员会委员。主要研究方向：复杂系统弹性及临界行为分析、渗流相变行为、量子信息等方面的研究。共发表论文 70 余篇，部分工作以第一/通讯作者被《Science Advances》、《PNAS》(2 篇)、《National Science Review》、《Communications Physics》等期刊收录，合著专著 4 部。先后主持国家级科研项目 3 项，参研中英国际合作项目 1 项(中方主持)，欧盟合作项目 1 项。获省部级一等奖 3 项，包括：江苏省科技进步奖一等奖（排名第二）、教育部高等学校科学研究优秀成果奖一等奖（排名第三）、江苏省工业与应用数学学会青年奖、江苏省工程师学会科学技术奖二等奖（排名第一），担任国际期刊 *Frontiers in Physics* (JCR 二区) 等期刊编委以及《Mathematics》英文期刊 (JCR 一区) 相关领域的客座编辑。

摘要：复杂网络中的节点通常通过社区检测方法被划分到不同的群体中。这些社区是基于节点之间的相互作用（即连接关系）来定义的。此外，聚类方法则是根据数据点属性之间的相似性将它们分组，而不考虑它们之间是否存在交互关系。尽管社区检测和聚类方法都旨在将数据点归类为不同的群体，但它们在本质上是不同的：聚类依赖于属性相似性，而社区则关注交互模式。本研究通过引入一个新概念—Self-Liking Groups, SLG。基于熵的考量，SLG 量化了节点类别倾向于与具有相似特征的类别进行交互的程度，从而结合了社区检测和聚类的优点，可用来度量群体间的迁移偏好性，衡量群体(如行业和国家)的流动性、开放性或封闭性。我们分别在工作变迁网络与全球科研合作领域研究中展示了 SLG 的应用，此外还发现，SLG 在多种社区检测方法和初始参数空间下都表现出高度稳定性。



(邀请报告 H19)

基于经济复杂性的贸易进口对经济增长的建模研究



孔宜修
副研究员

孔宜修，现任北京邮电大学“数学与信息网络”教育部重点实验室副研究员，博士生导师。瑞士弗里堡大学理论物理学博士。专业领域是复杂系统、社会计算、统计物理的交叉科学方向。2023 年获评中国人工智能学会社会计算青年新星。目前以第一作者发表 *Physical Review Letters*, *Physics Reports*, *Information Processing & Management* 等在内的 SCI 论文二十余篇。担任多个国际期刊审稿人。

摘要：传统经济学理论认为净出口与 GDP 增长呈正相关关系，然而这一观点忽略了贸易商品的异质性特征。本研究引入统计物理学中的复杂网络理论和非线性动力学方法，构建了融合产品技术含量和稀缺性的经济复杂性评估体系。通过分析 174 个国家 1995-2021 年的贸易数据，我们发现了与传统认知相悖的现象：净的复杂性出口(NCIE)与 GDP 呈显著负相关，而复杂性进口(CII)对经济增长的相关性作用远超出口。

本研究发现了进口在 GDP 中的关键驱动作用，挑战了传统贸易理论。研究结果对制定全球化背景下的贸易政策具有重要指导意义，表明各国应更加重视高技术含量商品的进口策略。

(口头报告 H20)

Knowledge-based multiplex network representation and sub-structure detection for production network: An application to multi-regional input-output data



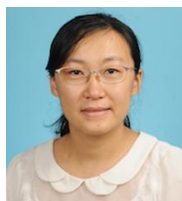
张晓奇
副教授

张晓奇，男，汉族，1988 年 2 月生，北京人，2017 年 6 月毕业于美国纽约州州立大学布法罗分校数学专业，博士研究生学历、数学博士学位，副教授，硕士生导师，长期从事复杂网络与经济金融领域的跨学科研究。2020 年 11 月至 2023 年 12 月在中国社会科学院经济研究所从事博士后研究工作。现担任河南理工大学财经学院教师、东南大学国家发展与政策研究院特聘研究员、国家金融与发展实验室高级研究员、天津大学复杂管理系统实验室特聘研究员、国际知名期刊《China Economic Review》的客座编辑等。

摘要： We propose a novel and easy-to-implement algorithm that helps represent the hidden topology of a production network as a family of inter-connected multiplex networks, with the network on each of the multi-layers having simple topology from which useful structural information can be easily read out. Prior knowledge on the input production network plays a critical role in the identification of the multi-layers and the inter-layer connections, which makes our approach flexible and fills the gap between the knowledge-based and the data-oriented community detection algorithms. By applying the algorithm into the multi-regional input-output data in China, we demonstrate how the field knowledge on the industrial and regional agglomeration can help identify the hidden structures within the full supply chain.

(口头报告 H21)

基于实证数据的兴趣转移行为分析及建模



崔晓华
副教授

北京师范大学系统科学学院副教授。主要专注于复杂系统基础理论的研究，尝试用统计物理和复杂网络的理论研究社会系统或者生物系统中的自组织行为；结合数据研究复杂系统的一般规律及相变条件，并将其应用于社会网络上兴趣转移、电力网络关键点识别等实证问题。近年发表多篇 SCI 论文，主持国家自然科学基金 2 项、jkw 项目 1 项，参与国家自然科学基金多项。

摘要：随着通信技术的发展，人们越来越多地参与到在线活动中，产生一系列电子行为轨迹，兴趣转移行为是最典型的人类行为之一。用户从一个站点转移到另一个站点就发生了兴趣转移，例如观看电视时的换台行为，在线购物时的浏览行为等。本工作从收视数据出发，基于电视观看中的兴趣转移行为实现了复杂网络方法在收视分析中的实践应用。根据观众的长程换台构造频道转移网络，并使用 PageRank 算法对频道吸引力进行排序，大幅降低了本地频道的排名，提高了优质频道的排名，且结果解释性受到广告报价排名和官方获奖结果的支撑。其次结合换台行为和浏览行为基于人类行为动力学研究范式分别从宏观和微观视角刻画了兴趣转移行为的标度特征，并将所得行为规则与转移模型框架结合建立了兴趣转移的探索-返回模型，实现兴趣转移行为在微宏观视角下的自洽和统一。

Keywords:

复杂网络，行为建模，虚拟空间，兴趣转移

(邀请报告 I01)

当人工智能与迷你大脑融合：会打牌的脑类器官智能体



帅建伟
教授、博士

国科温州研究院研究员，国家杰出青年基金获得者。厦门大学物理系博士毕业，先后在香港城市大学、日本电气通信大学、美国凯斯西储大学、俄亥俄大学、加州大学尔湾分校等大学工作。2007 年回国任厦门大学闽江特聘教授，获得十多个国家级基金项目经费支持。研究方向包括融合智能生命体、量子力学、计算生物学、人工智能、健康医疗大数据、生物多组学分析等，在 *Nature Cell Biology*、*PRL*、*PNAS*、*Nat Commun* 等刊物上发表论文 260 多篇，申请发明专利 30 多项。

摘要：体外迷你大脑——脑类器官——是一种模拟人脑结构功能的有效体外模型，脑类器官与高密度微电极阵列芯片结合作为片上融合智能生命体是编解码人类大脑活动的有效体系。当前，基于静态人工编解码模式在应对大脑时刻演变的神经编码时频频不匹配，这种生物大脑-电子芯片系统的互联失配性不仅制约着神经调控的精准度，更阻碍着片上融合智能生命体技术的关键进展。本报告介绍了我们创新性地将人脑类器官与高密度微电极阵列芯片、人工智能计算芯片深度融合，开发高速响应的动态架构信息解码技术，实时锁定变化中的神经信号，打造了首个动态编解码匹配的自演化片上融合智能生命体研究平台。我们进一步构建了多个脑类器官智能体的交互系统，实现了多个脑类器官智能体高速互联互通，长期稳定的玩多角色纸牌游戏。该系统为大脑研究提供了新范式，让脑机交互为复杂脑病治疗开辟了潜在的全新路径，为大脑智能分析和调控提供了全新方案。

(邀请报告 I02)

单分子技术探究组蛋白变体调控核小体的分子机制



李伟
研究员

李伟，中国科学院生物物理研究所课题组长，研究员。2006 年于中科院物理研究所获得博士学位，2007-2023 年在中科院物理研究所软物质物理实验室工作，2023 年 6 月加入中科院生物物理研究所。主要从事生物大分子动态结构的单分子研究，最近在核小体及染色质纤维高级结构的动态结构和调控机制方面取得一系列进展，相关成果发表在 Science、Molecular Cell、JACS、PNAS、Nat Commun、NAR 等期刊。

摘要：在真核生物中，基因组 DNA 与组蛋白结合形成核小体单元，进而压缩染色质。染色质是基因调控的关键平台，所有与 DNA 相关的生命活动都和染色质密切相关。macroH2A 作为组蛋白 H2A 分子量最大的变体，以其独特的 linker 和 macro 结构域，在 X 染色体失活、胚胎发育、细胞代谢及肿瘤发生等多个过程中发挥重要调控作用。组蛋白伴侣 FACT (Facilitates Chromatin Transcription) 已被发现在 DNA 复制和修复、基因转录等关键过程中都发挥着重要的作用。团队前期的研究工作揭示了 FACT 蛋白对核小体具有降低稳定性和维持完整性的双重调控机制 (Molecular Cell 2018)。尽管早期研究表明，macroH2A 会广泛定位在染色质上，当基因需要被激活时，FACT 能够将 macroH2A 从染色质相应的位置上进行清除，从而激活基因转录。但是，macroH2A 通过 FACT 调节基因表达的核心机制，仍然需要进一步阐明。核小体动态结构的精确表征是确定变体 macroH2A 作用的关键一步。研究人员首先通过利用体外核小体组装体系，结合自主建立的高时空分辨单核小体磁镊操控技术，深入解析了 macroH2A 的 macro 和 linker 结构域对核小体稳定性及结构动力学过程的影响。本研究发现 macroH2A 并不会影响核小体动力学，但是它能够促进 FACT 结合，并能够大大降低 macroH2A 核小体稳定性，介导 macroH2A 从核小体上清除。进一步研究发现 macroH2A 第 139 位丝氨酸作为一个关键位点，能够调控 FACT 与 macroH2A 之间的互作。在巨噬细胞中，全基因组测序分析也证实了以上现象，FACT 蛋白能够到达 macroH2A 定位的基因组区域，将 macroH2A 从染色质上清除掉，从而促进相关基因的转录，调控巨噬细胞功能。而将 macroH2A 第 139 位丝氨酸突变后，能够重塑 macroH2A 在染色质上的定位，改变巨噬细胞内的基因表达水平。

(口头报告 I03)

Molecular Mechanism of Bending Mechanics of BAR Proteins



修鹏
副教授

修鹏，浙江大学工程力学系生物力学与应用研究所副教授、博士生导师。从事生物物理领域的理论和模拟研究。研究课题包括：蛋白质分子机器（旋转马达等）动力学及运行机制，细胞膜力学，蛋白质聚集及其致病机制等。发表 SCI 论文 50 多篇，总被引逾 3000 次。研究成果发表在《自然·纳米科技》、《美国化学学会会志》、《美国科学院院刊》、《物理评论快报》、《先进材料》等国际著名学术刊物上。

Abstract: Proteins of Bin/Amphiphysin/Rvs (BAR) domain superfamily can generate membrane curvature and play important roles in various cellular processes ranging from endocytosis and cell motility, to the maintenance and generation of organelles. Typically, BAR proteins can produce tubules by bending the cell membrane, which is ubiquitous structure in cells such as in endocytic invagination, filopodia, and T-tubules in muscle cells. It is of great interest and importance to understand the molecular mechanism underlying the bending ability of BAR domains. In this study, we develop a novel molecular dynamics (MD) simulation method – Bending Steered Molecular Dynamics (Bending SMD) – to study the bending mechanics of BAR proteins. Combining the Bending SMD and large-scale conventional MD simulations, we find that the bending rigidity of BAR proteins is determined by the bending rigidity of the monomer, rather than the interaction of the overlapped (core) region. The bending rigidity of the monomer is mainly determined by the interaction in the “kink” region, and π - π stacking is important therein. In general, BAR protein’s bending rigidity correlates with the curvature of the protein – less curved ones such as F-BAR and I-BAR proteins, are more rigid. The bending rigidity per unit area of BAR proteins is about one order of magnitude larger than that of the cell membrane. This study offers fundamental understanding on the bending mechanics of BAR Proteins.

(口头报告 I04)

Fluidization and anomalous density fluctuations in 2D



雷群利
副教授
南京大学

雷群利，南京大学物理学院准聘副教授、研究员，博士生导师。2011 年获南京大学物理学学士学位，2016 年获南京大学理论物理学博士学位，之后在新加坡南洋理工大学从事博士后研究工作。2021 年入选国家海外高层次人才项目。主要从事软凝聚态物理和统计物理方面的研究，具体包括：无序超均匀态、活性物质、动力学相变和临界现象、软力学超材料、自组装光子/声子晶体、高分子和生物物理等。目前已在包括 Sci. Adv., PNAS, Phys. Rev. Letts., Adv. Mater., ACS Nano 等在内的国际一流学术期刊上发表论文 20 余篇。

ABSTRACT: Cells not only can be motile by crawling but are also capable of nonmotility active motions like periodic contraction or pulsation. However, how this pulsating activities and their synchronization affect the structure, dynamic, and density fluctuations of cell tissues remains poorly understood. In this work, based on a hydrodynamic theory and simulations, we show that cell pulsation can generate two opposite anomalous fluctuating states, i.e., the hyperuniform fluid state and giant density fluctuation state, depending on the synchronization degree and period of pulsation. We also find that the pulsation synchronization can induce a BKT-type liquid–solid transition, in which topological defects in the pulsating phase space dominate the dynamic and density fluctuations of cell tissues. These findings deepen our understanding of recent experimental observations in MDCK monolayers.

Reference:

[1]. **Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A** 122(10), e2421518122 (2025)



(邀请报告 I05)

噬菌体多状态完整颗粒结构研究



刘红荣
教授/博士

刘红荣，湘潭大学物理学博士、美国加州大学洛杉矶分校博士后，长江学者特聘教授，现任湖南师范大学教授，物理与电子科学学院院长。主要从事电子显微三维重构与病毒原子结构解析研究，相关工作发表于 *Science*, *PNAS*, *PLoS Biology* 等期刊，获湖南省自然科学奖一等奖 1 项、二等奖 1 项。

摘要：噬菌体作为特异性感染细菌的病毒，在生物医学、农业及工业领域展现出广阔的应用前景。结构决定功能，噬菌体结构研究对其生命周期的分子机制及应用具有重要的意义。然后，噬菌体结构特别，其完整颗粒三维结构，特别是不同状态下的结构解析还存在诸多难点。本报告将介绍近年来我们在噬菌体多状态完整颗粒三维结构解析方面的系列工作，探讨噬菌体组装、感染及基因组释放可能的分子机制。



(邀请报告 I06)

生物小系统中蛋白质非平衡动力学的单分子研究



陆颖

研究员、博士

中国科学院物理研究所研究员、博士生导师，课题组长，国家优青，中科院青促会会员。主要从事物理学与生命科学交叉领域的研究，致力于用超高精度单分子荧光技术研究生命分子的运行机理。在多个学术组织任职。工作发表在 PRL, Sci. Adv., Nat. Comm., Angew. Chem. Int. Ed., Nano Lett., PNAS 等期刊上。

摘要：本报告介绍了在单分子水平上研究生物小系统中蛋白质非平衡动力学的最新进展。研究工作聚焦于理解蛋白质结构的精确动力学和时域演化机理，该机理对生物功能至关重要。研究涉及几个关键的蛋白质系统：首先，探索了与帕金森病相关的 α -突触核蛋白在神经系统中的聚集行为。利用单分子技术，揭示了该蛋白质以自我限制的方式与膜相互作用，其聚集过程受蛋白质-膜和蛋白质-蛋白质相互作用的共同调控。其次，研究了 DNA 修复酶连接酶中 ATP 驱动的构象变化。通过时间分辨单分子实验和电子显微镜技术，发现了多条平行的反应途径，使得连接酶能够适应不同的 DNA 底物构型并高效修复 DNA。最后，考察了单链 DNA 结合蛋白中离子对蛋白质表面态转变的调控机制，证明了盐浓度通过改变氢键网络影响蛋白质与 DNA 的结合。该研究为理解生物小系统的非平衡动力学提供了新的见解，深化了对驱动关键生命过程的物理机制的认识。

(口头报告 I07)

Mechanisms of protein self-assembly *in situ* revealed by cryo-electron tomography



朱亚南
研究员

朱亚南，浙江大学物理高等研究院百人计划研究员，博士生导师。2014 年本科毕业于华中科技大学物理学专业，2019 年博士毕业于北京大学凝聚态物理专业，师从欧阳颀院士。2018 年在美国哈佛大学开展访问研究。2019 年至 2024 年在英国牛津大学从事博士后研究工作。2024 年 2 月入职浙江大学物理高等研究院。朱亚南课题组致力于发展和应用跨尺度冷冻电镜技术和人工智能算法，开展软物质与生物物理方向交叉研究，探索跨尺度生命体系的组织规律和非平衡动力学，并解决关键的生物医学问题。研究成果发表于 Nature、Molecular Cell、Nature Communications、Science Advances、PNAS 等国际权威杂志。

ABSTRACT: The development of cryo-electron tomography (cryo-ET) allows us to directly investigate the biological macromolecular machines in the cell. The technique has enabled a systematically exploration of the mechanisms underlying the assembly and functions of individual protein within their native environment and provides opportunities for us to study the physical laws of protein organizations in the living cells. In this presentation, I will provide a concise overview about the workflow of the cutting-edge cryo-ET. I will also discuss our recent research on HIV-1 capsid using integrated approaches. I will show the mechanisms of the *in-situ* self-assembly of HIV-1 capsid cores. These studies demonstrate the power of cryo-ET in unravelling the complexities of biological processes at near-atomic resolution within a cellular context, while also serving as a valuable tool for research in non-equilibrium physics.

(口头报告 I08)

Energetic Frustration Dictates Cognate Specificity of Two-Component Signaling System



晏致强
研究员/博士

国科温州研究院研究员。2010 年毕业于南京大学，获得物理学博士学位；2010 年至 2013 年于美国石溪大学从事博士后研究；2013 年到现在，先后在中国科学院长春应用化学研究所与国科温州研究院工作，分别担任副研究员与研究员职务。现兼任温州医科大学博导，中国生物信息学学会生物分子结构预测与模拟专业委员会委员。研究方向包括生物分子识别，蛋白质进化和蛋白质设计，已在 PNAS, Phys. Rev. Lett., Nucleic Acids Res. 等期刊上发表论文 30 余篇。近 5 年主持国家自然科学基金面上等国家及省部级纵向项目 4 项，横向项目 1 项。

ABSTRACT: Proteins achieve precise biological functions by specifically recognizing their interaction partners. However, the mechanisms underlying both the identification and regulation of specificity-determining sites are not fully elucidated. Although deep mutational scanning (DMS) and directed evolution can identify key specificity-determining residues, their limited throughput and high costs restrict large-scale investigations.

In this work, we employed two-component signaling system as a model to establish an energy landscape-informed strategy for the identification and modulation of specificity-determining residues. We showed that integrating deep learning-based protein sequence design method (ProteinMPNN) with local energetic frustration analysis accurately identifies key residues that dictate interaction specificity. Using AlphaFold3 for structural prediction enables successful tuning of cognate specificity and non-cognate crosstalk. This work provides a new strategy for identifying specific sites and contributes innovative ideas to protein design. We will also discuss the epistasis, marginal specificity and evolutionary trajectories of specificity by tuning the residues of specificity sites.



(邀请报告 I09)

Revealing principles of cell fate decision: Landscape control and applications



李春贺
副教授，博士

李春贺，复旦大学上海数学中心、数学科学学院特聘副教授。从事计算系统生物学、基因调控网络、计算神经科学等方面的研究。在 PNAS, Advanced Science, Cell Reports Physical Science, PLOS Comput. Biol. 等杂志上发表论文 50 余篇，论文获国际华数学家联盟最佳论文奖。曾获“青年海外高层次人才引进计划”，主持科技部重点研发计划等项目。任国际交叉期刊 npj Systems Biology and Applications 编委。

摘要：生物系统中细胞如何执行其功能由相应的基因调控网络控制。如何研究基因调控网络的全局特性并揭示细胞命运决策机制是一个具有挑战性的问题。在本次报告中，我将介绍我们最近发展的一些方法，即景观量化和景观降维的随机动力学方法。能量景观上的吸引子表征了不同的细胞状态，稳态吸引子之间的势垒高度定量刻画了不同细胞状态之间跃迁的概率。我们进一步发展了景观控制方法，可以识别控制细胞命运的优化的组合基因靶点。我还将讨论这些方法在一些具体生物系统中的应用，包括细胞周期、癌症网络、以及神经动力学的研究。

(邀请报告 I10)

瓦博格效应的理论原理研究



王欣
副教授/博士

王欣，中山大学物理学院副教授，博士毕业于北京大学前沿交叉学科研究院，曾在牛津大学理论物理系和哈佛大学医学院开展博士后研究。2019 年起任中山大学“百人计划”副教授，独立 PI。主要从事物理生物学理论研究，主持国家自然科学基金面上项目及青年基金项目，以通讯作者或第一作者在 *Nat. Commun.*, *eLife*, *PNAS* 等国际知名期刊上发表多篇学术论文。

摘要：瓦博格效应的成因是长期困扰生物学和医学领域的经典问题之一，而基于瓦博格效应的药物研发是抗癌药物研究的重要方向。1924 年，诺贝尔生理学与医学奖得主奥托·瓦博格发现，癌细胞在氧气充足的环境下仍采用无氧呼吸这一资源浪费的异常能量代谢模式 [1]，该现象后被称为瓦博格效应。后续研究表明，这一效应不仅限于癌细胞，也广泛存在于微生物之中 [2]。微生物在生长缓慢时采用有氧呼吸，对应于体细胞的正常代谢，而在生长迅速时则采用无氧呼吸，与癌细胞的代谢类似 [2]。瓦博格效应自发现以来，一直受到研究人员的广泛关注 [2-4]，，尽管已有许多研究尝试解释其成因，但现有模型在理论假设和实验预测方面与实际结果存在矛盾 [5]，瓦博格效应的理论原理仍不清楚。在本研究中 [6]，我们在前期工作 [7] 的基础上，发展并构建了细胞异质性优化生长理论，揭示了细胞异质性与最优化生长是导致微生物与癌细胞瓦博格效应的直接原因。我们的理论模型能够定量解释大肠杆菌在各种扰动条件下的瓦博格效应实验数据，并广泛定量解释酵母菌和癌细胞中观察到的瓦博格效应实验结果。

关键词：瓦博格效应、细胞异质性、优化生长理论

参考文献：

- [1] Warburg et al., *Biochem. Z.* 152, 309 (1924)..
- [2] Vander Heiden et al., *Science* 324, 1029 (2009).
- [3] Basan et al., *Nature* 528, 99 (2015).
- [4] Liberti and Locasale, *Trends in Biochemical Sciences* 41, 211 (2016).
- [5] Shen et al., *Nat. Chem. Biol.* (2024).
- [6] Wang, X., *eLife* 13, RP94586 (2024)



(邀请报告 I11)

Universal Laws of Gene Expression



林杰
研究员/博士

Jie Lin is an assistant professor at Peking University and a member of the Center for Quantitative Biology and the Center for Life Sciences. His main research area is theoretical biological physics, and he aims to understand complex biological systems using the language of physics. Current research interests include gene expression, cell physiology, and soft living matter.

ABSTRACT: In this talk, I will discuss our recent efforts in understanding the universal laws of gene expression. In particular, I will talk about how we model gene expression at the genome-wide level and incorporate the competition between genes for the limiting resources, including ribosomes and RNA polymerase. The competition effects lead to many interesting biological implications, as I will show in my talk.

(口头报告 I12)

Non-Kramers State Transitions in a Synthetic Toggle Switch



罗亮
博士

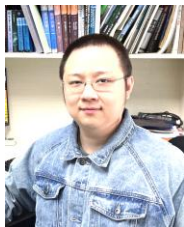
罗亮于 2011 年在中科院理论物理研究所获得理论物理博士学位。其后在北京计算科学研究中心工作，于 2016 年入职华中农业大学。

罗亮工作在理论与实验之间，利用统计物理方法研究实际生物问题。广泛与国内各实验室合作，从实验数据出发，分析真实生物现象，阐明亚扩散、非高斯扩散等反常扩散的机制。最近转向细菌细胞生命周期调控机制的研究，以干净的理论澄清了相关方向长久以来的迷思。

ABSTRACT: State transitions are a fundamental feature of biological systems, extensively studied theoretically but rarely observed directly in experiments. In this letter, we report the first single-cell-level observation of state transitions in a synthetic genetic circuit within bacteria. Using a mother machine setup, we tracked the states of over 1000 cells for 27 hours. First-passage analysis and dynamical reconstruction reveal that the transition process does not occur in the small noise limit, rendering classical Kramers' theory inapplicable. The transition is not governed by a single rate, challenging the traditional picture of transitions between discrete cell "states". We observe significant multiplicative noise, which, despite tilting the effective landscape, prolongs transition times. These findings necessitate a re-examination of state transition theory beyond the small noise assumption and highlight the need for new frameworks to describe biological processes.

(口头报告 I13)

An altruistic resource-sharing mechanism for molecular synchronization: The energy-speed-accuracy tradeoff



张东良
博士

张东良博士目前是德国马普复杂系统物理研究所（MPI-PKS）的博士后研究人员。他于 2020 年在北京大学获得博士学位，指导老师为欧阳颀教授和涂豫海研究员。他于 2024 年 9 月加入 MPI-PKS，此前曾于北京大学和清华大学进行博士后研究。他的研究兴趣主要集中于非平衡的活性过程在各种尺度上如何影响生物功能以及实现对应生物过程的能量代价是多少，研究工具主要来自生物物理的建模和数值计算以及非平衡态热力学。

ABSTRACT: Synchronization among a group of active agents is ubiquitous in nature. Although synchronization based on direct interactions between agents described by the Kuramoto model is well understood, the other general mechanism based on indirect interactions among agents sharing limited resources are less known. Inspired by KaiA differential binding in the KaiABC system, we propose a new model for synchronization based on an altruistic resource-sharing (ARS) mechanism wherein resources are needed for individual agent to advance but a more advanced agent has a lower competence to obtain resources. We show that, while differential competence in ARS mechanism provides a negative feedback leading to synchronization, it also breaks detailed balance and thus requires additional energy dissipation besides the cost of driving individual agents. By solving the model analytically, our study reveals a general tradeoff relation between the total energy dissipation rate and the two key performance measures of the system: average speed and synchronization accuracy. For a fixed dissipation rate, there is a distinct speed-accuracy Pareto front traversed by the scarcity of resources: scarcer resources lead to slower speed but more accurate synchronization. Increasing energy dissipation eases this tradeoff by pushing the speed-accuracy Pareto front outwards. Implications of our work to realistic biological systems are discussed.

(口头报告 I14)

Design principles of transcription factors with intrinsically disordered regions



吉文成
博士

吉文成现为魏茨曼科学研究所博士后，致力于研究生物系统、玻璃态材料以及人工神经网络等复杂系统的动力学机制，尤其专注于从能量景观的视角深入探索并揭示这些系统的内在规律。

ABSTRACT: Transcription Factors (TFs) are proteins crucial for regulating gene expression. Effective regulation requires the TFs to rapidly bind to their correct target, enabling the cell to respond efficiently to stimuli such as nutrient availability or the presence of toxins. However, the search process is hindered by slow diffusive movement and the presence of ‘false’ targets - DNA segments that are similar to the true target. In eukaryotic cells, most TFs contain an Intrinsically Disordered Region (IDR), which is a long, flexible polymeric tail composed of hundreds of amino acids. Recent experimental findings indicate that the IDR of certain TFs plays a pivotal role in the search process. However, the principles underlying the IDR’s role remain unclear.

Here, we reveal key design principles of the IDR related to TF binding affinity and search time. Our results demonstrate that the IDR significantly enhances both of these aspects. Furthermore, our model shows good agreement with experimental results, and we propose further experiments to validate the model’s predictions.

(邀请报告 I15)

Dynamic condensate formation enhances circadian clock robustness



曹远胜
助理教授

Dr. Yuansheng Cao is an assistant professor at Department of Physics, Tsinghua University, China. He earned his Ph.D. from Peking University and completed postdoctoral research at UC San Diego. His work explores how nonequilibrium physical principles shape biological functions, using tools from nonequilibrium dynamics, stochastic thermodynamics, and computational modeling. His research focuses on molecular machines, cellular sensing and signaling, and the self-organization of active biological systems.

ABSTRACT: Circadian rhythms rely on transcription-translation feedback loops (TTFLs) to generate robust 24-hour oscillations. Phase-separated condensates have recently emerged as important regulators on the translation process, but their role in circadian timing remains unclear. Using mathematical modeling, we show that static condensates, while enhancing translation, suppress transcription and limit clock coherence due the negative feedback between transcription and translation. In contrast, dynamically oscillating condensates can amplify protein levels while preserving mRNA expression, thereby maximizing clock robustness. To optimize clock coherence, we predict the condensates oscillation should be either driving by the TTFL with intermediate condensate amplitude, or a hybrid strategy with independent oscillation that tuned by the TTFL. Experiments show that condensate oscillations persist even when the core clock is disrupted, consistent with the hybrid strategy. Our results reveal that dynamic, clock-coupled condensate are critical in the robustness of circadian clock.



(邀请报告 I16)

细菌治疗肿瘤的定量合成生物学研究

李雪飞

研究员/博士

任职于中国科学院深圳先进技术研究院合成生物研究所。本科毕业于浙江大学物理系，博士毕业于香港浸会大学物理系，曾在美国莱斯大学从事博士后研究工作。课题组主要研究方向是将生物数据（图像、基因表达等）的定量分析与计算模型的构建分析相结合，研究复杂生命系统中的物理生物学问题。其中，着重关注肿瘤微环境中的细胞空间分布与状态的演化，并通过与实验课题组紧密合作，开展恶性肿瘤治疗的机理研究。

摘要：利用细菌治疗恶性肿瘤的研究可追溯至 19 世纪 60 年代。然而，该疗法在安全性、可控性和疗效等方面的平衡仍有待突破，其背后的关键问题在于细菌治疗肿瘤的机理仍有待阐明。近年来，合成生物学的快速发展为合成和改造抗癌细菌提供了新的技术手段。进一步结合定量表征与实验，有望系统解析细菌与宿主免疫系统间的相互作用的分子机制，将为合成细菌理性设计奠定理论基础。在本项工作中，我们通过构建仅能在肿瘤厌氧区内增殖的合成细菌，发现了在细菌治疗肿瘤的过程中，白细胞介素-10（Interleukin-10, IL-10）对于细菌发挥疗效至关重要。通过定量研究，我们发现白细胞介素-10 受体（Interleukin-10 Receptor, IL-10R）仅在肿瘤中的多种免疫细胞上高表达，并证明了这种特性对于肿瘤内的免疫细胞在细菌介导下发挥各自的作用不可或缺。结合数学模型与定量实验，我们揭示了这种高表达背后的分子机制，即 IL-10R 表达的“迟滞效应”。当免疫细胞接受高浓度 IL-10 的刺激时，IL-10 通过 IL-10R 激活下游信号通路，从而形成 IL-10/IL-10R 正反馈回路，进而介导了 IL-10R 表达的“迟滞效应”。配合肿瘤在形成过程中的 IL-10 的短暂升高再降低的现象，“迟滞效应”的发现揭示了肿瘤内的免疫细胞高表达 IL-10R 背后的分子原理。细菌正是利用了该效应，在进入肿瘤后，通过刺激肿瘤内的巨噬细胞分泌更多的 IL-10，从而重新激活肿瘤中的特异性杀伤细胞（CD8⁺ T 细胞）以消灭肿瘤细胞，并抑制了肿瘤内中性粒细胞的运动能力以减少其对细菌的清除作用，最终起到了长时间治疗肿瘤的效果。在细胞群体层面，我们建立的物理模型预测了正反馈驱动下的迟滞现象。在单细胞层面，物理模型预测正反馈通路导致细胞群体中 IL-10R 表达呈峰值固定的双峰分布。相关结果均得到了实验数据的支持，为后续进一步理性合成抗癌细菌治疗肿瘤提供了理论支撑。



细菌细胞周期的随机动力学过程



白阳, 副研究员
中科院深圳先进院

先后在武汉大学、法国巴黎十一大、法国勒阿弗尔大学获得物理学学士、硕士、博士学位。

主要从事细菌生理的定量合成生物学研究, 利用单细胞观测技术与随机动力学模型解析细菌生长运动分裂等基本生理过程及调控机制, 并用合成生物学技术改造细菌检验模型结论。

在 *Nature Microbiology*、*PRR*、*eLife* 等杂志发表多篇论文, 获广东省自然科学一等奖。

摘要: 细菌是一种生长迅速的单细胞生命形式。以大肠杆菌为例, 其最快可在 20 分钟内完成一次生长、复制与分裂的全过程, 生成子代细胞。然而, 其 DNA 的完整复制过程至少需要 40 分钟。那么, 细菌是如何动态协调生长、DNA 复制与细胞分裂这三个关键过程, 从而实现高效的细胞周期运转的呢?

传统的理解认为, 细菌会在一个固定的细胞大小时启动 DNA 复制, 并在前一轮复制尚未完成之前就开始新一轮的复制; 当 DNA 复制完成后, 细胞便启动分裂。这一模型很好地解释了细菌为何能够在短时间内快速增殖。然而, 近十余年来, 随着定量生物学的发展以及对单细胞行为的精确追踪, 越来越多的实验数据对该传统模型提出了重要挑战。

在我们前期的研究中, 测量了迄今为止最宽范围内的细菌生长速率, 结果发现, 主导该领域 60 年的 SMK 法则和 Donachie 法则在多种生长条件下并不成立。我们揭示了适用于所有测量条件下的简洁数学关系: 即细菌细胞的大小与其生物量合成速率和 DNA 复制所需时间的乘积成正比。基于此, 我们提出了一个新的细胞分裂调控模型, 并利用主方程和首遇过程等理论, 解析了细胞尺寸在代际之间的传递机制, 指出积累阈值的随机波动对细胞分裂时间的跨代关联具有重要影响。

近期, 我们的研究聚焦于 DNA 复制起始的调控机制, 发现了一种关键的 DNA 结合蛋白 HNS 在调控复制起始中的作用, 从而修正了传统的分子机制模型。此外, 我们确认了细菌通过一个固定的体积增量来触发 DNA 复制起始进而控制细胞分裂, 并将积累阈值的随机涨落理论相结合, 成功统一解释了不同生长速率下观测到的单细胞数据, 最终构建了迄今为止最为完整的细菌细胞周期随机动力学模型。



(口头报告 I18)

Role of frustrations in cell reprogramming



姚玉祥

西湖大学

本科及博士毕业于兰州大学物理科学与技术学院，现于西湖大学生命科学学院细胞命运控制实验室任助理研究员。主要从事细胞命运决定底层数学物理机制研究，涵盖胚胎发育、细胞重编程、基因调节及染色质互作行为、细胞成像等问题的数学物理模型分析、生物信息算法开发、以及由上述生物情景启发的理论问题研究。已在 Chaos、Nat Comm、Chaos Frac Soli、EMBO J、J Theo Bio、Cell Rep 等杂志发表多篇文章。

Mail: y.x.yao@foxmail.com

ABSTRACT: The cell fate transition is a fundamental characteristic of living organisms. By introducing external perturbations, it is possible to artificially intervene in cell fate and trigger cell reprogramming. Revealing the general principle underlying the induced phenotypic reshaping of cell populations remains a central focus in the field of cell biology. In this study, we investigate the dynamic features of induced cell phenotypic transition from differentiated somatic state to pluripotent state by constructing a frustrated-based genetic network model. The simulation and experimental results highlight the critical role of genetic frustration in initiating cell fate transitions, although the two ending phenotypic states are typically featured by minimal frustration. In addition, the altered gene expression profiles exhibit a scale-free distribution, suggesting that there exist a small number of critical genes responsible for the cell fate transition. This study provides important insights into the dynamic principles governing effective cell reprogramming caused by artificial or exogenous interventions.

(口头报告 I19)

Delineating the mechanism of phosphorylation sites in different functional domains affects the conformation and phase behavior of α -Synuclein

Yun Zhou, Zhongyuan Yang, Yiming Tang, Guanghong Wei

Department of Physics, Fudan University



周运

博士在读

2017 年-2021 年，复旦大学物理学学士；

2021 年至今，复旦大学物理学博士在读，主要研究方向：利用分子动力学手段，探究小分子抑制 α -突触核蛋白纤维化机理；专注于翻译后修饰（磷酸化）对 α -突触核蛋白构象空间以及相分离能力的影响。

ABSTRACT: α -Synuclein (α Syn) is an intrinsically disordered protein composed of 140 amino acids and the abnormal aggregation of α Syn is a hallmark of various neurodegenerative diseases like Parkinson's disease, Dementia with Lewy Bodies and Multiple System Atrophy. Post-translational modifications (PTMs), particularly phosphorylation, represent crucial regulatory mechanisms capable of modulating α Syn's conformational dynamics, aggregation propensity, and functional interactions. Phosphorylation at specific residues within distinct functional domains of α Syn elicits differential effects. While phosphorylation at Ser129 (pS129) has been extensively studied and is recognized as a prominent pathological biomarker in PD, the functional and pathological implications of phosphorylation at sites such as Ser87 (pS87) and Tyr39 (pY39) remain comparatively understudied. Moreover, different experimental methods like using mutation to mimic phosphorylation or semi-synthesis phosphorylation complicate the interpretation of site-specific effects. To overcome these limitations and elucidate the atomistic mechanism how phosphorylation influences the conformation and phase behavior of α Syn, we employed REMD and HPS methods. This computational strategy enables a high-resolution investigation into how site-specific phosphorylation within different domains dictates α Syn's structural ensemble and its capacity for liquid-liquid phase separation.



(邀请报告 I20)

生物衰老的动力学模型以及应用



杨一帆
西湖大学 助理教授

杨一帆，湖北武汉人。本科就读于北京大学元培学院，先后学习数学和生命科学。于 2011 年和 2016 年获得法国巴黎第五大学硕士和博士学位。2019 年于以色列威兹曼研究所开展博士后研究，师从于系统生物学大师 Uri Alon。2025 年 1 月加入西湖大学，担任特聘研究员，研究兴趣集中在生物衰老中的非线性动力学，统计物理和定量生理学。

摘要：过去几十年的生物学研究已梳理出无数调控衰老的分子、通路和生理状态，然而关于生物体为何衰老的整合定量理论仍属空白。我们认为突破之道在于将生物复杂性粗粒化为少量普适、可预测且可解释的变量。

我们现已实现这一关键步骤。对小鼠和单个大肠杆菌细胞的队列测量表明，两种生物体的生理损伤在动力学上均服从同一随机微分方程。该模型无需重新训练即可准确预测人类生存曲线和年龄相关疾病发病率。

这一框架为系统整合与重新评估数十年的衰老研究提供了统一的数学透镜。作为例证，我将展示其如何揭示出了一个出乎意料的关系：健康寿命比例与寿命不平等之间在不同物种中均存在负相关性。该发现如何指导我们寻找既能延长寿命、又能压缩发病期的干预措施——这正是长寿研究的核心目标。

Sloppiness and least action in cell state transition



王维康
副研究员

Wang Weikang is an associate researcher at the Institute of Theoretical Physics, Chinese Academy of Sciences. He obtained his bachelor's and doctoral degrees from the School of Physics at Peking University in 2009 and 2015, respectively. He conducted postdoctoral research in the Department of Computational and Systems Biology at the University of Pittsburgh. His research areas include biophysics, computational and systems biology.

ABSTRACT: Single-cell dynamics during cell state transitions are highly confined, ensuring precise control. This confinement can be described using low-dimensional manifolds. Leveraging information geometry, we developed a method to quantify cell state transition manifolds using single-cell RNA sequencing data. With this approach, each single cell is represented as a multivariate Gaussian distribution and is associated with a Fisher information matrix. In our analysis, we examined single-cell dynamics by exploring variations in the Fisher information matrix and its eigen spectrum. We discovered that single cells exhibit significant sloppiness, where the cell state is sensitive to only a few parameter combinations. During cell state transitions, the extent of sloppiness varied. Notably, variations in stiff parameters were associated with critical transitions. The number of stiff genes temporarily increased during these transitions, indicating that cells become more plastic near critical points. Furthermore, the sloppy parameters demonstrated significant parameter velocity, except when cells were in transitional stages. This suggests that single cells tend to minimize their action along the information manifolds. Thus, we propose a new framework for analyzing single-cell dynamics. The low dimensionality of cell state transitions is characterized through sloppiness analysis, while changes in the Fisher information spectrum reveal shifts in cell dynamic modes. The identification of sloppy and stiff parameters provides insights into the robustness and plasticity of single cells during state transitions.

(口头报告 I22)

磷酸化依赖的 ATP 酶活性调节蓝藻生物钟蛋白的单体洗牌动力学

真庄铖
博士研究生

我们研究了对于蓝藻生物钟蛋白——KaiC 至关重要的相位同步化机制“单体洗牌”(Shuffling)的具体分子机制,与其如何受到生物钟自身的调控。我们的研究提供了一个多聚物蛋白单体交换的研究框架。

北京大学物理学院三年级博士生,导师欧阳颢,合作导师曹远胜。研究方向生物钟中的分子机制与动力学热力学问题。

摘要: Kai 系统是蓝藻 *Synechococcus elongatus* PCC 7942 细胞内的生物钟系统,由于其良好的性质,只需要 ATP 和三个蛋白质的相互作用就能在体外产生稳定的 24 小时磷酸化振荡,受到生物学家和物理学家的广泛关注。其核心时钟蛋白 KaiC 是一个六聚体,在其去磷酸化阶段, KaiC 六聚体可以在一种称为“单体洗牌”的现象中交换亚基,这对于同步各个六聚体时钟的相位至关重要。然而,单体洗牌的具体分子机制尚不清楚,其与能量消耗的关系也是人们关心的问题。在这项研究中,我们开发了一种基于色谱的方法来监测 KaiC 的六聚域(KaiC- CI)的动态。我们的研究表明,ATP 酶活性对单体洗牌至关重要。通过定量模型分析实验数据,我们发现 ATP 在两个独立的单体-单体界面上水解将 KaiC-CI 六聚体分解成两个低聚体。来自两种不同六聚体的互补低聚物可以快速重组混合六聚体。从机制上讲,ATP 水解诱导六聚体的不稳定,洗牌能力状态,而核苷酸交换稳定它们,抑制洗牌。这两个过程之间的平衡定量地解释了在我们与前人的实验中观察到的 KaiC 突变体中洗牌速率和 ATP 酶活性之间的关系。将该模型应用于全长 KaiC 表明, KaiC-CII 结构域的磷酸化通过影响 CI 结构域的核苷酸交换率来调节洗牌,在 KaiC 群体中同步 CII 的磷酸化。我们的发现提供了一个研究框架,对其他分子机器的单体交换动力学具有启示意义。

(口头报告 I23)

Constructing a holistic map of cell fate decision by hyper solution landscape



张潇逸，北京大学前沿交叉学科研究院定量生物学中心博士研究生，师从张磊教授。本科毕业于南京大学物理学院，师从李文飞教授。研究方向为解景观以及超解景观在生命系统中的应用。

张潇逸

联系方式: xyzhang@stu.pku.edu.cn

博士研究生

摘要: The Waddington landscape metaphor has inspired extensive quantitative studies of cell fate decisions using dynamical systems. While these approaches provide valuable insights, the intrinsic nonlinear complexity and the parameter dependence limits systematic analysis of fate transitions. Here, we introduce the Hyper Solution Landscape (HSL), a minimally parameter-dependent methodology showing a comprehensive structure of all possible landscape configurations for gene regulatory networks. Building on the concept of solution landscape that primarily captures the complete stationary points in static landscape, HSL connects different solution landscapes to reflect dynamic changes of the landscapes associated with bifurcations. Applied to the Cross-Inhibition with Self-activation motif, HSL analysis identifies key hyperparameters driving distinct directional changes in cell fate propensity. Importantly, different routes through the HSL between the same initial and final states can produce markedly different fate distributions. This enables rational design of transition strategies. We validate HSL's utility in the seesaw model of cellular reprogramming, establishing a powerful framework for understanding and engineering cell fate decisions.



(邀请报告 I24)

新型机器人物质系统及其自组织与无序超均匀特性

报告人：王璟

单位：国科温州研究院，温州，325001

邮箱：wangjing@ucas.ac.cn

自组织复杂多体系统作为新兴交叉学科领域，在智能材料合成与生物组织机理研究方面展现出巨大潜力。这一融合物理、化学、生物学与计算机科学的前沿方向，正在为工程应用和医学研究开辟全新路径。目前，自组织的传统功能材料等体系受制于静态结构刚性、响应模式固定以及合成工艺复杂等固有特性，在自适应调控能力和功能扩展性方面存在显著局限，难以满足在动态环境、复杂工况与多重任务下的研究与应用需求。随着微型机器人技术成本下降与集群控制技术的突破性进展，一种革命性的材料范式——“机器人物质”应运而生。该体系以机器人个体作为功能基元，通过集群自组织机制实现宏观材料特性，可具备环境自主响应能力、动态功能可编程性、多模态特性集成等特性，并能够进一步与生物活性材料、适应性进化算法等技术交叉融合，有望突破传统体系局限，推动智能制造、精准医疗及环境探测等领域中的理念突破并催生颠覆性应用。

通过由上千个磁耦合自旋机器人组成的集群与互动环境光平台组成的实验系统，研究团队对机器人物质的核心概念进行了实验上的验证，并进行了其自组织行为的研究。此机器人物质系统在实验中涌现出独特的“机器人-物质二元性”，即展现出包括快速自组装、自适应性等类物质性质与如主动力输出、智能修复、智能变形、灵活渗透等类机器人特性的一系列理想材料行为。这些结果表明展现了机器人物质系统所具备的超越传统惰性与活性材料能力的广泛功能性与应用潜力。基于此系统的无序超均匀结构特性研究，研究团队还揭示了一种通过磁耦合作用与局域活性扭转间的对抗而引入特征结构缺陷的无序超均匀结构形成机制。这种在活性粒子系统中实现稳定无序超均匀结构的全新组织机制，为制备具有理想特性的新型无序超均匀材料与调控生物组织中的无序超均匀结构提供了途径。

(邀请报告 I25)

Renormalization-Inspired Effective Field Neural Networks for Scalable Modeling of Classical and Quantum Many-Body Systems



Liu Xi

Postdoc /Ph.D.

Liu Xi is a postdoctoral researcher at HKUST's Department of Physics, with previous training at Tsinghua University (B.S.), ESPCI Paris (M.S.), and NUS (Ph.D.). Dr. Liu specializes in computational and theoretical condensed matter physics and quantum dynamics.

ABSTRACT: We introduce Effective Field Neural Networks (EFNNs), a new architecture based on continued functions---mathematical tools used in renormalization to handle divergent perturbative series. Our key insight is that neural networks can implement these continued functions directly, providing a principled approach to many-body interactions. Testing on three systems (a classical 3-spin model, a continuous Heisenberg system, and a quantum double exchange model), we find that EFNN outperforms standard deep networks, ResNet, and DenseNet. Most striking is EFNN's generalization: trained on 10×10 lattices, it accurately predicts behavior on systems up to 40×40 with no additional training---and the accuracy improves with system size. This demonstrates that EFNN captures the underlying physics rather than merely fitting data, making it valuable beyond many-body problems to any field where renormalization ideas apply.



(口头报告 I26)

电荷不对称性调控液滴尺寸



罗程杰
博士

罗程杰，德国马克斯·普朗克动力学与自组织研究所（MPI-DS）博士后。2016 年本科毕业于南京大学（NJU）物理学院，2018 年获得香港科技大学（HKUST）物理学 MPhil 学位，2023 年以优异成绩（*Cum Laude*）获荷兰埃因霍温理工大学（TU/e）应用物理学博士学位。主要研究领域为统计物理、软物质和生物物理，包括玻璃化转变理论、多组分液体相分离和斑图动力学。在 PRL、PRE、JCP、Soft Matter、J. R. Soc. Interface 等重要期刊发表论文 18 篇；在戈登会议、CECAM 旗舰会议等国际学术会议作报告 10 余次。

摘要：生物分子凝聚体是由核酸、蛋白质等多种生物分子构成的复杂液滴，其形成主要源于生物分子间短程吸引力驱动的液-液相分离。由于生物分子通常携带不同净电荷，长程静电相互作用可能影响相分离过程。本研究采用带相反电荷的短程吸引聚合物及其抗衡离子的简化模型，发现当电荷对称时，带电聚合物会与溶剂分离形成两个宏观相；而当电荷不对称性足够强时，系统会形成多个尺寸均一的共存液滴，即斑图相。这种斑图相的形成机制在于：短程吸引力使聚合物在液滴内富集并产生净电荷，从而抑制液滴生长；同时液滴会排斥小离子，有效增加液滴内的静电屏蔽长度。分子动力学模拟和连续场理论均表明，液滴尺寸随电荷不对称性增强而减小。本研究揭示了一种通过短程吸引与长程静电排斥的权衡调控液滴尺寸的机制，对理解生物分子凝聚体及化学工程中设计和合成特定斑图具有指导意义。

(口头报告 I27)

α 突触核蛋白液液相分离微观物理机制的多尺度模拟研究



唐一鸣
博士后

2022 年毕业于复旦大学物理学系，获博士学位，现于复旦大学韦广红教授课题组从事博士后研究。其研究聚焦于运用多尺度分子模拟与神经网络方法，探索疾病相关结构蛋白和天然无序蛋白的构象分布及热力学/动力学特性，揭示短肽与生物大分子的自组装、相分离及病理性聚集等过程的微观物理机制。在 *Angew Chem*、*Adv Sci*、*Cell Rep Phys Sci* 等期刊发表 SCI 论文近 50 篇，总被引 1300 余次，H 指数为 22。

摘要：蛋白质的液液相分离与细胞区室化和应激调控等多种生理功能相关，而异常相分离可通过诱导不可逆蛋白聚集体形成等途径引发疾病。 α 突触核蛋白是一种具有重要神经功能的天然无序蛋白，病理条件下它在神经系统中形成的不溶性包涵体是帕金森病的典型病理特征。研究表明，该蛋白可通过液液相分离形成液态凝聚体，后者可经液固相变转化为具有细胞毒性的不溶性纤维，但上述过程的微观物理机制有待阐明。本研究针对上述科学问题，开展多方法、多尺度、大规模的分子模拟，并结合机器学习方法，构建了 α 突触核蛋白从单体到凝聚体、再到两相共存状态的全链条物理模型，系统研究了该蛋白单体的构象特征与热力学性质（及其温度依赖性）、自发凝聚过程及凝聚体的动态演化规律，以及两相共存态的热力学性质。研究识别出参与驱动 α 突触核蛋白液液相分离及纤维化的关键 β 结构片段，揭示了疏水相互作用、芳香堆积、氢键介导的相分离驱动力，以及液滴形成过程中 β 结构片段的相互作用模式。模拟结果得到了 ThT 荧光、浊度分析、DIC 显微成像等实验的验证。本研究从分子层面解析了 α 突触核蛋白相分离及凝聚物固化的动态机制，为阐明相分离介导的神经退行性疾病病理基础提供了关键理论依据，并为开发基于相分离调控的疾病早期干预策略提供了潜在靶点。



(邀请报告 I28)

细胞复杂系统的多尺度非平衡输运及调控



李辉
教授

李辉，北京师范大学教授，博士生导师，国家优秀青年科学基金获得者，中科院青年创新促进会成员。2006 年本科毕业于山东大学物理学院，2012 年博士毕业于中科院物理研究所，历任助理研究员、副研究员，期间访问牛津大学、哈佛大学、麻省理工学院。2019 年调入北京师范大学，任教授。2024 年起担任北师大系统科学学院副院长。学术兼职方面，担任美国物理联合会(AIP)期刊 *Biophysics Reviews* 副主编、中国物理学会 CPL 等四刊联合青年编委等。

摘要：细胞作为生命的基本单元，其本身就是一个高度有序的复杂系统，同时又是构成更高级生命系统的基础组件。这个系统展现出典型的跨尺度特征：在纳米尺度上，生物大分子通过组装形成功能单元；在微米尺度，这些单元进一步组织成具有特定功能的细胞器；而在更大尺度上，细胞通过协同作用形成组织和器官。这种多层次结构的维持依赖于持续的物质能量交换和信息传递，包括分子的定向运输、异常扩散等微观过程，以及细胞迁移、群体行为等宏观表现。理解这些跨尺度动力学行为及其调控机制，对揭示生命系统的运行原理具有重要意义。本报告将介绍我们在细胞复杂系统的生物物理研究进展。通过发展多尺度动力学实验观测技术和定量分析方法，我们重点研究了从胞内分子输运、细胞迁移到群体运动的非平衡动力学特性及调控规律，并以此理解细胞迁移、凋亡、相分离等重要生命功能的物理机制。



(口头报告 I29)

P1 片段的缺失对 α -Synuclein 单体构象与聚集倾向的影响



刘钰莹

在读博士研究生

现为复旦大学物理学系博士研究生，主要研究本征无序蛋白在折叠与聚集过程中的构象变化机制、病理性聚集过程及功能性淀粉样蛋白的自组装行为。

摘要：帕金森病是全球第二常见的神经退行性疾病，其显著特征是在神经系统中形成不溶性的 α -synuclein 淀粉样沉积物。阐明 α -synuclein 的错误折叠与病理性聚集的分子机制，对于识别潜在治疗靶点具有重要意义。先前研究表明，位于第 36-42 位的残基区域（即 P1 片段）在 α -synuclein 聚集过程中发挥关键调控作用。在 pH 7.5 条件下，删除或突变该“主控区域”可显著抑制 α -synuclein 在体外的聚集能力。本研究基于副本交换分子动力学模拟（REMD），对比分析了野生型 α -synuclein 与删除 P1 片段突变体的构象系综，深入探讨了 P1 缺失对单体结构与内在相互作用网络的影响。结果显示，P1 删除后，原本存在于 P1 与 NAC 区域之间的相互作用被 NAC 区域自身的内部相互作用所取代，从而增强了 α -synuclein 单体的分子内的相互作用。同时，C 末端对 NAC 区域的保护效应增强，导致蛋白更难以展开并形成聚集所需的分子间相互作用界面。该研究揭示了 P1 片段在调控 α -synuclein 单体内构象分布和早期聚集成核过程中的重要作用，为深入理解 α -synuclein 聚集机制提供了新视角，并为帕金森病等突触核蛋白病的干预策略提供了理论依据。

E46K mutation exacerbates α -synuclein LLPS and LSPT via CTD-driven electrostatic and β 6-mediated hydrophobic interactions

Zhongyuan Yang, Yiming Tang, and Guanghong Wei*

Fudan University, Shanghai, Post Code: 200437

Email: 21110190061@m.fudan.edu.cn



Zhongyuan Yang
Ph.D. Candidate

Zhongyuan Yang received his Bachelor's degree in 2021 from the Qian Xueshen class (physics) at Xi'an JiaoTong University. From 2019 to 2020, he studied as an exchange student at Stony Brook University, State University of New York. Since 2021, he has been pursuing a Ph.D. in Physics at Fudan University. His research focuses on computational biophysics, particularly on the phase separation and aggregation mechanisms of neurodegeneration-related proteins.

ABSTRACT: Liquid–liquid phase separation (LLPS) of intrinsically disordered proteins (IDPs) has emerged as a critical mechanism in cellular compartmentalization, but its dysregulation can lead to pathogenic liquid-to-solid phase transitions (LSPT) implicated in neurodegenerative diseases. α -Synuclein (α -syn) undergoes LLPS as a precursor to aggregation into amyloid fibrils, the pathological hallmark of synucleinopathies such as Parkinson's disease. Growing evidence indicates that the familial mutation E46K enhances both LLPS and LSPT of α -synuclein, yet the molecular mechanisms underlying these effects remain poorly understood. Here, we employed multiscale simulation strategies to elucidate the impact of E46K on the conformational properties and phase behaviors of α -synuclein. All-atom monomer simulations reveal that E46K increases the global compactness and β -structure propensity of the β 6 motif in the α -synuclein monomer and modulates the pattern of intramolecular electrostatic and hydrophobic interactions. Phase-coexistence simulations demonstrate that E46K enhances intermolecular electrostatic interactions between the mutation region and C-terminal domain, as well as β 6-mediated hydrophobic interactions. Together, our results uncover a clear mechanism underlying the enhancement of LLPS and LSPT by E46K and highlight the crucial roles of C-terminal domain and β 6 motif in this process. This study may provide potential therapeutic targets in synucleinopathies.



(邀请报告 J01)

Uncovering underlying physical principles and driving forces of cell cycle and cell differentiation/reprogramming from single-cell transcriptomics

Jin Wang
WIUCAS and SUNYSB

Advances in single-cell technology enable transcriptome data at unprecedented scales. However, identifying the driving force of cell function from these data remains challenging. We learn cell state vector fields of cell differentiation/reprogramming from RNA velocity to quantify the global driving forces as landscape and flux from these data. Our methodology utilizes single-cell high-throughput experiments for validating the landscape and flux theory, with associated quantifications.

We reveal that cell cycle has a Mexican hat shaped landscape [1]. While landscape attracts the system down to the oscillation ring valley. It is the rotational flux which drives the coherent oscillation on the cell cycle path. We identify the key genes in maintaining cell cycle dynamics and predicting associated functional effects. Additionally, we quantify the fundamental thermodynamic cost of the cell cycle initiation and unveils that sustaining the cell cycle requires curl flux and dissipation to maintain the oscillatory phase coherence. This study enables the inference of the cell cycle gene regulatory networks directly from the single-cell transcriptomic data.

We also quantify the Waddington landscape and flux for cell differentiation and reprogramming [2]. We identify the deviation of the optimal path and transition state from the Waddington landscape alone as the driving force due to the presence of flux. We reveal the nucleation mechanism of cell fate decision-making with transition states as nucleation sites and pioneer genes as nucleation seeds. This provides a framework for uncovering underlying physical principles of biological processes via single-cell transcriptomics.

References:

- [1] Ligang Zhu and Jin Wang*, Quantifying Landscape-Flux via Single-Cell Transcriptomics Uncovers the Underlying Mechanism of Cell Cycle. Adv. Sci. 2024, 11, 2308879 (2024)
- [2] Ligang Zhu, Songlin Yang, Kun Zhang, Hong Wang, Xiaona Fang*, and Jin Wang*. Uncovering underlying physical principles and driving forces of cell differentiation and reprogramming from single-cell transcriptomics. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 121 :34, e2401540121 (2024)

(邀请报告 J02)

Fröhlich Condensation: Graph topology for nonequilibrium properties



张哲东
副教授

Prof. Zhedong Zhang obtained his Ph.D. in physics from Stony Brook University in 2016. Since then, he has been working as a postdoctoral fellow until 2020 when he moved to Hong Kong. He received the Robert Welch Postdoctoral Fellowship (Chemical Physics) in 2020. In 2024, he received the Excellent Young Scientists Award, NSFC (国家优秀青年科学基金).

Prof. Zhang's research interest is theoretical quantum physics, with two focuses: (1) Nonlinear optical spectroscopy with quantum light for molecular processes; (2) Statistical mechanics for mesoscopic systems. He has about 40 professional publications, on high-profile journals including

摘要: There was a long yet ambiguous debate on the mechanism of polariton condensation (PC)—whether it rests in a different category from the Bose-Einstein condensation (BEC) or not—that has lasted for decades [1]. I shall address this issue by invoking the nonequilibrium condensation of bosons which was proposed by Fröhlich in polar vibrations of molecules under strong energy pump [2-4]. This is a highly-collective phase at room temperature. In this talk, I shall present our recent works on the Fröhlich condensates [3,5,6], i.e., a statistical theory unveiling quantum fluctuations to all orders that remarkably exceeds the mean-field theory. The results reveal three insights: (1) a transition of phonon-number statistics from thermal to coherent distribution; (2) 2D graphs formed by the probability flux network quantifying the irreversibility; (3) Graph structure beyond the paradigm of U(1) symmetry breaking for describing the phase transitions [6]. I shall elaborate the global properties of the flux network exhibiting the curl nature, and thus identify the winding number that is a topological invariant as a new order parameter for the nonequilibrium phase transition. From our insights, the PC resides in the Fröhlich regime, revealing a graph texture distinct from the BEC. A new class of nonequilibrium matter can be therefore expected.

- [1] T. Byrnes, N. Kim & Y. Yamamoto, Nat. Phys. 10, 803 (2014)
- [2] H. Fröhlich, Int. J. Quantum Chem. 2, 641 (1968)
- [3] Z. Zhang, G. Agarwal & M. Scully, Phys. Rev. Lett. 122, 158101 (2019)
- [4] X. Wang & J. Wang, Phys. Rev. B 106, L220103 (2022)
- [5] Z. Zhang, S. Zhao & D. Lei, Phys. Rev. B 106, L220306 (2022)
- [6] F. Liu, *et al.*, arXiv:2506.00792



(口头报告 J03)

WebCVTree4: 基于万株全基因组的原核物种的分类 与亲缘关系研究平台



左光宏
岗位研究员

主要从事生命科学相关的理论研究，包括：微生物进化与分类的 CVTree 方法，生物分子系统的计算模拟。主持完成国家自然科学基金面上和青年项目各 1 项；参与编撰《中国生物信息学 2035 年发展战略》；获得软件著作权 4 项；发表学术论文 40 篇，包括：ACS Nano、Small、GPB、J Phys Chem、Proteins 等，其中以第一/通讯作者发表 SCI 一区论文 8 篇，总引用 1800 余次。

摘要：CVTree 是郝柏林院士提出的物种亲缘关系与分类研究方法。它基于全基因组且无需序列联配 (alignment-free)，能高效准确的处理大量物种的进化与亲缘关系。最近，我们推出 WebCVTree4 (<http://cvtree.online/v4/>)。相对之前的版本，WebCVTree4 内建基因组达到了十万的量级，并且由于算法上的改进，它能够在线处理万数量级的物种的亲缘关系，这就使我们能够基于全基因组构建全物种生命之树。此外，我们还引入了全新的亲缘关系树与分类系统对比的算法，它可以快速的对亲缘关系树定根、注释与对比，并通过网页进行显示，为系统的对比通过 CVTree 方法获得的亲缘关系树与分类系统提供了支持。我们相信，随着基因组测序越来越便捷，微生物的亲缘关系与分类系统的研究将需要越来越多的参考全基因组的研究结果，而 WebCVTree 将成为研究微生物进化与分类的有力的网络平台。

(口头报告 J04)

基于 AI 驱动的 RNA 分子复杂系统预测研究



赵蕴杰
教授/博士

华中师范大学物理科学与技术学院教授，博士生导师，生物物理研究所副所长，湖北省杰青，中国生物信息学会(筹)“生物分子结构预测与模拟专业委员会”委员，湖北省生物信息学会和湖北省晶体学会理事。研究方向为凝聚态软物质物理和生物物理，在 *Nature Immunology* 和 *Nature Communications* 等刊物上发表 SCI (《科学引文索引》) 论文 70 余篇，著有“十三五”和“十四五”国家重点出版物。受邀担任 *Briefings in Bioinformatics* 和 *iScience* 等学术期刊客座编辑，*Nature Biotechnology*，*Nature Communications* 和 *Physical Review Letters* 等 20 余国际学术杂志审稿人。主持国家自然科学基金面上项目，湖北省杰出青年基金等多项基金项目，入选省部级人才支持计划。

摘要：RNA 复合物是生命体中参与细胞活动的重要生物大分子，相关复合物三级结构的测定对理解细胞活动过程和相关疾病的治疗有重要帮助。然而实验测定 RNA 复合物分子依然面临重大挑战。报告人将围绕如何利用人工智能技术解决 RNA 结构领域的重大科学问题和挑战，针对 RNA 复合物结构预测开发新一代的机器学习结构评估模型，并利用基于机器学习的复杂网络模型解释生物大分子的动力学物理机理，辅助抑制剂设计等下游关键任务的瓶颈问题。

(邀请报告 J05)

电压门控钙离子通道的离子通透及价态选择机制



宋晨
研究员

宋晨，北京大学前沿交叉学科研究院定量生物学中心研究员、长聘副教授，主要从事关于膜蛋白的计算生物物理化学研究，发展并运用多尺度计算模拟和机器学习方法，研究离子通道等膜蛋白的动力学及热力学性质，并基于此进行膜多肽及膜蛋白设计。

摘要：电压门控钙通道（Cav）在膜去极化时介导钙离子的选择性通透，是细胞信号传导的核心元件，但其分子机制尚未完全明晰。本研究通过全原子分子动力学模拟，系统探究 Cav1 通道的离子通透与价态选择性机制。模拟结果重现了实验测得的钙电导（9-11 pS），并揭示了三离子撞击传导机制——选择性过滤器区中至少结合两个钙离子，通过第三个钙离子的进入和敲击触发高效通透。PMF 计算结果表明，这样的通透模式可有效降低钙离子的通透势垒至 14 kJ/mol。在钙钠双阳离子共存条件下，通道展现出约 35:1 的钙钠选择性，钠离子的通透势垒高达 33 kJ/mol，这源于狭窄 SF 内的强静电相互作用与三离子动力学过程所需的协同效应。本研究阐明了 Cav 通道的选择性钙离子转运的物理机理，为理解钙依赖的细胞过程提供了机制性启示。

相关文献：

Xue, L.; Yan, N.; Song, C.* Deciphering Ca^{2+} Permeation and Valence Selectivity in Cav1: Molecular Dynamics Simulations Reveal the Three-Ion Knock-On Mechanism. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2025, 122, e2424694122.



(邀请报告 J06)

液-液相分离驱动的乙肝病毒 pgRNA 结构组装与功能动力学



李文飞
教授/博士

李文飞，南京大学物理学院教授，主要从事生物大分子体系组装与功能动力学的理论与计算机模拟研究，包括：1) 生物大分子组装与相变的理论与计算研究；2) 生物大分子机器功能动力学物理机制；3) 染色质结构动力学与表观遗传；4) 融合物理与 AI 的生物分子设计与预测；5) 多尺度分子模拟理论和计算方法等。

摘要：病毒基因组编码着病毒生命周期必需的遗传信息和基本生物过程。理解基因组在衣壳内的结构组织方式，是研发抗病毒药物的基础。本工作针对乙肝病毒 pgRNA 中间体，基于多尺度分子动力学模拟和生物化学实验对病毒 pgRNA 基因组的结构组装与功能动力学进行了系统研究，发展乙肝病毒 pgRNA 通过液-液相分离沿衣壳内表面形成低密度与高密度区域共存的中空球壳结构。这种相分离主要由 pgRNA 与 HBV 衣壳蛋白无序结构域间的静电相互作用驱动，且相分离形成的 pgRNA 中空球壳结构能促进长程碱基配对，增强聚合酶迁移能力，这对逆转录过程中聚合酶的功能动力学至关重要。



(邀请报告 J07)

AI 在生命科学中的应用：从分子到细胞



刘海广
研究员

刘海广博士是中关村学院研究员、博士生导师。刘海广 2003 年毕业于香港浸会大学，获得物理学学士学位，2009 年在加利福尼亚大学戴维斯分校获得应用科学博士学位。刘海广博士曾任职于多家研究机构，包括劳伦斯伯克利国家实验室、亚利桑那州立大学，北京计算科学研究中心，微软亚洲研究院，和微软研究院科学智能中心。他于 2025 年加入中关村学院，目前专注于开发 AI 模型并应用于自然科学领域的研究，主要包括药物研发，蛋白质分子设计和优化，以及细胞模型的开发等。

摘要：人工智能(AI)在自然科学研究中开始发挥越来越重要的作用，从文献阅读、知识总结、甚至到实验设计和数据分析等方面。基于深度神经网络的人工智能对于科学实体的描述（比如微观的分子组分、结构和性质）有希望超越科学发展过程中逐步演化出来的形式。这种更有效的机器语言描述结合大量高质量的科学数据和第一性原理的科学规律，正在逐步形成一种新的科学范式。在生命科学领域，化合物分子和生物大分子的研究正在经历重要转变，从传统的试错型到现代的高通量实验，逐步进入基于 AI 的量身定制的研究模式。研究的内容也从对稳定结构的预测拓展到动力学、多构象、多体系相互作用的研究。在此基础上，AI 在细胞领域也开始发挥其重要作用，从个体到系统的集成也是接下来的主要研究方向之一。我将结合过去几年的研究经历，讨论在这些领域的一些心得。

(口头报告 J08)

靶向淀粉样蛋白自身聚集与协同聚集机制的诊疗干预新策略



孙运祥
副教授/博士

宁波大学物理科学与技术学院副教授、硕士生导师，主要从事淀粉样蛋白聚集及其调控机制的分子模拟研究。研究方向包括：蛋白质多肽的折叠与病理性聚集、功能性淀粉样蛋白的自组装、固有无序蛋白的构象动力学转变机制，以及新型降钙素类抗聚集多肽药物的设计与开发。目前已在 Nat. Commun.、JACS、Nano Today、Small、JPCL、JCIM、BIB 等国际主流期刊发表论文 90 余篇，累计引用次数超过 2300 次。

摘要：蛋白质多肽的异常纤维化聚集是阿尔茨海默病、帕金森病等淀粉样疾病的核心病理特征。尽管每种疾病通常与 1 至 2 种特定淀粉样多肽异常聚集密切相关，临床上同一病变组织中多种异源淀粉样蛋白共存的现象亦较为常见，这不仅加速疾病进展，还增加多种淀粉样疾病的并发风险。深入研究异源淀粉样蛋白间的交叉作用及其对纤维化聚集的调控机制，对揭示淀粉样蛋白病理聚集的分子基础及相关药物设计具有重要意义。本报告结合课题组对 A β 、 α -synuclein 及 Medin 自身聚集与协同交叉聚集分子机制的研究，重点介绍内源性 β -endorphin 通过与 A β 形成冠状（Corona）复合物显著缓解 A β 细胞毒性的创新干预策略。该成果不仅为揭示运动减缓阿尔茨海默病风险的分子机制提供依据，也为淀粉样疾病的预防和治疗开辟了新思路。

- [1]. Y. Sun#, N. Andrikopoulos#, G. Zhang#, ..., Y. Li, P. C. Ke*, F. Ding*. *Small*, 2025, 2409392. (IF:13.0)
- [2]. H. Tang#, N. Andrikopoulos#, Y. Li#, ..., Y. Sun*, F. Ding*, P. C. Ke*. *Nature Communications*, 2025, 16(1): 2937. (IF:14.7)
- [3]. F. Huang#, X. Fan#, ..., C. Wang*, F. Ding*, Y. Sun*. *Briefings in Bioinformatics*, 2024, 25(2): 1–15. (IF:6.8)
- [4]. Y. Liu, ..., F. Ding*, Y. Sun*. *Small*, 2022, 18(34): 2202642. (IF:13.0)
- [5]. Y. Sun*, ..., Y. Song*, P. C. Ke*, F. Ding*. *Nano Today*, 2021, 38: 101125. (IF:13.2)

(口头报告 J09)

The Physical Driving Forces of Conformational Transition for TTR



李慧玉
副教授/博士

2011年毕业于复旦大学，获得凝聚态物理专业理学博士学位，副教授，硕士生导师。2012年10月-2014年12月期间分别在美国康奈尔大学，密西根大学做博士后，访问学者。主要从事小分子与疾病相关蛋白相互作用机理研究，特别是在中草药中筛选出的天然小分子与蛋白之间相互作用机理研究；并探索人工智能方法设计新型药物分子。已在 *ACS Chem. Neurosci.*, *J. Chem. Inf. Model.* 等杂志发表 SCIE 收录论文 30 多篇。

摘要：Pathological aggregation of essentially dissociated Transthyretin (TTR) monomer proteins, driven by misfolding and self-interaction, is associated with Transthyretin amyloidosis (ATTR) disease. The TTR monomer proteins consist of several fragments that tend to self-aggregate. Recent experimental studies showed that the sequence of residues TTR91-96 plays an important role in self-aggregation. However, the mechanisms underlying the misfolding and aggregation of TTR91-96 monomers are still unknown. In this study, we used microsecond molecular dynamics simulations to investigate the misfolding and self-assembly of TTR91-96 Octamers. We also investigated E92P and V94P mutants, for comparative analysis. The analysis indicates that hydrophobic interactions and π - π stacking patterns play important roles in reducing the β -sheet content in the V94P and E92P mutants. Additionally, our findings reveal the conformational transition of TTR91-96 octamer from closed β -barrel, open β -barrel to the β -bilayer aggregation. We further elucidate the dynamic mechanism of the transition from intermediate states to stable states. Overall, our research may contribute to the development of drug design to combat amyloid fibrous diseases.

(邀请报告 J10)

溶液环境对 RNA 螺旋结构柔性影响的研究



谭志杰
教授/博士

武汉大学物理系教授，现为中国物理学会软物质与生物物理专业委员会委员、中国生物信息学会(筹)生物分子结构预测与模拟专业委员会常务委员、全国统计物理与复杂系统会议学术委员会委员等。目前主要从事理论与计算生物物理的研究，在核酸离子静电学、RNA 三维结构预测及核酸动态结构分子动力学模拟等方面进行了较为深入系统的研究，相关结果以主要作者在 Phys Rev Lett, PNAS, Nucleic Acids Res, Biophys J, RNA 等专业刊物上。

摘要：RNA 的结构柔性在其遗传信息的储存、传递以及基因调控等生物功能中起着重要的作用。RNA 带有高密度负电荷并处于复杂的溶液环境中，溶液中离子尤其高价离子以及其它溶质分子可能对 RNA 结构柔性会有重要的影响。我们结合全原子分子动力学模拟和单分子磁镊，研究了高价离子、高浓度单价离子以及酒精溶剂对 RNA 双螺旋结构柔性的影响，我们发现：1，高价离子显著增加了 RNA 的拉伸模量和弯曲持久长度，且可反转 RNA 螺旋结构的扭转-拉伸耦合，其无法基于离子中和效应解释；2，高浓度单价离子导致 RNA 与 DNA 具有相似的弯曲持久长度，且与电中性 DNA 与 RNA 相当，意味着 RNA 与 DNA 弯曲柔性的差别主要来自于静电作用；3，高浓度酒精的加入导致 RNA 的拉伸模量和弯曲持久长度显著增加，也可反转 RNA 螺旋结构的扭转-拉伸耦合，与高价离子效应类似。我们分析发现，上述环境因素对 RNA 结构弹性的影响主要来自于 RNA 的典型结构特征：RNA 具有很深且窄的大沟导致离子更倾向嵌入 RNA 大沟。对于高价离子，其可强烈吸引相邻磷酸骨架靠近从而形成“离子钳”，进而增强 RNA 双螺旋结构的弯曲和拉伸刚性，并实现了 RNA 双螺旋伸缩-扭转耦合反转；当离子为单价离子时，导致离子对 RNA 中和效应弱且其电荷密度高，导致生理离子条件下 RNA 比 DNA 具有更强的弯曲刚性；当高浓度酒精加入可显著增强单价离子与 RNA 的静电作用而导致大沟处单价离子形成与高价离子及类似的“离子钳”，从而高浓度酒精对 RNA 柔性有与高价离子类似的效应。



(邀请报告 J11)

染色质动力学与转录因子凝聚共同调控增强子-启动子相互作用



楚夏昆

助理教授

香港科技大学（广州）

本科毕业于吉林大学物理学院，在吉林大学获得理论物理学博士学位。随后在西班牙马德里高等纳米研究所生物物理系和美国纽约州立大学石溪分校化学系从事博士后研究工作。2022 年 8 月加入香港科技大学（广州）功能枢纽先进材料学域，担任助理教授（独立 PI）。同时受聘于香港科技大学生命科学系，担任联署助理教授。至今，以第一作者和通讯作者在 Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A、Phys. Rev. Lett.、Appl. Phys. Rev.、Adv. Sci.等杂志上发表学术论文 30 余篇。承担国家、省市级项目 9 项，作为项目骨干参与国家重点研发项目 1 项。担任中国生物信息学学会(筹)生物分子结构预测与模拟专业委员会委员和 J. Mol. Cell Biol.等多个杂志的学术编委。

摘要：增强子与启动子（E-P）之间的相互作用对精确调控基因表达至关重要，尤其是在较大的基因组距离上。这种相互作用受到转录因子（TF）及其辅因子形成的相分离凝聚体的调节。本研究利用聚合物物理和粗粒化染色质模型，探讨了染色质的结构动力学与 TF 凝聚如何协同影响 E-P 的沟通机制。通过构建具有“稳定”和“动态”特征但产生类似整体 Hi-C 图谱的染色质模型，我们揭示了 E-P 相互作用的多步骤机制。动态模型通过促进 TF 短暂凝聚增强 E-P 的邻近性，并随后通过链的柔性破坏凝聚体，促进 E-P 的直接接触。此外，系统地调节 TF 凝聚强度和基因组距离，我们发现 TF 凝聚存在一个“黄金均值”，在此点上 E-P 接触效率达到最高，这种状态使凝聚体大小适合桥接作用，同时避免过密导致的竞争性干扰。我们的研究表明，TF 凝聚体作为可调节的“流变器”，能够缓冲基因组距离对 E-P 相互作用的影响，确保稳健且精确的转录调控。这一综合观点深化了我们对染色质动力学和 TF 介导的基因控制机制的物理理解。



(邀请报告 J12)

核小体动力学性质和相互作用的计算研究



彭云辉
副研究员

彭云辉，华中师范大学物理科学与技术学院副研究员、博士生导师。长期从事生物物理与生物信息学交叉领域研究，聚焦于利用统计物理与分子动力学模拟方法，结合机器学习与生物信息学手段，系统解析蛋白质、核酸等生物大分子的结构特征、功能机制与动态调控过程，并深入探讨其在癌症等重大人类疾病中的作用机制。近年来，相关研究成果发表于 Nature Communications、eLife、Nucleic Acids Research、Briefings in Bioinformatics、Biophysical Journal 等国际高水平期刊，累计发表 SCI 论文 40 余篇。主持国家自然科学基金青年项目、武汉市自然科学基金项目及华中师范大学基础研究项目等多项。2022 年和 2023 年分别入选武汉市和湖北省高层次人才项目。

摘要：核小体是真核基因组的基本包装单位，不仅在 DNA 的压缩与封装中发挥关键作用，还作为生物调控网络的核心节点，与大量调控蛋白发生相互作用。其结构高度动态，表现出 DNA 呼吸（breathing）、展开（unwrapping）和滑动（sliding）等多种动力学行为，这些过程直接影响染色质的结构可及性与基因表达调控。组蛋白的翻译后修饰、癌症相关突变以及 DNA 甲基化等因素，可显著改变核小体及染色质的结构和动力学特性，参与调控转录、DNA 修复和染色体重塑等关键生物过程，并与多种人类疾病，尤其是癌症的发生密切相关。鉴于实验技术在捕捉核小体复杂动力学行为方面仍面临诸多挑战，且成本高昂，我们综合运用大尺度分子动力学模拟、相互作用网络分析和静电作用计算，系统揭示了核小体多样的动态特征及其与调控因子之间的作用机制。我们重点分析了不同组蛋白修饰与癌症相关突变对核小体结构和动力学行为的影响，并进一步探讨其在染色质多层次结构调控中的潜在致病机制，为理解染色质结构调控与癌症发生之间的联系提供了理论支撑。



(口头报告 J13)

基于深度突变扫描与迁移率筛选的 RNA 三级结构推断



时亚洲
副教授

时亚洲，男，武汉纺织大学数学与统计学院副教授，深圳湾实验室及澳大利亚格里菲斯大学访问学者，全国生物分子结构预测与模拟委员会委员，2019 年入选湖北省楚天学者人才计划。主要致力于生物大分子（RNA 和 DNA）的空间结构预测及折叠、生命系统的数学/物理建模和复杂疾病（如肿瘤）的发病机理等方面的研究。目前，在国际主流 SCI 期刊（如 PLoS Computational Biology、Biophysics Journal、The Journal of Chemical Physics）上发表 SCI 论文 20 余篇，主持国家自然科学基金项目、湖北省科技厅项目、湖北省教育厅人才项目各 1 项。

摘要：RNA 突变已知会改变其在天然凝胶中的迁移率。然而，目前尚不清楚迁移率是否可以作为一种工具，从深度突变文库中区分结构相似（结构同源体）与结构不稳定的变体，从而实现有效的协变分析。在本研究中，我们展示了：通过迁移率筛选得到的突变体确实包含协变信号，这些信号可通过一种无监督的、RNA 特异性的分析方法检测出来，该方法基于双突变体预测迁移率-适应度得分与实际得分之间的偏差。随后对这些信号进行放大，并将其作为折叠约束条件使用，不仅得到了 F1 分数超过 90% 的高准确性二级结构，还为 6 种 RNA（包括两个 CASP 15 中的难题靶标）构建了质量较高的三级结构模型，其最佳模型（前 5 名中）与天然结构的 RMSD 在 3.6 Å 至 7.7 Å 之间。该 MobiSeq 方法为推断 RNA 的二维和三维结构以及加深对功能性 RNA 作用机制的理解提供了一种简便而有效的技术手段。



(口头报告 J14)

Effects of dangling ends on the thermodynamic parameters and kinetics property the terminal of RNA duplex

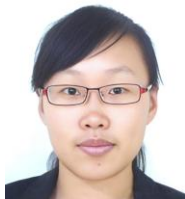


王珍，西安文理学院 机械与材料工程学院物理学专业讲师。博士毕业于武汉大学物理学院。研究方向为生物分子的热力学与动力学、RNA 与蛋白质相互作用。在 RNA, The Journal of Chemical Physics 等期刊共发表论文 10 余篇。

摘要：Unpaired overhanging nucleotides play a vital role in RNA secondary structures, such as which can stabilize the duplex, thus understanding the thermodynamic and kinetic properties of RNA dangling ends is crucial for RNA folding and interaction mechanisms. In this article, we utilized the molecule dynamics simulation to investigate the behavior of RNA dangling ends. The thermodynamic parameters of the RNA terminal bases in the presence of 3' – G, dangling ends, enthalpy change ($\Delta\Delta H$) and entropy change ($\Delta\Delta S$) was calculated precisely, which demonstrated that dangling can stabilize the RNA structure. Moreover, we found that the stability contribution was $G > A > U > G$ for the 3'-terminal of RNA duplex structure. In the term of kinetics, the results showed that the open rate k_- was strong related to the temperate, however, the closing rate k_+ was weak dependence on the temperature.

(口头报告 J15)

时间演化信息在基因序列数据分析中的作用研究



曾红丽
副教授

2014 年博士毕业于芬兰 Aalto 大学理论物理专业，随后在瑞典 Uppsala 大学、北欧理论物理研究所等机构担任研究员。主要从事复杂系统的演化机理推断、生物信息学等交叉领域的研究，尤其是基因组层面上，利用统计物理、数学建模、仿真和数据分析等方法，预测病原体的进化方式及其与免疫系统的相互作用，应对病原体进化对公共卫生构成的威胁。发表专业学术论文 50 余篇，其中包括 PRL、PNAS 等期刊。

摘要: This talk is about two inference methods on the inference of the selection coefficients of SARS-CoV-2 dataset in the UK region. Throughout the course of the SARS-CoV-2 pandemic, genetic variation has contributed to the spread and persistence of the virus. For example, various mutations have allowed SARS-CoV-2 to escape antibody neutralization or to bind more strongly to the receptors that it uses to enter human cells. We compared two methods that estimate the fitness effects of viral mutations using the abundant sequence data gathered over the course of the pandemic. Both approaches are grounded in population genetics theory but with different assumptions. One approach, tQLE, features an epistatic fitness landscape and assumes that alleles are nearly in linkage equilibrium. Another approach, MPL, assumes a simple, additive fitness landscape, but allows for any level of correlation between alleles. We characterized differences in the distributions of fitness values inferred by each approach and in the ranks of fitness values that they assign to sequences across time. We find that in a large fraction of weeks the two methods are in good agreement as to their top-ranked sequences, i.e. as to which sequences observed that week are most fit. We also find that agreement between the ranking of sequences varies with genetic unimodality in the population in a given week.

(邀请报告 J16)

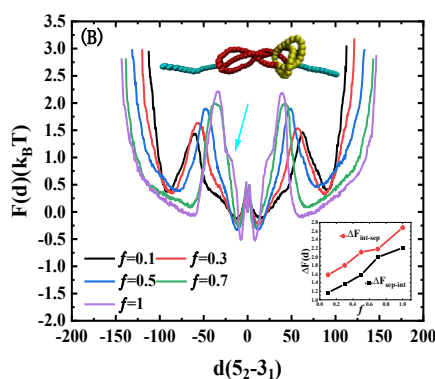
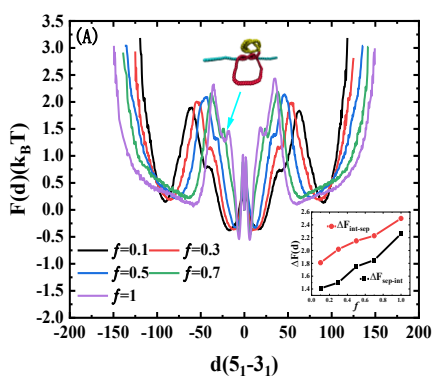
扭结扩散机制及复合结贯穿动力学研究



刘艳辉
教授/博士

刘艳辉，教授、博士研究生导师，从事软凝聚态物理及单分子生物物理研究，先后主持国家自然科学基金 5 项，省部级项目 10 余项，在 *Physical Review E*、*Physica A*、*Communication in Computational Physics* 等期刊发表 SCI 论文 40 余篇；入选中组部“西部之光”人才计划、国家公派留学计划，获得贵州省青年科技奖。在建党 100 周年之际，被授予贵州省委教育工委“优秀共产党员”荣誉称号，贵州省“金师”（教学名师），贵州省金课（一流课程）负责人，贵州省优秀硕士论文指导教师。

摘要：基于朗之万动力学系统研究了单扭结扩散及复合扭结相互贯穿动力学过程。确定了单扭结扩散的三种机制及在受限条件下大分子拥挤效应导致的单扭结超扩散行为；在受限空间中构建复合扭结体系，并基于复合扭结的结心间距概率分布构建自由能曲线，有效表征扭结拓扑结构对扭结相互贯穿的影响。为进一步在单分子水平研究扭结扩散问题奠定了理论基础。





(邀请报告 J17)

Gaussian curvature-guided pattern formation of active fluids on curved surfaces

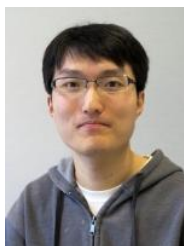
马锐

厦门大学 物理科学与技术学院

摘要: In this talk, I will present our recent study of pattern formation in active fluids confined to curved surfaces, motivated by the dynamics of the actomyosin cortex in cells, where myosin motors generate contractile active stresses. These motors, which diffuse along the cortex, are advected by actin flows arising from stress gradients. We focus on motor and flow dynamics on a prolate surface that mimics the geometry of a cell cortex. As motor contractility increases, we observe the formation of a motor cluster at the poles of the prolate, where the Gaussian curvature is high. Remarkably, upon further increasing contractility, the cluster shifts from the poles to the equator, where the Gaussian curvature is lower. This transition arises from the distinct ways in which Gaussian curvature influences diffusion and advection. Our results reveal a general physical mechanism for curvature-guided pattern formation in active systems on curved surfaces.

(口头报告 J18)

纳米孔生物单分子检测和单分子力学的理论模拟



李峤
副教授

2009 年于上海交通大学获得应用物理学学士学位，2014 年于清华大学物理系获得理论物理博士学位，期间 2013-2014 年在加拿大滑铁卢大学访问研究。随后在 AMOLF 和代尔夫特理工大学从事博士后研究工作，2021 年加入南开大学物理学院任副教授。长期从事软物质统计物理理论和模拟研究工作，研究兴趣包括微分几何下的统计物理：生物膜弹性和动力学、胶体、高分子、蛋白核酸等生物分子的组装和动力学等。

摘要：报告将介绍我们与实验合作，分子动力学模拟研究纳米孔单分子检测和单分子力学的工作进展。我们利用 MspA 纳米孔研究短 G-tract DNA 序列结构变体[1]。模拟与实验互相吻合，表明纳米孔 MspA 与 AS1411 的两种变体 AT11 和 Z-G4 相互作用，导致不同类型的事件：表现出不同电流阻断比和驻留时间。模拟揭示了 Z-G4 在纳米孔中停留时间显著增长的电流事件，是由于其解旋较难和结构刚性更高。在单分子力学研究中，我们将介绍 MLL1 SET 域与组蛋白 H3 的相互作用的模拟和实验研究中发现的显著时空各向异性[2]；针对 SARS-Cov-2 病毒设计锤头状核酶，研究其催化机制，特别是镁离子选择性稳定催化活性构象[3]。这些研究展现了理论模拟和实验的紧密合作，为理解单分子检测和药物设计等给出了新路径。讲座还将简单介绍研究组在生物膜等统计物理的新进展。

[1] Liu et al, Probing Structural Variants of Irregular DNA G-Tracts ($N \leq 2$) Using MspA Nanopores, ACS Appl. Mater. Interfaces 17, 13415 (2025).

[2] Lu et al, A Hammerhead Ribozyme Selects Mechanically Stable Conformations for Catalysis against Viral RNA, Commun. Biol. 8, 165 (2025).

[3] Ma et al, A DNA Force Circuit for Exploring Protein - Protein Interactions at the Single - Molecule Level, Chinese J. Chem. 42, 1456 (2024).

(口头报告 J19)

心肌细胞机械传导建模和在干细胞疗法与超声除颤中的前瞻应用

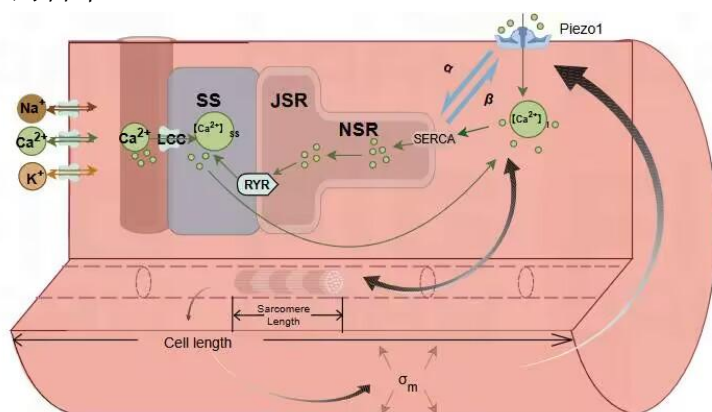


高翔
副教授

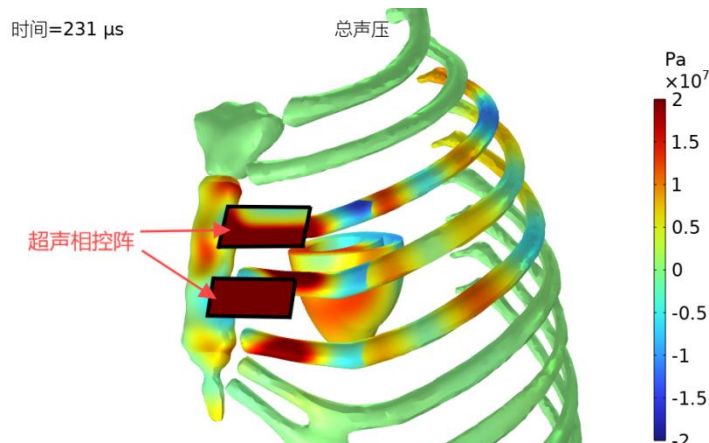
陕西师范大学物理学与信息技术学院副教授，西安市交叉物理学国际联合研究中心主任。2020 年至 2024 年兼任德国马克斯·普朗克学会动力学与自组织研究所 Partner Group Leader。兰州大学本科。浙江大学博士，导师张宏教授。

主要研究心脏病中的物理问题。特别关注心肌系统中的兴奋-收缩耦合、机械传导等多物理场问题，以及斑图动力学指导下的除颤新方法。

摘要：心力衰竭干细胞疗法需深入理解心肌细胞如何感知异常机械应力（拉伸/挤压）并激活相关信号通路。我们整合成熟的心肌细胞电压/机械敏感离子通道、膜张力储能及肌丝动力学模型，建立了机械敏感离子通道介导的机械传导模型（约百个 ODE/PDE）。



利用此模型揭示的力-电耦合效应，我们提出并仿真验证了一种新型非侵入性可穿戴超声除颤方法。该方法通过经胸超声阵列产生的辐射力，经力-电耦合触发动作电位实现除颤，兼具安全性（非侵入）与高效性（时空调控）。





(口头报告 J20)

Tau 蛋白 PHF6 片段末端修饰调控其纤维与膜相互作用的分子机制



复旦大学物理学系博士研究生，主要开展神经退行性疾病相关蛋白的液-液相分离与聚集机制的分子动力学模拟研究。

潘瞳

在读博士研究生

摘要：阿尔茨海默症等神经退行性疾病与微管结合蛋白 Tau 的异常聚集密切相关。在 Tau 蛋白病理聚集过程中，其与细胞膜之间的动态相互作用在促进纤维化进程、诱导膜结构损伤以及最终引发细胞毒性等方面发挥着重要作用。在 Tau 蛋白众多功能域中，PHF6 片段（³⁰⁶VQIVYK³¹¹）作为纤维化核心序列，既是驱动蛋白聚集的关键位点，也是介导 Tau 蛋白和生物膜相互作用的重要结构单元。考虑到在合成和生理状态中，PHF6 肽段通常具有不同的末端修饰状态（如 N 端乙酰化、C 端酰胺化），这些修饰可能显著影响其聚集动力学、膜结合特性以及最终的毒性表现。为此，本研究采用全原子分子动力学模拟，系统探究了四种不同末端修饰状态的 PHF6 纤维（双层 β 片层结构）与混合脂质膜（POPC/POPG）的相互作用机制。模拟结果表明，无论 C 端是否酰胺化，N 端乙酰化的 PHF6 纤维均倾向于通过 K311 残基的阳离子侧链与带负电的 POPG 脂质分子之间的静电吸引作用吸附在膜表面。这种结合模式降低了 PHF6 纤维的动态性，促进了 β 片层内和片层间的相互作用，从而稳定了纤维的整体结构。相比之下，N 端未乙酰化的 PHF6 纤维则通过 N 端插入生物膜中。这种插入模式增强了平行 β 片的层内相互作用，但由于脂质分子介入 β 片层之间而不利于片层间相互作用。另外，膜插入的 N 端未乙酰化 PHF6 纤维相比表面结合的 N 端乙酰化纤维造成了更严重的膜结构破坏。总之，该研究从原子尺度全面揭示了 N 端乙酰化修饰在调控 PHF6 纤维的膜结合模式、结构稳定性及膜扰动效应中的关键作用，为理解 Tau 蛋白的膜相关神经毒性机制提供了重要的理论支持。

(邀请报告 J21)

Protein Readout and Mechanics on DNA via Physical Computing & Data Learning



Jin Yu
Ass Prof/ PhD

Dr Jin Yu obtained her BS&MS of Physics from Tsinghua University and then PhD of Physics from UIUC. She then worked as a UC Berkeley Chancellor's Postdoctoral Fellow and later a Principal Investigator at the Beijing Computational Science Research Center. Dr Yu joined Faculty of Physics & Astronomy at UC Irvine in 2019, jointly with Chemistry, where she continued her Computational Biophysics research.
<https://sites.uci.edu/jinyulab/>

摘要: We here combine physical computing with machine learning (ML) to enhance understanding of protein-nucleic acid interactions in genetic regulation. By improving accuracy and efficiency over the state-of-art computational biophysics approaches, we aim at predicting transcription factor (TF)-DNA binding affinities and specificities and RNA polymerase (RNAP) mechanochemical control.

First, we present our approach combining all-atom MD simulations and Molecular Mechanics-Generalized Born Surface Area (MMGBSA) energy calculations with ML model constructions (neural networks, random forests, support vector machines) to predict DNA binding affinities and specificities for the dimeric TF Myc/Max that is overexpressed in ~70% human cancer. Using high-quality experimental data from genomic-context protein-binding microarrays (gcPBM), we constructed a balanced dataset over a hundred of DNA sequences and TF-DNA complexes for simulation. Feature importance analyses highlighted TF-DNA interfacial complementarity and hydrophobic interactions as primary determinants, while interfacial hydrogen bonding contributions to DNA sequence detection remain to be better characterized physically for improved model construction. This physics-informed ML framework thus serves for both predictive accuracy and mechanistic interpretability, paving the way toward universal scalable prediction of interpretable protein-DNA interactions.

Collective variable (CV) identification is challenging in complex dynamical systems. In study of the translocation of human mitochondrial RNAP or POLRMT, we illustrate CV refinement in conformational samplings and MD data learning. We performed extensive samplings along different translocation paths of POLRMT along DNA (with or without coupling to its subdomain opening). We then employed time-lagged independent component analysis (tICA) and comparatively the variational approach for Markov processes with neural network implementation (VAMPnets) for dimensional reduction on selected atomic coordinate sets for CVs as well as for timescale prediction. Our results suggest that POLRMT translocation is nicely coupled with NTP binding to enable the its subdomain opening, achieving Brownian ratcheting via NTP facilitated translocation. We expect that the expanded researches combining physically based methods with ML modeling or data-driven approaches significantly enhance computational accuracy, efficiency, and advance our understanding on transcription machinery regulation on genome, accordingly assisting anticancer and antiviral therapeutics.

(邀请报告 J22)

巨型 Nesprin-2 蛋白力学响应的单分子研究



乐世敏
教授/博士

乐世敏，厦门大学物理系教授。2015 年博士毕业于新加坡国立大学力学生物学研究所。2022 年入职厦门大学物理系。长期从事单分子与单细胞力学生物学、生物物理交叉方向，关注生物大分子的构象动态与互作的力学、化学调控机制。通讯或第一（含共同）作者成果发表于 PRX (2020)、Sci. Adv. (2009)、PNAS (2025)、Nat. Commun. (2020,2024,2025)、Cell Rep. (2017)、Nucleic Acids Res. (2013, 2014, 2015, 2017)、JPCL (2021, 2024, 2025)、Angew. Chem. (2019)、ACS Nano (2018) 等。

摘要：Nesprin 蛋白家族在细胞骨架与细胞核之间发挥着关键物理桥梁作用。由于外界机械刺激及核-细胞骨架动态变化，nesprin 蛋白在生理状态下持续承受力学作用。然而，其在这些生理力及加载速率下的动态特性仍亟待探索。本研究结合基于磁镊的单分子操纵技术、分子动力学模拟及 AlphaFold3 结构预测，系统研究了巨型 nesprin-2 蛋白中承力的血影蛋白重复序列（SRs）结构域的动力学特性。通过直接量化分析，我们首次揭示众多 SRs 结构域可在数皮牛顿（pN）力范围内发生机械解折叠。进一步研究表明，巨型 nesprin-2 可作为高效分子缓冲器，将核骨架-细胞骨架连接处的维持力精准控制在数 pN 范围。本研究全面阐释了 nesprin-2 的力学特征，为理解其在核骨架-细胞骨架机械信号转导中的核心作用提供了新见解。



(口头报告 J23)

基于复杂网络与深度学习的 RNA 复合物相互作用研究



刘浩泉
博士生

刘浩泉，华中师范大学物理科学与技术学院博士研究生，湖北省晶体学会会员。主要研究课题为复杂网络与生物物理，已在 *Communications Biology* 和 *Briefings in Bioinformatics* 等刊物上发表 SCI(《科学引文索引》)论文 13 篇。

摘要：RNA 是细胞生命系统中至关重要的大分子，其主要通过与蛋白质或小分子之间的特异性相互作用，发挥在基因转录调控、疾病发生等生物过程中不可替代的作用。准确预测 RNA 复合物的相互作用及其结合偏好，不仅是解析生物分子复杂网络的关键突破口，也是统计物理与复杂系统领域中生物物理的重要科学问题。然而，传统的实验方法存在成本高、周期长等瓶颈，且受限于可解析的结构数据规模，利用刚性或柔性较低的理论模型进行预测时，常常伴随较高的假阳性率，尤其在识别新型 RNA-蛋白质复合物的结合构象方面效果不佳。因此，亟需基于现有的 RNA 复合物相互作用网络和测序数据，发展更加高效且具可扩展性的理论计算预测方法。为应对这一挑战，我们提出了 ZHMolGraph 方法。该方法利用 RNA 网络复杂系统中的统计物理模型，并结合图神经网络与无监督大语言模型，有效缓解了当前 RNA 复合物网络注释不平衡的问题。针对 RNA 复合物的结合偏好性识别，我们进一步提出了具有可解释性的网络算法 RNet。该方法体系基于复杂网络与深度学习的融合，为 RNA 的结合偏好预测、复合物研究及抑制剂设计提供了新的思路。

(口头报告 J24)

Universal scaling laws linking protein folding and native dynamics revealed by AlphaFold Database



张泽成

Ph.D student

I'm a Ph.D student in the Department of Physics of HKBU. As a member of Prof Tang Qian-Yuan's group, my researches focuses on the statistical analysis of protein sequences, structures, and dynamics.

Research interests: AI-based protein structure prediction and drug design, organismal complexity, and origin of life studies from a physics perspective.

摘要: The interplay between protein folding and functioning remains a central question in biophysics. Analyzing an extensive dataset of AlphaFold-predicted structures, we discover a fundamental universal scaling law linking contact order (protein folding) and fluctuation entropy (functional dynamics). Through analysis of over 300,000 AlphaFold-predicted structures from 45 taxonomically diverse organisms, we identify robust scaling laws that persist across protein lengths, taxonomic boundaries, and coarse-graining resolutions. The results reveal a fundamental negative correlation: long-range contacts stabilize structures while constraining flexibility. Cross-organism comparisons show proteins from complex organisms exhibit lower contact order and higher entropy at similar chain lengths. These patterns are substantiated through both formal analysis and large-scale empirical validation. These findings establish a quantitative framework connecting folding and functional dynamics, and reveal physical principles of protein organization implicitly captured by artificial intelligence—extending beyond static structure prediction toward insights into proteome evolution and rational protein design.



(邀请报告 J25)

大模型推理的自旋玻璃模型

黄海平
中山大学

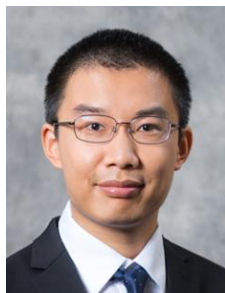
摘要：该报告将简短回顾自旋玻璃模型的发展历史，然后介绍当前大火的人工智能模型的推理现象，重点阐述如何通过构建自旋玻璃模型解释大模型推理的本质，最后展望近期将被解决的重要开放性问题。

报告人简介：中山大学教授，主要研究方向为神经计算的物理原理，著有《神经网络的统计力学》（springer，2022）。



(邀请报告 J26)

从熵的角度理解神经网络泛化能力



张格

助理教授

张格是香港城市大学物理系的助理教授。他目前的研究专注于统计物理学和机器学习的交叉领域。他曾在 PNAS, Phys. Rev. X 等期刊发表文章 29 篇，也曾在 International Conference on Machine Learning 发表文章。

摘要：人工神经网络在训练阶段通常只接触到有限的的数据。训练后，神经网络要把学到的规律应用到训练时没有接触过的数据中去；这一过程称为泛化。神经网络在训练数据集上的误差是神经元之间连接权重的函数。若将这个高维函数类比为物理系统的势能面，就可以把统计物理中“熵”的定义迁移到神经网络中。我们使用王-郎道蒙特卡罗算法和王-郎道分子动力学算法研究了神经网络中熵与泛化能力的关系。对于较窄的神经网络，我们发现最大熵状态（即热力学平衡态）比通过随机梯度下降训练得到的状态泛化更好。对于足够宽的神经网络，我们发现最大熵状态和训练状态在泛化能力上相当。



(邀请报告 J27)

人工神经网络训练的非平衡动力学平均场理论



王闯
项目研究员

王闯，中国科学院自动化研究所，项目研究员，中科院百人。2015 年博士毕业于中科院理论物理研究所，2015 至 19 年在哈佛大学博士后研究，2019 年 9 月至今自动化研究所模式识别国家重点实验室，研究方向为物理启发的平均场方法神经网络动力学理论、高维统计以及基于物理原理的启发式近似算法。主要研究内容包括神经网络训练算法动力学理论、大模型高效计算，以及 AI for Science 在物理、数学中的应用，发表论文 30 余篇。

摘要：深度人工神经网络近些年在计算机视觉、自然语言处理等领域有着广泛的应用，但目前深度神经网络的成就主要建立在大量试验和经验式地调参的基础上，深度神经网络训练学习的内部机理、模型训练演化的数学规律还尚未完全理解。我们介绍基于非平衡统计物理、动态平均场理论以及高维统计方法中的随机过程、随机矩阵等理论定量地研究样本单次使用和样本复用训练情况下深度学习模型训练过程的动态演化规律、收敛性质。目前主流的神经网络动力学研究主要关注有限模型尺寸、无穷小学习率极限下的所有微观参数的演化。类比统计物理中的热力学极限，研究高维大系统极限下的宏观统计学量，如训练损失函数的演化过程。我们先构造描述宏观物理量的微分方程和随机矩阵方程，然后通过分析微分方程的收敛点的分布和性质来分析训练稳定性与超参数的关系，探索对比学习模式坍塌、大模型训练涌现等现象，并给出模型训练的超参数优化的训练策略，以期待降低训练大规模神经网络模型的经验调参次数，提高训练效率。

(邀请报告 J28)

The route of random process to ultraslow aging phenomena



刘海文
教授

刘海文，主要从事杂质系统和耗散系统的量子输运理论研究。在量子输运领域，与合作者提出了新的理论框架统一解释了多种低维超导体系中普遍存在的超导—金属量子相变特征；发现并阐明新型二维量子材料中的伊辛类超导体机理；发现并阐明了一类新颖的对数周期量子振荡；研究成果入选 2022 年中国十大科技进展新闻。近几年研究兴趣包括：杂质和耗散效应诱导的新奇演生物态（包括量子 Griffiths 奇异性、玻色金属态等），对数老化

摘要：Logarithmic aging phenomena, characterized by ultraslow dynamics, are prevalent in diverse nonequilibrium systems, from electronic materials to biological structures. This study investigates the microscopic origins and implications of these phenomena through a generalized continuous-time random walk framework that incorporates non-Markovian processes with significant memory effects [1]. By modifying traditional diffusion models, we reproduce the hallmark logarithmic decay observed in survival and return probabilities. Furthermore, we examine how aging affects autocorrelation functions, revealing the profound influence of long-term memory on the temporal evolution of physical observables. Crucially, our analysis identifies rare events as the primary drivers of ergodicity breaking, causing divergence between time-averaged and ensemble-averaged measurements due to exceedingly long waiting times [2]. These findings effectively bridge microscopic dynamics and macroscopic observations, offering deeper insights into ultraslow dynamics, ergodicity breaking, and aging effects in complex disordered systems, and thus opening new avenues for analyzing nonequilibrium processes, including notable phenomena such as quantum Griffiths singularities.

[1] Chunyan Li, Haiwen Liu*, X. C. Xie, “The Route of Random Process to Ultraslow Aging Phenomena”, arXiv:2409.14422, accepted by PRL.

[2] Chunyan Li, Qingyang Feng, Tianjie Zhou, Haiwen Liu*, X. C. Xie, “Rare-Event-Induced Ergodicity Breaking in Logarithmic Aging Systems”, arXiv: 2504.12658.



(邀请报告 J29)

Approximate Message Passing for Rotationally-Invariant Models: A Unified Framework and Applications to Spiked Models



马俊杰

中国科学院数学与系统
研究院，副研究员

马俊杰，中国科学院数学与系统科学研究院副研究员。2010 年本科毕业于西安电子科技大学，2015 年获香港城市大学博士学位，之后分别于香港城市大学、哥伦比亚大学和哈佛大学从事博士后研究。研究兴趣包括通信信号处理、信息论、高维统计、随机矩阵等交叉领域，近年来主要关注近似消息传递（AMP）算法理论及应用。曾入选中科院百人计划，主持自然科学基金青年项目并参与中科院先导科技专项、科技部重点专项等科研项目。

摘要： In the first part of this talk, we present a unified framework for constructing Approximate Message Passing (AMP) algorithms for rotationally-invariant models. By employing a general iterative algorithm template and reducing it to long-memory Orthogonal AMP, we systematically derive the correct Onsager terms of AMP algorithms. This approach allows us to re-derive an AMP algorithm introduced by Fan and Oppor et al., while shedding new light on the role of free cumulants of the spectral law. The free cumulants arise naturally from a recursive centering operation, potentially of independent interest beyond the scope of AMP.

In the second part of this talk, we consider the applications of our framework to signal estimation in spiked models with rotationally-invariant noise. We develop a new class of AMP algorithms and show that the resulting algorithm achieves the smallest possible asymptotic estimation error among a broad class of iterative algorithms under a fixed iteration budget.

(邀请报告 J30)

Probing Spin-glass-like Energy Landscape using Message-passing algorithms with Trust-Region



楊志豪

教授

香港教育大學

楊志豪為香港教育大學科學與環境學系教授。他的科學研究包括統計物理、自旋玻璃和無序系統、交通網絡、優化問題、路由、推薦系統、復雜系統和社交網絡、可解人工智能及深度人工神經網絡。在教育領域，他亦專注於 STEM 教育和人工智能在教育中的應用。

摘要: Energy landscapes are high-dimensional surfaces underlie all physical systems, which determine crucially the energetic and behavioral dependence of the systems on variable configurations, but are difficult to be analyzed due to their high-dimensional nature. In particular, for systems with energy landscapes analogous to those of spin glass, they are characterized with a large number of local minima and plateaus which are difficult to visualize and analyze; conventional message-passing optimization algorithms are not able to identify these local minima due to non-convergence issues. In this study, we utilize message-passing algorithms with trust-region to probe the many local minima in a spin-glass-like energy landscape, and analyze these local minima using dendrogram and distance matrix as in the analysis of spin glass, demonstrating the potential of trust-region in probing complex energy landscape.

(邀请报告 J31)

Reinforcement and K -cores of networks



赵金华
博士

报告人本科毕业于华中科技大学物理系，博士毕业于中国科学院理论物理研究所，现工作于华南师范大学数据科学与工程学院。报告人的主要研究方向为自旋玻璃理论方法及其在交叉学科里的应用，比如网络渗流现象、图论组合优化问题等。

摘要： Networked systems function under noise, failures, attacks, and so on. Network reinforcement procedures are devised to enhance their structural robustness, which increase their macroscopically structural connectedness under perturbations of different origins. These procedures on networks also alter their dynamic behaviors and topological structure at different levels, which deserves a detailed quantitative analysis. At the same time, reinforcement procedures follow a simple scenario of increasing the residual giant component of networks at the expense of reinforcing network structure. Thus concepts from economics on the relation of input and output can be incorporated to characterize the effectiveness of reinforcement procedures.

In this talk, we adopt a percolation framework to analytically study how a random node reinforcement scheme affects the size of K -core structure. We derive a rich phase diagram in which phase transitions can be smoothened from a discontinuous type to a continuous one. We also introduce a cost-benefit analysis into the percolation phenomenon, which can numerically determine the optimal fraction of reinforced nodes to achieve the maximum gain in the procedure. We further discuss some result in the case of interdependent networks.

Reference:

[1] Rui Ma, Yanqing Hu, Jin-Hua Zhao#, Random node reinforcement and K -core structure of complex networks, *Chaos, Solitons and Fractals* 173, 113706 (2023)



(邀请报告 K01)

Simple Individual Strategy and Complex Collective Behaviors --sturnus flocks demonstrating via UAV group without central guiding

李有泉
教授

摘要: We will show that complex collective behaviors can be caused by very simpler individual strategy. The collective pattern of UAV (Unmanned aerial vehicle) without central guiding control is studied on the bases of simple individual strategy. In different parameter regimes, various collective modes are obtained. This may provide a picture to understand the spectacular sight of sturnus flocks.

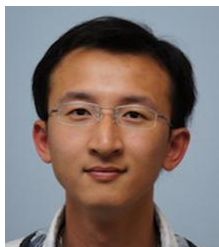
作者: 张伦源¹、万飞¹、于立伟¹、李有泉^{1,2}

¹Nankai University, ²Zhejiang University



(邀请报告 K02)

科学研究中的颠覆式创新



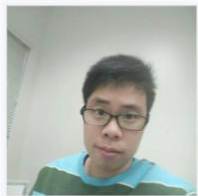
曾安
教授

曾安，北京师范大学系统科学学院教授，副院长，国家青年人才项目入选者。研究主要集中在复杂网络的实证与应用研究领域，以复杂网络，科学学，信息挖掘为主要研究方向。以第一作者或通讯作者在 Nature Human Behaviour, Nature Computational Science, Nature Communications, PNAS, Physical Review Letters, Physics Reports 等期刊发表多篇论文。成果被 Nature 正刊及 Science 正刊以研究亮点配图报道，并入选国家自然科学基金优秀成果选编。

摘要：科技创新对国民经济发展乃至国家安全有着重大战略意义，加速科技创新需要遵循科研活动自身的内在规律。科学研究的核心是创新，然而并非所有的研究成果都能是颠覆性的。近年来，科学研究中的颠覆式创新已经可以通过基于引文网络的指标进行量化。已有足够的研究表明，科技创新和传统的科研影响力是科学研究中完全不同的维度，统计规律和驱动机制也不一样。我们围绕着颠覆式创新开展了一系列的研究工作，涉及到科学家个体和团队构成等多个方面的演化和建模研究，本次报告将介绍课题组在这一方面取得的主要进展。

(口头报告 K03)

Coevolving dynamics in complex networks



刘家臻
博士后/博士

刘家臻，清华大学水木博士后，入选国家级博士后人才计划。本科毕业于山东大学空间科学与物理专业。博士毕业于美国迈阿密大学（University of Miami）物理专业，导师为 Chaoming Song 教授。研究方向为统计物理，侧重于复杂系统和复杂网络理论以及相关交叉学科中的应用研究。成果以第一作者在 Physical Review Letters、Nature Machine Intelligence 等期刊上发表。同时其研究成果被 Nature 子刊和 Physics World 公开报道。

摘要：The dynamics of complex networks have recently received much attention, with many applications in social, biological, and technical systems. Empirical studies suggest that coevolving dynamics, the interplay between network evolution and nodal dynamics, is responsible for many important phenomena in complex networks. Here, we present two concrete examples of the coevolving dynamics in complex networks. For complex social systems, polarization is a ubiquitous phenomenon. We proposed a coevolving framework that counts for opinion dynamics and network evolution simultaneously from the perspective of statistical physics. Under a few generic assumptions on social interactions, we found a bi-polarized community structure emerges naturally from the coevolving dynamics. Our analytical result predicts a depolarization/polarization phase transition, in line with empirical observations. For human-AI interaction systems, recent years have witnessed that AI-driven recommendation algorithms lure the system into information homogeneity, in which individuals are isolated from diverse information and eventually trapped in a single topic or viewpoint. We derive a mechanistic model for the coevolving information dynamics in complex human-AI interaction systems. This allows us to unearth basic mechanisms underlying the information homogeneity theoretically. These two examples demonstrate how coevolving dynamics drive the emergence of complex network structures and non-trivial phenomena from simple mechanisms.

(口头报告 K04)

Intraspecific predator interference promotes self-organized biodiversity in ecosystems



康举
博士后

康举，男，中山大学在站博士后，2023 年 8 月博士毕业于中山大学。从事数值计算研究，包括生态系统中的非线性与复杂性，以及统计物理与复杂生态系统交叉领域的理论建模生态系统演化过程中出现的非平衡相变等方面。在 *eLife*、*Chaos, Solitons & Fractals*、*Quantitative Biology* 等期刊发表论文多篇。

摘要: Explaining biodiversity is a fundamental issue in ecology. A long-standing puzzle lies in the paradox of the plankton: many species of plankton feeding on a limited type of resources coexist, apparently flouting competitive exclusion principle (CEP), which holds that the number of predator (consumer) species cannot exceed that of the resources at steady state. Here we present a mechanistic model, and demonstrate that by incorporating pairwise encounters among individuals of the same consumer species, a diverse array of consumer species can self-organize to coexist in a well-mixed system with one or a few resource species. The facilitated biodiversity is resistant to stochasticity, either with stochastic simulation algorithm or individual-based modeling. Our model naturally explains the classical experiments that invalidate CEP, quantitatively illustrates the universal S shape pattern of the rank-abundance curves across a wide range of ecological communities, and can be broadly used to resolve the mystery of biodiversity in many natural ecosystems.

Key word: Predator interference, Biodiversity, paradox of the plankton, competitive exclusion principle (CEP), stochastic simulation algorithm (SSA), individual-based modeling (IBM).

Reference

- [1] Ju Kang, Shijie Zhang, Yiyuan Niu, Fan Zhong, Xin Wang. Intraspecific predator interference promotes biodiversity in ecosystems, *eLife*, 2024, 13: RP93115.
- [2] Ju Kang, Shijie Zhang, Yiyuan Niu, Fan Zhong, Xin Wang. Self-organized biodiversity in biotic resource systems through pairwise encounters. *Chaos, Solitons & Fractals*, 188 (2024) 115607.
- [3] Ju Kang, Yiyuan Niu, Xin Wang. Mechanisms promoting biodiversity in ecosystems, *Quantitative Biology*, 2025, e77.



(邀请报告 K05)

双层网络中消息扩散-意见形成耦合动力学研究



唐明
教授

华东师范大学物理与电子科学学院教授、博导、紫江优秀青年学者，入选国家青年人才计划。研究方向为非线性物理与复杂网络，已主持国家自然科学基金国际合作项目和面上项目等国家级项目 6 项，在 Nat. Commun., Rep. Prog. Phys. 等国际权威期刊发表论文近百余篇。

摘要：在现实世界的许多社会系统中，集体态度在决策过程中表现出翻转行为，而我们对翻转现象的起源却知之甚少。早期的研究总是将集体意见共识视为一个孤立的过程。然而，人类社会的舆论共识总是受到外部因素的影响，比如社交媒体上的消息传播。我们在多层网络上构建了一个跨时间尺度的消息扩散-意见形成耦合模型，并通过理论分析和蒙特卡罗模拟研究了意见共识与消息扩散之间的协同演化动力学。我们发现该耦合模型中出现了分立相变、双稳态和临界噪声等现象。更重要的是，该模型在临界点附近表现出相翻转现象，即集体意见可随时间在两个亚稳态之间切换。我们揭示了诱导相位翻转的两种机制，分别对应于独立决策和信息扩散的波动强度。这项工作加深了我们对意见-消息耦合系统的认识，揭示了其在临界点附近的脆弱性。

关键词：消息扩散；意见形成；耦合演化；临界现象；相翻转

(邀请报告 K06)

Data organization limits the predictability of binary



张子柯

教授/博士

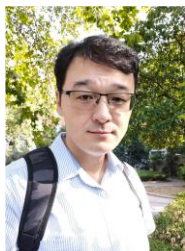
张子柯，教授，博士生导师，浙江大学数字沟通研究中心副主任，浙江大学人工智能通识教育课程教材建设组副组长。主要研究兴趣为计算驱动的复杂社会系统。

摘要： The structure of data organization is widely recognized as having a substantial influence on the efficacy of machine learning algorithms, particularly in binary classification tasks. Our research provides a theoretical framework suggesting that the maximum potential of binary classifiers on a given dataset is primarily constrained by the inherent qualities of the data. Through both theoretical reasoning and empirical examination, we employed standard objective functions, evaluative metrics, and binary classifiers to arrive at two principal conclusions. Firstly, we show that the theoretical upper bound of binary classification performance on actual datasets can be theoretically attained. This upper boundary represents a calculable equilibrium between the learning loss and the metric of evaluation. Secondly, we have computed the precise upper bounds for three commonly used evaluation metrics, uncovering a fundamental uniformity with our overarching thesis: the upper bound is intricately linked to the dataset's characteristics, independent of the classifier in use. Additionally, our subsequent analysis uncovers a detailed relationship between the upper limit of performance and the level of class overlap within the binary classification data. This relationship is instrumental for pinpointing the most effective feature subsets for use in feature engineering. This work is generally has potential applications in data driven researches to quantitatively evaluate the dilemma of promoting algorithm performance and improving data quality.



(邀请报告 K07)

逾渗与沙堆模型中的自相似动力学



李明

研究员/博士

合肥工业大学物理学院研究员，本科毕业于安徽大学，后在中国科学技术大学理论物理专业获博士学位。主要研究领域为统计物理与复杂系统，包括相变与临界现象、复杂网络等。

摘要：空间自相似性是临界现象的重要特征。本研究考察了逾渗动态过程——通过在空晶格中逐步插入键直至完全占据，并追踪间隙（即键添加时集团大小的增量）的演化。我们发现这个量在整个过程或主要阶段均遵循幂律分布，揭示出此前未被认识的时间自相似性。通过建立动态标度指数与静态标度指数的关联，我们实现了无需预知临界点即可精确提取临界行为的方法。这种自相似动力学普遍存在于晶格与网络的键渗流、座渗流中，并广泛适用于爆炸性渗流、刚性渗流等多种系统。更在自组织临界性典范模型—沙堆模型的非平衡动力学过程中被发现，为研究提供了新视角。本发现不仅为临界现象研究开辟了新思路，更为复杂系统研究提供了潜在应用工具。



(邀请报告 K08)

双稳态系统临界点的上下界



史贵元
副研究员

北京师范大学副研究员，本科毕业于中国科学技术大学近代物理系，博士毕业于瑞士弗里堡大学物理系，师从张翼成教授。主要研究方向为复杂系统的非线性动力学建模与分析、复杂网络理论等，在 *Physical Review Letters*, *Physics Reports* 等期刊发表学术论文十余篇。

摘要：在许多现实系统中，由于系统各组分间存在非线性相互作用与反馈循环，系统通常存在多个稳态。一旦越过特定的临界点，系统便会从一个稳态切换至另一个稳态，这可能给自然和社会带来不可逆的影响。因此，临界点是许多复杂系统至关重要的信息之一。研究复杂系统多稳态和临界点，有助于我们构建起量变引发质变的理论认识，对预防系统性风险具有指导作用。本报告将聚焦基于网络动力学的双稳态系统临界点上下界分析，并探讨临界点理论在生态复杂系统、社会复杂系统等现实系统调控问题中的启发价值。



(口头报告 K09)

具有等级特征的群体运动可能采用树状结构作为其领导架构



高见
副教授/博士

高见，安庆师范大学副教授，主要从事复杂系统理论与生态动力学的交叉研究，聚焦斑图动力学、生物集群行为及非线性动力学等领域。其研究以数学模型为核心，揭示生态系统中种群扩散、捕食关系等动态机制，成果发表于 PRR、PRE、Chaos、等国际期刊，累计发表 SCI 论文 20 余篇。主持国家自然科学基金青年项目、安徽省优秀青年项目等。

摘要：集群运动中所呈现的多样化复杂运动模式，被认为是生物个体间相互作用产生的集体行为结果。已有研究在鸽群中发现两种领导结构类型——等级网络与互惠关系，但这两类结构均基于数据分析假设且缺乏实证支撑。由于鸟类无法主动报告其领导关系，鸽群飞行轨迹数据与领导结构间的直接映射关系难以构建。本研究通过志愿者实验发现，具有等级特征的群体运动可能采用树状结构作为其领导架构。在该结构中，每个跟随者在集体运动中仅追踪其单一领导者，而顶端领导者决定群体运动方向。基于此，我们构建了描述群体运动的数学模型，并提出通过实验轨迹数据解析领导结构的方法。运用此方法对鸽群飞行轨迹数据进行分析，成功揭示了鸽群的领导关系网络。模型能够有效模拟鸽群集体行为，精确复现已有实验观测结果。本研究为解析鸽群领导结构提供了新视角，对人工集体系统（如多无人驾驶飞行器或无人水面艇的自主编队控制）具有重要启示。



(邀请报告 K10)

复杂网络上的导航



胡延庆
研究员

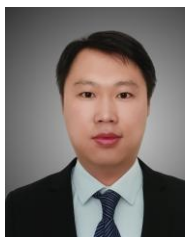
南方科技大学理学院统计与数据科学系副教授，研究员，博士生导师。2011 年毕业于北京师范大学系统科学学院，获得系统理论方向理学博士学位。获得北京市优秀博士论文奖、广东省特支科技创新青年拔尖人才、广东省杰出青年基金等奖励与项目。2011-2013 年纽约城市大学 Levich Institute 博士后。近几年主要从事交叉科学方面研究，包括大数据、复杂网络、图神经网络等。发表论文 60 余篇，包括 Nature Human Behaviour(封面故事)，Nature Physics (封面亮点论文)，PNAS, Nature Communications 等。个人主页：www.huyanqing.com。

摘要：网络的可导航性，即在仅依赖局部信息的条件下高效到达目标节点的能力，是复杂网络研究中的核心问题之一。经典导航模型揭示了网络结构与导航效率之间的内在联系，但未考虑现实中广泛存在的连边代价约束。本文在更一般的代价约束框架下，系统分析了约束条件对网络结构与导航性能的影响。通过解析推导与数值模拟，刻画了在不同代价约束下实现最优导航所对应的网络结构，并识别出一类导航效率接近经典模型最优结果的网络形式，为理解资源受限情形下的网络导航机制提供了新的理论支持。



(邀请报告 K11)

Understanding the Science Behind Medicines



高见
助理教授

高见，香港大学社会科学学院助理教授。主要开展计算社会科学、科学与创新、复杂系统等跨学科交叉研究，以大数据和人工智能为分析工具，研究复杂社会经济系统运行规律，为理解科学创新和社会发展提供新视角。研究成果发表在 Science、Nature Human Behaviour、Nature Communications、Physics Reports 等学术期刊；被 Nature、Science、Scientific American、Forbes、中国日报等国内外媒体广泛报道。

摘要： Drug discovery relies on both basic and applied research. However, we lack a systematic understanding of the evolution of the scientific knowledge that leads to new drugs. In this study, we present the first large-scale study of this evolution based on a rich body of scientific data we assembled from millions of papers, patents, and clinical trials. Specifically, we map the translational pathways from science to drugs and reveal a strong science-drug connection, where papers behind drugs not only constitute an increasing share of science production but also tend to have a higher citation impact. After analyzing the evolution of scientific knowledge using network tools, we discover an intriguing structural transition, where knowledge frontiers show collective consensus in acknowledging a common scientific basis. This structural transition is ubiquitous for drugs, occurs on average a decade before a drug's FDA approval, and is largely independent of traditional drug development milestones. Together, our work reveals collective signals for drug discovery and may help inform more efficient strategies for accelerating drug development.

(邀请报告 K12)

An Interpretable AI framework Quantifying Traditional Chinese Medicine Principles Towards Enhancing and Integrating with Modern Biomedicine



田亮
长聘副教授/博士

田亮，香港浸会大学物理系长聘副教授、副系主任，同时担任该校高性能集群计算中心主任。加入浸会大学之前，田博士曾在美国哈佛大学医学院及波士顿布莱根妇女医院钱宁网络医学部从事博士后研究工作。田博士的研究团队致力于开展人工智能与复杂系统交叉融合的前沿研究，结合统计物理、网络科学、系统生物学和前沿人工智能方法，探索复杂系统的涌现特性与组织原理及其下游的预测和操控。

摘要：Traditional Chinese Medicine (TCM) diagnosis and treatment principles, established through centuries of trial-and-error clinical practice, directly maps patient-specific symptom patterns to personalized herbal therapies. These empirical holistic mapping principles offer valuable strategies to address remaining challenges of reductionism methodologies in modern biomedicine, such as the complexity of multifactorial diseases and the uncertainties arising from inter-individual differences and the bench-to-clinic gap. However, the lack of a quantitative framework and molecular-level evidence has limited their interpretability and reliability. Here, we present a Transformer-based autoencoder AI framework trained on ancient and classical TCM formula records to quantify the symptom pattern-herbal therapy mappings. Interestingly, we find that empirical TCM diagnosis and treatment is consistent with the encoding-decoding processes in the AI model, yielding aligned low-dimensional representations that link complex symptom patterns to intricate herb combinations. This enables us to construct an interpretable TCM embedding space (TCM-ES) using the model's quantitative representation of TCM principles. Validated through broad and extensive patient data from TCM clinics and hospitals, the TCM-ES offers universal quantification of the TCM practice and therapeutic efficacy. We further map biomedical entities (e.g., diseases, herbal compounds, drugs, and target proteins) into the TCM-ES through correspondence alignment. We find that the principal directions of the TCM-ES are significantly associated with key biological functions (such as metabolism, immune, and homeostasis), and that its disease-herb-target spatial relationships are consistent with those on the human protein interactome, which demonstrate the biological significance of TCM principles. Moreover, the TCM-ES uncovers latent pathogenic relationships between diseases, and provides alternative metric to assess clinical efficacy for modern disease-drug pairs. Finally, guided by the TCM-ES, we construct a comprehensive and integrative TCM knowledge graph, which predicts potential associations between diseases and targets, drugs, herbal compounds, and herbal therapies, providing TCM-informed opportunities for disease analysis and drug development. Together, this framework establishes quantitative foundations for advancing TCM standardization and modernization towards a valuable enhancement to modern biomedical science.



(邀请报告 K13)

通用自适应全脑动力学预测方法：在脑疾病中的应用及展望



蒋俊杰
特聘研究员/博士

蒋俊杰，西安交通大学生命科学与技术学院，特聘研究员，博导。2014 年本科毕业于兰州大学萃英学院物理专业，2020 年博士毕业于美国亚利桑那州立大学电子工程系，并获得该年度 Palais '优秀博士生奖。于 2020-2021 年在美国纽约大学神经科学中心从事计算神经学方向的博士后研究。目前主要从事计算神经科学和植入式脑机接口方面的研究。迄今为止在复杂系统与计算神经科学等方向，在 PNAS, Nature Communications, eLife, Research, biosensor & bioelectronics 等著名期刊发表学术论文十余篇，获得自然科学基金委青年基金、科技部“脑科学与类脑研究”重大项目等支持，并担任 PNAS, Engineering, Research, Chaos, Solitons & Fractals 等杂志的审稿人。

摘要：脑结构与脑功能的实验取得大量数据，且在各个层次构建脑模型也成为了计算神经科学研究的主流方向之一。而核磁共振扫描作为非侵入式的研究手段，是当前研究人脑结构与功能的重要方式，而基于该数据构建正确表征人脑状态的全脑唯象动力学模型是建立脑结构、功能与脑疾病之间联系是核磁共振影像应用于临床的迫切需求。针对这一需求，我们探究了基于 Landau-Stuart 振子的 Hopf 全脑唯象模型来模拟人脑 BOLD 信号，系统性的研究了各种网络结构下 Hopf 全脑唯象模型参数拟合的算法准确性和稳定性，创新性的提出了改进的通用自适应全脑动力学拟合的方法。基于该改进的拟合算法，研究了 Hopf 全脑唯象模型分岔参数 a 与脑疾病相关脑区之间的关联性。特别是将该方法应用于抑郁症 (MDDs)、自闭症 (ASDs) 带状疱疹后遗痛与正常人的分类中取得了超过传统方法的准确率。同时通过生成数据研究到实际数据拟合道路的成功，展望系统性探究正确表征人脑状态的拟合算法在未来于脑疾病的诊断和治疗中的应用。

(邀请报告 K14)

Brain network science modelling of sparse neural networks enables Transformers and LLMs to perform as fully connected



Carlo Vittorio
Cannistraci
Chair Professor
Tsinghua University

Biography: Carlo Vittorio Cannistraci is a theoretical engineer and computational innovator. He is a Chair Professor in the Tsinghua Laboratory of Brain and Intelligence (THBI) and adjunct professor in the Department of Computer Science and in the School of Biomedical Engineering at Tsinghua University. He directs the Center for Complex Network Intelligence (CCNI) in THBI, which aims to create pioneering algorithms at the interface between information science, physics of complex systems, complex networks and machine intelligence, with a focus in brain/life-inspired computing for efficient artificial intelligence and big data analysis. These computational methods are often applied to precision biomedicine, neuroscience, social and economic science.

Abstract: Dynamic sparse training (DST) can reduce the computational demands in ANNs, but faces difficulties in keeping peak performance at high sparsity levels. The Cannistraci-Hebb training (CHT) is a brain-inspired method for growing connectivity in DST. CHT leverages a gradient-free, topology-driven link regrowth, which has shown ultra-sparse (less than 1% connectivity) advantage across various tasks compared to fully connected networks. Yet, CHT suffers two main drawbacks: (i) its time complexity is $O(Nd^3)$ - N node network size, d node degree - restricting it to ultra-sparse regimes. (ii) it selects top link prediction scores, which is inappropriate for the early training epochs, when the network presents unreliable connections. Here, we design the first brain-inspired network model - termed bipartite receptive field (BRF) - to initialize the connectivity of sparse artificial neural networks. We further introduce a GPU-friendly matrix-based approximation of CH link prediction, reducing complexity to $O(N^3)$. We introduce the Cannistraci-Hebb training soft rule (CHTs), which adopts a flexible strategy for sampling connections in both link removal and regrowth, balancing the exploration and exploitation of network topology. Additionally, we integrate CHTs with a sigmoid gradual density decay (CHTss). Empirical results show that BRF offers performance advantages over previous network science models. Using 1% of connections, CHTs outperforms fully connected networks in MLP architectures on image classification tasks, compressing some networks to less than 30% of the nodes. Using 5% of the connections, CHTss outperforms fully connected networks in two Transformer-based machine translation tasks. Finally, at 30% connectivity, both CHTs and CHTss outperform other DST methods in language modeling and even exceed fully connected baselines in zero-shot tasks.

References:

1. Brain network science modelling of sparse neural networks enables Transformers and LLMs to perform as fully connected. Y Zhang, J Zhao, W Wu, Z Liao, U Michieli, CV Cannistraci. arXiv preprint, <https://arxiv.org/abs/2501.19107v2>, 2025.
2. Epitopological Learning and Cannistraci-Hebb Network Shape Intelligence Brain-Inspired Theory for Ultra-Sparse Advantage in Deep Learning. Y Zhang, J Zhao, W Wu, A Muscoloni, CV Cannistraci. The Twelfth International Conference on Learning Representations (ICLR) 2024.
3. Neuromorphic dendritic network computation with silent synapses for visual motion perception. E Baek, S Song, CK Baek, Z Rong, L Shi, CV Cannistraci. Nature Electronics, 1-12, 2024.

(邀请报告 K15)

时间序列中的机制性因果发现：行为系统方法



梅文俊
研究员

梅博士现任北京大学工学院力学与工程科学系助理教授。他曾在苏黎世联邦理工学院自动控制实验室担任博士后研究员，师从 Florian Dörfler 教授。他于加州大学圣塔芭芭拉分校获得机械工程博士学位，导师为 Francesco Bullo 教授。他的研究聚焦于多智能体系统与社会网络动力学的建模、分析与控制，包括网络博弈、观点演化、群体决策等方向，致力于揭示微观个体互动与宏观社会现象之间的联系。

摘要：在复杂系统研究中，如何识别变量间真实的“机制性因果”而非统计关联是一项根本挑战。现有主流方法（如格兰杰因果检验）本质上检测的是时序变量间的统计依赖性，难以捕捉驱动系统演化的内在物理或结构机制。这一局限的核心在于尚缺乏可靠的数学工具从离线观测的时间序列数据中重构潜在动力系统动态。

本文基于行为系统理论，提出一种控制理论视角下的因果发现新框架。该理论将动力系统非参数化地定义为所有可能轨迹的集合（行为），而非识别显式的状态空间或输入输出模型。基于此，我们引入了“机制性因果”的概念：若变量 X （部分地）驱动了变量 Y 的动态演化，即 X 扮演了系统输入（控制）的角色，而 Y 扮演了输出的角色，则称 X 是 Y 的机制性原因。该定义与控制系统中的经典输入输出关系本质一致。本工作的核心贡献是提出了行为驱动的因果性检验（BeCaus 检验），创新性地将因果发现问题转化为一个虚构控制问题的求解。该方法巧妙利用了动态系统中输入（自由变量）与输出（依赖变量）固有的不对称性。针对线性时不变系统，即使在存在未观测输入（开放系统）的复杂场景下，我们严格建立了系统“可因果发现”的条件——即 BeCaus 检验能够明确区分四种基本因果结构：变量相互独立、单向完全因果（一个变量是唯一输入，另一个是输出）、单向部分因果（一个变量是输入但存在其他未观测输入，另一个是输出）、以及隐共同原因关系（两个变量均由未观测输入驱动）。理论分析证明了该方法的可靠性。值得注意的是，该方法无需显式辨识系统模型。

初步的探索性研究表明，基于行为系统理论的框架在非线性系统的因果发现中亦展现出潜力，为从观测数据中提取真实因果结构提供了新的理论基础和实用工具。



(邀请报告 K16)

厄尔尼诺预测中的复杂系统理论与方法



孟君
副研究员/博士

孟君，中国科学院大学大气物理研究所，副研究员，中科院百人计划 B。2014 年博士毕业于中国科学院理论物理研究所，之后先后在中国科学院物理研究所（2014–2016）、以色列巴伊兰大学（2015–2018）和德国波茨坦气候影响研究所（2018–2020）从事博士后研究。以第一或通讯作者在 Nature Communications、PNAS、Physics Reports 等权威期刊发表论文 12 篇。主要研究方向为统计物理与气候科学的交叉研究，致力于揭示气候系统演化的内在物理机制与规律，并推动统计物理理论与方法的创新。发展了气候网络的统计物理分析框架，揭示气候系统多尺度关联结构与互馈机制；提出了基于统计物理相变理论的气候演化分析新框架，将相变理论创新性地拓展应用至气候系统研究中；构建了以系统复杂度为核心的非线性时间序列分析方法，首次提出并定量表征了“天气无序度”和“系统复杂度”等关键概念，深入解析天气稳定性与极端事件可预测性的内在机制。

摘要：气候系统是典型的复杂系统，具备显著的多尺度、非线性等特性，为系统科学理论发展提供了丰富的现实应用场景。我们的研究涉及复杂系统理论与方法对极端天气、气候临界点及气候变化等重要气候现象的交叉研究，聚焦系统科学理论的发展与方法创新。本报告以高影响气候事件厄尔尼诺现象为例，该现象指的是赤道中东太平洋的异常升温，平均每 2–7 年发生一次，对全球极端温度和降水产生重大影响。然而由于海气耦合的不确定性和非线性，其长期预测目前仍面临巨大挑战。针对该问题，我们基于统计物理、非线性时间序列分析、信息熵等理论方法，提出了气候网络的结构相变、系统样本熵、物理约束的深层储备池学习等一系列交叉研究框架，成功实现了对厄尔尼诺现象的早期准确预测，并揭示了该现象的爆发与赤道中、东太平洋区域海水温度同步性，西太平洋 WWV 存在显著关联，此外我们近期还提出了 ENSO 双稳态模型，用来刻画厄尔尼诺现象的振荡机制，并预言了其在气候变化下的临界行为与未来演化。

(口头报告 K17)

Cluster synchronization on sparse simplicial complexes with higher-order repulsive coupling



王重阳
助理研究员

电子科技大学博士后、电子科技大学长三角研究院（湖州）助理研究员。2021 年获得兰州大学理论物理专业理学博士学位。目前担任中国自动化学会计算社会与社会智能专业委员会委员，中国优选法统筹法与经济数学研究会网络科学分会理事。主要从事统计物理与复杂系统方向的研究，研究领域涉及神经动力学、同步动力学、临界现象、传播动力学等，至今在 *Physics Reports*、*Physical Review E*、*Physical Review Research*、*New Journal of Physics*、*Chaos* 等国际学术期刊发表学术论文十余篇，申请国家发明专利 6 项。主持一项国家自然科学基金专项项目、一项浙江省自然科学基金探索项目、一项四川省自然科学基金青年项目、一项湖州市科技计划项目，参与一项国家自然科学基金重大项目子课题、一项中国科技部科技创新 2030-“脑科学与类脑研究”重大项目、多项国家自然科学基金面上项目。

摘要：Higher-order interactions are widely existed in complex systems, which induce diverse phenomena beyond pairwise interactions. Here, we explore the nonlinear dynamics of higher-order Kuramoto model on sparse simplicial complexes. We observe anti-phase cluster synchronization, where individuals within a system spontaneously divide into two opposing groups, when both pairwise and three-body interactions are repulsive. We investigate the microscopic mechanisms behind this phenomenon and reveal that multiple edges shared by multiple 2-simplices facilitate its emergence. Furthermore, we explore the suppressing impact of pairwise-only interactions on this synchronization and explain the trade-off between multiple and pairwise-only edges underlying the system's structure. Our findings are further validated on the heterogeneous simplicial complex and real dataset. Finally, we discuss the splitting of non-antiphase clusters under the traveling wave states when pairwise interactions become attractive. These results highlight the unique mechanism of repulsive coupling, offering valuable insights into the relationship between higher-order structures and dynamics, and contributing to a deeper understanding of synchronization in real-world systems, such as social networks and the brain.

- B.-Y. Ji, C.-Y. Wang, and L. Lü, Cluster synchronization on sparse simplicial complexes with higher-order repulsive coupling, *New Journal of Physics* **27**, 043012 (2025).

(口头报告 K18)

Analyst network centrality, forecast accuracy, and persistent influence



陈婷婷
讲师/博士

陈婷婷，浙江财经大学金融学院金融工程系教师。主要研究领域包括金融系统动力学研究及建模、复杂网络、大数据科学、公司金融、实验金融与量化投资。作为主要研究人员，主持和参与多项国家级、省级科研课题，已在国内外期刊上发表 14 篇 SCI、SSCI 论文。

摘要： This paper explores how analysts' forecasting behaviour is related to their centrality within a dynamic information network. In this network, analysts who issued coverage reports on the same listed firms in clusters are connected. The social learning hypothesis and social capital theory suggest that financial analysts could learn from other analyst forecasts and obtain information from analyst reports. Employing a dynamic complex network methodology, we focus on analysts' network centrality – degree, betweenness, and closeness – to represent their information access based on a sample of 819,539 analyst forecasts in the Chinese A-share market from 2018 to 2022. Our findings suggest that analysts with more central positions in the network produce more accurate earnings-per-share forecasts and have a longer persistent influence on other analysts. Our results support the perspective that the diffusion of information among analysts affects their forecasts and reporting behaviour.



(口头报告 K19)

Decoding cross-cultural textbook networks: structural patterns, formation mechanisms, and predictive insights using a topology–cognition framework



夏敏

博士研究生

夏敏，华中师范大学物理科学与技术学院 2022 级博士研究生，主要研究方向为复杂网络在教育中的应用、教育大数据分析，以及基于复杂系统理论的物理教育研究。目前的研究主要关注将复杂系统理论和复杂网络方法应用于物理教学系统，探索教材结构、学习过程和教学评估中的潜在规律。

摘要：Conventional textbook analysis often faces fragmented frameworks, obscuring the relationship between content structure and cognitive development. To address this gap, we introduce a novel computational modeling framework utilizing complex networks. Specifically, textbook knowledge networks (TKNs) are constructed by representing knowledge points as nodes, with links based on their co-occurrence within paragraphs. Cognitive attributes, derived from Bloom's taxonomy, are then integrated. This establishes a unique two-dimensional analytical paradigm that jointly assesses structural topology and cognitive demand. Analyzing six Chinese and U.S. physics textbooks (encompassing 15,737 paragraphs) reveals shared topological features and distinct cultural paradigms in textbook design. Chinese textbooks exhibit dense, low-modularity networks that prioritize systematic coherence, whereas U.S. textbooks adopt modular, long-path structures that promote cross-theme reasoning. Both systems exhibit heterogeneous core–periphery architecture($r < 0$) that scaffolds progressive knowledge integration. Exponential random graph models (ERGM) and mixed-effects modeling uncover four universal principles of high-quality TKNs: self-organization, thematic homophily, centrality-driven structure, and cross-cultural stability in topology–cognition coupling. Crucially, network centrality robustly predicts cognitive strength ($\beta = 0.408\text{--}0.700$, $p < 0.001$), demonstrating topology's direct influence on cognitive development. Furthermore, Chinese textbooks display a bidirectional reinforcement between structure and cognition, while U.S. textbooks demonstrate an implicit alignment with cognitive progression through a low-intervention approach. These insights not only address fundamental questions about textbook design and intended outcomes, but also reconceptualize textbook analysis through complexity science. By proposing a topology–cognition coupling paradigm, this work provides an empirical foundation for cross-cultural textbook optimization and concept-centered instruction, contributing to global STEM education reform.

(邀请报告 K20)

Emergence of Cooperation via Reinforcement Learning in Multi-agent system



荣智海
教授/博士

Dr Zhihai Rong obtained his Bachelor and Master degrees from Harbin Institute of Technology and Ph.D degree from Shanghai Jiaotong University, all in Control Science and Engineering. He was a Hong Kong Scholar with PolyU. Now he is a professor in the Department of Automation, Donghua University, Shanghai. His research interests include complex networks, evolutionary game dynamics and mechanism design. He is the author of over 60 papers in peer reviewed scientific journals and international conferences, including Physical Review E, Europhysics Letters (EPL), IEEE Tran. CAS-II, IEEE Tran. Cybernetics, Automatica, Chaos, ISCAS and IFAC, received more than 3000 citations with h-index 31.

摘要: Evolutionary game theory provides a powerful framework to investigate the decision process and the emergence of cooperation among rational agents in populations. The learning process is the core of evolutionary game theory. The celebrated replicator dynamics characterizes agents' strategy evolving and learning processes, and highlights the influence of selection in populations game through a continuous differential equation, whose stable equilibrium points correspond to evolutionary stable states. Multi-agent reinforcement learning is another effective computational method to study evolutionary games theory. The trial-and-error learning process in reinforcement learning is similar to the evolutionary process in biology. The classical Q-learning algorithm can built a bridge between the exploitation-exploration mechanism of reinforcement learning and the selection-mutation mechanism of evolutionary game theory. In this talk, I will analyze the nonlinear dynamics of Q-learning like algorithms through the perspective of evolutionary dynamics, and reveal the potential learning mechanism to promote the emergence of cooperation in infinite and finite populations with memory strategies, which may yield some insight into achieving cooperative machine agents and understanding the evolution of machine behavior.

(邀请报告 K21)

Evolutionary dynamics of behavioral motivations for cooperation



苏奇
副教授/博士

苏奇，上海交通大学自动化与感知学院副教授，国家级青年人才，上海市海外高层次人才，上海市浦江人才。分别于华中科技大学、北京大学取得学士、博士学位。曾在美国波士顿大学、哈佛大学进行开展博士联合培养，入选美国西蒙斯博士后学者，在宾夕法尼亚大学从事学术研究。主要研究兴趣为网络科学、博弈决策和群体智能等。发表学术论文 20 余篇，包括 10 余篇美国科学院院刊 PNAS、Nature 子刊、Science 子刊论文。

摘要： Human decision-making is shaped by underlying motivations, which reflect both subjective well-being and fundamental biological needs. Different needs are often prioritized and traded off against one another. Here we develop a theoretical framework to study the evolution of behavioral motivations, encompassing both philanthropic (cooperating after personal needs are met) and aspirational (cooperating to fulfill personal needs) motivations. Our findings show that when the ratio of benefits to costs for cooperation exceeds a critical threshold, individuals initially driven by aspirational motivations can transition to philanthropic motivations with a low reference point for cooperation, resulting in increased cooperation. Furthermore, the critical threshold depends on the structure of the underlying social network, with network modifications capable of reversing the evolutionary trajectory of motivations. Our results reveal the complex interplay between needs, motivations, social networks, and decision-making, offering insights into how evolution shapes not only cooperative behaviors but also the motivations behind them.



(口头报告 K22)

自适应反馈演化博弈建模与动力学分析



滑时佳

讲师

西北农林科技大学

本科、博士毕业于西北工业大学物理科学与技术学院，主要从事统计物理与复杂系统动力学、动态反馈场景下的博弈建模、目标动力学等方向的研究。在 *Physical Review Research*、*Physical Review E*、*Physica D*、*Chaos*、*Expert Systems With Applications*、*Proceedings of the Royal Society B*、*Journal of the Royal Society Interface* 等期刊发表学术论文 20 余篇，2 篇论文入选 ESI 高被引。主持国家自然科学基金青年项目、教育部社科基金、陕西省自然科学基金等项目。

摘要：社会困境中个体理性与集体利益之间的冲突是合作演化研究的核心问题。通过系列协同演化博弈模型，系统探讨了动态反馈机制对合作行为的促进作用及其内在机理。

研究首先在公共品博弈框架下构建了惩罚强度随合作水平自适应调节的理论模型。与传统静态惩罚假设不同，该模型揭示了系统呈现周期性振荡的动力学特征，表现为惩罚强度与群体合作行为之间的非线性动态平衡。研究发现，基于线性反馈机制的低强度惩罚策略能够有效维持合作稳定性，这为低成本社会治理提供了理论依据。

进一步研究考察了制度奖励的动态调节效应。通过建立群体合作状态与奖励强度的负反馈机制，发现系统能够自发收敛至稳定的内稳态。值得注意的是，完全合作状态在最小化奖励强度的条件下即可实现，表明动态奖励机制具有显著的社会效率优势。这一发现为设计高效的社会激励制度提供了新思路。

研究还将分析视角拓展至更一般的集体风险困境情景，揭示了合作行为与困境强度之间的双向耦合效应。理论分析和数值模拟表明，该系统存在多重稳定状态，其中制度奖励的引入能够有效促进最优均衡的实现，同时抑制劣质均衡的出现。特别地，研究建立了反馈灵敏度阈值的统一判据，为预测系统相变提供了量化标准。

本研究提出了动态反馈视角下的合作演化理论框架，系统揭示了社会规范与环境参数的适应性调节对合作稳定性的强化机制。研究发现表明，当个体决策与系统环境形成良性互动时，适度强度的动态干预即可实现高水平合作的持续涌现。



(口头报告 K23)

基于超图的关注他人信息强化学习机制下 公共物品博弈中合作行为的涌现



张继强
讲师/博士

张继强，于 2016 年毕业于兰州大学物理学院理论物理专业。曾任职于北京计算科学研究中心，随后在北京航空航天大学脑机智能与大数据高精尖中心（计算机学院）从事博士后研究。自 2020 年起，在宁夏大学工作至今。在《Physical Review E》《Nonlinear Dynamics》《Chaos Solitons and Fractals》等知名期刊发表论文十余篇。

摘要：合作作为一种自组织的集体行为，在生态系统和人类社会的发展演化中发挥着重要作用。强化学习不同于模仿学习，它为探索合作机制提供了新的视角。然而，现有的公共物品博弈（PGG）研究大多采用在决策中仅仅关注自身信息的设置抑或基于传统相互作用网络。然而，现实世界中的博弈者在优化策略时不仅会考虑自身的历史信息，还会考虑其他博弈对手的历史信息，并且博弈是以群体而非成对方式进行的。我们结合 Q 学习算法和演化博弈框架，在超图上基于关注他人历史信息的强化学习演化博弈下，研究了 PGG 中合作的演化。在演化博弈中，其他博弈对手的行动历史被纳入其中，博弈在超图上进行。我们的结果表明，随着协同因子 ρ 合作水平的两次突变，分别在 ρ_1^* 和 ρ_2^* 附近。有趣的是，我们在空间模式中发现了规则的反协调棋盘结构。这种结构对第一次合作水平的提升有正向贡献，但对第二次合作水平的进一步提升有负面作用。此外，我们通过理论分析得到了合作涌现的第一个相变点 ρ_1^* 的近似解，并揭示了具有长远眼光和低探索率的博弈者更有可能回报他人的善意，从而促进合作的产生。我们的发现有助于理解在关注他人的信息和群体互动这一常见场景下人类合作的涌现与演化。



(邀请报告 K24)

具有博弈转换的高阶演化动力学



关剑月
教授/博士

关剑月，兰州大学教授，硕士生导师。2003 年 6 月获得河北师范大学物理学专业学士学位，2008 年 6 月获得兰州大学理论物理专业博士学位。目前主要从事统计物理与复杂系统领域的演化博弈、生物多样性相关研究。主持国家自然科学基金 3 项、中科院横向课题 2 项、中央高校基本科研业务费项目 3 项，参与国家自然科学基金重点项目 1 项。在 *Physical Review Letters*, *Physical Review Research*, *Physical Review E*, *Chaos*, *EPL* 等期刊上发表 SCI 论文 40 余篇。

摘要：高阶相互作用在现实世界的复杂系统中普遍存在，并对系统演化产生独特的影响，这些影响是成对相互作用所无法捕捉的。我们将博弈转换引入高阶囚徒困境博弈模型中，发现博弈转换始终能够促进合作行为。此外，在存在博弈转换的系统中，高阶相互作用的比例具有双重影响：既可以增强合作的出现与维持，也可能促进背叛行为在一个原本合作系统中的扩散。相应地，在理论分析和模拟结果中均一致发现了双稳态的存在，即系统可能稳定在完全背叛状态，以及完全合作或共存状态之间。



(邀请报告 K25)

群体竞争动力学中的 Parrondo 悖论现象与策略优化研究



吴枝喜
教授

吴枝喜，兰州大学物理科学与技术学院教师。主要从事统计物理与复杂系统方向的科学研究工作，研究课题涉及复杂网络系统的结构建模与功能优化、网络传播动力学、网络演化博弈论、自驱动粒子的集体运动行为、生物与社会系统动力学的物理建模等。

摘要：Parrondo 悖论通常描述两种单独“演化劣势”的策略以特定方式组合后产生“演化优势”结果的反直觉现象，其在现实复杂系统中广泛存在。通过研究细胞间的生长、衰老与癌变演化，以及生物种群特性演化等群体竞争动力学，我们发现 Parrondo 机制在多种典型生命系统中均可得到明显的策略优化现象。首先，我们将微环境反馈机制引入到多细胞生物的细胞竞争动力学中，发现癌细胞竞争能力在强弱之间的切换可明显延缓功能细胞的丧失速度，延长生物体寿命。进一步，对于肿瘤细胞的耐药性问题，我们发现通过交替使用最大耐受剂量（Maximum Tolerated Dose）和低剂量周期性给药（Low-Dose Metronomic）能显著地延缓耐药性的发展，其治疗效果优于使用单一方案。对于种群的适应性演化，我们也发现，生物种群在通化（Generalized）与专化（Specialized）策略之间切换有助于提升其在波动环境下的扎根概率。研究工作揭示了生命系统常通过策略轮换获得适应性优势，这表明适应性可能并非源于特定策略本身，而更可能是根植于“劣势策略”间的动态交替。



(口头报告 K26)

Explosive transitions in coevolutionary dynamics of synchronization and cooperation



黄昌巍
副教授/博士

广西大学副教授，硕士生导师。主要从事复杂系统与复杂网络建模，复杂网络上的演化动力学，包括演化博弈、观点动力学等方向的研究工作。主持国家自然科学基金青年项目、广西自然科学基金青年项目和广西大学自然科学与技术创新发展倍增计划项目各 1 项。近年来在 Phys. Rev. E, Chaos 和 CSF 等国内外期刊上发表学术论文 40 余篇。

摘要： Despite the large number of previous studies on the emergence and maintenance of cooperation within the framework of the snowdrift game, the adaptive cooperation costs are seldom considered. In this work, we incorporate the Kuramoto model into the construction of the snowdrift game, where each oscillator interacts with its neighbors as a participant in the game. The strategy not only determines whether an oscillator is a cooperator or a defector, but also governs whether they engage in interactions to achieve the synchronization with their neighbors. Meanwhile, we utilize synchronization level to characterize the degree of coordination among players, which influences the cost of cooperation for oscillators participating in the snowdrift game. Here, we have reported the evidence of explosive transitions in both cooperation and synchronization on random networks. Moreover, we have investigated the effect of coupling strength, sensitivity strength, frequency distribution and average degree of networks on the cooperation and synchronization. Additionally, we provide a rigorous, analytical treatment to properly ground the observed scenarios. The incorporation of synchronization dynamics into the evolutionary snowdrift game and the introduction of adaptive cooperation costs can better characterize the dynamics of games in real systems. Our study may shed light on the coupling dynamics between synchronization and cooperation.



(口头报告 K27)

弱选择条件下混合博弈中的策略占优



李斌全
讲师/博士

李斌全，男，汉族，宁夏大学物理学院讲师，硕士研究生导师。2022 年 12 月在兰州大学获得理学博士学位，之后进入宁夏大学物理学院工作。目前主要从事演化博弈理论及其应用和统计物理与复杂系统方向的研究。主持 1 项国家自然科学基金青年项目，参与了 3 项国家自然科学基金项目。以第一作者身份在 *Physical Review E* 和 *Chaos, Solitons and Fractals* 等期刊上发表多篇论文。

摘要：虽然自然选择通常偏向于在非结构化种群中的叛逃者而非合作者，但结构化种群中演化博弈的动态揭示了更复杂的局面。与过去主要集中在静态的单一的博弈类型研究不同，越来越多的研究开始关注多博弈和混合博弈的场景，因为这些能更好地反映现实世界复杂的交互动态特性。本文研究了在弱选择条件下两种博弈类型混合情形中的策略占优，同时考虑了固定和变化的博弈类型组合。通过严格的数学分析和计算模拟，我们证明了策略占优条件等同于弱选择条件下平均单一博弈的结果。该结论为简化复杂的现实世界交互提供了一个有价值的框架，并为结构化种群中合作的演化提供了新的见解。

(邀请报告 K28)

面向细胞生态系统解析的复合图对比学习模型



蔡蔚然
教授，博士

本报告介绍一种动态掩码增强图对比自编码器建模方法，旨在突破单细胞 RNA 测序数据中的噪声与稀疏性限制，实现对细胞生态系统的精细建模。模型通过多层次学习机制，显著提升了细胞聚类与群落结构识别的能力。

蔡蔚然，苏州大学计算机科学与技术学院教授。上海交通大学物理学、应用数学学士。德国德累斯顿工大（TU Dresden）电子与计算机工程学博士。美国加州大学 Davis 分校博士后。研究领域：复杂系统、图机器学习。

摘要：细胞群落如同生态系统，个体之间存在复杂的相互作用与潜在结构，然而单细胞 RNA 测序（scRNA-seq）数据的高噪声与稀疏性使得精确还原这种“细胞生态网络”面临巨大挑战。尤其在细胞亚群识别与发育轨迹推断等任务中，传统方法难以充分挖掘细胞间潜在的全局与局部结构。本研究围绕 RNA 测序数据在揭示细胞生态系统多样性中的关键作用，提出了复合图对比学习（DGCL）模型。

DGCL 采用复合对比学习策略，类似于生态学中对群落结构与个体变异的双重解析，既强化了对全局细胞群落格局的把握，也增强了对细微异质性的辨识能力。配合动态掩码双解码器，模型在细胞特征与其相互关联的结构信息的双重重建中实现互补与协同。

此方法在多个真实数据集上展现了优异的细胞聚类与类型识别性能，为刻画细胞生态系统的多样性提供了坚实的数据分析基础，对理解生物组织内复杂的细胞群落结构及其生态学意义具有重要推动作用。

展望未来，随着空间转录组技术的快速发展，细胞的空间位置信息与基因表达的结合将揭示更丰富的生态学层级与邻近细胞间的交互关系。我们提出的建模机制与图结构感知优势天然契合空间数据的特点，未来可进一步拓展至空间转录组数据的分析，助力建立更完整、更具生态学意义的细胞-空间交互网络，为探索组织稳态与病理变迁的机制开辟新的研究路径。



(口头报告 K29)

行为双模态下的条件合作演化



赵晨阳
硕士研究生

硕士就读于陕西师范大学理论物理专业，博士就读于华东师范大学理论物理专业，目前主要研究方向为复杂系统，演化博弈，机器学习。

摘要：大量行为实验表明，条件性合作是一种普遍现象。以往的博弈论研究主要依赖硬性条件模型——即仅当合作阈值达到特定水平时才会触发合作行为。然而，这种方式与人类行为实际表现出的灵活性相矛盾：个体会根据环境动态调整策略。为捕捉这种适应性，我们通过引入强化学习中的 Q 学习算法，提出了一种软性条件合作形式。在该框架下，参与者不仅会互惠合作，也可能在高度合作环境中选择背叛，或在低合作环境中主动合作，以实现收益最大化。为研究硬性与软性条件合作者的相互作用，我们设计了两种混合场景：结构混合（SM）与概率混合（PM）。前者固定两种行为模式的比例，后者则按概率动态选择。结果显示：在 SM 中，低阈值下的硬性条件合作者能促进合作，但高阈值会抑制合作；而在 PM 中，合作水平随概率变化呈现两次一阶相变，分别对应高、低和消失三种合作状态。通过对 Q 表的分析，我们揭示了软性条件合作者的“心理转变”及其对演化动力学的影响。模型扩展实验进一步验证了结论的稳健性。这些结果凸显了条件合作者多样性所引发的新复杂性。



(口头报告 K30)

解读公平行为：基于强化学习的视角



郑国忠
博士研究生

郑国忠，女，博士就读于陕西师范大学理论物理专业，主要研究方向为非线性动力学与复杂系统。具体基于统计物理，通过引入强化学习发展了演化博弈研究新范式，系统揭示了合作、信任、公平等涌现机制。博士期间以第一作者在 *Physical Review E*、*New Journal of Physics*、*Chaos* 等期刊上发表论文，其中 1 篇入选 IOP 编辑优选文章并在其官方公众号推送。科研项目方面，主持并完成了一项校级自由探索项目。

摘要：关于最后通牒博弈（Ultimatum Game, UG）的行为实验表明，人类对公平行为具有明显偏好，该结果与传统经济学的预测相矛盾。现有的解释多数基于模仿学习框架，并将公平行为的产生归因于外部因素。为此，我们引入强化学习范式，假设个体通过旨在最大化累计收益的方式自主决策。通过将 Q-learning 算法应用于 UG 博弈中，使每位玩家分别拥有两个 Q 表，用于指导其在提议者与响应者角色下的策略选择。研究发现，在双人博弈情境中，当参与者能够综合考量历史经验与未来收益时，系统会自发涌现出公平行为。有趣的是，当分配金额增加时，交易成功率也随之上升，这与行为实验的观察结果一致。机制分析进一步揭示，系统演化通常经历两个阶段，最终趋于稳定的公平策略或理性策略。本研究的发现表明，仅靠个体内生激励机制便足以解释公平的涌现，无需依赖外部因素假设，这为理解人类公平偏好提供了新的理论视角。



(口头报告 K31)

重复社会困境中基于有限理性的人类决策微观动力学重构



杨璐赫
讲师/博士

吉林工程技术师范学院讲师。2019 年获南开大学理学博士学位。主要从事演化博弈论与人类合作行为的交叉研究，包括演化博弈微观动力学建模与机制设计等。以第一作者在《Chaos, Solitons & Fractals》，《Applied Mathematics and Computation》，《EPL》等国际专业期刊发表 SCI 论文 7 篇，中文核心期刊论文 1 篇。主持国家自然科学基金青年基金项目 1 项，吉林省科技发展计划项目 1 项，吉林省教育厅项目 1 项。

摘要：研究人类合作行为时，探索更符合个体认知过程的演化更新规则显得尤为关键。当前，众多旨在描述人类决策行为的演化博弈动力学模型缺乏足够的实证支持。我们结合前景理论通过行为实验提出了一项假设：人类参与者在决策时更倾向于依据收益的比例变化而非绝对差异的变化。由此能够用单一函数重构微观动力学机制，即个体策略更新规则，该函数分别考虑了个体选择合作与背叛的情形。研究结果表明，微观动力学随时间的推移而演变，并且我们构建的动力学模型能够准确预测合作行为的发展趋势。进一步地，通过引入经济学中“弹性”概念，本研究揭示了群体内在属性与人类参与者主观决策意图之间的联系。这些发现为评估重复社会困境中有限理性个体的决策行为及群体合作的演化提供了新的研究视角。



(邀请报告 L01)

从非线性动力学角度理解深度学习



赵鸿

教授/博士

赵鸿，厦门大学物理科学与技术学院教授、国家杰出青年科学基金获得者。主要研究领域为统计物理、输运理论、非线性动力学以及机器学习等，在经典晶格热化，低维晶格热输运，布朗运动，非对称霍普菲尔德模型，机器学习预测等理论研究方面取得了一定的成绩。

摘要：尽管机器学习的应用获得了巨大的成功，但是机器学习的过程仍然被认为是“黑箱”，其机理有待深入研究。我们认为深度学习模型一般地可归为非线性动力学系统，因此应当基于动力学理论建立其分析框架。本报告阐述我们提出的动力学分析方法，（1）从神经元层次引入基本学习模式，重新定义学习模型的线性与非线性，定量刻画各层的非线性度；（2）定义输入矢量空间和权值矢量空间吸引域，刻画网络的推广能力和结构稳定性。基于这些概念，将揭示学习过程中出现的各种“相”，以及相变过程所导致的一些现象，特别是“顿悟”与双下降。同时，揭示深度网络优越于浅层网络的动力学根源，揭示深度与宽度的角色，以及各种常用训练策略 regularization、batch size、learning rate、dropout 等起作用的机制。



(邀请报告 L02)

通过凝聚现象研究语言模型的推理与记忆



许志钦
副教授/博士

许志钦，上海交通大学自然科学研究院/数学科学学院特聘教轨副教授。2012 年本科毕业于上海交通大学致远学院。2016 年博士毕业于上海交通大学，获应用数学博士学位。2016 年至 2019 年，在纽约大学阿布扎比分校和柯朗研究所做博士后。研究兴趣是深度学习的数学基础与应用。

摘要：本报告将从现象驱动的角度切入，通过仔细设计的实验，以低成本的方式研究语言模型的推理与记忆。当参数初始化尺度变小时，一种称为凝聚的现象越来越明显，即同层神经元具有趋同的现象。凝聚现象在简单的两层网络和复杂的 Transformer 中都能被观察到。基于此，我们发现参数初始化对模型的推理和记忆有显著影响。当初始化较小时，参数凝聚使 Transformer 网络的有效复杂度显著降低。为了满足低复杂度的限制，网络通过学习尽量少的规律，以推理的方式拟合数据。

(邀请报告 L03)

The Restricted-RNN Modeling Framework



闵斌
研究员

闵斌，临港实验室研究员，博士生导师。2004-2013 年就读于北京大学数学科学学院，先后获得理学学士学位和理学博士学位，2013-2018 年于纽约大学从事博士后研究工作，2018-2022 年于上海脑科学与类脑研究中心担任副研究员，2022 年 9 月起于临港实验室任研究员。主要研究方向为计算认知神经科学，以神经数据分析与计算建模（特别是新型可解释神经网络建模）为研究手段，致力于探寻大脑神经网络的一般计算原理及其在脑机接口领域的应用。相关研究工作以通讯/共同通讯作者身份发表在 *Science* (2022, 2024), *Neuron* (2024), *eLife* (2025) 等期刊上，并获评 2022 年度“中国神经科学重大进展”。

摘要： Training recurrent neural networks (RNNs) has revolutionized the way how systems neuroscientists form hypothesis when studying circuit mechanisms in various problems. However, the trained RNNs oftentimes are difficult to be interpreted, inconsistent with neural data or not necessarily comprising the full set of biological solutions. Here, we developed an interpretable RNN training framework, namely Restricted-RNN, capable of generating interpretable circuit hypothesis through a multilevel proposing-and-testing procedure that seamlessly integrates computational-, collective- and implementational-level descriptions. The validity of Restricted-RNN is demonstrated through the identification of novel circuit mechanisms underlying sequence working memory control and the counter-intuitive firing rate reversal in perceptual decision-making, with the key predictions being confirmed by monkey prefrontal and parietal neurophysiological data. Critically, the interpretable nature of Restricted-RNN endowed us a unified theory to explain the seemingly disparate phenomena across different tasks with a novel neural control state space, providing an intriguing geometric understanding for the ubiquitous control in cognitive processes.



(邀请报告 L04)

世界模型：从物理学角度看大模型推理



陈星强

(人工智能技术专家)

陈星强，人工智能技术专家，独立开发者。现任存算一体芯片公司 AI 编译器研发专家，专注于 AI 芯片编译器优化与算法加速技术研究。

摘要：本研究从物理学视角系统性探讨大语言模型和强化学习中世界模型的推理机制，提出统一的"世界模型"理论框架。研究整合了大语言模型（GPT、Claude）和强化学习世界模型（Google 的 DreamerV3、MuZero）的最新进展，揭示了两类系统在物理学原理上的深层统一性。

核心发现包括：（1）相变与涌现现象：当模型规模或环境复杂度达到临界点时出现智能涌现，DreamerV3 在临界阈值处表现出二级相变特征；（2）动力学系统建模：推理过程遵循最小作用量原理，DreamerV3 的循环状态空间模型本质上学习环境动力学的有效拉格朗日量；（3）信息几何与表征学习：通过变分推断在信息几何空间中寻找最优概率分布，体现信息瓶颈原理；（4）热力学与计算效率：探索-利用权衡可用统计力学温度概念理解，DreamerV3 的动作采样是受控退火过程；（5）量子信息与并行处理：想象轨迹生成体现量子叠加态思想，蒙特卡洛树搜索可理解为量子并行计算的经典近似。

研究表明，语言模型学习符号序列的统计规律和语义因果关系，强化学习世界模型学习状态-动作序列的统计规律和物理因果关系，两者在数学结构上高度相似。DreamerV3 在 Atari 游戏和连续控制任务上的优异表现验证了物理启发方法的有效性。这些物理学洞察为优化模型架构、提升样本效率和开发新型 AI 系统提供了理论指导，特别是在具身智能、机器人控制和复杂环境决策等领域具有重要应用价值。

(口头报告 L05)

随机梯度下降噪声和损失函数景观的局域 Hessian 之间的幂律关系



张逸宽
北京大学
物理学院

张逸宽^{*1}, 杨宁², 欧阳颀³, 涂豫海⁴

2. 北京大学物理学院

2. 北京大学成都先进技术研究院

3. 浙江大学高等物理研究院

4. Flatiron Institute (熨斗研究所)

简介*: 北京大学物理学院博士生, 导师欧阳颀和涂豫海。

摘要: 人工神经网络 (ANN) 展现出卓越的泛化能力, 其训练过程通常由主流优化器——随机梯度下降 (SGD) 驱动。实证研究表明, SGD 固有的噪声结构与损失函数景观的局部 Hessian 矩阵密切相关, 这种关联对寻找具有良好泛化能力的解至关重要。由于噪声源于每次梯度更新时小批量损失景观的位移和形态变化, Feng 和 Tu (PNAS, 2021) 发现了方差-平坦度反比关系 (即逆向爱因斯坦关系), 表明 SGD 噪声在较平坦区域更小, 这意味着协方差矩阵 C 与 Hessian 矩阵 H 呈正相关。近期, Ning 与 Tu (PRL, 2023) 构建了随机位移模型, 在这个模型中 C 与 H 的平方成正比。这些实证结果虽揭示了 C 与 H 之间的强正相关性, 但精确的数学关系仍不明确。

另一方面, 理论上可证明在真实参数附近, 噪声的协方差矩阵可由 Fisher 信息矩阵近似。之前的研究 (Z. Zhu et al, 2019; S. Jastrzebski et al, 2017; Xie et al, 2020) 基于最大似然估计的真实参数处 Fisher 矩阵与 Hessian 矩阵的等价性, 断言协方差矩阵等同于 Hessian 矩阵。但是, 这一结论并不准确, 因为这种等价性需要的正则性条件通常无法被满足: 1) 由于 ReLU 等不连续激活函数的存在; 2) 神经网络对数据分布的近似不满足归一化条件。

我们发现, 通过运用 Activities-Weights 的对偶性理论 (Feng 与 Tu, Nature Machine Intelligence, 2023), 证明噪声协方差 C , 通过其与单个样本损失函数的 Hessian 矩阵的依赖关系, 与总体样本损失函数的 Hessian 矩阵相关联, 且协方差 C 与 Hessian 矩阵间的有效幂律 (双对数图斜率) 并非简单等于 1, 而是以 2 为上界。



(邀请报告 L06)

Free Energy Machine: 结合统计物理与机器学习的组合 优化新方法

张潘是中国科学院理论物理研究所的研究员，第二研究室主任，从事统计物理、量子物理与机器学习交互领域的研究。张潘与合作者提出了稀疏态张量网络方法，解决了谷歌悬铃木量子线路的采样问题，也提出了统计力学计算方法的 VAN 框架以及张量网络机器学习模型 MPS 玻恩学习机。他的科研成果获得了 2023 年国家杰青项目资助，并获得了 2023 年中国科学院青年科学家奖，以及 2022 年北京市自然科学奖二等奖。自 2023 年起，张潘研究员担任《Physical Review Letters》的编委（物理与机器学习领域的 DAE）。

摘要：组合优化问题在科学界和工业界的多个领域都具有极其重要的地位，其研究和应用广泛影响着科学、工程、经济和社会的各个方面。组合优化问题在统计物理中被称为自旋玻璃的基态能量问题，从统计物理的视角看，求解自旋玻璃基态问题的困难之处在于系统的能量景观非常复杂，存在各种由能量壁垒所隔绝的能量极小值。

在这个报告中，张潘将介绍一种高效且通用的组合优化问题求解方法，称作 Free Energy Machine。这个方法将统计物理学中的自由能最小化方法原理，平均场理论，模拟退火思想与机器学习中的自动微分与梯度优化技术相结合，用于高效求解一般的组合优化问题。张潘还讲介绍此方法在最大割问题，最小平衡割问题以及最大满足性问题中的应用。



(邀请报告 L07)

复杂物理系统的生成式统一框架：模拟、控制、逆问题 与设计的集成



吴泰霖
特聘研究员

吴泰霖，西湖大学工学院人工智能系特聘研究员，博士生导师。吴泰霖本科毕业于北京大学物理学院，博士毕业于麻省理工学院物理系，并于斯坦福大学计算机系博士后。主要研究领域为开发机器学习方法用于大规模科学仿真、控制、设计和发现，并在能源、流体、机械等领域应用。在人工智能顶级会议和物理学顶级期刊等发表文章 30 余篇，其中 5 篇被评为热点论文。主持国家自然科学基金海外优青项目。

摘要：在复杂物理系统的科学计算与工程应用中，模拟、控制、逆问题求解与设计优化是四大核心任务。传统方法通常为每项任务构建专用模型，导致高昂的开发成本以及难以泛化的挑战。本文提出一个统一的生成式建模框架，首次将上述四大任务集成于单一模型中。以流固耦合系统为验证场景，该框架在各项任务及多种场景下均显著超越专用基线方法，并展现出卓越的分布外泛化能力。此外，针对混沌系统的模拟与逆问题，框架通过概率建模实现了比传统数值模拟逆向积分更高的准确性，凸显了生成模型在复杂系统分析中的独特优势。



(邀请报告 L08)

第一性原理驱动的认知计算模型



斯白露
教授

斯白露，任北京师范大学教授、北京脑科学与类脑研究所北脑学者、中国计算机学会智能汽车分会秘书长、北京神经科学学会脑电生理与脑节律疾病专委会副主任委员、北京脑网络组与类脑智能学会理事、Cognitive Neurodynamics 副主编、Neuroscience Bulletin 编委。研究方向为类脑智能、计算神经科学。主要研究成果包括记忆神经环路的计算理论、类脑导航系统等。

摘要：智能体在复杂环境中需要解决感知、记忆和决策等认知任务。现有的人工智能模型从数据出发通过端到端的学习方式训练模型提升智能体解决认知任务的精度，往往出现数据利用效率低、过拟合等问题。如何从基本的原理出发设计模型的架构和学习方法是提升智能体的安全性和可靠性的关键问题之一。通过自由能最小化和竞争学习等原理，智能体能够自适应地调整模型的参数，形成差异化的内部表征，为解决动态复杂环境中的识别和推理任务提供了可行思路。



(邀请报告 L09)

张量网络函数：严格变分性、体积律物理与神经网络的高效表征



刘文渊
正高/博士

刘文渊，浙江大学百人计划研究员、博士生导师。2012 年四川大学本科毕业，2017 年中国科学技术大学博士毕业，之后在香港中文大学、香港大学和加州理工学院从事博士后研究，2024 年 10 月加入浙江大学物理高等研究院。长期从事张量网络等量子多体计算方法的发展，研究兴趣包括量子阻挫磁性，强关联电子体系，格点规范场论，量子模拟，机器学习等。

摘要：张量网络已被广泛应用于凝聚态物理、统计物理、量子场论、量子计算与量子模拟、量子化学、机器学习等诸多领域。然而在二维及更高维度的实际应用中，张量网络计算始终面临严重制约：为保证近似张量收缩的足够精度，键维数必须取得足够大，否则可能得到完全违背物理常识的结果。在此约束下，学界普遍认为张量网络态仅能高效描述具有有限纠缠的特殊量子态（如面积律态），其表达能力不及神经网络量子态。

这里我们提出理解张量网络态的新视角——通过振幅计算所对应的张量网络收缩计算图，将其定义为张量网络函数（TNF）。这一视角转变突破了传统认知对张量网络计算的限制，将可计算张量网络的范畴拓展至那些尚无精确收缩方法的领域。Ref: Wen-Yuan Liu et al, PRL 133, 260404 (2024)

(邀请报告 L10)

AI 驱动的材料结构智能设计



高泽峰
副研究员/博士

中国人民大学副研究员、讲师、青年英才。研究方向为量子物理数值方法、预训练模型压缩、AI 辅助功能性晶体材料的发现与生成。已在本领域相关的国内外学术期刊和会议上发表论文二十余篇，涵盖 ACL、NeurIPS、EMNLP、COLING 等人工智能重要会议和 National Science Review、Phys.Rev.Research 等 SCI 重要期刊。其中，基于矩阵乘积算符实现预训练模型的过参数化过程的工作获得 ACL2023 最佳论文提名。研究成果被来自剑桥大学、斯坦福大学、Meta 公司等科研机构的领域专家引用。近五年主持基金 9 项，包括国家自然科学基金面上项目、青年科学基金项目等。

摘要：先进材料的发现是人类技术发展和进步的基石。材料的结构及其相应的性质本质上是晶格、电荷、自旋、对称性和拓扑等性质复杂相互作用的结果。这对材料的逆向设计方法提出了重大挑战。最近，人工智能技术的快速发展使得材料性质和结构之间隐含关联的有效表征成为可能，从而为功能性材料的逆向设计开辟了高效的范式。基于生成模型和判别模型的材料逆向设计取得了令人瞩目的进展，引起了研究人员的广泛关注。在本次报告中，我将首先回顾人工智能驱动的材料逆向设计的发展脉络，然后介绍背景、关键发现和主流技术发展路线[1]。同时，我将以 AI 驱动的交错磁性[2-4]和超导材料[5-7]的发现为例，介绍我们在 AI 驱动的材料逆向设计领域的最新进展。

参考文献：

- [1].Han X Q, Wang X D, Xu M Y, et al. AI-driven inverse design of materials: Past, present and future[J]. Chinese Physics Letters, 2025.
- [2].Ai-accelerated discovery of altermagnetic materials[J]. National Science Review, nwaf066,2025.
- [3].Tan C Y, Gao Z F, Yang H C, et al. Bipolarized Weyl semimetals and quantum crystal valley Hall effect in two-dimensional altermagnetic materials[J]. arXiv preprint arXiv:2406.16603, 2024.
- [4].Guo P J, Hou X Y, Gao Z F, et al. Luttinger compensated bipolarized magnetic semiconductor[J]. arXiv preprint arXiv:2502.18136, 2025.
- [5].Han X Q, Ouyang Z, Guo P J, et al. AI-accelerated discovery of high critical temperature superconductors[J]. Chinese Physics Letters, 2025.
- [6].Ouyang Z, Yao B W, Han X Q, et al. High-temperature superconductivity in Li₂AuH₆ mediated by strong electron-phonon coupling under ambient pressure[J]. Physical Review B, 2025, 111(14): L140501.
- [7].Han X Q, Guo P J, Gao Z F, et al. InvDesFlow-AL: Active Learning-based Workflow for Inverse Design of Functional Materials[J]. arXiv preprint arXiv:2505.09203, 2025.

(邀请报告 L11)

DeepSeek 时刻背后的新奇物理



陈锐
副研究员

陈锐，中国科学院理论物理研究所副研究员。致力于交叉领域中的多体统计问题的基础研究，积极探索人工智能在理论物理中的应用。发展了多电子问题的现代场论，提出了大语言模型中的临界态学习理论并在量子场论中获得了成功应用。已在 Phys. Rev. Lett., Phys. Rev. X., Nat. Commun.等重要学术刊物上发表论文 30 篇。他的科研成果获得了国家与中国科学院人才计划的资助。担任科技部国家重点研发计划项目子课题负责人。

摘要：大语言模型(LLM)在复杂推理任务中展现出的“涌现”能力，是当前人工智能领域的核心未解之谜。我们的研究从统计物理的视角，探究了大模型通过强化学习(RL)获得推理能力背后的动力学机制。我们发现，在单个复杂样本的强化学习过程中，模型的学习曲线呈现跃变现象，与统计物理中的连续相变现象高度相似。为了精确刻画这一过程，我们提出将模型的长链推理过程抽象为在一个“概念网络”(Concept Network, CoNet)上的随机行走。其中，强化学习算法(如 GRPO)扮演了调节网络连接权重的角色。研究表明，该优化过程将网络驱动至一个临界点。在此临界态，模型在探索效率和路径多样性之间达到了微妙的平衡，泛化能力达到最优。基于此发现，我们提出了“临界学习”(Learning-at-Criticality, LaC)框架。该框架指导我们将模型参数精确调控至临界态，以在数据极其稀疏的条件下实现最优泛化。作为应用验证，我们利用一个 80 亿参数模型学习量子场论中的费曼图计算。通过在低阶圈图上进行“临界学习”，模型成功泛化到从未见过的高阶圈图计算，其性能远超未经优化的、参数量大近百倍的基准模型。本报告将详细阐述这一“Physics for AI”的研究如何揭示大推理模型“思考”的可能内在机制，并展示其作为“AI for Fundamental Science”的潜力，最终为解决基础科学中的复杂问题提供新思路。

引文：

“Learning-at-Criticality in Large Language Models for Quantum Field Theory and Beyond”, Xiansheng Cai, Sihan Hu, Tao Wang, Yuan

(邀请报告 L12)

加速器智能化控制

何源，中科院近代物理研究所研究员，博导，副所长，杰青，万人。强脉冲环境模拟与效应全国重点实验室，中国科学技术大学、四川大学、哈尔滨工程大学兼职教授（客座研究员）。主持过国家基金委重大研究计划集成项目、重点项目等。曾获中国科学院杰出科技成就奖，国家科技进步二等奖，甘肃省科技进步一等奖，物理学会胡刚复物理奖，中国科学院科苑名匠。是国际未来加速器委员会（ICFA）束流动力学分委会（Beam Dynamic Panel）主席。第 18 届国际射频超导会议（SRF）和第 14 届国际重离子加速器技术会议（HIAT）主席。以及国际直线加速器会议（LINAC）、国际粒子加速器会议（IPAC）程序委员会成员和国际顾问委员会成员，IEC 国际标准化组织国际电工委员会工作组专家。

摘要：强流离子加速器在核废料处理、同位素制备和核物理基础研究等领域有不可替代的作用。过去五十多年，国际上强流离子加速器的最大流强约 2 mA。何源主要从事强流离子超导直线加速器和加速器驱动的核废料嬗变（ADS）研究，负责建设了中国 ADS 前端示范装置（CAFE）和中国超重元素合成装置（CAFE2），在非线性束流动力学、射频超导稳定性和复杂系统控制等方面有创新突破，将强化学习、神经网络与加速器运行结合，质子流强纪录提升了约 5 倍，是粒子加速器领域和 ADS 领域里程碑式的重要突破。将重离子流强的国际纪录提升了约 1.5 倍，为中国首先发现第 119 号新化学元素铺平了道路。

强流高功率加速器的长期稳定运行对其高可用性、高可靠性与高安全性提出了严格要求，传统的人力密集型运维模式已难以满足其需求。近年来，人工智能与机器学习技术的快速发展为粒子加速器领域带来了新的机遇，各类智能算法展现出巨大的应用潜力。然而，目前尚缺乏一个统一高效的框架来实现加速器的智能运行维护。为此，本研究提出了一种基于预测控制的三层系统架构，包含数据层、建模层和决策层。具体而言，数据层负责采集与处理加速器运行数据，为建模与决策提供数据基础；建模层利用机器学习算法构建加速器关键元件及子系统的预测模型；决策层则承担核心功能：一方面通过智能决策优化束流调试过程，另一方面基于模型预测实现运行状态的动态预测与故障的早期感知，进而支持实时干预与智能控制。该架构有望显著提高加速器的调试效率与运行性能，为未来智能加速器系统的开发提供新的技术路径与理论支撑。

(邀请报告 L13)**系统科学赋能的智能跃迁：风光-储氢-RSOC 复杂适应系统的发展及应用**

李致朋，西北工业大学教授，博士生导师，国家级领军人才。本科毕业于北京师范大学物理学专业，博士毕业于新加坡国立大学材料科学与工程专业。出国学习和工作近 20 年，先后在新加坡国立材料研究与工程院（IMRE，A*STAR）、日本国立材料研究院（NIMS）、美国国家标准局（NIST）担任研究员。期间曾获澳大利亚国家奖学金，对澳大利亚昆士兰大学（UQ）进行多次访学研究。受聘于日本东京工业大学（TIT）客座科学家。随后在美国硅谷的一线工业界从事产业化的高端制造，在世界 500 强企业担任首席工程师及项目负责人。拥有从学术到产业的全链条实践经验，掌握了新能源燃料电池及产业化制造的前沿核心技术，尤其是工业制造的一线技术。主要研究方向：氢能及燃料电池；纳米陶瓷新材料和器件；储能电池；机器学习；人工智能；新型能源高效管控系统等。

学术领域，在国际一流期刊杂志上发表专业论文 80 余篇，先后参与撰写了 10 余本/篇专业丛书和行业综述论文，在国际一流专业会议上应邀做专题报告 30 余次，多项科研成果被网站、杂志、期刊报道，担任 30 多个国际一流期刊杂志的专业审稿人。工业领域，拥有国际国内已授权专利 50 余项。

李致朋教授被授予中国科协评审专家、日本材料协会（MRS-J）成立 30 周年颁发的贡献奖，担任中国建材工业经济研究会陶瓷新能源材料分会秘书长，第三届陕西省侨联青年委员会副会长，陕西省低碳绿色学会副理事长，国际低碳期刊 DeCarbon 副主编，国际人工智能期刊 AI& Materials 副主编。

摘要：固体氧化物燃料电池（SOFC）与固体氧化物电解池（SOEC）通过双模式切换构成能源互联网的核心枢纽：SOFC 将燃料化学能直接转化为电能，发电效率达 50-60%（LHV），且兼容氢气、天然气、沼气等多元燃料，突破传统燃料电池对高纯度氢的依赖；而 SOEC 在高温（700-850℃）下电解效率超 85%，显著降低制氢能耗，更可直接电解 CO₂ 与水蒸气合成绿色燃料（如甲烷、甲醇），实现碳资源化利用。当两者深度耦合为风光-储氢-SOFC/SOEC（RSOC）系统时，SOEC 可消纳风电/光伏弃电制氢存储，SOFC 则在用电高峰释放氢能发电，形成“电-氢-电”闭环。该系统具备典型的多尺度参数耦合、多模块动态响应、多目标冲突优化特点，为复杂系统协同控制与鲁棒性设计带来了巨大挑战。

本报告从燃料电池材料、制备及产业化发展，到多能流协同优化与能源互联网系统集成各方面给予介绍：针对系统级动态协同挑战，通过强化学习算法建立集中训练-分散执行机制，动态协调各模块及其内部元件的运行状态；同时基于多尺度建模原理与机器学习理论精准提取电堆退化趋势，准确预测系统运行寿命与可靠性。为系统科学原理在能源互联网复杂系统集成中的应用提供了跨尺度故障传播预测与群体智能协同范式，推动风光-储氢-RSOC 系统从“分立器件”向“数字孪生能源智能体”跃迁。

(口头报告 L14)

Disentangling Contributions to Auxeticity in Amorphous Networks via Interpretable AI



沈翔瀛
副教授

沈翔瀛，中山大学理学院副教授，博士生导师。主要研究方向为统计物理与复杂系统以及利用机器学习探究非晶体系反常物理特性。目前共发表 SCI 论文 40 篇。其中以第一/通讯作者发表 32 篇，包括：Nature Materials、Nature Sustainability、Physical Review Letters (2 篇)、PNAS、Applied Physics Review、Advanced Materials、Advanced Science、Science China Physics, Mechanics & Astronom、The Innovation、Chemical Review 等顶级学术期刊。主持国家自然科学基金青年项目、广东省杰出青年基金、青年提升项目、粤深青年基金、深圳市基础研究面上项目和中国博士后基金。

摘要： Understanding the emergence of counter-intuitive properties like auxeticity in disordered systems remains a fundamental challenge. Although many structural and dynamical factors in amorphous networks have been proposed to induce auxeticity, their relative importance and how they interact are poorly understood. Here we leverage interpretable AI frameworks to quantitatively disentangle how multiple physical descriptors contribute to auxetic behavior. By training these interpretable models on data from amorphous network structures optimized via simulated annealing, we derive an analytical expression for the Poisson's ratio as a function of six key descriptors: coordination number, non-affinity, network entropy, free energy, concave polygon fraction, and a normal mode parameter. Crucially, sensitivity analysis of this formula reveals that non-affinity, entropy, and normal mode metric are the dominant contributors to NPR, with their influence intensifying as Poisson's ratio becomes more negative. This work elucidates the primary mechanisms governing auxeticity in amorphous networks and demonstrates the potential of interpretable AI to unveil complex structure – property relationships in disordered materials.



(口头报告 L15)

机器学习与原子力显微镜结合的表面水结构研究



唐宾泽

唐宾泽，北京大学博雅博士后，2024 年于北京大学物理学院获得博士学位。致力于复杂界面、受限下液体的相变，人工智能驱动的原于尺度结构发现等研究。Email: bztang@pku.edu.cn

摘要：界面水与水合离子普遍存在于自然界中，与电催化、海水淡化、生物离子通道以及气溶胶形成等众多生产、生活和自然现象密切相关。然而，由于氢键网络高度动态且脆弱的特性，从实验表征和模拟计算角度精确捕捉界面水的原子级结构始终充满挑战。原子力显微镜（AFM）凭借其超高空间分辨率，为获取界面水及水合离子体系的原子结构提供了有力手段。但由于实验信号与样品结构之间存在复杂的非线性映射关系，以及 AFM 探测深度的局限，仅依靠实验图像确定结构极具困难。针对复杂界面水（及水合离子）体系的 AFM 图像，我们构建了一套机器学习框架，并开发了系列算法用于从实验图像预测相应的原子级结构。在无需已知结构的实验数据训练的情况下，该算法已成功应用于水合离子、二维冰及体相冰等一系列表界面复杂无序系统。此外，通过将实验数据与计算模拟相结合，该框架从结构和动力学角度深入探究了多个平衡态与非平衡态相变行为，成功揭示了二维冰结晶过程中的非经典结晶行为，并发现了冰表面预融化中形成的新相。该算法有效突破了 AFM 数据分析的瓶颈，拓宽了 AFM 在复杂界面体系中的应用范围，为研究界面无序结构和相变行为提供了全新的技术与理论框架。



(邀请报告 L16)

如何在一般动力学过程中构建能量函数 - 是的，它存在

敖平，毕业于四川大学，来自于成都、四川。

摘要：2025 年诺贝尔物理学奖授予了 AI 算法开创者 John Hopfield 和 Geoffrey Hinton，这是对统计物理应用到复杂过程能力的肯定。算法的最重要的一个概念是能量函数或 hamiltonian，和相应的 Boltzmann-Gibbs 分布。尽管 AI 在近年来获得巨大成功，能量函数的存在和构造自 Hopfield 起到目前一直受到不断的质疑。在报告中我介绍自 2004 年我们团队发展起来的一个一般方法 - 动力结构分解。它完全解决了 AI 遇到的这个能量函数问题，但有意或无意地被国内外同行忽视。

可能大家也有不同意见，报告人愿意有这个公开机会在物理诺奖的背景下听取批评。

(邀请报告 L17)

Stochastic Gradient Descent Drives Escape from Sharper Valleys During Early Transient Dynamics



杨宁
博士

杨宁博士于 2023 年在北京大学前沿交叉研究院获得博士学位，师从汤超教授，现就职于北京大学成都前沿交叉生物技术研究院。杨宁博士的研究方向为人工智能、物理学和生物学的交叉研究，博士阶段专注于深度学习动力学理论，现阶段研究重点转向人工智能在生命科学中的应用，尤其是单细胞基础模型的构建方法。相关研究成果已以第一作者身份发表于《Physical Review Letters》、《Quantitative Biology》和《Synthetic Biology Journal》等期刊。

摘要： Stochastic Gradient Descent (SGD) is a fundamental optimization algorithm in deep learning, and understanding its behavior is crucial for improving early-stage generalization performance. In high-dimensional loss landscapes, solutions typically reside in valley-like regions, where generalization ability is closely linked to the flatness of the solution. However, it remains unclear how noise-driven SGD navigates toward wider, flatter valleys. In this work, we investigate this process from both empirical and theoretical perspectives. Through continuation experiments, we show that SGD tends to move from sharp to flat valleys early in training, yielding lower test loss. To better understand this behavior, we construct a two-valley 2D analytical model, which reveals that stronger noise reshapes the loss surface, lowering the effective potential of the flatter valley and increasing the likelihood that trajectories converge to it.



(邀请报告 L18)

Heavy-tailed update arises from information-driven self-organization in non-equilibrium learning

Xinya Zhang, Westlake University (张昕亚, 西湖大学)

摘要: Like human decision-making under real-world constraints, artificial neural networks may balance free exploration in parameter space with task-relevant adaptation. In this study, we identify consistent signatures of criticality during neural network training and provide theoretical evidence that such scaling behavior arises naturally from information-driven self-organization: a dynamic balance between the maximum entropy principle that promotes unbiased exploration, and mutual information constraint that relates updates with task objective. We numerically demonstrate that the power-law exponent of updates remains stable throughout training, supporting the presence of self-organized criticality. Furthermore, we show that the loss landscape exhibits exponential ruggedness under small perturbations, transitioning to power-law ruggedness at larger scales, in the absence of mini-batch noise, indicating an intrinsic geometric landscape. We also observe a power-law distribution in the intervals between large updates, indicating an intermittent learning process. Together, these findings suggest that neural network learning reflects a non-equilibrium process governed by the fundamental trade-off between randomness and relevance, highlighting its dynamic nature and offering insights into the interpretability of artificial intelligence systems.



(邀请报告 L19)

脑启发的神经网络快速连续学习方法研究



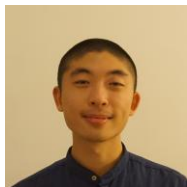
黄旭辉
教授，博士

黄旭辉，太原理工大学电子信息工程学院院长、求实学者、教授、博士生导师，“神经计算与脑机智能”团队负责人。长期从事类脑智能与脑机接口、智能感知与具身智能等智能信息处理算法与系统集成研究。主持各渠道科研项目 10 余项；已发表高水平论文 30 余篇，相关成果发表于 CVPR、ECCV 等 AI 顶会以及 Nat. Commun.、Neural Networks、J. Neurosci.、NJP 等权威 SCI 期刊，获得省部级科技进步奖二等奖 1 项。

摘要：灾难性遗忘问题一直是制约人工智能系统持续学习与知识积累能力形成的核心挑战。人类作为生物体智慧的最高等级物种，从幼年到老年一直具有终身连续学习能力。因此，从人类大脑信息处理机制获得启发来设计新颖的连续学习神经网络是解决该挑战问题的重要途径。本报告创新提出一种基于赫布学习与元学习的脉冲神经网络模型框架，通过构建赫布快速适应与元学习梯度优化的双层级协同机制，实现新旧知识的双向高效迁移及记忆保留，可实现快速的连续学习；同时，实验结果表明我们提出的模型在 CIFAR10、CIFAR100、TinyImageNet 等典型数据集上性能可达 SOTA 水平。

关键词：连续学习，脑启发机制，生物可塑性，脉冲神经网络

(口头报告 L20)

Strings Attached: Commitor-Guided Discovery of Transition

Chen Cheng Giuseppe
Postdoctoral researcher

Chen Cheng Giuseppe graduated from Sapienza University of Rome with a Bachelor degree in Chemistry in 2018 and a Master degree in Chemistry with a focus on Physical Chemistry in 2020. He then obtained the title of PhD in Chemistry at Sapienza University of Rome in 2024. Since 2024, he is a postdoctoral researcher at University of Lorraine under the supervision of Prof. Christophe Chipot, developing of Machine Learning-based methods for the treatment of slow transitions in the simulation of complex molecular systems.

摘要： Modeling slow transitions in complex systems remains a major and persistent challenge. In this work, we present a novel data-driven framework designed to accelerate the discovery of rare events while offering a detailed and coherent picture of the transition process. Our method learns the committor function iteratively from enhanced-sampling simulations by training an artificial neural network (NN). At each iteration, the committor is used to construct an increasingly accurate approximation of the transition pathways—specifically, the committor-consistent strings (CCSs)—which, in turn, guide further sampling to improve the estimate. In addition, we show that the proposed approach addresses the daunting task of selecting collective variables (CVs) for the simulations. Leveraging the trained NN, the method identifies the most informative CVs from a large pool of physically interpretable candidates. Most importantly, it can also capture transitions involving multiple relevant and intersecting pathways, thereby offering a comprehensive and nuanced view of the transition dynamics. We showcase the effectiveness of the method across a variety of processes, including isomerization reactions and protein folding, yielding both transition mechanisms and rate constants. These results underscore the broad applicability of the method and its promise for tackling the complexity of high-dimensional molecular systems.

(邀请报告 L21)

Critical neural avalanches reconcile response reliability with sensitivity for optimal neural representation



周昌松
讲座教授/博士

周昌松, 物理学博士, 香港浸会大学物理系物理和复杂系统讲座教授, 现任浸会大学非线性研究中心主任, 计算及理论研究所所长, 生命科学影像中心主任, 曾任物理系主任 (2021-24)。2011 年获浸会大学“杰出青年研究者校长奖”, 2021 年获“杰出研究表现校长奖”, 及香港研究资助局“高级研究学者奖” (2023)。周昌松博士致力于复杂系统动力学基础研究及其应用, 特别是大脑的复杂联结结构和活动以及认知功能及障碍的分析和建模。周昌松博士对生物神经网络复杂结构、动力学及其低成本高效益如何启发类脑智能具有浓厚的兴趣。在国际交叉学术刊物 PNAS, Nature Communications, Physical Review Letters, Physics Reports, National Science Review, J Neuroscience, NeuroImage, Cerebral Cortex, PLoS Computational Biology 等发表论文 170 余篇 (Google Scholar 引用 19800 余次, H-因子为 54)。

摘要: Neural criticality has emerged as a unified framework that reconciles diverse multiscale neural dynamics such as the irregular firing of individual neurons, sparse synchrony in neural populations, and the emergence of scale-free avalanches. However, the functional role of neural criticality remains ambiguous. In particular, how highly sensitive and variable critical neural dynamics coexist with reliable neural representation is a unanswered question. In this study, we investigate the neural dynamics and representations in response to external signals in excitation–inhibition (E-I) balanced networks. Our findings reveal that, in contrast with the traditional critical branching model, the critical state of the balanced network simultaneously achieves maximal response sensitivity, maximal response reliability, and optimal representation of external signals. Moreover, we unveil a functional role of neural avalanches, which are not only a hallmark of criticality but also direct contributors to neural representation. By generalizing a semi-analytical mean-field theory, we demonstrate that heterogeneity in inhibitory connections is a mechanism underlying the heterogeneity of steady-state firing rates in the neural population, enabling the presence of signal-reliable neurons in reliable avalanches. Our study addresses a longstanding challenge concerning the functional significance of neural criticality -- the intricate coexistence of reliability and variability.

(邀请报告 L22)

大脑任务切换与深度学习训练的敏感性结构解码



唐乾元
助理教授

唐乾元博士，现任香港浸会大学物理系助理教授。他在南京大学物理学院获得物理学博士学位，曾于日本东京大学、日本理化学研究所脑科学中心从事博士后研究。唐博士的研究主要聚焦于利用计算和数据驱动的方法来理解复杂的生物系统，通过结合计算、统计与物理工具，深入分析生物数据，揭示其中潜在的普适原理与物理规律。其研究论文发表在 PRL, Mol Bio Evol, PNAS 等国际学术期刊以及 NeurIPS 等国际学术会议。

摘要：复杂系统通常在变量和参数空间均具有极高的自由度，但有趣的是，许多复杂系统的整体功能却对大部分参数变化表现出惊人的鲁棒性。例如，深层神经网络往往拥有上千万个参数，但实际运行中，只有少数关键参数的扰动会显著影响其性能。这一现象可以用“欠定模型”(sloppy model)的理论进行系统描述：系统行为高度依赖少数“刚性(stiff)参数”的组合，而绝大多数“松弛(sloppy)参数”的变化对系统动力学影响甚微。欠定模型在生命科学、物理学和人工智能等领域中广泛存在，揭示其内在机制对于理解复杂系统的稳健性与高效调控具有重要意义。在认知神经科学领域，阐明大脑网络如何在不同任务中动态分配资源，是解释个体行为差异的核心。脑网络参数（如脑区活动水平及其功能连接模式）反映着功能子网络的整合与分离过程，但参数的高维复杂性极大地增加了识别功能相关个体差异的难度。为应对这一挑战，我们提出“刚性-松弛”(stiff-sloppy)分析框架，用以区分决定系统动力学的关键参数组合和影响微弱的次要参数。结合基于功能磁共振(fMRI)数据拟合的 Ising 模型与 Fisher 信息矩阵分析，我们发现，默认模式网络与工作记忆网络的整合与分离过程主要受刚性参数主导。更为重要的是，个体在这些刚性参数维度上的差异，与工作记忆行为表现高度相关；即使在剔除大量的松弛参数后，仅凭刚性参数也能实现对行为表现的稳定预测。此外，我们还将讨论如何利用这一分析框架，探索其在深度学习训练中的应用。

Sida Chen*, Qianyu Tang*, Taro Toyoizumi, Werner Sommer, Lianchun Yu, Changsong Zhou, Stiff-sloppy analysis of brain networks to reveal individual differences in task performance. (2025) <https://arxiv.org/abs/2501.19106>



(邀请报告 L23)

从感知到认知的神经动力学机制



杨冬平
副研究员/博士

现为之江实验室前沿基础研究中心研究专家，长期致力于计算神经科学与脑物理等交叉领域的研究，主要采用平均场理论方法进行生物物理建模与神经动力学分析，探索大脑多尺度神经活动特征功能与内在动力学机制，涉及感知、认知、导航、睡眠与癫痫等脑智动力学领域。目前已在脑物理方面完成了多个系统的研究工作，取得了一系列研究成果，已发表 SCI 论文 30 多篇，包括 Science Advances, PloS Computational Biology, Physical Review E, IEEE Transactions 等国际著名期刊，主持一项国家自然科学基金面上项目和一项浙江省重点项目。

摘要：活的大脑具有复杂多变的内部活动，却可以可靠地产生适应性响应来处理外部信息。因此，一个长期存在的基本问题是：神经网络如何在具有复杂多变的内部活动下产生对外界信息的可靠表征及编码？我们的研究揭示了神经异质性在可靠信息处理中的关键作用，并提出了一个统一的内在动力学机制来阐明各种神经异质性的作用。我们的研究发现神经异质性可以打破神经网络的内在活动模式，使得神经元的活动更独立灵活、放电率更异质，增强了神经元对外界信号的敏感性，在外界输入的诱导下形成与输入信号对齐的稳定暂态活动模式，进而获得可靠的信息表征。而大脑的认知需要进一步将感知信息映射到高维活动中的低维流形空间进行处理，我们的研究进一步发现这种映射可以处理任务的迁移，实现认知的泛化。



(口头报告 L24)

支持概念自组织生成、理解与交流的神经网络模型研究



陈阳

副研究员

个人简介：博士，中国科学院自动化研究所，脑图谱与类脑智能实验室副研究员，研究方向包括类脑智能与计算、神经动力学分析建模以及复杂系统中的自组织现象，目前开展机器学习、神经科学和理论物理学的多学科交叉的研究。

摘要：人脑具有一项非凡的能力：能够从感觉——运动体验中抽象出更高级的概念表征，并在无需直接感官输入的情况下灵活运用。尽管这一能力对于诸如语言交流等高级认知功能至关重要，但其底层的计算机制迄今仍未得到充分揭示。我们提出了一种名为 CATS Net 的双模块神经网络架构，通过统一的计算框架实现概念的自组织形成、理解与传达。该模型由两个模块组成：概念抽象（concept-abstraction, CA）模块，用于提取低维的概念表征；任务求解（task-solving, TS）模块，则在自组织概念的分层门控下执行视觉判别任务。更为关键的是，系统生成的概念表征可迁移可泛化，从而通过“概念交流”在不同网络间实现知识迁移。模型与脑活动的对比分析表明，这些涌现出的概念空间不仅契合神经认知语义模型，也与人类腹侧枕颞皮层的脑表征具有一致性；而其门控机制，则与语义控制网络中的功能模式相对应。本研究将自下而上的概念“接地”与自上而下的概念“认知”有机结合与一个统一计算框架中，为理解人类概念认知的机理提供了新视角，也为设计具有类人概念智能的人工系统提供了新思路。



(邀请报告 L25)

最优侧向预测编码的统计物理学



周海军
(研究员)

周海军，中国科学院理论物理所研究员，兼任闽江理论物理协作中心主任、中国科学院大学物理学院副院长。1991–1995 年求学于南开大学；2000 年获中国科学院博士学位，并作为洪堡学者在德国马克斯普朗克胶体与界面研究所从事博士后研究；2005 年入职中国科学院理论物理研究所。研究方向：自旋玻璃平均场理论及其在交叉学科中的应用、单分子聚合物熵弹性力学、非合作博弈论、复杂网络、神经网络统计物理学和细胞内的非平衡动力学。著有专著《自旋玻璃与消息传递》(2015)。

摘要：近年来，神经网络的统计物理学越来越引起人们的关注。从自旋玻璃和组合优化的角度看待神经网络的参数学习问题是一个重要视角。神经网络的学习过程，可以看成是在网络中建立一个内部模型表征外部世界的过程。我将介绍一个非常简单的线性侧向预测编码网络系统，并探讨该系统呈现的一些相变现象。在该侧向预测编码网络学习过程中，由于能量约束和信息编码鲁棒性的要求，系统将尽可能去调整神经元的权重参数，以实现能量和信息鲁棒性的最优妥协。这将导致最优预测编码网络出现自发对称性破缺、兴奋抑制均衡、最优编码理想气体关系、特征提取、趋向临界状态等等。

相关发表论文：

1. Energy-information trade-off induces continuous and discontinuous phase transitions in lateral predictive coding, Zhen-Ye Huang¹, Ruyi Zhou, Miao Huang, and Hai-Jun Zhou, Sci. China-Phys. Mech. Astron. 67, 260511 (2024), <https://doi.org/10.1007/s11433-024-2341-2>
2. Discontinuous phase transition of feature detection in lateral predictive coding, Zhen-Ye Huang, Weikang Wang, and Hai-Jun Zhou, eprint arXiv:2501.12139 [q-bio.NC], <https://doi.org/10.48550/arXiv.2501.12139>
3. Lateral predictive coding revisited: internal model, symmetry breaking, and response time, Zhen-Ye Huang, Xin-Yi Fan, Jianwen Zhou, and Hai-Jun Zhou, Commun. Theor. Phys. 74, 095601 (2022), <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1572-9494/ac7c03>

(邀请报告 L26)

非平衡相变、斯格明子与机器学习



熊龙

讲师/博士

熊龙，浙江大学理论物理博士，云南大学物理与天文学院讲师。2022 年入选云南大学“青年培优计划”，2024 年入选云南省“兴滇英才支持计划”青年人才。主要从事非平衡统计物理、相变、复杂系统及其交叉学科研究。近五年申请人在 *Phys. Rev. B*, *Phys. Rev. E*, *Phys. Rev. A*, *NJP* 等物理学权威期刊发表 SCI 论文 20 余篇。

摘要：尽管机器学习已广泛应用于研究物质的相态，但由于临界慢化和关联长度的发散，探究相变动力学仍极具挑战性。我们提出了一种非稳态机器学习方法，通过在短时区域下采样，成功学习相变的临界动力学。利用动态标度形式，该方法能够精确确定临界点和静态临界指数，并得到传统机器学习方法难以提取的动态临界指数。由于斯格明子拓扑结构的复杂性，其退钉扎相变的序参量在实验中难以直接测量，而我们的非稳态机器学习方法可直接从自旋构型出发，不依赖序参量，准确确定临界电流以及静态和动态临界指数。该方法的泛化能力在不同情况下也得到了验证，可以广泛地应用于研究平衡与非平衡相变，即使动力学方程未知。

此外，我们探索了利用斯格明子相变设计神经网络的可能性。在无序系统中，斯格明子的精确控制极为困难。然而，通过 **Rashba** 效应，我们发现可通过栅极电压有效调控斯格明子相变。有趣的是，我们观察到各向异性的相变行为，并伴随一个绝对横向移动的相变区域。基于独特的相变机制，我们设计了基于斯格明子的人工突触器件，用于构建脉冲神经网络，并在手写数字识别任务中取得了较高的准确率。

(邀请报告 L27)

High Reconstructability of Degree-Heterogeneous Networks



秦佳杰
博士研究生

秦佳杰，同济大学上海自主智能无人系统科学中心博士生，导师为严钢教授。博士期间主要从事基于复杂网络系统模型的知识发现，理论证明了度异质性较强的网络更易重构，相关研究成果发表在 *Physical Review Letters* 上，并获编辑推荐（Editors' Suggestion）和亮点报道（Featured in Physics）。

摘要：Reconstructing complex networks from observed, often noisy data is a fundamental task crucial for understanding complex systems across various domains. Despite numerous methods proposed for network reconstruction, little attention has been given to the relationship between reconstructability and the intrinsic properties of hidden networks. Here, we present a mathematical proof that, for scale-free networks, the reconstruction accuracy increases as the exponent of the power-law degree distribution decreases. This suggests that degree heterogeneity contributes to higher reconstructability. We validate this conclusion in empirical networks, where nodal degrees may not strictly adhere to power laws. Our results demonstrate that the reconstruction accuracy of degree-heterogeneous networks is indeed significantly higher than that of their randomized counterparts.

参考文献：

[1] Jia-jie Qin, Gang Yan. High Reconstructability of Degree-Heterogeneous Networks[J]. *Physical Review Letters*, 2025, 134(13): 137402. (Editors' Suggestion & Featured in Physics)

(口头报告 L28)

Synaptic plasticity alters the nature of chaos transition in neural networks



杜文康
中山大学

中山大学理论物理专业博士在读，研究方向为计算神经与机器学习理论。导师为黄海平教授。

我的研究致力于深度学习统计理论与计算神经科学的交叉领域，旨在从理论层面理解高度非线性神经网络在学习与信息处理中的基本机制。通过借助空腔方法、复本理论与动力学平均场理论等工具，研究高维系统中的集体行为、泛化能力与动态演化过程。当前主要关注突触可塑性如何通过改变连接结构与权重分布，调控神经网络的动力学特性，包括稳定性、吸引子结构以及混沌的产生与调控。

摘要： In realistic neural circuits, both neurons and synapses are coupled in dynamics with separate time scales. The circuit functions are intimately related to these coupled dynamics. However, it remains challenging to understand the intrinsic properties of the coupled dynamics. Here, we develop the neuron-synapse coupled quasi-potential method to demonstrate how learning induces the qualitative change in macroscopic behaviors of recurrent neural networks. We find that under the Hebbian learning, a large Hebbian strength will alter the nature of the chaos transition, from a continuous type to a discontinuous type, where the onset of chaos requires a smaller synaptic gain compared to the non-plastic counterpart network. In addition, our theory predicts that under feedback and homeostatic learning, the location and type of chaos transition are retained, and only the chaotic fluctuation is adjusted. Our theoretical calculations are supported by numerical simulations.

(邀请报告 L29)

Unveiling Neural Mechanisms Underlying Adaptive Behavioral Strategies



邵宇秀

助理研究员/博士

Yuxiu Shao (邵宇秀) is currently an Assistant Professor in the School of System Science at Beijing Normal University. Her research is dedicated to enhancing our comprehension of both biological and artificial neural processing, with a specific focus on uncovering a unified framework underlying these systems. During her postdoc at ENS, she worked with theoretical neuroscientist Srdjan Ostojic, employing mathematical approaches to investigate the intricate relationship between connectivity and dynamics in RNNs. Prior to that, she pursued her doctoral training at Peking University under the guidance of Professor Louis Tao.

摘要: In perceptual judgments, sensory information is typically combined with contextual information which can help disambiguate noisy stimuli. In a previously developed 2AFC auditory categorization task in which the stimulus sequence included across-trial sequential correlations, rats can capitalize on these correlations and infer the most likely upcoming stimulus, but only in after-correct trials; in after-error trials, they appear unable to carry out the counterfactual inference of “had I chosen the opposite side, I would have received a reward” and they consistently waive the accumulated sequence evidence and only utilize the stimulus evidence. This suboptimal behavior, termed the after-error reset strategy, has been systematically observed across animals (Hermoso-Mendizabal et al., 2020; Molano-Mazon et al., 2023). Recently, we have shown that Recurrent Neural Networks (RNNs) trained on this task surpass the performance of rats by employing counterfactual inference in after-error trials, except when the RNN is pre-trained in a naturalistic task with multiple choices. In such cases, the pre-trained networks were found to exploit the reset strategy by dynamically decoupling the network's decisions from the predictions based on contextual evidence (Molano-Mazon et al., 2023). Here, we aim to explore the network mechanisms that give rise to diverse behavioral strategies in RNNs and animals. Our population analysis results demonstrate that manipulating RNNs by constraining their network dynamics and latent state spaces results in diverse and flexible strategies employed in a perceptual task that necessitates complex information processing. In-silico RNN agents and modern machine learning techniques offer interpretable insights into the neural mechanisms underlying the rich variety of strategies observed across multiple tasks and species.

(口头报告 L30)

统计物理赋能教学 AI

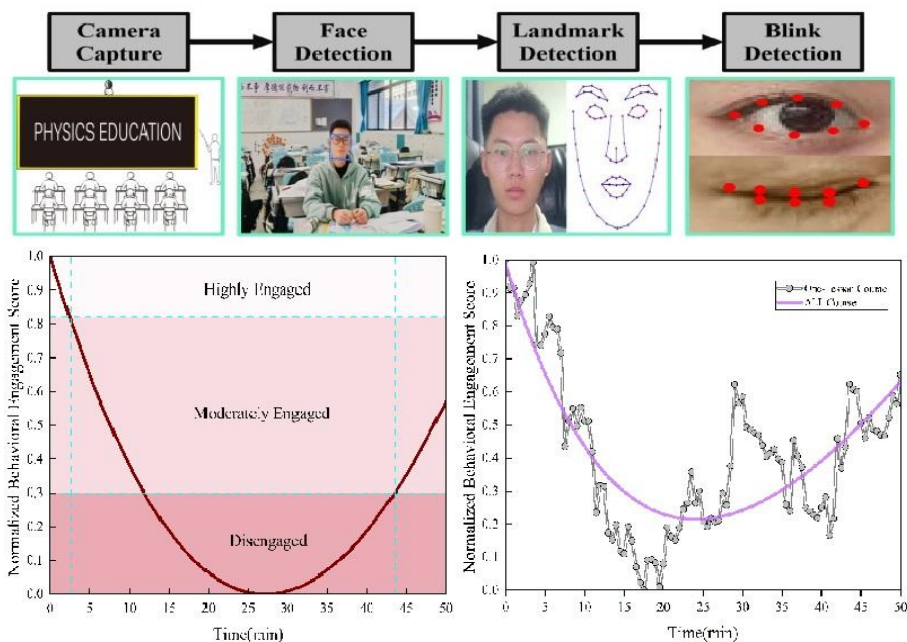


高翔
副教授

陕西师范大学物理学与信息技术学院副教授，西安市交叉物理学国际联合研究中心主任。2020 年至 2024 年兼任德国马克斯·普朗克学会动力学与自组织研究所 Partner Group Leader。兰州大学本科。浙江大学博士，导师张宏教授。

主要研究利用统计物理方法与模型，对课堂教学中师生的多模态数据（音视频、文本、图像等）进行结构化标注与机制解析，旨在揭示教学中的统计规律。

摘要：为了实时监测大班学生注意力并指导教学干预，我们开发教师端多视角摄像系统，基于本地识别的学生眨眼率（教育心理学指标）绘制实时注意力（Engagement）曲线。核心创新是将注意力衰减建模为受课堂事件（如上/下课铃、教师干预）触发的随机响应过程。通过对 96 节普通物理课数据的统计拟合，量化揭示：课上高注意力时段平均仅集中首尾约 5 分钟，显著低于教育心理实验结果（15 分钟）。研究还定量评估了不同干预行为对注意力的提升效果，为实时干预提供依据。



进一步结合统计建模与机器学习：1) 情绪识别 AI 教师：分析学生面部表情与肢体动作，训练模型实时识别困惑或走神状态，提供精准反馈；2) 作业抄袭检测：对不同学生、章节的作业题目结果进行标准化、结构化标注，构建数据库，并基于此训练分类模型预测题目级抄袭行为。

(口头报告 L31)

Scaling behavior of cross-entropy loss in the identification of percolation phase transitions



杨波
博士

杨波，博士，昆明理工大学理学院系统科学系，2016 年在中国科学院理论物理研究所获理学博士学位，主要从事统计物理与复杂系统相关的教学和科研工作。作为项目负责人，主持国家自然科学基金 1 项，省部级基金 3 项，在 PRE 和 JSTAT 等期刊上发表多篇学术论文。

摘要： The cross-entropy loss function is widely used in machine learning to measure the performance of a classification model. Interestingly, our study find that this function has scaling behavior when deep neural networks are used to investigate percolation models. Specifically, we use convolutional neural networks with different pooling methods to study the site percolation on square lattices under two labeling methods (labeling based on spanning cluster and the exact solution of the critical point). Subsequently, graph convolutional neural networks (GCNs) with different pooling methods are utilized to do the same kind of experiment. Finally, the GCN with different pooling methods is used to study the percolation phase transitions on the Erdős-Rényi (ER) networks under labeling based on the critical point. The reliability of the classifiers is detected by the values of the critical point p_c and critical exponent ν which are obtained by the scaling behaviors of the percolation probability. The results demonstrate that the scaling exponent of cross-entropy ψ/ν depends on the labeling and pooling methods. Labeling based on critical points, which is equivalent to labeling based on spanning clusters in infinite systems, can be used to investigate the critical behaviors in finite systems. SAGPooling-Mean is an effective pooling method to study the scaling behavior of cross-entropy loss on two-dimensional square lattices and ER networks.



(口头报告 L32)

预测心律交替的开始



马智钦
博士

马智钦，2024 年 12 月获博士学位，现为昆明理工大学老师，主要从事统计物理与复杂系统研究，重点关注早期预警信号的检测与分析，以及机器学习与深度学习在复杂系统中的应用。以第一作者在 Commun. Phys.、Phys. Rev. Research 和 EPL 等期刊发表 SCI 论文。

摘要：心脏节律转变引起的交替特征通常是严重心律失常开始的前兆。已有研究将这种转变与数学上的不稳定性联系起来，称为倍周期分岔。倍周期分岔与异常心律交替的发生有关，这与 T 波交替和各种心率过速等心律失常有关。预测复杂系统定性动力学变化的开始仍是一个具有挑战性的问题，在现实世界的许多系统中具有重要的意义。诸如，增加的滞后 1 自相关和方差这样的传统指标，通过检测动力学在转变附近如何放缓（即基于临界慢化的普适现象），提供了引爆点的通用早期预警信号，但没有确定提供一个实用的阈值来表明最有可能发生临界转换的条件。在此，我们运用 Ornstein-Uhlenbeck 理论推导出周期加倍分岔前滞后 τ 自相关函数的解析近似，从而估计了非线性动力系统的主特征值作为早期预警信号，并揭示了其在接近倍周期分岔时的动力学行为。理论上，当系统接近倍周期分岔时，主特征值趋于 -1 。我们在经历倍周期分岔的心脏交替模型的模拟数据以及小鸡心聚集自发跳动的实验数据上测试了主特征值预警方法。它在大多数情况下正确识别了倍周期分岔的发生(心律失常的开始)。我们的研究理论和经验结果表明，主特征值是预测心脏潜在危险交替节律开始的定量措施。更好地推断和检测复杂系统中即将到来的转变性质的能力将帮助人类管理临界转变。

关键词：心律失常，倍周期分岔，动力学系统，临界慢化, 早期预警信号

张贴报告集

(见附件 1：可公开张贴报告.pdf)