

中国科大基于自旋量子计算与弱磁信号灵敏探测研究获进展

文章来源：中国科学技术大学

发布时间：2014-02-17

【字号：小 中 大】

中国科学技术大学教授杜江峰研究组经过三年多努力，搭建了一系列具有国际领先水平的光探测磁共振实验平台，开展基于掺杂金刚石单自旋的量子计算与弱磁信号灵敏探测等前沿科学研究，取得了一系列进展。相关成果发表在2014年《自然》、《自然·物理》和《物理评论快报》上。

精确操控量子比特是量子计算的核心问题之一。对于电子自旋量子比特而言，核自旋热库噪声和驱动场噪声使得实现精确操控极具挑战性。杜江峰研究组利用两种新颖的方法，有效抑制了这两种噪声，实现了对单电子自旋的精确操控，相关成果发表在1月9日和2月7日的《物理评论快报》上。此外，杜江峰与德国斯图加特大学合作，实验实现了固态自旋体系中的量子纠错，该工作发表在1月29日的《自然》上。这些成果对未来量子计算实用化以及灵敏探测具有重要意义。

电子自旋会感受到周围环境中的核自旋热库噪声。这种磁场涨落噪声对电子自旋的影响不仅表现为破坏量子态，而且会极大制约操控量子系统的品质。杜江峰研究组的荣星等发挥磁共振领域中脉冲操控优势，将一种用于对抗梯度磁场涨落噪声的动力学纠错逻辑门，拓展为抑制更为普遍的磁场涨落噪声。实验结果表明外磁场噪声被有效地抑制到六阶，量子相干时间被延长至 690 ± 40 微秒，这比自由感应衰减时间长了两个数量级，也远远超过了普通脉冲控制下量子相干时间，达到了 $T1\rho$ (660 ± 80 微秒) 极限。该工作首次成功将对电子自旋的精确操控水平突破 $T2$ 极限，推进到了 $T1$ 水平，极大延长了可对电子自旋量子比特的进行操控的时间，使得更为复杂精确的操控成为可能，从而为基于电子自旋的量子计算及灵敏探测提供了关键技术。[*Phys. Rev. Lett.* 112, 050503 (2014)]

此外操控电子自旋的驱动场也会引入额外的噪声。当环境中自旋热库噪声被有效抑制之后，驱动场噪声将成为制约操控品质的一个重要因素。杜江峰研究组的周经纬等利用快速的微波频率调制，首次实验实现时域上超过100次的Landau-Zener (LZ) 隧穿，并且观测到多次隧穿形成的一种新型拉比振荡现象。理论与实验结果表明，这种新型的拉比振荡可以有效抑制驱动场引入的噪声，从而为实现精确操控提供了一种崭新的手段。该工作将不仅有助于深入理解与LZ隧穿和拉比振荡相关的重要物理过程，而且对于量子控制技术在量子计算、生物化学等领域的应用具有重要价值。[*Phys. Rev. Lett.* 112, 010503 (2014)]

量子纠错也是一种可以有效对抗噪声的方案，而且是实现容错量子计算的关键。杜江峰与德国斯图加特大学合作，将核磁共振中的最优控制方法拓展到光探测磁共振，实现了一个电子自旋和三个核自旋构成的复杂量子系统的高精度操控，从而实现了固态自旋体系中量子纠错。这项工作为基于固态自旋体系的量子计算实用化打下了基础。[*Nature advance online publication* 29 January 2014. doi:10.1038/nature.12919]

精确的量子操控和有效抑制环境噪声还对弱信号的灵敏检测意义重大。杜江峰研究组的石发展等利用掺杂金刚石中氮-空位固态单电子自旋量子干涉仪，把微观自旋体系产生的弱磁信号转为干涉仪的相位，并利用多脉冲动力学解耦技术和外加磁场来有效抑制环境噪声，成功实现了室温大气环境下单核自旋对的探测及其原子尺度的结构分析。该工作表明动力学解耦技术结合单自旋探针是单分子结构解析和谱学分析的有力工具，可帮助我们在纳米甚至原子尺度获取物质组成和结构信息，为物理生物等各领域开展微观研究提供新的方法。

[*Nature Physics* 10, 21 (2014)]

杜江峰研究组的这些工作把对自旋量子体系的操控能力提升到了一个新的水平，而且这些工作中发展出来的方法可被应用到多种重要量子比特体系，譬如量子点、离子阱、超导量子比特等。因此这些进展为量子计算、弱磁信号灵敏探测等前沿领域打下了坚实基础。

上述研究得到了国家基金委、科技部、中国科学院的支持。

打印本页

关闭本页