

中国科学技术大学优秀博士学位论文推荐表

作者姓名	张伟	学号	BA14038013	出生年月	1990.2	民族	汉
院系名称	物理学院	电话	15056063341	毕业去向	本校升学		
指导教师	史保森		获博士学位日期		本次申请		
一级学科名称	物理学		二级学科名称		光学		
本科毕业院校	上海理工大学		硕士毕业院校		硕博连读		
承担主要社会工作	无						
获奖情况	2014 年硕士研究生国家奖；2015 年量子信息与量子科技前沿协同创新中心杰出研究生奖；2016 年博士研究生国家奖；2016 年中科院院长优秀奖；2017 届校优秀毕业生						
学位论文题目	基于原子系综的多自由度纠缠存储的实验研究						
学位论文研究方向	基于冷原子系综的量子存储						
学位论文评阅专家	朱诗亮	王海	高宏	王谨	黄国翔	苑震生	
学位论文答辩专家	叶柳	孙方稳	项国勇	黄运锋	王沛		
论文答辩日期	2017.6.2	论文答辩结果（通过票数/不通过票数）				5/0	
学位论文中文摘要							
<p>近三十年来量子力学的理论逐渐应用于自然科学的各个方面，对不同学科的发展产生了巨大的促进作用，同时它本身也得到了极大丰富和发展，并与其它学科结合形成了一些新的交叉学科。量子信息科学就是在这样的形式下应运而生了。利用量子信息技术，科学家有望实现绝对安全的量子通信和远超过经典计算能力的量子计算机。在量子通信中，信息通过纠缠交换和量子存储实现远距离中继传输；而在量子计算中，信息需要经过量子存储实现复杂的量子信息处理过程。因此量子存储在量子信息科学中具有非常重要的作用，它直接决定长距离量子通信和复杂量子计算的可行性。在量子信息中，纠缠信息一般加载在光子的不同自由度上。目前基于单个自由度纠缠的量子存储在不同体系中均有进展。然而通用、大容量量子通信和量子计算的实现需要存储多自由度的量子纠缠，因而实现多自由度纠缠的量子存储是目前量子信息领域内的研究热点。本论文以实现多自由度纠缠存储为目标，主要开展了基于原子系综体系制备各种不同自由度的纠缠源和实现多个自由度量子纠缠存储的实验研究。本论文的研究工作对于通用、大容量量子计算和量子通信的实现具有重要的参考价值。</p> <p>本论文的主要研究内容如下：1. 实验研究了基于原子系综的不同自由度纠缠光源的制备。介绍了各种不同自由度纠缠光源的产生方法和光源制备的核心 自发四波混频（SFWM）过程，阐明了在梯形、双 形和菱形能级中 SFWM 的光路设计，并以热原子梯形能级为例，详细介绍了非经典 780 nm 776 nm 光子对的产生和非经典特性的验证。2. 探索了偏振自由度下双色纠缠光源在原子系综中的产生和存储。在冷原子系综中成功制备双色偏振纠缠光源的基础上，我们将纠缠光源中的红外光子耦合进光纤进行传输，将可见光子导入第二个冷原子系综中，并利用一种增强型电磁诱导透明（EIT）存储方案进行存储。实验结果表明双色偏振纠缠可以被高保真的存储于原子系综中。3. 实验研究了基于 DLCZ 协议位置-动量基 Einstein-Podolsky-Rosen（EPR）纠缠存储。利用激光冷却制备的冷原子团，在原子系综中通过 SRS 过程，产生了在位置 动量 EPR 纠缠的单光子和原子自旋波，在经过一段时间存储后，将自旋波读出为单光子，然后通过鬼成像和鬼干涉实验验证。结果表明位置 动量 EPR 纠缠可以有有效的存储于冷原子系综中。4. 实验研究了在偏振自由度和轨道角动量（OAM）自由度下多自由度纠缠的量子存储。包含两个过程：第一过程是利用两个冷原子系综，在第一个原子系综中通过 SRS 过程，在马赫曾德（MZ）干涉仪的辅助下，制备单光子与原子自旋波的超纠缠，并将单光子导入第二个原子系综中进行存储，从而建立两个原子系综之间的超纠缠；第二个过程利用 SRS 过程和 Sagnac 干涉仪，制备单光子 OAM 态与第一个原子系综中原子自旋波的不同自由度的杂化纠缠，再将单光子存储在第二个原子系综中，从而制备两个原子系综在多自由度上的杂化纠缠。实验上通过构建密度矩阵、检验 Clauser-Horne-Shimony-Holt（CHSH）类型贝尔不等式的违背、刻画干涉曲线、验证纠缠 Witness 等方式，验证了存储前后的纠缠。</p> <p>本论文的特色和主要创新点如下：1. 系统全面地介绍了基于原子系综的梯形、双 形和菱形能级利用 SFWM 过程产生非经典光源和不同自由度纠缠光源的一般方法。2. 首次实现了双色偏振纠缠光子对的量子存储。实验演示了长距离量子通信中一个节点的功能：将一对双色纠缠光子中的一个光子存储在原子系综中，另一个红外光子导入光纤中进行远距离传输，建立了原子自旋波与红外光子之间的纠缠。由于红外光子在光纤中具有低损耗传输的特性，因此这种方案能够减少长距离量子通信所需要的中继个数，对未来基于光纤的长距离量子通信具有重要参考价值。3. 首次在冷原子系综中完成了对位置动量基矢下的 EPR 纠缠的量子存储。在一个原子系综中通过自发拉曼散射实现可存储的原子自旋波和单光子的 ERP 位置动量纠缠。实验结果表明，光子的位置动量 EPR 纠缠能够被高保真的存储。这可以用于基于空间复用的量子信息处理过程。4. 首次利用偏振自由度和轨道角动量自由度实现了超纠缠和杂化纠缠的量子存储：实现 2⊗3（二维偏振纠缠⊗三维轨道角动量纠缠）超纠缠态的量子存储和偏振自由度与轨道角动量自由度的杂化纠缠的量子存储。这为各种复杂的量子通信协议和量子模拟协议提供通用的实验平台。</p>							

攻读博士期间与博士学位论文相关的代表性成果（限列 10 项）					
发表学术论文数	24	本人第一论文数 (含导师第一本人第二)	8	专利及其它成果数	无
序号	成果名称	作者排名	期刊名称	发表时间	收录情况
1	Experimental realization of entanglement in multiple degrees of freedom between two quantum memories	第一	Nature Communications 7, 13514(2016)	2016	SCI 一区 IF 11.329
2	Quantum Secure Direct Communication with Quantum Memory	第一	Accepted by Phys. Rev. Lett. (May, 2017)	2017	SCI 一区 IF 7.645
3	Raman quantum memory of photonic polarized entanglement	共同第一	Nature Photonics 9 332–338 (2015)	2015	SCI 一区 IF 31.167
4	High-dimensional entanglement between distant atomic-ensemble memories	共同第一	Light: Science & Applications 5, e16157(2016)	2016	SCI 一区 IF 13.6
5	Indirect precise angular control using four-wave mixing	第一	Applied Physics Letters 104, 171103 (2014)	2014	SCI 二区 IF 3.142
6	Hybrid-cascaded generation of tripartite telecom photons using an atomic ensemble and a nonlinear waveguide	共同第一	Optica 2 642–645 (2015)	2015	SCI 一区 IF 5.205
7	Storing single photon as spin wave entangled with flying telecom-wavelength photon	第一	Phys. Rev. A 93, 022316 (2016)	2016	SCI 二区 IF 2.765
8	Non-Classical Correlated Photon Pairs Generation via Cascade Transition of $5S_{1/2}$ - $5P_{3/2}$ - $5D_{5/2}$ in a Hot ^{85}Rb Atomic Vapor	第一	Chin. Phys. Lett. 31, 064208 (2014)	2014	SCI 四区 IF 0.875
9	Quantum storage of orbital angular momentum entanglement in an atomic ensemble	第二	Phys. Rev. Lett. 114, 050502 (2015)	2015	SCI 一区 IF 7.645
10	Optical precursor with four wave mixing and storage based on a cold atom ensemble	第三	Phys. Rev. Lett. 114, 093601 (2015)	2015	SCI 一区 IF 7.645