
物理所量子相干度量研究取得进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/2038.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！

量子态具有相干叠加的性质，对其进行深入研究可以加深人们对量子力学基本问题的认识，同时量子信息技术的快速发展又赋予了量子相干更多的物理意义。量子光学中经常提到的相干态就是基于相干叠加原理所构成的量子态。尽管如此，关于量子相干大小的度量问题，研究者只是基于较为直观的理解，即量子态密度矩阵非对角元的大小就对应于相干度的大小。1962年杨振宁提出超导量子相中存在非对角长程序，即是指长程的量子相干性。但是，在量子信息和量子物理研究中，过去人们只是较为关注量子纠缠、量子关联等没有经典对应的非局域性质及其大小，而认为量子相干可以由经典波(比如水波)的性质来进行类比，因此量子相干大小的度量问题并没有引起普遍的关注。

2014年，德国科学家提出了基于量子计算资源理论框架的量子相干度量方案(Phys. Rev. Lett.113, 14 0401)，列举出了作为量子相干度量应满足的一些基本要求，并证明了人们普遍接受的量子态密度矩阵非对角元的大小即满足量子相干度量的所有条件，同时他们发现量子态密度矩阵与仅包含密度矩阵对角元矩阵的相对熵也可以用来衡量量子态的相干度大小。相比于不同形式的量子关联，量子相干可以描述量子态更具一般意义的性质，并提供更为丰富和复杂的物理涵义，因此极大地激发了人们的研究热情。

基于量子计算资源理论框架的量子相干研究已成为近年来量子信息领域的一大热点，进展非常迅速，相关理论和实验论文也大量涌现。人们的关注点主要集中在各种量子相干度量及其物理诠释，量子相干资源与量子纠缠、量子关联资源等的转换机制，量子相干与波粒二象性及量子相干资源之间的各种互补关系，量子相干的精馏(提纯)与稀释，量子相干的保持与增强方案等。特别是研究还发现量子态的相干大小度量在量子搜索算法、量子计算、量子计量学等实际问题的处理中发挥着不可替代的作用，同时它还在量子多体理论、量子热力学、量子生物学等问题的研究中具有潜在的应用。

近年来，中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心固态量子信息与计算实验室Q03组研究员范桁团队对量子相干度量、调控和应用问题进行了深入研究，在Physical Review系列期刊等发表论文近二十篇，引起了国内外广泛的关注。最近，范桁又与博士后胡明亮、博士生彭益以及山东大学胡雪元(曾为物理所博士后)、湖南师范大学王接词(曾为物理所博士后)、北京计算科学中心博士后张煜然(物理所博士毕业)等在物理学综述期刊Physics Reports发表了量子相干研究的长篇综述。在该综述中，他们系统总结了基于资源理论框架的量子相干研究的最新进展和主要结果，展示了量子相干度量的多种形式及其物理实质，剖析了量子相干与量子关联的相互转换机制、量子相干的精馏和稀释、量子相干的调控等问题，梳理了量子相干在量子计算和量子信息处理、量子计量学、量子多体系统研究方面的最新进展，讨论了相对论框架下量子相干研究方面的主要结果，并对该领域将来的发展方向和存在的问题进行了深入分析和展望，这些工作将对领域

的进一步深入发展起到重要的引领和指导作用，综述文章近期已在线发表。

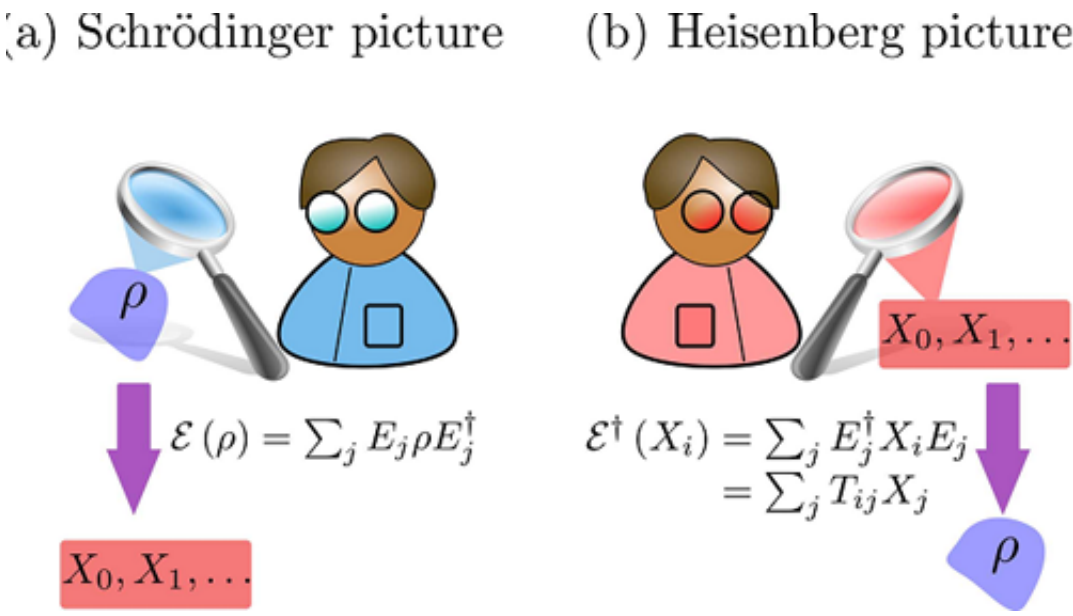


图1：量子力学中，人们分别用薛定谔表象和海森堡表象来研究系统时间演化性质，薛定谔表象中，量子态随时间变化，海森堡表象中，算子随时间变化。

图2：量子相干度量可以有各种形式，这里罗列了基于范数、相对熵、斜信息、纠缠等的不同量子相干度量方法。

图3：量子相干度量是基于单系统量子态，但是此单系统量子态也可以由多个量子系统构成或者添加辅助量子系统，从而形成多体的量子态。多体量子态中的量子纠缠、量子失谐等可以和量子相干进行相互转换。

图4：根据系统认定的资源形式，量子相干在特定量子操作下可以增加或者减少，这里罗列了基于不同量子测量方案的量子相干精馏与量子相干稀释。

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](https://www.iikx.com)转发