三能级量子系统几何特性完整观测首次实现

作者：writer 来源：爱科学

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/11488.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！

三能级量子系统几何特性完整观测首次实现。

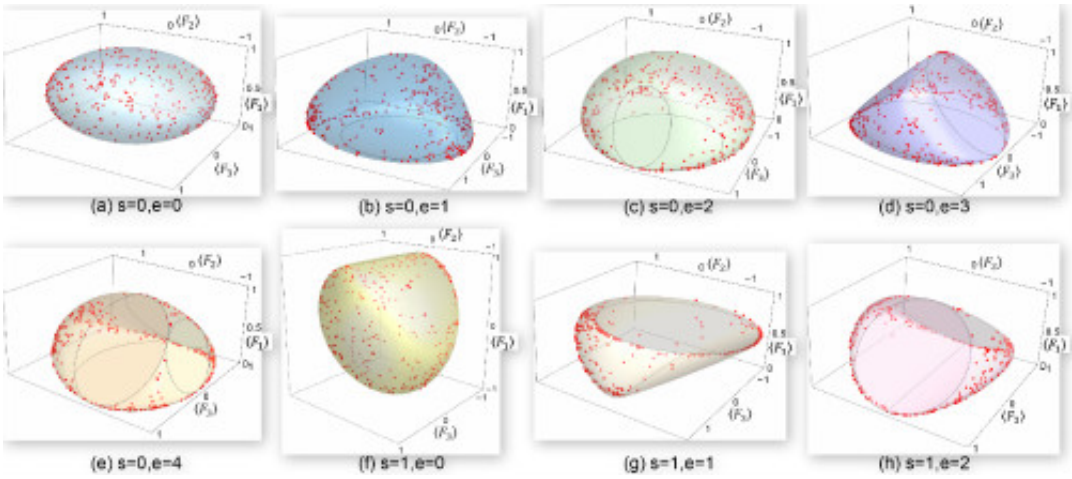


图1 三能级量子系统的联合数值域实验观测结果。（a-h）分别为8类不同的三能级量子系统态空间投影结果，也即联合数值域。红色点代表实验数据点，e和s分别刻画了几何体表面的椭圆面数量及线段数量。

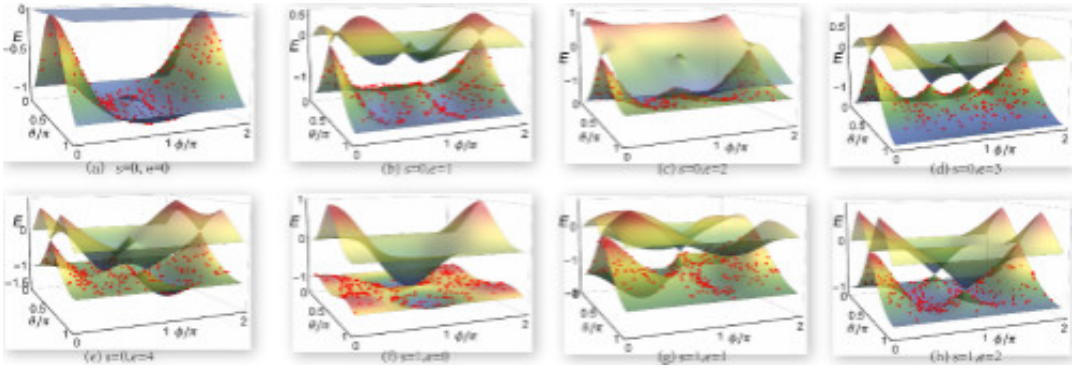


图2 8类具有不同几何特征的可观测量组成对应系统哈密顿量的基态和第一激发态能级结构图。

近日，南京大学现代工程与应用科学学院教授张利剑课题组与香港科技大学教授曾蓓、美国爱荷华州立大学教授潘耀东、香港理工大学教授施能圣等合作，首次在实验上对三能级量子系统几何特性进行了完整观测。研究成果发表于《物理评论快报》。

几何是人们理解物理世界的一种重要方法。随着量子物理学的发展，几何方法已成为观测量子系统非经典行为和奇异特性的工具，因此对量子系统的几何特性的研究，无论是对量子力学基础研究还是量子信息处理应用都具有重要意义。以二能级量子系统（量子比特，qubit）为例，其量子态空间可由三维欧几里得空间中的单位球来描述，也即著名的Bloch球。因此，量子信息处理中对qubit量子态的制备、演化及测量都可在Bloch球中实现可视化的几何描述。然而，对于更高维量子系统，其量子态空间结构更加复杂，很难进行直观揭示并研究其几何性质。目前对三能级量子系统（qutrit）的几何性质尚且缺乏理解，这也制约了对高维度量子信息处理技术的进一步研究和利用。

为此，研究团队考虑通过三个不同的可观测量，将三能级量子系统的态空间投影到三维欧几里得空间（测量结果空间）来构造对应的几何体，从而研究超越单量子比特的高维量子系统几何特性。这一方法构造的几何体在数学上对应可观测量测量结果平均值的集合，也被称为算符的联合数值域（Joint Numerical Range, JNR）。矩阵的数值域（Numerical Range, NR）这一概念最早于1918年被提出，近年来这一数学概念被广泛应用于量子相变、量子纠错及量子纠缠判据、量子不确定关系等研究中。联合数值域的分类问题在数学上被认为极具挑战性，2018年，数学家成功解决了qutrit三维联合数值域（qutrit态空间的三维投影）的分类问题，根据联合数值域表面的椭圆数量（e）和线段数量（s）将其分为8类。

在实验上，研究团队利用线性光学手段对单光子多自由度调控，构建了基于光学线路的三能级系统通用计算平台，实现了对不同可观测量的测量，从而对qutrit态空间三维投影的所有可能几何特征进行了观测（图1）。通过对联合数值域表面进行数据采样，该团队首次在实验上观测了超越量子比特系统的几何特征分类，揭示了高维度量子系统更加复杂的几何结构，发展了对高维度量子系统新的研究工具，有望促进高维量子系统在量子信息处理中的应用。

此外，该研究团队还阐释了联合数值域表面的几何特征与系统基态简并之间的内在联系。对每一类联合数值域，其表面态对应于三个算符线性组合构成的哈密顿量的系统基态，而其几何特征（椭圆及线段）对应于系统哈密顿量的简并点，由实验测量结果计算得到的系统能量与哈密顿量基态能量的理论值呈现很好的符合（图2）。其中椭圆对应哈密顿量的锥形简并，而线段则对应于Λ形简并，基态能量只沿某个特定参数方向不连续。在热力学极限下，量子系统的基态简并与量子相变密切相关。因此，联合数值域构成的几何体也可被看作是系统量子相的几何表示，可用于研究高维量子系统的基态简并、对称性破缺等量子特性。因此，该工作也为探索量子系统性质提供了一种有效的几何方法。

该研究得到国家重点研发计划、国家自然科学基金、中央高校基本科研业务费专项资金等项目资助以及南京大学人工微结构科学与技术协同创新中心、固体微结构物理国家重点实验室等平台的大力支持。（来源：中国科学报 秦志伟 齐琦）

相关论文信息：https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.125.150401

版权声明：凡本网注明来源：中国科学报、科学网、科学新闻杂志的所有作品，网站转载，请在正文上方注明来源和作者，且不得对内容作实质性改动；微信公众号、头条号等新媒体平台，转载请联系授权。邮箱：shouquan@stimes.cn。
作者：张利剑等 来源：《物理评论快报》

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