中国科大在单自旋量子调控研究中取得进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/5397.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！

中国科大在单自旋量子调控研究中取得进展。中国科学院院士、中国科学技术大学教授杜江峰领导的中科院微观磁共振重点实验室研究团队建立了在量子系统中实现基于非厄米哈密顿量的量子调控普适理论，并通过对金刚石量子比特的高精度量子操控，首次在单自旋体系中观测到宇称时间对称性破缺。该研究成果以Observation of parity-time symmetry breaking in a single spin system为题，于5月31日在线发表在国际期刊《科学》上[Science 364, 878 (2019)]。

实现对量子系统的调控是人类认识并利用微观世界规律的必然诉求，也是诸多前沿科学领域的核心要素。自旋作为一种重要的量子调控研究体系，在世界各国的量子计划中均被列为重点研究对象。开展单自旋量子调控研究有助于人们在更深层次上认识量子物理的基础科学问题，将有力推动基于量子力学原理的量子信息科学、量子精密测量、量子导航等诸多前沿学科研究。杜江峰研究组长期在固态自旋量子调控及应用方面进行研究，系统性提出了固态自旋量子调控实验方法新理念，并立足国内自主研制了一系列国际领先的自旋调控实验装备，在自制装备上系统性地发展了单自旋量子调控技术，把微观磁共振手段推广应用于物理、生物、化学等前沿科研中。该文是他们继实现世界最高精度的单自旋量子操控之后，将目标聚焦于如何在单自旋体系中实现非厄米哈密顿量的操控，以期实现新奇的物理学现象观测。

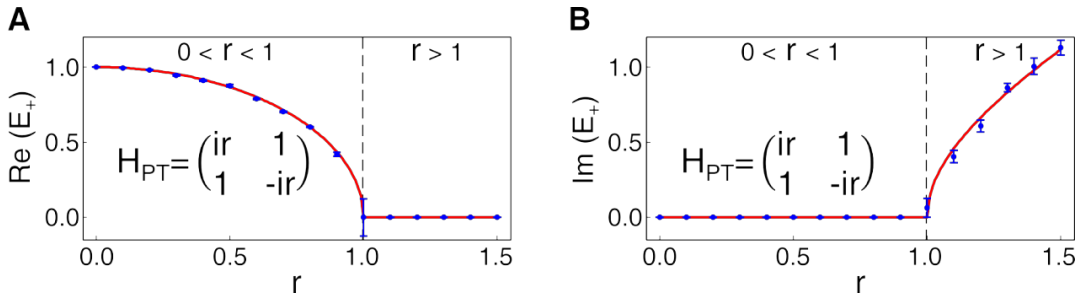
众所周知，量子体系的状态演化由哈密顿量确定并服从薛定谔方程。在传统量子力学框架中，实的能量本征值由哈密顿量满足厄米性所保障。然而，Bender于1998年提出一类满足宇称时间对称性的非厄米哈密顿量也可保证物理能量本征值为实数，可以描述包括开放系统在内更普遍的对象，从而拓展了量子力学的范畴。尤其值得指出的是，非厄米哈密顿量所描述的物理体系能够展示出一些新奇的物理性质，因此激发了物理学界强烈的研究兴趣。尽管宇称时间对称哈密顿量的概念源于对量子力学框架的拓展，但是通常的量子体系由厄米哈密顿量所描述，从而要在通常的量子体系中实现宇称时间对称哈密顿量的演化具有巨大挑战。先前的理论指出引入耗散过程可实现宇称时间对称哈密顿量，然而耗散会不可避免地破坏量子相干性，非常不利于在量子系统中开展相关研究，因此之前绝大部分相关研究为基于经典物理体系开展模拟实验。

杜江峰研究组提出了一种新理论方案，通过引入一个辅助比特在量子系统中研究由非厄米哈密顿量所支配的演化规律。该方法对非厄米哈密顿量本身没有任何限制，包括任何维度及含时演化，均只需要消耗一个辅助比特的代价来实现。基于此方案，研究组将金刚石中的一个氮-空位缺陷中的电子自旋用作系统比特，一个核自旋作为辅助比特，实现了宇称时间对称哈密顿量，并观测到宇称时间对称性破缺现象。实验结果首次展示了单自旋量子态在宇称时间对称哈密顿量支配下的演化。通过调节哈密顿量的参数，可以清晰地观测到从对称性未破缺到对称性破缺的相变过程(如图所示)。实验结果验证了新方案的可行性，为进一步研究非厄米哈密顿量相关的新奇物理性质提供了坚实的基础。

该工作使得人们能够用一种更普遍的方式来实现量子调控，从而开启了实验研究非厄米量子力学的新篇章。该成果适用于在各种量子体系实现任意非厄米哈密顿量，从而为开展广泛的量子力学基础问题研究，例如在非厄米哈密顿量下研究新拓扑不变量、量子热力学以及开放系统中的退相干和耗散等提供实现途径。另外基于相变点可以提高量子测量的灵敏度，有望在基于金刚石色心的量子精密测量领域得到重要应用。

中科院微观磁共振重点实验室博士研究生伍旸和硕士研究生刘文权为该文并列第一作者，杜江峰和研究员荣星为论文的共同通讯作者。

此项研究得到科技部、国家自然科学基金委、中科院和安徽省的资助。



图：实验观测到宇称时间对称性破缺。A、B分别为宇称时间对称哈密顿量HPT本征能量E的实部和虚部。哈密顿量在其参数0