

钻石中的量子达尔文主义

(重庆大学 孙剑峰、陈果 摘译自 Edwin Cartlidge. *Physics World*, 2019, (9): 02)

钻石的一些自旋揭示了物理学中一个最持久的谜团: 经典物理是如何从隐晦且概率化的量子世界中演变出来的。最近当德国和美国的物理学家利用钻石上的氮空位(NV)中心证明了量子达尔文主义之后, 这一论证浮出了水面, 即只有“最适应”的系统状态才能在从量子世界到经典世界的过渡中“生存”与“繁衍”。

在过去, 大多数物理学家认为这两个世界是被一道生硬的屏障所分开。这道屏障从根本上区分了人们更加熟悉的宏观(经典)领域与不熟悉的微观(量子)领域。但现在许多研究人员认为这种转变是渐进的, 所测量的确切经典态来源于概率量子态, 随着它们与环境的纠缠越来越多, 这些量子态逐渐(尽管是很快)失去了相干性。

2003年美国洛斯阿拉莫斯国家实验室的 Wojciech Zurek 和他的同事首次提出的量子达尔文主义, 认为经典态是纠缠中幸存下来的最具适应性的量子态。他们的理论框架认为这些最适应状态的信息将被复制多次, 并在整个环境中传播。同时自然选择告诉我们, 一个物种中最健康的个体必须生存下来才能大量



优胜劣汰。钻石的自旋已被用来描绘量子世界和经典世界之间的过渡

繁殖, 从而形成进化。同理, 这些最具适应性的量子态将被大量复制并呈现出经典状态, 所形成的冗余意味着数量众多的观察者都会在任何给定的状态中测得相同的结果, 从而确保了所被观测对象的真实性。

为了观察这种量子态大量复制所造成的冗余, 德国乌尔姆大学的 Jelezko 与 Zurek 一同集中在了对 NV 中心的研究上。他们发现当钻石晶格中两个相邻的碳原子被一个氮原子和一个空晶格取代时, 就会产生 NV 中心。每个氮原子都有一个额外的未配对电子, 这意味着 NV 中心表现为一个孤立的自旋。通过用激光照射钻石并记录其发射的荧光, 可以探测到它的自旋向上、向下或两者的叠加状态。

研究人员随之观测 NV 自旋如何与几个相邻碳原子的自旋相互作用。钻石中的大多数碳是碳-12(自旋为零), 但大约 1% 的原子是碳-13(有核自旋)。实验深入到探索 NV 自旋与 4 个碳-13 原子的相互作用, 其平均距离约为 1 nm。这些作为“环境”的碳-13 自旋太弱而无法相互作用, 但却导致了 NV 自旋的消失。此过程包括碳-13 自旋转变为依赖于 NV 自旋状态的新量子态。

在实验中, Jelezko 团队将绿色激光照射到 1 mm 的钻石的 NV 自旋上, 并测量了微波和射频场开关时发出的光子。因为不能直接观察碳-13 自旋, 该团队将这些自旋状态转移到非挥发性自旋, 并再次利用荧光测量。Jelezko 认为这种与常态化不同的方法是可行的, 因为 3 个步骤(自旋状态准备、退相干和测

量)在时间上被完全分离开了。

通过反复测量, 研究发现一个碳-13 原子核的自旋能够在大多数时间内大概率正确地推断出大部分的 NV 自旋特性。这些结果首次在实验室中证明了量子达尔文主义在自然环境中的作用。Jelezko 说, “自然”在这里是指固体中的自旋退相干是由于磁性与核自旋的相互作用, 这一过程同时意味着利用固体中的自旋来建造量子计算机变得很困难。该小组现在试图扩大实验的尺度, 但他们也同时承认接近宏观物体的大小几乎是不可能的。虽然实验中很难去测量几十亿个原子, 但他认为如果可以涉及到 20 个原子, 也是一个巨大的进步。

与此同时, 意大利和中国的两个研究组也进行了类似的测量(使用光子的偏振), 结果也证实了量子态的大量复制。中国科学技术大学陆朝阳教授表示, 这些系统比利用氮空位实现显得略不自然, 但更容易控制。他的团队不仅能够展示经典信息的扩散, 还能在量子水平上显示信息的增加, 而这正是之前在通过氮空位测量中被实验噪声所掩盖的结果。

然而西班牙塞维利亚大学的 Cabello 表示, 最新的实验只提供了真实环境由何组成的示意图, 而其他方法可能为揭示经典现实的出现提供更多关键的启发。例如, 他和同事已经展示了如何对捕获的离子进行测量, 同时仍然保持系统的一些量子相干性。他说, 这表明测量不会为系统带来突然转变, 而更像是一个由量子力学控制动态过程的结果。