科学家实现国际上首个非厄米量子热机实验

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/20810.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

近日，中国科学院精密测量科学与技术创新研究院研究员冯芒团队与广州工业技术研究院、郑州大学、湖南师范大学、郑州轻工业大学、日本理化学研究所、美国宾夕法尼亚州立大学等国内外研究机构合作，利用超冷离子实验平台，设计并实现了国际上首个非厄米量子热机实验。该热机的工作物质是一个开放的（即非厄米的）量子体系，四个热力学冲程基于刘维尔奇异点（即体系的本征能量简并点，使本征态和本征能量塌缩到一点）的不同拓扑相，实验显示，“等容加热冲程和等容冷却冲程分别处于严格相和破缺相的量子奥拓热机具有最高的热机效率”的新结论，对量子热机的研究具有重要意义。10月20日，相关研究成果发表在《自然-通讯》（*Nature Communications*）上。

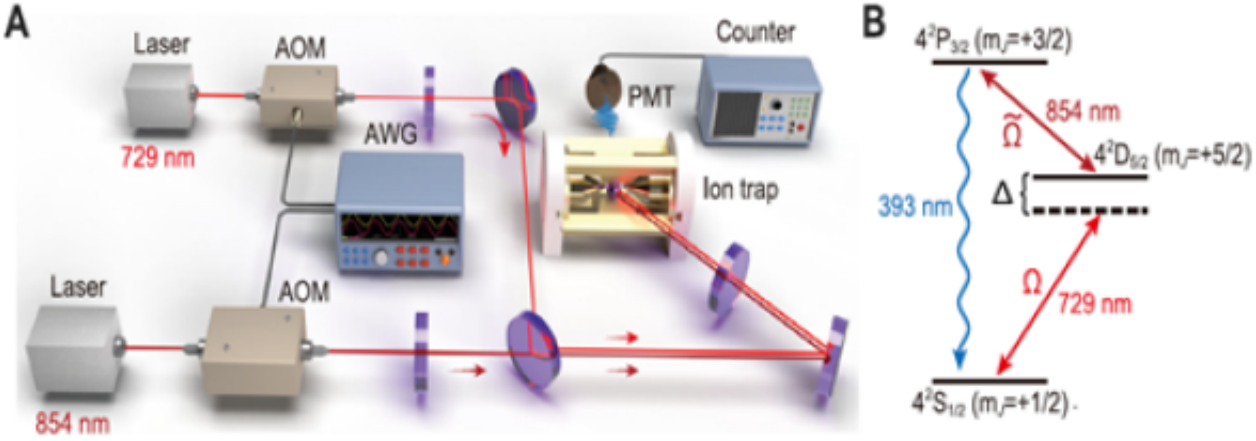
热机是利用工作物质从热库吸热并对外输出可用功的一类机械，对人类文明进程起过巨大的推动作用。18世纪中叶，热机的发明促成机车引擎的出现，使人类进入第一次工业革命（即蒸汽机工业）时代。近年来，随着人类对微观世界认识的逐步深入及量子信息科学的发展，科学界开始探索基于量子工作物质的热机。这种量子热机虽然只有微纳尺度，但得益于量子相干性等非经典物理性质，有望在效率上超越传统的热机，并可望探索量子体系演化过程中能量-信息转换和功-热转换的理想实验平台。然而，量子热机作为一个开放体系，热机的吸热和做功都在工作物质与外部环境的相互作用过程中完成，因此需要考虑针对非厄米量子系统的调控。

科研人员运用离子阱量子操控技术实验实现基于刘维尔奇异点的不同拓扑相的量子奥托热机。离子阱系统以孤立干净、精准可控而著称，是目前最有望展现量子技术优越性的物理系统之一。科研团队致力于发展基于$^{40}Ca^{+}$
离子的精密操控关键技术，旨在利用量子精密测量技术来探索量子世界的未知领域。该研究在单个超冷$^{40}Ca^{+}$
离子中设计可控的耗散通道，实现了包含量子跳跃效应的刘维尔奇异点，为观测基于刘维尔奇异点的不同拓扑相（即严格相和破缺相）的动力学行为奠定实验基础。研究演示的奥托热机包含绝热压缩、等容加热、绝热膨胀和等容冷却等四个冲程。研究通过激光精准操控离子使这四个冲程分别处于不同的拓扑相，并组成不同的热机循环。研究显示，由于量子相干性的存在，热机处于严格相时激发态布居的上下振荡会导致吸热和放热过程中存在额外的吸放热；而耗散会抑制激发态布居的振荡。科研人员由此推测，如果提高量子热机效率，应保持等容加热冲程中的布居振荡，抑制等容冷却冲程中的布居振荡，即前者处于严格相，后者处于破缺相。进一步研究表明，等容加热冲程和等容冷却冲程分别处于严格相和破缺相的量子奥拓热机具有最高的热机效率。

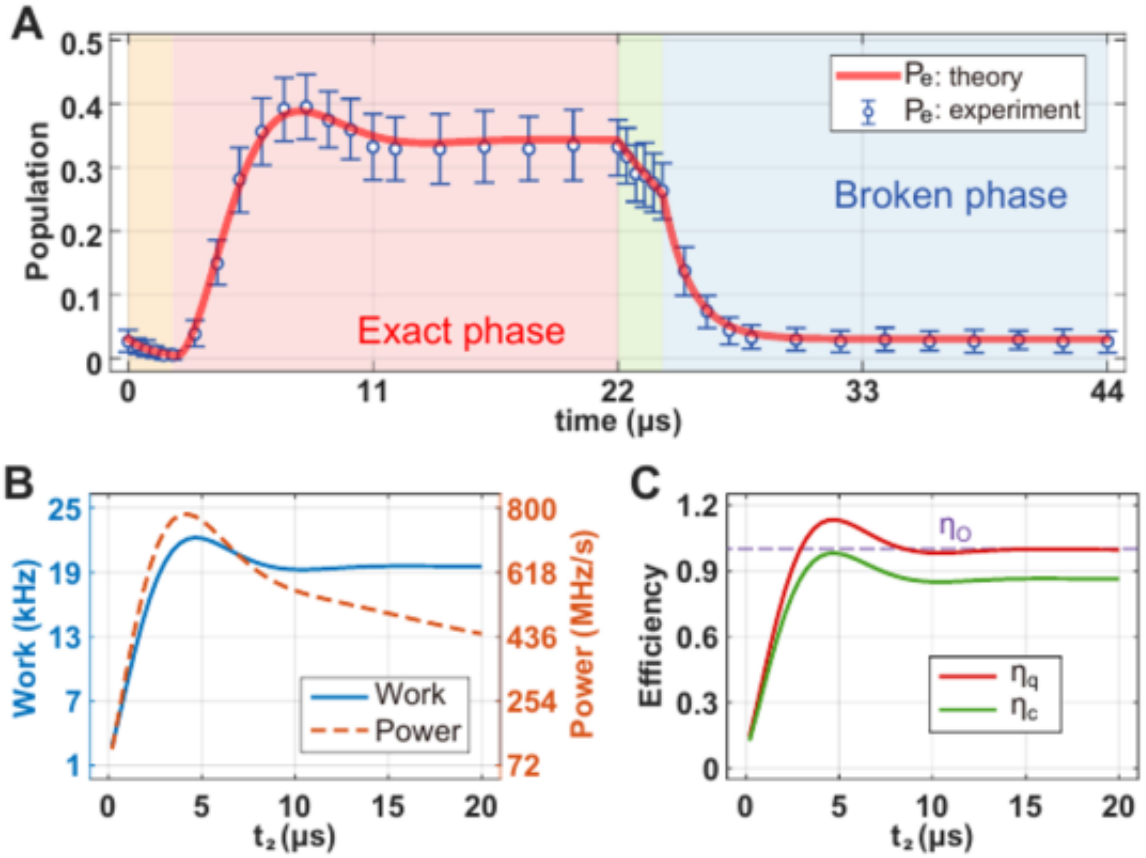
该研究实现了国际上首个基于非厄米体系的量子热机实验工作，通过精确操控单个囚禁离子的动力学确立了量子相干性、刘维尔奇异点和量子热机效率三者之间的联系。该成果颠覆“增加量子相干性便可提升量子热机效率”的主流观念，将有助于探索非厄米动力学及刘维尔奇异点对量

子体系的热力学过程和现象的影响。此外，该研究中的工作物质是单个原子，而原子是化学变化中的最小粒子，因此该研究的结论和所展现的技术具一定的普适性，有望应用于能源、生物、医药和工程等领域，并用于开发分子马达、纳米机器人和微型智能装置等。

研究工作得到国家重点研发计划、国家自然科学基金、广东省重点领域研发计划重大专项、中国博士后科学基金和王宽诚教育基金等的支持。



（A）实验平台示意图，单个$^{40}Ca^{+}$离子在激光的精准操控下展现奥托热机的量子特性。（B）$^{40}Ca^{+}$离子的能级示意图。



单离子量子奥托热机实验数据：其等容加热冲程处于严格相，等容冷却冲程处于破缺相。（A）测量得到的激发态布居数随时间的变化，橘色、粉红色、绿色、蓝色区域分别代表绝热压缩、等容加热、绝热膨胀和等容冷却等四个冲程。处于严格相的等容加热冲程呈现出明显的布居数振荡。（B）量子奥托热机的功和功率随时间的变化。（C）量子奥托热机的效率随时间的变化，其中红线和绿线分别对应量子热机和传统热机。

研究团队单位：精密测量科学与技术创新研究院

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发