高效率单光子量子存储

李传锋

中国科学技术大学, 中国科学院量子信息重点实验室, 合肥 230026

E-mail: cfli@ustc.edu.cn

Efficient quantum memory for single photon

Chuanfeng Li

CAS Key Laboratory of Quantum Information, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China

E-mail: cfli@ustc.edu.cn

doi: 10.1360/TB-2019-0485

量子存储是量子信息领域的关键技术之一, 在量子通信和量子计算等方向均有重要应用^[1]. 比如, 量子中继是实现长程量子通信的重要方案, 而量子存储器则是构成量子中继的基本元件之一. 经典信息的基本单元是比特, 只有0和1两种状态, 而量子信息的基本单元是量子比特, 可以处于量子叠加态. 光子具有传输速度快、与环境耦合弱等优点, 是量子信息的天然载体. 量子存储就是把光子所携带的量子态相干地转换到存储介质中, 并尽量使光子不被损耗掉; 存储一段时间后, 等需要用这个量子态时还能把它相干地转换回光子上. 衡量量子存储过程品质的指标有存储保真度、存储效率、存储时间等^[2]. 要想实现量子中继等功能, 需要提升量子存储的各项指标. 常见的量子存储介质有冷原子^[3]、热原子^[4]、腔内单个原子^[5]和稀土离子掺杂晶体^[6]等系统. 每种量子存储介质都有自己的特点, 在提升各项指标的过程中也会遇到各自的问题.

冷原子系统具有与光的相互作用强等优点, 弱相干光

证实其可以被用来实现高效率的量子存储. 然而要实现单光子的高效率量子存储需要解决两个难题: (1) 抑制噪声. 由于信号是单光子, 所以必须把噪声抑制到远小于单个光子的水平. (2) 单光子和冷原子系统的模式匹配. 只有二者模式匹配, 才能把单光子的量子态转换成冷原子的量子态进行存储. 华南师范大学朱诗亮与颜辉课题组和香港科技大学杜胜望教授等人^[7]合作在*Nature Photonics*上发表题为“Efficient quantum memory for single-photon polarization qubits”的研究论文. 他们通过长期的理论探索和实验设计, 解决了冷原子系统中的以上两个难题. 实验运用二维磁光阱技术, 将铷原子温度冷却到200 μK , 并获得长条形冷原子团; 结合暗线磁光阱和塞曼子能级制备技术, 将冷原子的光学厚度提高到了500. 通过把控制光调整到和信号光不重合, 而是有个 2.2° 的夹角, 有效解决了抑制噪声难题. 单光子源由另一个磁光阱中的铷原子团通过触发产生, 利用空间光调制技术有效解决了单光子和冷原子系统模式匹

图1 量子存储的保真度(a)与存储效率(b)^[7]

Figure 1 Storage fidelity (a) and storage efficiency (b) of quantum memory^[7]

配难题。最后利用电磁诱导透明技术实现了单光子存储效率90.6%。通过对单光子偏振编码进行存储实验,得到了高达85%的量子存储效率和99%的保真度(图1)。

该实验中的量子存储效率创造了目前世界最高水平,

是量子存储领域的重要进展之一。本存储过程尚需提高之处在于存储时间只有微秒量级,而要想在量子中继等方向有实际应用,存储时间需要达到毫秒量级,可行的方法有进一步提高真空度和增大束缚势等。

参考文献

- 1 Duan L M, Monroe C. Colloquium: Quantum networks with trapped ions. *Rev Mod Phys*, 2010, 82: 1209–1224
- 2 Simon C, Afzelius M, Appel J, et al. Quantum memory. *Eur Phys J D*, 2010, 58: 1–22
- 3 Matsukevich D N, Kuzmich A. Quantum state transfer between matter and light. *Science*, 2004, 306: 663–666
- 4 Hosseini M, Campbell G, Sparkes B M, et al. Unconditional room-temperature quantum memory. *Nat Phys*, 2011, 7: 794–798
- 5 Specht H P, Nölleke C, Reiserer A, et al. A single-atom quantum memory. *Nature*, 2011, 473: 190–193
- 6 de Riedmatten H, Afzelius M, Staudt M U, et al. A solid-state light-matter interface at the single-photon level. *Nature*, 2008, 456: 773–777
- 7 Wang Y F, Li J F, Zhang S C, et al. Efficient quantum memory for single-photon polarization qubits. *Nat Photonics*, 2019, 13: 346–351