



新闻动态

科技新闻

通知公告

支部活动

学习园地

信息公开

科技新闻

当前位置: 首页 | 新闻动态 | 科技新闻

中国科大展示量子热机优越性

来源: 科研部 发布时间: 2022-03-11 浏览次数: 125

中国科学技术大学中科院微观磁共振重点实验室杜江峰、王亚等人在金刚石氮-空位色心体系构建的量子希拉德热机上实验展示了量子关联导致的量子优越性。这项研究成果以“Spin Quantum Heat Engine Quantified by Quantum Steering”为题发表在近期的《物理学评论快报》[Phys. Rev. Lett. 128, 090602 (2022)]上。该工作被PRL编辑选作编辑推荐文章,并在Physics杂志以“Steering Toward a Quantum Advantage”为题进行报道。

热机在人类社会进程和生活中发挥着重要的作用。如何提高热机效率一直是热力学的核心科学问题。随着量子技术对单分子、单原子操控技术的发展,热力学与量子技术的交叉有望在微观尺度构建出最小的量子热机,并且利用量子特性提高热机效率。到目前为止大家通常关注量子热机中功介量子系统本身的量子相干性,认为它是效率提升最为关键的量子资源,但是研究显示其作用仍存在争议,没有明确的结论。本工作采取新的思路,专注研究量子关联在量子热机中的作用,发现一类称为“量子导引”的特殊量子关联在量子希拉德热机中起到重要作用。

希拉德热机是由物理学家利奥·希拉德于1926年提出的一个理想实验,是一种利用信息提取功的热机。设想在一个盒子中有一个单分子,盒子中间放置一个活塞,初始状态分子可以随机处于盒子的左半边或者右半边。在不知道分子位置的情况下,如果在活塞某一侧挂上重物,有一半情况分子会通过碰撞活塞,抬升重物而做正功,而另一半时候分子则会做负功。由于初始状态的随机性,平均而言分子没有对外做功。希拉德提出,如果有一个麦克斯韦妖对分子的位置进行测量,并根据测量得到的信息来选择挂重物的位置,只要每次都把重物挂在分子所处的那一侧,就可以保证分子总可以对外做正功。如此一来,就实现了利用测量得到的信息,使得一个处于随机初态的系统对外做功。这种信息到做功的转换启发人们将量子信息和热力学联系起来。



图1: 量子希拉德热机示意图。左为麦克斯韦妖,右图表示量子希拉德热机可以通过做功大小,来区分经典和量子,即量子关联的有无。

在本工作中,中科院微观磁共振重点实验室研究人员与理论合作者湖南师范大学任昌亮合作,构建了一个量子版本的希拉德热机。在量子版本中,工作介质由一个单分子变成了单个核自旋构成的量子比特,分子位置的左右状态变成了量子比特的0和1量子态,而悬挂重物让分子做功的过程变成了施加在核自旋量子态上的么正操作。量子体系与经典体系的一个重要区别是,对量子态进行测量一般会改变这个量子态,所以研究人员在量子版本中加入了一个经典版本不存在的操作:用一个单电子自旋量子比特作为环境比特,在制备初始状态的时候使环境比特和工作介质比特之间建立量子关联,从而可以不用直接测量工作介质比特,而是通过测量环境比特来获取工作介质比特的状态信息。根据环境比特的状态对工作介质比特施加受控么正操作,就可以使工作介质比特总是对外做正功。通过这样一个设计,使得人们可以研究量子关联在量子热机中所起到的作用。

研究人员基于金刚石氮-空位色心体系实验实现了上述量子希拉德热机。通过研究工作介质与环境之间的关联,发现量子导引与热机做功的大小有密切的关系。量子导引是由埃尔温·薛定谔于1935年最先提出的基础量子关联概念之一。量子导引是介于量子纠缠和和贝尔非定域性之间的一类特殊的量子关联,但有别于其他两个概念,量子导引具有天然的不对称性。这种关联的强弱通常是用量子导引不等式的破坏来定量描述,与利用贝尔不等式的破坏来描述贝尔非定域性类似。实验结果表明,量子导引的存在对于量子希拉德热机的做功发挥着重要的作用:存在量子导引的希拉德热机(量子)比不存在量子导引的希拉德热机(经典)有更大的做功,并且量子导引不等式破坏越大(量子关联越强),量子希拉德热机的功提取不等式破坏(用于衡量做功超越经典极限的大小)就越大,也就更加体现出量子优越性。反过来,我们也可以利用做功的大小来区分经典和量子,即量子关联的有无。

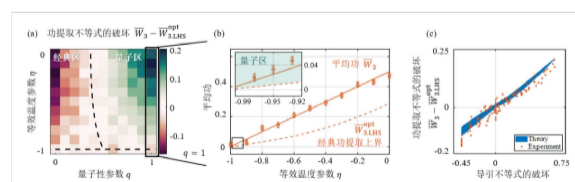


图2: 量子希拉德热机功提取的实验结果。(a) 根据功提取是否超越经典极限,可以将热机的参数空间划分成量子区和经典区。(b) 以 $q=1$ 的区域为例,可以看到量子希拉德热机的平均功提取超越了经典功提取上界。(c) 量子导引不等式的破坏和功提取不等式的破坏之间存在正相关,显示了在量子希拉德热机中量子关联的大小对功提取的重要作用。

本工作以希拉德热机为例,展示了量子热机中量子关联的独特作用,为建立量子信息和量子热力学的桥梁提供了新的思路。

中科院微观磁共振重点实验室博士后研究员季文韬、博士研究生柴梓华与特聘副研究员王孟祺为本工作共同第一作者,杜江峰院士、王亚教授和任昌亮教授为共同通讯作者。此项研究得到了科技部、中国科学院、国家自然科学基金委、安徽省和湖南省的资助。

论文链接: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.128.090602>

美国物理学会Physics杂志报道: <https://physics.aps.org/articles/v15/s28>

(中国科学院微观磁共振重点实验室、物理学院、中国科学院量子信息与量子科技创新研究院、科研部)



中国科学技术大学 科研部
University of Science and Technology of China

Copyright 2009-2020 中国科学技术大学科研部 All Rights Reserved.
电话: 0551-63601954 传真: 0551-63601795 E-mail: ustckjc@ustc.edu.cn
办公地址: 安徽省合肥市包河区金寨路96号中国科大东区老图书馆三楼 邮编: 230026



微信公众号

