

科学家首次实现 量子体系高阶非平衡拓扑相

本报讯(记者王敏)中国科学技术大学教授潘建伟、朱晓波、彭承志、龚明等与山东大学教授梅峰等合作,基于可编程超导量子处理器“祖冲之二号”,首次在量子体系中实现并探测了高阶非平衡拓扑相。这一成果标志着量子模拟在探索复杂拓扑态方向上取得重要突破,为利用超导量子处理器在量子模拟问题上实现量子优势奠定了基础。近日,相关研究成果发表于《科学》。

拓扑相是近年来凝聚态物理与量子模拟领域的重要研究方向。与传统拓扑相不同,高阶拓扑相在更低维度的边界上出现了局域态,挑战了传统的体-边对应关系。尽管人们在经典超材料中已实现高阶拓扑相的实验,但在量子体系中实现高阶拓扑相一直是国际前沿的科学挑战。实现高阶拓扑相不仅有助于揭示拓扑态的量子本质,还为基于非阿贝尔统计的拓扑量子计算提供了潜在实现途径。

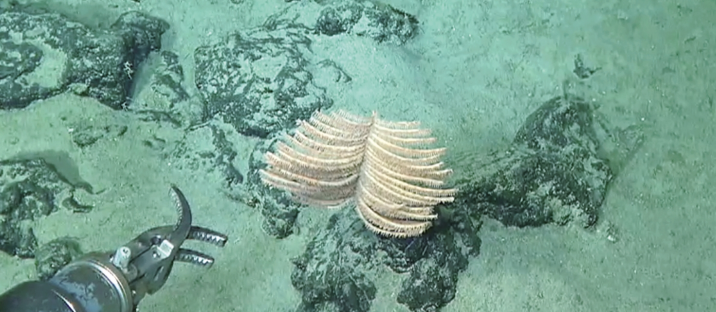
拓扑态的研究正从平衡体系向非平衡体系拓展,成为凝聚态物理的重要前沿方向。非平衡拓扑相表现出平衡体系所不具备的特性,揭示了拓扑与动力学之间复杂而深刻的内在联系,从而为在时间维度利用拓扑保护对量子态进行高精度、高鲁棒性的超快操纵提供可能。然而,二维非平衡高阶拓扑相的实验实现长期面临两大挑战:一是如何在量子体系中精确设计高阶非平衡拓扑哈密顿量;二是缺乏直接探测非平衡拓扑性质的有效方法。

研究团队基于“祖冲之二号”超导量子处理器,基于可编程能力,首次在实验中实现了平衡与非平衡二阶拓扑相的量子模拟和探测。在理论上,研究团队提出了针对高阶拓扑相的静态与 Floquet 量子线路设计方案,解决了在二维超导量子比特阵列中构建高阶平衡与非平衡拓扑哈密顿量的关键难题,并开发了通用的动力学拓扑测量框架。

在实验上,研究人员建立了系统化的处理器优化方案,通过精密控制,实现了量子比特频率与耦合强度的动态调控,在 6×6 量子比特阵列上,成功执行了 50 个 Floquet 周期的演化操作,首次成功实现了 4 种不同类型的非平衡二阶拓扑相,并系统探索了该拓扑相的能谱、动力学行为、拓扑不变量等特征。

该成果标志着二维可编程量子模拟能力的显著提升。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1126/science.adp6802>



研究团队在水下拍摄的伪交替深海黑珊瑚。

受访者供图

多种氨基酸与部分维生素的完整合成途径。“既然自身不能转化营养物质，那它必然依靠外部供应才能生存。这一发现从遗传学角度暗示，伪共生深海珊瑚的生存或许依赖共生菌实现营养互补。”孟亮告诉《中国科学报》。

此外，还有两位“保镖”——两种柔膜菌。这两种柔膜菌的基因组高度简化，分别携带Ⅱ型CRISPR/Cas和3种限制-修饰(R-M)系统，就像“保镖”一样，为宿主构筑了抵御病毒入侵的防御屏障。

通过对南海与西太平洋跨不同水深与地理区域的 14 个样本进行共生菌组成与多样性分析,研究团队证实,伪交替深海黑珊瑚维系着一个独立于周边海水环境、组成简单且稳定的共生菌群。

深海珊瑚的“神仙队友”

既然伪交替深海黑珊瑚依赖共生菌群生存,那么这些“神仙队友”是如何与宿主分工合作的?

通过原位杂交链式反应,研究团队发现,共生菌在伪交替深海黑珊瑚的水螅体中广泛分布,显著富集于中胶层。中胶层具有良好的通透性,且富含吞噬的变形细胞,不仅有利于小分子物质的双向扩散与循环,还为共生菌提供了相对安全的微环境,使得物质循环、免疫规避、稳态维持能够在同一组织空间中协同实现。

研究人员对伪交替深海黑珊瑚体内4种核心的共生菌进行了测序分析,发现这群“神仙队友”虽然成员数量不多,但个个是精英,且分工明确。

首先是“首席营养师”——氢氧化古菌。这种菌类能够氧化宿主代谢产生的氢,驱动有机碳与多种氨基酸、维生素合成,并将它们供给宿主,从而实现解毒与营养供给双重功能。

其次是“金牌保健师”——研究团队发现了一种从未被报道过的共生菌,这种菌类具有合成血红素、疏辛酸、谷胱甘肽及脂肪酸的潜力,兼具抗氧化应激与营养补给作用。

调控共生菌的分子模型,他们发现,珊瑚的内外胚层细胞通过TLR1/3等模式识别受体,像哨兵一样时刻监控着共生菌的状态。当接收到共生菌释放的特定分子信号后,模式识别受体体会通过一个名为MyD88蛋白的“信号兵”启动免疫信号通路,诱导TNF- α 等免疫因子的表达,从而实现适度清除、资源回收、数量调控的免疫稳态平衡。此外,C型凝集素、清道夫受体等其他模式识别受体也参与了该过程的精细调控。

“简单地说,就是伪交替深海黑珊瑚通过模式识别受体,时刻监控这群细菌的数量和状态。当细菌数量过多时,免疫系统会派出变形细胞进行适度清理,吞噬多余的细菌,甚至将其回收利用为营养。”孟克释解释道。

这一研究系统阐明了深海珊瑚营养供给、氨解毒、抗氧化、病毒防御、免疫稳态多重功能耦合的分子逻辑,为理解深海生态系统的物质循环和评估生物对极端环境的适应潜力及生态系统韧性提供了理论框架,将助力深海生物多样性评估和深海生物功能基因资源挖掘。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1016/j.chom.2025.10.020>

中国工程院院士学习贯彻 党的二十届四中全会精神

■本报记者 赵宇彤

■本报记者 赵宇彤

近日,学习贯彻党的二十大精神中央宣讲团在中国工程院宣讲,中央宣讲团成员、中国工程院院长、党组书记李晓红作宣讲报告。

“广大院士要发挥科技领军作用,解决重大工程技术难题,实现重点领域关键核心技术快速突破;要将论文写在祖国大地上,推动科技创新和产业创新深度融合,不断催生新质生产力,为奋力开创中国式现代化建设新局面作出新的更大贡献。”李晓红说。

党的二十届四中全会胜利闭幕以来,中国工程院院士深入研读大会公报及《中共中央关于制定国民经济和社会发展的第十五个五年规划的建议》(以下简称《建议》),围绕高水平科技自立自强、新质生产力培育等核心部署展开热烈讨论。

中国工程院化工、冶金与材料工程学部院士谭天伟指出,在聚焦国家重大战略需求和产业发展需要、推动传统产业转型升级的同时还应当积极培育壮大新兴产业和未来产业,支撑服务新能源、新材料等战略性新兴产业集群加快发展,推动量子科技、生物制造、氢能和核聚变等成为新的经济增长点。

“作为深耕先进玻璃材料领域的科技工作者,要把科研工作与国家需求深度融合,把产业发展与国家战略深度对接。”中国工程院化工、冶金与材料工程学部院士彭寿表示,要让技术突破真正成为支撑国家战略的“硬科技力量”,用实际行动践行“科技报国”的使命担当。

而要实现这一目标,离不开社会多方力量的共同努力。

擘画现代化产业新蓝图

研究中心主任 Olga Bychkova 指出：“该目标令人存疑，因为俄罗斯几乎不存在与国家脱钩的企业。俄罗斯虽有独立企业，但规模较小，不可能为研发提供大量资金。”

俄罗斯科学院院士、化学家 Alexey Bo-brovsky 指出，这种悲观态度在一定程度上反映了自 2020 年以来科经费持续萎缩导致的“灾难性”状态。他指出：“我们基本上倒退回了 21 世纪初的水平，而俄乌冲突引发的制裁导致俄罗斯科学界陷入孤立，使情况雪上加霜。考虑到整体经济形势，俄罗斯制订的这类计划过于乐观。”

（文乐乐）

政府，其余部分则由私营企业提供，而目前，政府经费比例达 90% 以上。此举旨在帮助俄罗斯实现总统普京提出的长期目标——将研发支出占国内生产总值 (GDP) 的比例提升至 2%。

然而，许多俄罗斯研究人员质疑政府能否实现该目标。“当前科研支出占 GDP 的实际比例正在下降。”俄罗斯经济学家 Ruben Enikolopov 指出。他强调，2020 年俄罗斯的科研支出仅占 GDP 的 0.51%，到 2024 年这一比例已降至 0.36%。

其他专家则质疑私营企业能否承担如此巨大的投入份额。俄罗斯圣彼得堡欧洲大学科技

现代化产业体系是现代化国家的物质技术基础,也是加快构建新发展格局、着力推动高质量发展的必然选择。

“强化战略导向,瞄准世界科技前沿,力争在高端芯片、航空发动机、核心工业软件等领域实现突破,打造更多彰显国家实力的‘大国重器’。”中国工程院机械与运载工程部部长付梦印表示,要推动科技创新和产业创新深度融合,将人工智能等新技术融入制造业发展,不断提升智能化、数字化水平。

龙头企业牵头、高校院所支撑、各创新主体协同攻关,促进教育、科技、产业资源高效联动。

“还要持续完善新型举国体制,在事关国家发展全局和长远利益的战略性、基础性、前沿性领域进行重点布局和持续投入。”中国工程院土木、水利与建筑工程学部院士李清泉建议,强化企业科技创新主体地位,支持领军企业整合高校、科研院所力量,让潜心研究与追求卓越成为科研工作者的价值取向和奋斗目标。

(下转第2版)