

第二十届全国量子光学学术会议

论文集

主办单位：中国物理学会量子光学专业委员会

承办单位：华南师范大学物理与电信工程学院

协办单位：华南师范大学（清远）科技创新研究院

中国•清远

2022 年 8 月 12 日-15 日

目录

一、组织机构	1
二、会议主题	3
三、口头报告列表	4
四、张贴报告列表	8

一、组织机构

顾问委员会：

高锦岳、郭光灿、李师群、刘颂豪、彭堃墀、汪凯戈、王义遒、王育竹、吴令安、谢常德、朱士群、朱诗尧

学术委员会主任：张天才

学术委员会副主任：张卫平、龙桂鲁、李传锋

大会秘书长：周正威

学术委员：

安钧鸿（兰州大学）	陈丽清（华东师范大学）
陈平形（国防科技大学）	方卯发（湖南师范大学）
韩申生（中科院上海光机所）	胡响明（华中师范大学）
李传锋（中国科学技术大学）	李福利（西安交通大学）
李小英（天津大学）	李勇（北京计算科学研究中心）
林秀敏（福建师范大学）	刘念华（南昌大学）
龙桂鲁（清华大学）	马小松（南京大学）
王川（北京邮电大学）	王琴（南京邮电大学）
王雪华（中山大学）	夏云杰（曲阜师范大学）
杨垂平（杭州师范大学）	羊亚平（同济大学）
叶柳（安徽大学）	衣学喜（东北师范大学）
曾贵华（上海交通大学）	张靖（山西大学）

张天才（山西大学）

张卫平（上海交通大学）

张智明（华南师范大学）

郑仕标（福州大学）

周小计（北京大学）

周正威（中国科学技术大学）

会务组联系人及联系方式：

颜 辉：13434309230

吴泳波：13430360447

李聪鹏：19876102540

会务组邮箱：leecongpeng@163.com

二、会议主题

第一届全国量子光学学术会议于1984年8月22日在安徽省滁州市召开。经中国物理学会量子光学专业委员会决定，**第二十届全国量子光学学术会议**将于2022年8月12日-15日在广东省清远市召开。本次会议主要聚焦于量子光学领域的最新研究进展，讨论中国量子光学相关研究的现状与发展，旨在为相关领域的国内外专家学者搭建面对面的学术交流平台，进一步推动量子光学及相关领域的发展。会议的主题包括：量子光学基础、量子相干操控、量子通信、量子计算、量子模拟、量子精密测量、量子资源理论、非经典光场的产生以及应用、原子相干效应、光与物质相互作用的量子效应、光学非线性效应、冷原子分子物理以及表面等离子体激元、特异材料、光子晶体中的量子光学等。

三、口头报告列表

序	报告人	单位	题目
1	张天才	山西大学	单原子阵列操控及其与光学腔的强耦合 (大会报告)
2	武海斌	华东师范大学	Cavity-QED Meets Ultracold Quantum Gases (大会报告)
3	薛鹏	中物院北京计算科学研究中心	光量子行走在量子模拟中的应用 (大会报告)
4	颜辉	华南师范大学	高效率量子存储的实现及应用研究 (大会报告)
5	王双	中国科学技术大学	833.8 公里光纤量子密钥分发 (大会报告)
6	彭新华	中国科学技术大学	利用量子精密传感器寻找新物理 (邀请报告)
7	张笑鸣	北京大学	低深度量子态制备算法及其应用
8	孙凯	中国科学技术大学	Observing the quantum fault-tolerant threshold
9	李睿	上海交通大学	基于遗传算法实现里德堡少比特量子门的最小模型
10	李霖	华中科技大学	基于高质量里德堡单光子源的高保真度光量子逻辑门
11	孙风潇	北京大学	基于磁-光纠缠远程制备磁子薛定谔猫态的研究
12	包谷之	上海交通大学	量子增强的磁场梯度计 (邀请报告)
13	陈瑶	西安交通大学	基于核自旋自补偿的脑磁测量系统背景干扰磁场抑制方法
14	江敏	中国科学技术大学	利用量子精密传感器寻找新粒子
15	魏凯	北京航空航天大学	基于耦合自旋系综的磁场惯性及新物理测量
16	孙帅	国防科技大学	动目标成像中光子流与信息流的失配问题
17	王志辉	山西大学	强耦合腔量子电动力学系统中多原子与多光子相干相互作用研究
18	周宗权	中国科学技术大学	量子中继与可移动量子存储 (邀请报告)
19	方伟	浙江大学	基于单根铌酸锂薄膜波导的偏振无关单光子上转换
20	金锐博	武汉工程大学	时间-频率纠缠光子的量子光学合成
21	韩冬梅	山西大学	基于高斯纠缠态的远程态制备
22	刘晓婧	中国科学技术大学	利用表面等离激元探针对不同偏振取向的单光子源进行近场调控
23	陈波	中山大学	微环谐振腔产生轨道角动量的单光子源
24	何琼毅	北京大学	非高斯态量子特性及其应用研究 (邀请报告)
25	李征鸿	上海大学	多光子反事实量子调控
26	吴威	兰州大学	Effects of counter-rotating-wave terms on the noisy frequency estimation

27	张杰	国防科技大学	并行 EIT 冷却实现囚禁离子的近基态冷
28	孙舒宁	山东大学	量子系统动力学演化的速率极限
29	刘宗凯	中国科学技术大学	里德堡原子在微波传感与自组织模拟中的应用
30	苏晓龙	山西大学	结合连续变量和离散变量技术的混合量子信息处理（邀请报告）
31	卢华东	山西大学	高功率全固态单频连续波激光器研究进展
32	刘希宇	华南师范大学	通信波段下非线性材料中多种类自发参量下转换
33	尚鸣昊	南京大学	A Scheme for Deterministic N-photon State Generation Using Lithium Niobate on Insulator Device
34	孙婧可	山西大学	基于光纤信道的长距离确定性量子离物传态
35	马丽霞	山西大学	基于热原子的高性能腔增强量子存储
36	王信	西安交通大学	基于巨型原子的微波量子光学调控（邀请报告）
37	胡晓敏	中国科学技术大学	高噪音抵抗能力高维量子通信
38	王程远	西安交通大学	空间多模光场高保真度存储的实验研究
39	赵焕熹	上海交通大学	基于 Sagnac 环的简易连续变量量子密钥分发系统高斯调制方案
40	范元冠杰	中国科学技术大学	高鲁棒和高灵活的非可信节点量子密钥分发网络
41	马胜利	西安交通大学	Optical isolator based on backward Brillouin scattering
42	张永生	中国科学技术大学	自旋轨道耦合玻色爱因斯坦凝聚体的 Quench 动力学（邀请报告）
43	袁璐琦	上海交通大学	混合量子光学系统中量子态的操控
44	刘玉龙	北京量子信息科学研究院	超导腔光力系统中宏观机械振子的基态冷却以及长相干量子存储
45	景俊	浙江大学	External-level assisted cooling by measurement
46	董星亮	西安交通大学	金刚石光机械晶体中的非常规量子声-物质相互作用
47	张瑜瑜	重庆大学	光与原子强耦合系统在人工磁场下的新奇量子相（邀请报告）
48	胥亮	之江实验室	基于弱值的高精度量子系统直接表征研究
49	Vogt Thibault	中山大学	Imaging impurity ions in an atomic gas
50	刘金明	华东师范大学	基于优化控制实现极性分子摆动态的量子信息处理
51	田铭聖	北京大学	基于量子计量的多模非高斯纠缠判定
52	黄合良	河南省量子密码与量子信息重点实验室	近期量子计算设备上的应用探索（邀请报告）
53	唐江山	南京大学	非互易单光子调控

54	刘顺发	中山大学	基于受激触发式双光子共振激发的高性能微柱腔量子点单光子源
55	杨鹏飞	山西大学	强耦合腔 QED 系统中非线性光学非互易
56	展天翔	国防科技大学	囚禁离子系统中 Leggett-Garg 不等式的实验研究
57	安钧鸿	兰州大学	Non-Markovian Quantum Thermometry (邀请报告)
58	项玉	北京大学	基于量子导引实现远程制备非高斯量子态
59	钟艺	华南师范大学	Quantum interference between non-identical single particles
60	孔德一	华中师范大学	基于铁磁-超导系统的量子关联研究
61	张云霄	天津大学	量子纠缠对光场时间相干性的影响
62	张哲东	香港城市大学	Quantum-Light Multidimensional Spectroscopy of Molecules (邀请报告)
63	秦忠忠	山西大学	轨道角动量复用连续变量量子资源的确定性分发
64	刘翌地	中国科学技术大学	开放系统和逆转退相干
65	张春辉	南京邮电大学	实用化量子数字签名
66	尹华磊	南京大学	实验演示机器学习的量子优越性及量子盲盒游戏
67	周小计	北京大学	Quantum precision measurement of two-dimensional forces with 10-28-Newton stability (邀请报告)
68	龚明	中国科学技术大学	量子点中的精细结构劈裂、调控和量子点纠缠光源
69	张海潮	中国科学院上海光学精密机械研究所	利用原子波函数的扩展性和局域性探测亚引力
70	王琴琴	中国科学技术大学	基于光量子行走实验验证广义本征态热化假说
71	张岩	东北师范大学	巨型原子的非互易
72	李朝红	中山大学	机器学习在量子精密测量中的应用 (邀请报告)
73	罗乐	中山大学	基于超冷原子和囚禁离子的非厄米量子物理研究
74	陈洁菲	南方科技大学	光与原子的量子界面：从厄米到非厄米
75	吴康达	中国科学技术大学	两比特量子集体测量的实验实现及其应用
76	霍楠	天津大学	不等臂非线性干涉仪输出场特性与测量方法的关系
77	张成杰	宁波大学	探测和度量真正多体量子纠缠及相干性的研究 (邀请报告)
78	张筑城	浙江大学	确定性压缩薛定谔猫态的全光产生
79	张超	中国科学技术大学	无探测效率漏洞的高维 bell 测试
80	冯田峰	中山大学	引力诱导的纠缠放大

81	阮馨慧	清华大学	简并模式单原子关联辐射激光与腔内微波压缩态的观测
82	夏可宇	南京大学	基于极化—动量锁定的手性量子光学与量子非互易（邀请报告）
83	孙栋	北京大学	基于拓扑半金属材料的中红外波段直接轨道角动量探测
84	张善超	华南师范大学	Synthetic topological vacua of Yang-Mills fields in Bose-Einstein condensates
85	白思远	兰州大学	Floquet engineering to reactivate a dissipative quantum battery
86	鄢雯哲	中国科学技术大学	Experimental optimal direction guessing with abstention
87	廖洁桥	湖南师范大学	多力学模腔光力系统中的基态冷却与光力纠（邀请报告）
88	吴骥宙	南方科技大学	Sparse interferometry for measuring multiphoton collective phase
89	于旭东	山西大学	光悬浮纳米粒子系统旋转运动与偶极散射实验研究
90	肖太龙	上海交通大学	基于深度强化学习的量子传感参数估计
91	杨玉	西安交通大学	基于 SU(2)酉演化的量子多参数同步最优估计
92	王大伟	浙江大学	超辐射晶格（邀请报告）
93	瞿睿	西安交通大学	基于多测量设置的高维量子导引（注：报告学术 PRL（2022）、Optica（2022）一作各 1）
94	鹿博	中山大学	基于冷铷原子气体的多脉冲 CPT-Ramsey 干涉
95	郭学石	天津大学	基于光纤中四波混频的强度差压缩态的时域测量
96	潘昌昌	东南大学	Omnipresent coexistence of rogue waves in a nonlinear two-wave interference system and its explanation by modulation instability
97	张永昌	西安交通大学	玻色爱因斯坦凝聚体中长程相互作用和临界现象（邀请报告）
98	柯勇贯	中山大学	Scattering and localization of photons in quasiperiodic waveguide QED
99	郭进先	上海交通大学	掩藏光子路径信息
100	张超霞	山西大学	基于干涉式弱值技术实现高精度的倾角测量
101	黄威龙	华南师范大学	Realization of Bose-Einstein condensates of ^{174}Yb Atoms

四、张贴报告列表

序	姓名	单位	题目
1	宋飞	安徽大学	Nonreciprocity with structured light using optical pumping in hot atoms
2	赵成松	大连理工大学	腔磁系统中非互易放大
3	郑迪迪	东北师范大学	里德堡原子偶极-偶极相互作用引起的空间 Kramers-Kronig 关系和单向反射
4	马昱迪	复旦大学	Composite picosecond control of atomic state through a nanofiber interface
5	胡江勇	复旦大学	Delay-line based adiabatic spin-dependent kicks on a hyperfine manifold
6	裘李阳	复旦大学	A Biased-rotation Approach to Precise Control of Spinor Matterwaves Near Raman Speed Limit
7	王伟臣	国防科技大学	Investigation of the effect of quantum measurement on parity-time symmetry
8	苏闻博	国防科技大学	一种新的非厄米算子平均值测量方案
9	杨红	海南师范大学	Non-reciprocal reflection in a defective atomic lattice
10	齐文荣	河南师范大学	Stronger Hardy-Like Proof of Quantum Contextuality
11	张莹莹	河南师范大学	Symmetry-Protected Higher-Order Exceptional Points in Staggered Photonic Rhombic Lattices
12	秦璐	河南师范大学	Stable high-dimensional weak-light soliton molecules and their active control
13	唐志祥	湖南师范大学	回音壁模腔光力系统中光子非互易传输的热噪声抑制
14	盛天泽	华东理工大学	Quantum simulation of the Unruh effect with a Rydberg-dressed Bose-Einstein condensate
15	刘立峰	华东理工大学	低插损可调谐的光学隔离器
16	张迎	华东理工大学	Passive Nonlinear Optical Isolators Bypassing Dynamic Reciprocity
17	白正阳	华东师范大学	强相互作用里德堡原子中的自感应透明效应研究
18	赵杰	华东师范大学	机器学习辅助的光纤慢漂优化过程
19	刘军浩	华南师范大学	基于腔光机械系统的多窗口光学非互易传输
20	刘笑宏	华南师范大学	Continuous-frequency microwave heterodyne detection in an atomic vapor cell
21	李显喆	华南师范大学	基于室温里德堡原子的太赫兹探测技术
22	刘鸿志	华南师范大学	量子模拟拓扑绝缘体中自旋陈数的测量
23	吕庆先	华南师范大学	基于超导芯片与冷原子复合系统的微波光波相干转换

24	崔雨晴	华南师范大学	热原子系统中无吸收折射率增强的方案设计与应用
25	涂海涛	华南师范大学	High Efficiency Coherent Microwave-to-Optical Conversion via Off-Resonant Scattering
26	郭钟毓	华南师范大学	基于里德堡原子超外差接收机
27	李贺飞	华南师范大学	在囚禁离子系统中基于后选择测量的量子 Fisher 信息
28	徐彪	华中科技大学	High-fidelity photonic quantum logic gate based on near-optimal Rydberg single-photon source
29	詹荟萍	华中师范大学	Long-time Bell states of waveguide-mediated qubits via continuous measurement
30	魏苗苗	华中师范大学	Remotely preparing optical Schrödinger cat states via homodyne detection in nondegenerate triple-photon spontaneous downconversion
31	耿旭兴	华中师范大学	观察广义宇称对周期性调制热原子 alignment 磁共振光谱的影响
32	薛明	华中师范大学	双量子比特-单模腔场系统的相干完全吸收
33	邵涛	江苏科技大学	基于强度检测的 $SU(1,1)$ 干涉仪提高角旋转测量分辨率和灵敏度
34	兰波	江西师范大学	Two-mode light states before and after delocalized single-photon addition
35	赵泽坤	江西师范大学	Improving phase estimation via Laguerre excitation squeezed state
36	徐铀可	江西师范大学	在 $SU(1,1)$ 干涉仪中利用相干叠加操作进行相位估计
37	占铭霞	江西师范大学	光分束器算符的相干态表示及应用
38	黄佳利	江西师范大学	基于光子加成的水下连续可变量子密钥分布
39	张泽洲	兰州大学	Work statistics and the thermal phase transition of Dicke model
40	杨煦	兰州大学	Quantum router regulated by Rydberg interaction in decussate coupled-resonator waveguides
41	包茜茜	兰州大学	High-fidelity photonic and magnonic topological state transfers in cavity-magnon system
42	宋梦林	南昌大学	声子场驱动的旋转光力系统中二阶边带增强研究
43	邱海燕	南昌大学	超导量子比特耦合机械谐振器系统的探测吸收特性和可调
44	王兴昌	南方科技大学	Quantum Interference in Lossy, Asymmetric, and Unbalanced Beam Splitters
45	左瀛	南方科技大学	Quantum State Tomography with Optical Neural Network
46	王建民	南方科技大学	Spatiotemporal Airy biphotons in a cold atomic ensemble

47	周子晗	南方科技大学	冷原子系综中的磁场补偿
48	董亮	南方科技大学	Measuring the temperature of cold atomic cloud by optical depth time of flight
49	刘爱萍	南京邮电大学	Multi-grating for integrated single-atom trap and manipulation
50	刘靖阳	南京邮电大学	Experimental measurement-device-independent quantum key distribution with the double-scanning method
51	毛璇	清华大学	Experimental Realization of Sensitivity Enhancement and Suppression with Exceptional Surfaces
52	龙丹	清华大学	Experimental demonstration of phase-matching and Sagnac effect in a millimeter-scale wedged resonator gyroscope
53	温棚宇	清华大学	Optomechanically induced transparency and directional amplification in a non-Hermitian optomechanical lattice
54	杜培林	山西大学	通过时域、频域复用产生大规模连续变量 cluster states
55	郭苗	山西大学	基于 PPLN 波导器件的长波泵浦 852nm 至 1560nm 光子频率下转换
56	侯芝玉	山西大学	原子激发态超精细结构的自测量
57	黄文艺	山西大学	基于四波混频在铯原子气室中产生相干光的研究
58	马晶旭	山西大学	多组份束缚纠缠态光场的制备
59	马荣	山西大学	非均匀环境中轨道角动量复用纠缠态光场的退相干
60	闫江伟	山西大学	真空中光学悬浮纳米粒子的 6 GHz 超高速旋转
61	李鑫	山西大学	基于光学非互易的双路多信道全光操控
62	梁芸芸	山西大学	基于空间结构泵浦四波混频过程的六组份导引
63	赖永浪	山西大学	高阶模光学小位移测量系统中信号光功率对最小可测位移量的影响
64	王宇	山西大学	泵浦光调制的单个 OPO 频域复用产生大规模连续变量 cluster states
65	李子亮	山西大学	高分波磁 Feshbach 共振诱导的 ^{23}Na BEC 的集体激发
66	边国旗	山西大学	空间依赖 Feshbach 共振的操控
67	张佳羽	山西大学	基于光电反馈激光强度噪声的抑制
68	杨永彪	山西大学	基于偏振压缩光实现量子增强的铷原子自旋噪声谱测量
69	卢飞飞	山西大学	置于超高真空环境中的 ULE 超稳光学腔的零膨胀温度点研究
70	王春征	山西大学	In-fiber Michelson interferometer fabricated by single CO2 laser pulse

71	张露露	山西大学	光泵铷原子磁强计及基于 795nm 偏振压缩光的量子增强测量
72	李佳明	山西大学	基于相干态和压缩态的相位测量
73	刘娜	山西大学	连续变量高维纠缠态光场的制备及多路复用量子密集编码
74	常昊博	山西大学	非谐振势阱中单原子的退相干研究
75	范青	山西大学	强耦合腔 QED 系统中单原子的冷却与俘获
76	梁少聪	山西大学	用于宽带压缩光探测的 300M 平衡零拍探测器
77	张沛	山西大学	基于 FPGA 的半导体激光器稳频系统
78	刘岩鑫	山西大学	一维原子阵列与高精细微型光学腔之间强耦合的实验实现
79	胡裕栋	山西大学	基于纳米光纤的光学 F-P 谐振腔腔内模场的表征
80	焦南婧	山西大学	模式清洁剂中激光相位噪声的抑制及其测量
81	李悦	山西大学	基于光学参量放大和相干反馈的正规模式劈裂和振子冷却
82	刘宏波	山西大学	非经典时空多模光场
83	成家霖	山西大学	基于宽带压缩光的半设备无关量子随机数发生器
84	郭旭波	山西大学	时域平衡零拍探测器散粒噪声极限的精确校准
85	吴书贺	上海交通大学	基于压缩光增强的磁场梯度计
86	董婧	上海交通大学	连续变量量子密钥分发下基于弱相干态的高效帧同步方案
87	李琅	上海交通大学	Forced carrier perturbation opens a loophole for chip-based continuous variable quantum key distribution system
88	夏彬珂	上海交通大学	基于厄米高斯指针的高精度旋转测量
89	宋琦	上海交通大学	基于弱测量方法的自适应时变参量实时估计
90	谭潇睿	上海交通大学	可调灵敏度和动态范围的高精度相位估计
91	韩婴婴	深圳技术大学	周期驱动系统中的可调量子干涉效应及全脉冲光开关
92	刘简	天津航海仪器研究所	四脉冲原子干涉仪中原子运动轨迹优化研究
93	张晨涛	武汉工程大学	利用域排列算法设计铌酸锂晶体实现 3 μm 中红外波段频域纯态单光子源
94	曾梓琦	武汉工程大学	化学分子纠缠双光子吸收的实验研究
95	郭焱	武汉工程大学	基于深度学习的不同传输距离的分数阶涡旋光束轨道角动量识别
96	王宏伟	武汉工程大学	对生物样本的量子光学相干层析成像
97	杨子祥	武汉工程大学	利用 BBO 晶体空间编码制备频域高维纠缠态
98	金锐博	武汉工程大学	利用元启发式算法设计铌酸锂晶体制备中红外波段纯态单光子源
99	黑鑫磊	西安交通大学	Enhancing spin-photon coupling with a micromagnet
100	郭振宇	西安交通大学	利用广义条纹法的旋转多普勒测量

101	常守康	西安交通大学	在噪声环境下评估相位估计的量子 Ziv-Zakai bound
102	马荣	西安交通大学	基于里德堡原子气体中的静止光和暗态极化子
103	陈改青	西安交通大学	光子自旋霍尔效应
104	瞿睿	西安交通大学	基于多测量设置的高维量子导引
105	王伯隆	西安交通大学	由磁涡旋与纳米机械振子组成的强磁耦合的混合量子系统
106	潘楚荣	西安交通大学	基于原子介质实现矢量光场多维调控
107	蔡邱远	西南交通大学	超越偶极近似的巨原子波导 QED 系统中相干单光子散射
108	陈天豪	浙江理工大学	连续变量三光子态的量子导引
109	李栋	中国工程物理研究院	非线性随机介质中多重散射光场量子噪声的调制研究
110	尚震	中国海洋大学	基于微波辅助光谱技术的碳化硅色心研究
111	张力华	中国科学技术大学	里德堡微波频率梳谱仪
112	吴赞琨	中国科学技术大学	Optical spin-orbit interaction in spontaneous parametric down conversion
113	甄一政	中国科学技术大学	Bounding the key rate of device-independent quantum key distribution via nonlinear optimization
114	任尚宇	中国科学技术大学	集成磁光隔离器的单光子非互易性
115	周亚斌	中国科学技术大学	Towards high-fidelity ion-photon entanglement
116	张伟航	中国科学技术大学	基于受激四波混频的红外光探测
117	刘邦	中国科学技术大学	基于里德堡原子传感器对兆赫兹射频电场进行高灵敏度测量
118	王焱	中国科学技术大学	直接测量粒子的统计相位信息
119	徐磊	中国科学技术大学	Proposal for stable atom trapping on a GaN-on-Sapphire chip
120	邢文博	中国科学技术大学	通过 G 并发和负性测量高维纠缠
121	黄岑潇	中国科学技术大学	基于对称联合测量的纠缠交换和量子关联实验研究
122	周晋羽	中国科学院大学	微波场中里德堡原子电磁感应透明峰的 Autler-Townes 分裂间隔多普勒效应与中间态线宽的普适关系
123	曹明涛	中国科学院国家授时中心	Highly-Efficient entanglement mapping between light and cold atomic ensemble
124	刘妤婷	中国科学院国家授时中心	基于 HOM 干涉的长距离分段光纤量子时间同步
125	权润爱	中国科学院国家授时中心	实地 7km 光纤的量子时间同步实验研究
126	常虹	中国科学院国家授时中心	基于偏振依赖吸收效应的矢量光束空间模式分析仪
127	李杏花	中国科学院国家授时中心	艾里双光子的制备及能量转移过程研究

128	马燕	中国科学院国家授时中心	基于原子介质的完美矢量光场相干调控
129	郝泽琰	中国科学院量子信息重点实验室	多体系统中量子导引的关系结构的实验展示
130	苗瑞恒	中国科学院量子信息重点实验室	高维多输入量子随机存取编码与相互无偏基
131	方瑞环	中山大学	基于相干布居数囚禁的时域类法布珀罗谐振器
132	庄敏	中山大学	多体量子锁相放大器
133	马翥	中山大学	在非对称交叉光阱中铷 ⁸⁷ 玻色-爱因斯坦凝聚的制备
134	周林祥	中山大学	三光子非对称最大纠缠态的实验制备及其在量子隐形传态中的应用
135	李学诗	中山大学	基于量子点的间接电泵浦单光子源
136	马剑涛	中山大学	基于非悬浮式环形布拉格腔的高亮度量子点单光子源
137	林凌	中山大学	一维手征对称拓扑绝缘体卷绕数的实空间形式
138	韩成银	中山大学	自适应贝叶斯算法探测磁敏感相干布居数囚禁
139	张莉	中山大学	斯塔克多体局域相变中的迁移率边
140	韦玉明	中山大学	通讯波段与环形布拉格光栅确定性耦合的高亮单光子源
141	柳文洁	中山大学	自旋链上拓扑磁振子激发的反常体边对应性

单原子阵列操控及其与光学腔的强耦合

张天才

量子光学与光量子器件国家重点实验室,

山西大学光电研究所

Email: tczhang@sxu.edu.cn

中性原子因其良好的相干性, 是演示量子操控及相关量子技术的重要系统。冷原子操控及其与光学微腔的作用为人们提供了研究量子退相干、展示若干量子效应的良好平台。本报告主要介绍我们在单原子及少原子、原子阵列操控以及冷原子与微光学腔的强耦合相互作用方面的实验进展, 包括光学阱中的原子俘获及相干控制, 腔内少原子的控制及强耦合的实现、基于该系统的单光子无磁二极管、量子统计的非互易行为、多原子-多光子相互作用以及单原子阵列与光学腔的强耦合等方面的实验进展。

References:

- [1] Pengfei Yang, Xiuwen Xia, Hai He, Shaokang Li, Xing Han, Peng Zhang, Gang Li, Pengfei Zhang, Jinping Xu, Yaping Yang, and Tiancai Zhang, *Phys. Rev. Lett.*, 123, 233604(2019).
- [2] Gang Li, Yali Tian, We Wu, Shaokang Li, Xiangyan Li, Yanxin Liu, Pengfei Zhang, and Tiancai Zhang, *Phys. Rev. Lett.*, 123, 253602(2019).
- [3] Xin-Xin Hu, Zhu-Bo Wang, Pengfei Zhang, Guang-Jie Chen, Yan-Lei Zhang, Gang Li, Xu-Bo Zou, Tiancai Zhang, Hong X. Tang, Chun-Hua Dong, Guang-Can Guo and Chang-Ling Zou, *Nat. Commun.*, 12, 2389(2021).
- [4] Pengfei Yang, Ming Li, Xing Han, Hai He, Gang Li, Chang-Ling Zou, Pengfei Zhang, and Tiancai Zhang, arXiv: 1911.10300.
- [5] Yanxin Liu, Zhihui Wang, Pengfei Yang, Qinxia Wang, Qing Fan, Gang Li, Pengfei Zhang, and Tiancai Zhang, arXiv: 2207.04371.

Cavity-QED Meets Ultracold Quantum Gases

武海斌

华东师范大学精密光谱科学与技术国家重点实验室

摘要：

理解粒子之间存在强相互作用的复杂的量子系统是当前物理最具挑战性的问题之一，对解决物理学中的许多基本问题至关重要，比如它可以和夸克胶子等离子体、中子星和早期宇宙演化等建立重要的联系。在量子光学中 Cavity-QED 是量子化光场和量子物质强相互作用最著名的范例之一，当 Cavity-QED 和超冷量子气体相结合，将打开许多新奇的研究方向，比如可研究耗散的多体非平衡动力学以及新奇长程相互作用的相变等。在这个报告中，将介绍我们近期在这一方面的研究进展，包括研究光学腔内费米超辐射量子相变、准热化以及热传输等重要物理问题。

光量子行走在量子模拟中的应用

薛鹏

中物院北京计算科学研究中心

摘要：在以固态拓扑材料为代表的传统拓扑物相中，体边对应关系把定义于拓扑物质体态的拓扑不变量与出现在其边界上的稳定边缘态联系起来，是传统拓扑物态研究的基本原则。近年来，随着对开放体系拓扑现象，尤其是对非厄米体系拓扑序的理论研究，人们发现在一大类非厄米拓扑体系中，传统的体边对应关系不再成立。在这类体系中，体边对应关系的失效伴随着非厄米趋肤效应，即所有体态与拓扑边缘态均局域在体系边界附近。非厄米趋肤效应体现了非厄米体系与厄米体系的一个关键区别，对于理解非厄米拓扑物态至关重要。由于非厄米趋肤效应的存在，体态的主要性质无法在标准的拓扑能带理论框架下描写，体边对应原理也需要随之作出基本修正。根据理论研究，非厄米拓扑体系的边缘态须由全新的广义体边对应原理来刻画。我们在这一背景下，实验上首次观测到非厄米-趋肤效应，并证实了非厄米体边对应关系。这一成果涵盖了非厄米系统，拓扑相变，量子模拟等近年来量子物理和凝聚态物理领域的重要前沿方向，是非厄米拓扑研究方面的基础性进展，对新奇拓扑序的量子模拟及全面理解开放体系拓扑现象有重要意义。

高效率量子存储的实现及应用研究

颜辉

华南师范大学物理与电信工程学院, 广州, 510006

yanhui@scnu.edu.cn

摘要正文:

量子存储是量子信息处理的关键技术, 在量子网络、量子计算等方面均有重要应用价值。首先, 通过提高冷原子的光学厚度并同时降低退相率, 利用电磁诱导透明效应实现了效率超过85%量子存储。在此基础上, 进一步实现了单光子的相位调制, 将光子同步与相位调制集于一体; 通过调制单光子的相位, 在HOM干涉中观测到了聚束与反聚束效应。进一步, 利用量子存储实现了光子-磁子非厄密分束器, 演示了单磁子与单光子的HOM干涉; 并利用非厄密分束器实现了多光子干涉。最新, 通过电磁诱导透明过程的相位非互易, 实现了4通道全光循环器。

关键词: 量子存储, 冷原子, 相位调制, 非厄密分束器, 循环器

参考文献

- [1] Y. F. Wang[†], J. F. Li[†], S. C. Zhang[†], K. Y. Su, Y. R. Zhou, K.Y. Liao, S. W. Du, H. Yan^{*} and S. L. Zhu^{*}, Efficient quantum memory for single-photon polarization qubits, *Nature. Photonics* 13, 346-351 (2019)
- [2] Keyu Su[†], Yunfei Wang^{†*}, Shanchao Zhang[†], Zhuoping Kong, Yi Zhong, Jianfeng Li, Hui Yan^{*}, and Shi-Liang Zhu^{*}, Synchronization and Phase Shaping of Single Photons with High-Efficiency Quantum Memory, *Chinese Physics Letters* 38, 094202 (2021)

833.8 公里光纤量子密钥分发

王双, 银振强, 何德勇, 陈巍, 范元冠杰, 王纺翔, 郭光灿, 韩正甫

中国科学技术大学中科院量子信息重点实验室, 安徽合肥, 230026

wshuang@ustc.edu.cn

摘要正文: 一直以来, 任何无中继量子密钥分发系统都会受到线性界的限制。双场量子密钥分发建立了革命性的码率-距离关系, 能突破线性界限制, 在长距离光纤传输中具有显著优势。本报告将重点介绍我们在远距离双场量子密钥分发方面的成果。我们搭建了目前最优的双场系统, 它可以容忍超过140 dB的信道损耗, 实现833.8公里的安全密钥分发, 创造了光纤量子密钥分发的世界纪录。在没有光放大器辅助的情况下, 我们实现了远程高质量双光场的制备, 并且在总长度达到1689公里的光纤中获得了96%以上的干涉可见度。系统的安全密钥率也远超前期实验, 例如, 在511.86公里处获得了368.9 bps的安全密钥率, 比之前同样距离的纪录高了两个数量级以上。我们的实验结果不仅展示了双场量子密钥分发的巨大潜力, 还为实现千公里级光纤量子密钥分发提供了可行的技术途径。

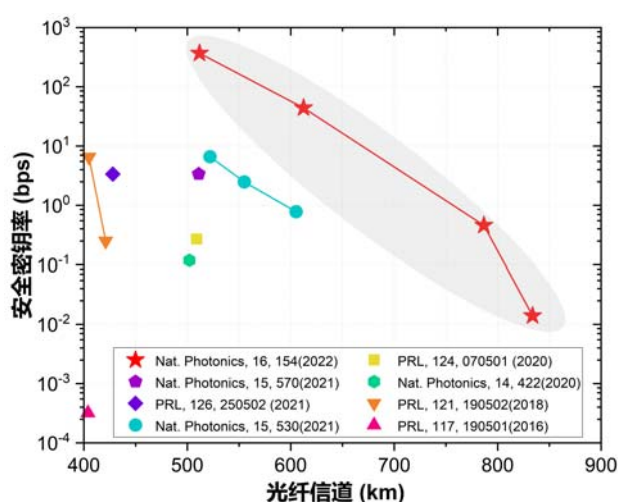


图1 超过400公里光纤量子密钥分发实验总结

关键词: 量子密钥分发, 双场, 光学锁相环, 线性界, 相位漂移

参考文献

- [1] Lucamarini M et al. Overcoming the rate-distance limit of quantum key distribution without quantum repeaters. **Nature**, 557, 400-403(2018).
- [2] Wang S et al. Beating the fundamental rate-distance limit in a proof-of-principle quantum key distribution system. **Physical Review X**, 9, 021046(2019).
- [3] Wang S et al. Twin-field quantum key distribution over 830-km fibre. **Nature Photonics**, 16, 154-161(2022).

利用量子精密传感器寻找新物理

彭新华

中国科学技术大学，安徽合肥，230026

xhpeng@ustc.edu.cn

摘要正文：随着量子精密测量学的蓬勃发展，尤其是对量子体系的主动调控和操纵，极大提高了对电磁场、转动、时间、重力等物理量的测量精度，这为检验基础物理规律等诸多前沿科学带来了变革性手段。暗物质及其相关物理研究是一个尚待探索并且极其重要的研究领域，围绕这方向的研究能够让我们对宇宙物质组成和起源有更好的了解，并由此可能孕育出一系列重大的基础科学突破。本报告首先将介绍量子精密测量学与暗物质物理学形成的新兴交叉科学。针对超轻质量的暗物质，其德布罗意波长将达到宏观尺度(实验室)甚至天体尺度，传统的大型粒子对撞机对此完全失效。相比较而言，利用量子精密测量技术则可以实现高精度“桌面式”暗物质搜寻。围绕这一方面，本报告将重点介绍我们近期提出的超灵敏自旋精密测量技术[1,2,3]，其核心是利用超极化的长寿命核自旋作为量子传感器。利用该技术，我们实现了对质量范围从 1-1000 feV 的超轻质量暗物质粒子（轴子和暗光子）搜寻。尽管目前没有发现任何暗物质疑似存在的信号，但是我们给出的实验界限比之前实验纪录提高了至少五个数量级，超越了目前公认最高的宇宙天文学极限[4]。同时，我们利用量子精密测量技术开展了多种新粒子诱导的新奇相互作用实验直接搜寻，获得世界上最强的Z'玻色子和类轴子的约束界限[2,5]。此外，我还会介绍后期在量子精密测量与暗物质交叉领域的研究想法，理论实验工作和计划，以及未来相关发展道路的展望。

关键词：量子精密测量，自旋，暗物质，轴子，自旋放大器

参考文献

- [1] Min Jiang, Yushu Qin, Xin Wang, Yuanhong Wang, Haowen Su, **Xinhua Peng**, Dmitry Budker, **Phys. Rev. Lett.** 128, 233201 (2022) [Editors' Suggestions].
- [2] Yuanhong Wang, Haowen Su, Min Jiang, Ying Huan, Yushu Qin, Chang Guo, Zehao Wang, Dongdong Hu, Wei Ji, Pavel Fadeev, **Xinhua Peng**, Dmitry Budker, **Phys. Rev. Lett.**, in press (2022).
- [3] Min Jiang, Haowen Su, Ze Wu, **Xinhua Peng**, Dmitry Budker, *Floquet maser*, **Science Advances** 7, eabe0719 (2021). Reported by 《Science》 perspective: Ren-Bao Liu, “A masing ladder”, Science 371, 780 (2021).
- [4] Min Jiang, Haowen Su, Antoine Garcon, **Xinhua Peng**, Dmitry Budker, Search for axion-like dark matter with spin-based amplifiers, arXiv: 2102.01448v1 (2021); **Nature Physics** 17, 1402–1407 (2021).
- [5] Haowen Su, Yuanhong Wang, Min Jiang, Wei Ji, Pavel Fadeev, Dongdong Hu, **Xinhua Peng**, Dmitry Budker, Search for exotic spin-dependent interactions with a spin-based amplifier, **Science Advances** 7, eabi9535 (2021).

低深度量子态制备算法及其应用

张笑鸣

北京大学前沿计算研究中心，北京，100871

xmzhang93@pku.edu.cn

摘要正文：量子态制备是量子计算中的基础问题，也是许多量子算法的必要步骤。对于一般 n 比特量子态，基于辅助比特，我们提出一种简洁的态制备方法，其线路深度达到了理论极限 $O(n)$ 。对于仅有 $O(d)$ 个非零元素的稀疏量子态，我们提出一种线路深度为 $O(\log(nd))$ 的制备方法，其线路深度也达到理论极限，且比已知最优算法具有指数加速。我们还将讨论上述态制备方案在哈密顿量模拟、线性方程组求解和量子随机存储器（QRAM）等问题中的应用。特别地，我们对一类线性方程组求解问题设计了高效的量子算法，对比已知最优的量子算法以及量子启发经典算法，都具有指数加速。此外，基于上述算法中的技术，我们还首次提出了针对连续参数的确定性量子随机存储器方案，及其针对稀疏数据的优化。

关键词：量子态制备，量子算法

参考文献

- [1] Long Gui-Lu and Sun Yang, Efficient scheme for initializing a quantum register with an arbitrary superposed state, Phys. Rev. A 64, 014303 (2001).
- [2] Grover Lov and Rudolph Terry, Creating superpositions that correspond to efficiently integrable probability distributions, arXiv, quant-ph/0208112 (2002).
- [3] Zhang Xiao-Ming, Yung Man-Hong. and Yuan Xiao, Low-depth quantum state preparation, Phys. Rev. Res. 3, 043200 (2021).
- [4] Zhang Xiao-Ming, Li Tongyang. and Yuan Xiao, Quantum State Preparation with Optimal Circuit Depth: Implementations and Applications, arXiv:2201.11495 (2022).
- [5] Sun Xiaoming, Tian Guojing, Yang Shuai, Yuan Pei, and Zhang Shengyu. Asymptotically optimal circuit depth for quantum state preparation and general unitary synthesis. arXiv:2108.06150 (2021).

Observing the quantum fault-tolerant threshold

孙凯

安徽省合肥市金寨路 96 号中国科学技术大学，中科院量子信息重点实验室

ksun678@ustc.edu.cn

摘要正文：

Error rate threshold of fault-tolerant quantum computation is a clear sign to indicate the realization of quantum circuits in a fault-tolerant manner, which is too small to observe in a large scale quantum system. However, in a small quantum system consisting several qubits, it is possible to determine such a threshold to demonstrate the quantum fault-tolerant implementation [1]. To observe this threshold, we designed an optical architecture based on two entangled photons, in which optical spatial modes of each photon were exploited to encode logical qubits [2]. With importing the error rate accurately, we could observe the fault-tolerant threshold when the success output probability in encoded circuits is higher than that in non-encoded circuits. The method based on the high-accuracy optical platform directs the way to study the more error propagation in quantum fault-tolerant circuits.

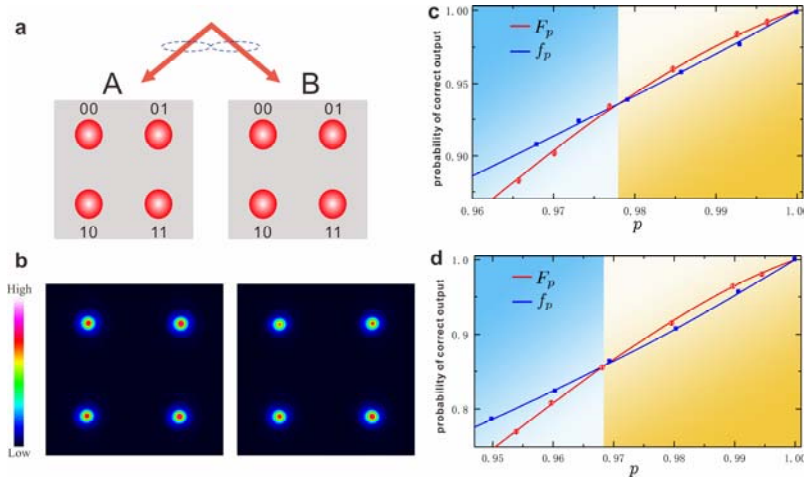


Fig. 1 **a**, Principle to implement physical qubits with the spatial modes of two entangled photons. And the experimental pattern on each photon is illustrated in **b**. Experimental results of the fault-tolerant circuits for the logical operation of single-qubit Hadamard gate are shown in **c**, and the results for the logical operations considering a following two-qubit controlled-not gate are shown in **d**. F_p and f_p represents the success output probabilities for the encoded circuit and non-encoded circuit, respectively. The fault-tolerant manner is verified with $F_p > f_p$.

关键词：

fault-tolerant, threshold, entangled photons, spatial mode

参考文献

- [1] D. Gottesman, Quantum fault tolerance in small experiments, arXiv: 1610.03507 (2016).
- [2] K. Sun, et al., Optical demonstration of quantum fault-tolerant threshold, Light: Science & Applications 11, 203 (2022).

基于遗传算法实现里德堡少比特量子门的最小模型

李睿^{1,2}, 李书锐¹, 蔚栋敏¹, 钱静^{1*}, 张卫平²

¹ 华东师范大学物理与电子科学学院, 上海

² 上海交通大学物理与天文学院, 上海

¹School of Physics and Electronic Science, East China Normal University, Shanghai

²School of Physics and Astronomy, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai

lirui0606@sjtu.edu.cn

少比特量子逻辑门作为构造常规多比特量子门的基本运算单元, 已经被广泛应用于量子计算和量子信息领域。然而, 在传统的少比特量子门的构造中, 由于使用了分步脉冲的形式对原子进行里德堡激发, 在门操作过程中不可避免地受到门本质误差的影响。我们的贡献是提出了一种实现里德堡少比特量子门的最优化模型, 能够更加便捷地完成两比特甚至三比特可控非门的操作。光脉冲设计的关键得益于遗传算法的全局优化思想, 在对光脉冲的参数进行优化后, 能够极大地减少所需脉冲的数量确保了门的高保真性。由于使用了这种优化之后的连续驱动脉冲, 我们的方案相比于传统的分步激发方案在很大程度上减少了在不同位置之间切换脉冲所需要的时间, 简化了门的操作。数值结果也表明在不考虑原子位置扰动的情况下, 利用单脉冲驱动的两比特或三比特可控非门的保真度分别可以达到0.9923和0.9039。我们的工作有望推动中性原子量子计算的研究进程, 实现更加直接快速的多比特量子门。

Fewer-qubit quantum logic gate, serving as a basic unit for constructing universal multiqubit gates, has been widely applied in quantum computing and quantum information. However, traditional constructions for fewer-qubit gates often utilize a multipulse protocol, which inevitably suffers from serious intrinsic errors during the gate execution. In this paper, we report an optimal model about universal two- and three-qubit CNOT gates mediated by excitation to Rydberg states with easily accessible van der Waals interactions. This gate depends on a global optimization to implement amplitude- and phase-modulated pulses via genetic algorithm, which can facilitate the gate operation with fewer optical pulses. Compared to conventional multipulse piecewise schemes, our gate can be realized by simultaneous excitation of atoms to the Rydberg states, saving the time for multipulse switching at different spatial locations. Our numerical simulations show that a single-pulse two- (three-) qubit CNOT gate is possibly achieved with a fidelity of 99.23% (90.39%) for two qubits separated by 7.10 μm when the fluctuation of Rydberg interactions is excluded. Our work is promising for achieving fast and convenient multiqubit quantum computing in the study of neutral-atom quantum technology.

关键词: 里德堡量子门, 少比特可控非门, 遗传优化算法, 单脉冲

参考文献

- [1] R. Li, S. Li, D. Yu, J. Qian, and W. Zhang, Optimal model for fewer-qubit CNOT gate with Rydberg atoms, *Phys. Rev. Applied* 17,024014 (2022).
- [2] Y. Sun, P. Xu, P. X. Chen, and L. Liu, Controlled phase gate protocol for neutral atom via off-resonant modulated driving, *Phys. Rev. Applied* 13,024059 (2020).

基于高质量里德堡单光子源的高保真度光量子逻辑门

李霖

湖北省武汉市洪山区珞喻路 1037 号，华中科技大学，430074

li_lin@hust.edu.cn

摘要正文：

相比于其他量子比特，光子在远距离量子信息传输方面有着无与伦比的优势。因此，实现高质量单光子源及高保真度的光量子逻辑门对构建大规模量子网络，分布式量子计算等应用十分重要。单光子源的核心参数包括单光子的纯度，全同度及产生效率等。我们搭建了基于里德堡原子的量子光学实验系统，利用里德堡原子之间的相互作用及原子-光子量子转化，实现了纯度和全同度同时超过99%的高质量里德堡单光子源。基于这一优质的里德堡单光子系统，我们实现了保真度达到99.8%的光子-光子量子逻辑门，为基于里德堡原子的大规模光量子信息处理提供了基础。

关键词：里德堡原子，单光子源，量子逻辑门

参考文献

- [1] S. Shi. et al., High-fidelity photonic quantum logic gate based on near-optimal Rydberg single-photon source, Nat. Commun. (2022) accepted.

基于磁-光纠缠远程制备磁子薛定谔猫态的研究

孙风潇

北京大学物理学院，100871

sunfengxiao@pku.edu.cn

磁子猫态是一种由大量自旋构成的集体磁激发的宏观量子叠加态。对磁子猫态的研究，不仅有利于宏观量子效应的基础理论研究，对于量子精密测量和量子计算也有促进作用。而薛定谔猫态的远程制备和调控，对于远距离、大尺度的量子信息处理的发展也具有重要的意义。为此，我们提出了基于磁-光纠缠的远程制备磁子薛定谔猫态的理论方案。通过腔磁系统，可以实现磁子与光学模式之间的量子纠缠。通过对距离遥远的光学模式进行特定的局域非高斯操作以及投影测量，可以使得磁子远程制备到薛定谔猫态上。我们研究了磁子猫态的量子性质，在实验参数下可以实现高保真度和非经典性的磁子猫态，且具有足够大的尺度可以应用于量子信息任务中。我们考虑了投影测量的误差以及非高斯操作中暗计数的影响，发现在实验可实现的范围内，其对磁子猫态量子性质的影响几乎可以忽略不计。

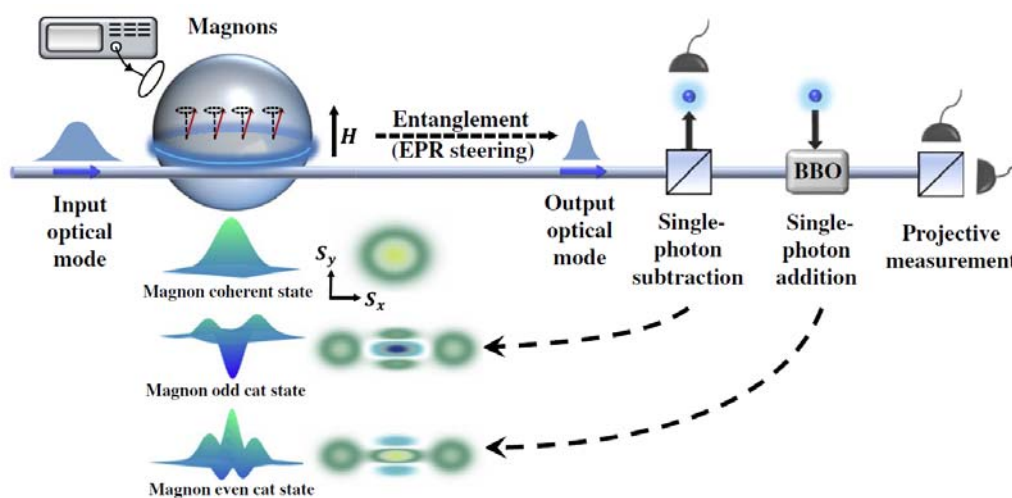


图1 基于磁-光纠缠远程制备磁子薛定谔猫态的理论方案示意图。

关键词：薛定谔猫态、量子纠缠、远程态制备

参考文献

[1] Sun F. et al., Remote generation of magnon Schrödinger cat state via magnon-photon entanglement, Phys. Rev. Lett. 127, 087203 (2021).

量子增强的磁场梯度计

包谷之¹、吴书贺¹、郭进先¹、杜威¹、杨培玉¹、陈丽清²、张卫平¹

1 上海交通大学，上海市 200240

2 华东师范大学，上海市 200241

guzhibao@sjtu.edu.cn

摘要正文：

量子涨落和环境磁场噪声是限制磁强计灵敏度的两个主要来源，是限制原子磁力计性能及其进一步应用的主要因素。传统的量子磁力计可以突破标准量子极限，但需要在良好磁场屏蔽环境下工作。同时，传统的量子梯度计可以降低环境噪声带来的影响，但由于参考探针的光场和原子自旋只对量子涨落有贡献，而对磁信号没有贡献，反而会增加量子噪声。针对这个问题，我们提出利用孪生光束探测的方法，将量子磁力计与磁场梯度计的优点有机结合，同时降低量子噪声与环境磁场噪声。我们将四波混频（FWM）过程中产生的双模压缩场注入基于非线性磁光旋转（NMOR）的双探针磁场梯度计中，使其双探针测量产生同时经典与量子关联。在实验中，我们观测到在实验中，我们观测到磁场梯度测量的共模抑制比（CMRR）达到 260，磁力计的噪声功率谱降低了 5.5dB，使磁场梯度噪声达到 $18 \text{ fT/cm}\sqrt{\text{Hz}}$ 。由于突破了标准量子极限，我们可以在低原子、光子数的情况下达到国际前沿的磁场灵敏度。同时，得益于压缩光与梯度测量相结合的模式，我们的工作在国际上首次在 1 kHz 以内观测到的磁场测量的量子增强效应。许多生物磁场例如心磁与脑磁的频率正是在这一区域。这对原子磁力计在生物医学等方向的应用拓展有着重要的意义。该研究将为量子增强的磁力计在地磁场和复杂噪声背景下的应用铺平道路。

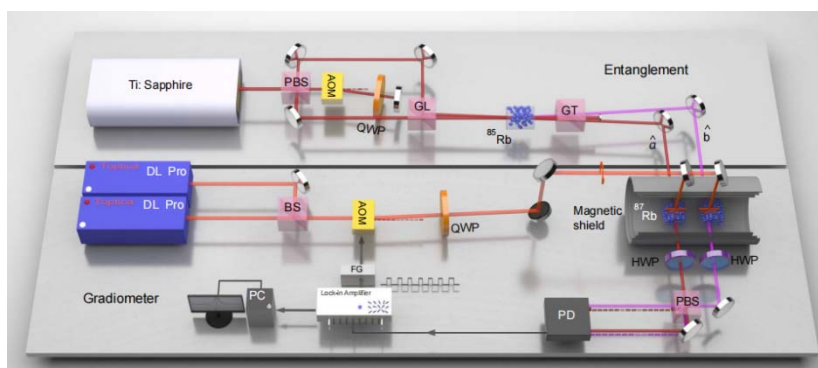


图1 量子梯度计示意图

关键词：磁力计，压缩光，量子精密测量

基于核自旋自补偿的脑磁测量系统背景干扰磁场抑制方法

陈瑶*, 赵立波, 蒋庄德

西安交通大学机械学院精密工程研究所, 陕西省西安市碑林区咸宁西路 28 号, 710049

邮箱 (* yaochen@xjtu.edu.cn)

近些年来, 随着SERF原子磁强计^[1]发展, 由于其具有超高灵敏的特性, 被广泛地应用于脑磁测量^[2], 是当前研究的热点方向, 并且由于其具有可穿戴的潜力, 有可能对运动状态下的脑磁进行测量, 弥补了当前SQUID磁强计只能对头部静止状态下的脑磁测量的不足, 因此, 利用SERF磁强计进行运动脑磁测量得到了广泛地关注。经过调研发现, 当前运动脑磁成像集中在利用大型线圈对头部运动区域进行实时补偿^[2], 这极大地限制了磁强计的可用性, 为此, 本课题组开发了一种利用核自旋自动进行外界干扰磁场跟踪补偿的方法, 将传统2m量级的大型线圈的功能简化为10mm³体积内的超极化核自旋²¹Ne, 利用超极化的²¹Ne^[3, 4]对SERF磁强计中的电子自旋所感受到的背景干扰磁场进行实时动态的补偿, 这不仅极大地降低了脑磁测量系统的体积, 由2m量级降低到人大脑尺寸量级, 并且可以自动动态跟踪补偿, 不需要昂贵并且复杂的控制系统, 有望使得SERF磁强计的运动脑磁测量系统更加的实用化。

关键词: (SERF磁强计, 超极化核自旋, 原子磁强计, 原子陀螺仪, 脑磁测量, 量子传感器)

参考文献

- [1] Allred, J. C.; Lyman, R. N.; Kornack, T. W.; Romalis, M. V., High-Sensitivity Atomic Magnetometer Unaffected by Spin-Exchange Relaxation. *Physical Review Letters* 2002, 89 (13), 130801.
- [2] Boto, E.; Holmes, N.; Leggett, J.; Roberts, G.; Shah, V.; Meyer, S. S.; Muñoz, L. D.; Mullinger, K. J.; Tierney, T. M.; Bestmann, S., Moving magnetoencephalography towards real-world applications with a wearable system. *Nature* 2018, 555 (7698), 657.
- [3] Chen, Y.; Quan, W.; Zou, S.; Lu, Y.; Duan, L.; Li, Y.; Zhang, H.; Ding, M.; Fang, J., Spin exchange broadening of magnetic resonance lines in a high-sensitivity rotating K-Rb-21Ne co-magnetometer. *Scientific reports* 2016, 6, 36547.
- [4] Ji, W.; Chen, Y.; Fu, C.; Ding, M.; Fang, J.; Xiao, Z.; Wei, K.; Yan, H., New Experimental Limits on Exotic Spin-Spin-Velocity-Dependent Interactions by Using SmCo5 Spin Sources. *Physical review letters* 2018, 121 (26), 261803.

利用量子精密传感器寻找新粒子

江敏

中国科学技术大学，合肥，安徽

dxjm@ustc.edu.cn

摘要正文：随着量子精密测量学的蓬勃发展，尤其是对量子体系的主动调控和操纵，极大提高了对电磁场、转动、时间、重力等物理量的测量精度，这为检验基础物理规律等诸多前沿科学带来了变革性手段。暗物质及其相关物理研究是一个尚待探索并且极其重要的研究领域，围绕这方向的研究能够让我们对宇宙物质组成和起源有更好的了解，并由此可能孕育出一系列重大的基础科学突破。本报告首先将介绍量子精密测量学与暗物质物理学形成的新兴交叉科学。针对超轻质量的暗物质，其德布罗意波长将达到宏观尺度(实验室)甚至天体尺度，传统的大型粒子对撞机对此完全失效。相比较而言，利用量子精密测量技术则可以实现高精度“桌面式”暗物质搜寻。围绕这一方面，本报告将重点介绍我们近期提出的自旋精密测量技术“Floquet maser” [1]和“Spin-based amplifier” [2,3]，其核心是利用超极化的长寿命核自旋作为量子传感器[4]。利用该技术，我们实现了对质量范围从1-1000 feV 的超轻质量暗物质粒子（轴子和暗光子）搜寻。尽管目前没有发现任何暗物质疑似存在的信号，但是我们给出的实验界限比之前实验纪录提高了至少五个数量级，超越了目前公认最高的宇宙天文学极限。同时我还会介绍后期在量子精密测量与暗物质交叉领域的研究想法，理论实验工作和计划，以及未来相关发展道路的展望。

关键词：量子精密测量，暗物质，轴子

参考文献

- [1] Min Jiang, Haowen Su, Ze Wu, Xinhua Peng#, Dmitry Budker, *Floquet maser*, **Science Advances** 7, eabe0719 (2021). Reported by 《Science》 perspective: Ren-Bao Liu, “A masing ladder”, *Science* 371, 780 (2021).
- [2] Min Jiang, Haowen Su, Antoine Garcon, Xinhua Peng, Dmitry Budker, Search for axion-like dark matter with spin-based amplifiers, **Nature Physics** 17, 1402 (2021).
- [3] Haowen Su, Yuanhong Wang, Min Jiang#, Wei Ji, Pavel Fadeev, Dongdong Hu, Xinhua Peng#, Dmitry Budker, Search for exotic spin-dependent interactions with a spin-based amplifier, **Science Advances** 7, eabi9535 (2021).
- [4] Min Jiang, Teng Wu, John Blanchard, Guanru Feng, Xinhua Peng, Dmitry Budker. Experimental benchmarking of quantum control in zero-field nuclear magnetic resonance. **Science Advances** 4, eaar6327 (2018).

基于耦合自旋系综的磁场惯性及新物理测量

魏凯、季伟、全伟、Dmitry Budker、房建成

北京航空航天大学 大科学装置研究院, 北京 100191

杭州极弱磁场重大科技基础设施研究院, 杭州 310051

Helmholtz Institute, Mainz 55128, Germany

Department of Physics, University of California, Berkeley, CA 94720-7300, USA

weikai@buaa.edu.cn

摘要正文:

基于无自旋交换弛豫效应 (SERF) 的原子自旋系综实现了目前最高的磁场测量灵敏度纪录, 在人体心脑磁等生物磁成像领域的应用逐渐深入, 在此基础上发展而来的SERF原子自旋惯性测量技术, 利用耦合的原子自旋系综能实现对惯性转动等非磁信号的超高灵敏测量, 在战略级惯性导航和新物理探索等领域有着广泛的应用前景。本报告针对实现超高灵敏SERF原子自旋磁场和惯性测量的关键问题和难点进行分析, 介绍利用光子偏振压缩技术突破光子散粒噪声约束, 进一步提升测量灵敏度。此外, 基于SERF原子自旋惯性测量系统, 在自旋相关异常作用力、暗物质和CPT对称性破缺测量等新物理探索中已经取得了多项指标纪录, 本报告将介绍目前实现的自旋-质量-速度相关的异常作用力新的实验研究结果, 将对超标准模型的Z'玻色子做出新的实验约束。

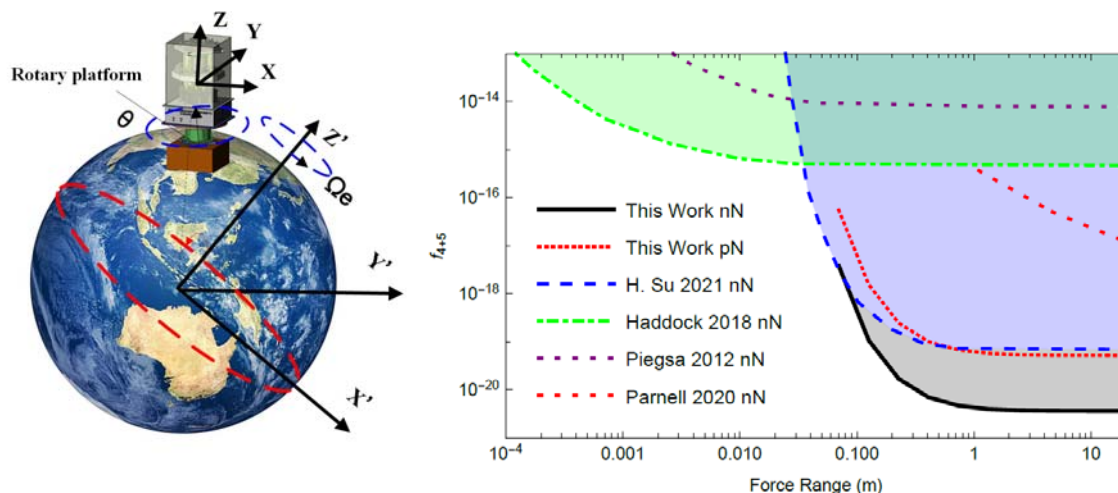


图1 SERF原子自旋惯性测量装置与异常作用力测量结果

关键词: (耦合自旋系综、磁场测量、惯性测量、光子偏振压缩、新物理探索)

参考文献

- [1] Boto E. et al., Moving magnetoencephalography towards real-world applications with a wearable system, *Nature*, 555(7698), 657-661, 2018.
- [2] Safronova M. S. et al., Search for new physics with atoms and molecules, *Reviews of Modern Physics*, 90(2), 025008, 2018.
- [3] Almasi A. et al., New limits on anomalous spin-spin interactions. *Physical review letters*, 125(20), 201802 2020.

动目标成像中光子流与信息流的失配问题

孙帅^{1,2} 刘伟涛^{1,2}

¹ 国防科技大学理学院物理系, 长沙 湖南 410073;

² 国防科技大学量子信息学科交叉中心, 长沙 湖南 410073

邮箱 (sunshuai09@nudt.edu.cn)

光子是光学成像系统中的信息载体。有效探测足够多的光子并精准解译信息, 是记录或重构物体光学图像的前提。因此, 在对静止目标成像时, 当单位时间内到达探测面的平均光子数低至单光子量级时, 除了要使用更灵敏的探测器, 系统还必须长时间累积探测, 以获得足够多的光子[1]。然而, 在运动物体成像中, 由物体位置、速度、图像等要素构成的信息流大, 信息量随时间不断增加。此时, 当回波弱至少光子量级时, 单位时间内可探测的光子流极低, 可解译信息流远低于待恢复信息流, 长时间累积探测将导致物体信息进一步混叠, 无法有效解译图像信息。这就是动目标成像中光子流与信息流的失配问题。要解决这一难题, 除了增加光源功率, 设计加工更大更昂贵的照明或接收系统, 研制更灵敏的探测器以外, 更为本质的方法是设计更优的光子信息编码-解码方式, 提升成像系统中平均每个信号光子的信息携带效率和解译效率, 用更少的光子获得更多的信息。因此, 本文基于鬼成像的原理, 考虑目标平动的情况, 提出了一种对运动物体同时追踪成像的方法[2], 通过设计照明光场, 先获取了物体的速度矢量, 由于目标速度信息流远低于图像信息流, 因此只需探测更少的光子便实现了对物体的追踪。然后, 在对物体追踪过程中逐渐累积足够多的光子, 并恢复出了物体高质量的图像。该方法的系统结构简单, 数据处理运算量低, 便于和多种成像系统结合, 来提升弱光条件下对运动物体的成像能力。

关键词: 单光子成像, 鬼成像,

参考文献

- [1] Johnson S D, Moreau P A, Gregory T, et al. How many photons does it take to form an image?[J]. Applied Physics Letters, 2020, 116(26): 260504.
- [2] Sun S, Hu H K, Xu Y K, et al. Simultaneously Tracking and Imaging a Moving Object under Photon Crisis[J]. Physical Review Applied, 2022, 17(2): 024050.

强耦合腔量子电动力学系统中多原子与多光子相干相互作用研究

王志辉* 刘岩鑫 杨鹏飞 李刚† 张鹏飞 张天才

量子光学与光量子器件国家重点实验室, 山西大学光电研究所, 太原 030006

*wangzhihui7150@126.com; †gangli@sxu.edu.cn

腔量子电动力学(QED)是探究光与物质相互作用物理原理及其应用的良好平台[1], 在基础物理问题研究、精密测量、量子信息处理、量子资源制备和量子器件研制等方面有广泛的研究和应用价值。人们发明了包括微波腔、光学腔、超导电路在内的各种平台来探索和操控光场(或微波场)与不同种类的量子激光器(如原子、超导体量子比特等)之间的相干相互作用[2-3]。近四十年来, 人们主要致力于在单个原子或单个光子水平研究光与物质相干相互作用, 并诞生了大量新的量子信息和量子计量技术和资源[4]。多原子多光子腔 QED 系统的物理现象更加丰富有趣、应用也更加广泛[5], 但是系统变得复杂, 难以控制。迄今为止, 只在实验上观察了非线性双稳效应和坏腔中的超辐射效应[6]。本文报道了在强耦合腔 QED 系统中分别实现了多原子系综和确定数目的一维原子阵列与腔模之间的强耦合。首先对多原子系综-多光子拉比振荡演化过程及其中的非线性现象实现实验观测。然后在实验上实现了确定性观测到原子数从 1 到 8 的真空拉比分裂光谱, 从而在单个原子水平上确定性地验证了光与原子相互作用集体增强与原子数的关系。我们的工作为光学腔内多原子控制和操纵奠定了基础, 同时也为研究原子与光子混合系统的多体物理耗散提供了新的见解。

关键词: 腔量子电动力学, 光学微腔, 原子系综, 原子阵列, 量子操控

参考文献

- [1] S. Dutra, “Cavity quantum electrodynamics,” John Wiley and Sons, Inc. (2005).
- [2] J. Raimond, M. Brune, and S. Haroche, “Manipulating quantum entanglement with atoms and photons in a cavity,” Rev. Mod. Phys. 73, 565 (2001).
- [3] S. Haroche, “Nobel lecture: Controlling photons in a box and exploring the quantum to classical boundary,” Rev. Mod. Phys. 85, 1083 (2013).
- [4] A. Reiserer, C. Nolleke, S. Ritter, and G. Rempe, “Ground state cooling of a single atom at the center of an optical cavity,” Phys. Rev. Lett. 110, 223003 (2013).

- [5] A. Periwal, E. Cooper, P. Kunkel, J. Wienand, E. Davis and M. Smith, Programmable interactions and emergent geometry in an array of atom clouds, *Nature* 600, 630 (2021).
- [6] P. Yang, X. Xia, H. He, S. Li, X. Han, P. Zhang, G. Li, P. Zhang, J. Xu, Y. Yang, and T. Zhang, "Realization of nonlinear optical nonreciprocity on a few-photon level based on atoms strongly coupled to an asymmetric cavity," *Phys. Rev. Lett.* 123, 233604 (2019).

量子中继与可移动量子存储

周宗权

中国科学技术大学 物理学院，合肥 230026

zq_zhou@ustc.edu.cn

摘要正文：量子不可克隆定律赋予了量子通信基于物理学原理的安全性。而这一定律也决定了光子传输损耗不能使用传统的放大器来克服，使得远程量子通信成为当今量子信息科学的核心难题之一。量子中继和可移动量子存储是实现远程量子通信的两种可行方案，其共性需求是高性能的量子存储器。面向远程量子通信的需求，本团队长期从事基于稀土离子掺杂晶体的固态量子存储器实验研究。本报告将重点介绍近期取得的相关成果，包括基于吸收型存储的多模式量子中继，以及在提升量子U盘存储时间、存储效率及存储容量方面的新进展。

关键词：稀土离子，量子存储，量子中继

参考文献

- [1] Y. Ma, Y.-Z. Ma, Z.-Q. Zhou*, C.-F. Li*, G.-C. Guo, One-hour coherent optical storage in an atomic frequency comb memory. *Nature Communications* 12, 2381 (2021)
- [2] X. Liu#, J. Hu#, Z.-F. Li, X. Li, P.-Y. Li, P.-J. Liang, Z.-Q. Zhou*, C.-F. Li*, G.-C. Guo, Heralded entanglement distribution between two absorptive quantum memories. *Nature* 594, 41 (2021) [Cover story]
- [3] Y.-Z. Ma, M. Jin, D.-L. Chen, Z.-Q. Zhou*, C.-F. Li*, G.-C. Guo, Elimination of noise in optically rephased photon echoes. *Nature Communications* 12, 4378 (2021)
- [4] M. Jin, Y.-Z. Ma, Z.-Q. Zhou*, C.-F. Li*, G.-C. Guo, A faithful solid-state spin-wave quantum memory for polarization qubits. *Science Bulletin* 67, 676 (2022)
- [5] T.-X. Zhu, C. Liu, M. Jin, M.-X. Su, Y.-P. Liu, W.-J. Li, Y. Ye, Z.-Q. Zhou*, C.-F. Li*, G.-C. Guo, On-Demand Integrated Quantum Memory for Polarization Qubits. *Phys. Rev. Lett.* 128, 180501 (2022)

基于单根铌酸锂薄膜波导的偏振无关单光子上转换

王舒皓^{1,2,3}, 姚妮^{1,4}, 方伟^{1,2,3*}, 童利民^{1,2,3}

1. 浙江大学光电科学与工程学院, 现代光学仪器国家重点实验室, 杭州 310027

2. 嘉兴市光电感知与智能成像重点实验室, 嘉兴 314011

3. 浙江大学嘉兴研究院智能光电创新中心, 嘉兴 314011

4. 之江实验室智能感知研究院, 杭州 311100

wfang08@zju.edu.cn

上转换单光子探测器通过将通信波段的单光子与泵浦激光合频转换到硅基雪崩二极管(Si-APD)可以探测的波段, 从而利用性能优秀的硅基单光子探测器来实现对通信单光子的有效探测。目前反质子交换周期性极化铌酸锂(PPLN)波导可以完成高效的单光子上转换, 但由于这种波导仅支持某一种偏振的传导模式, 因此对随机偏振的单光子难以实现有效探测。通常这个问题的解决方案是先通过偏振分束器将光分成两束, 然后用两根独立的PPLN波导分别进行转换, 这样就增加了系统的复杂性。

在本工作中, 我们提出了基于单根周期性极化铌酸锂薄膜波导的偏振无关单光子上转换方案。与周围环境较高的反射率差使得铌酸锂薄膜波导能同时支持TE和TM两种偏振模式; 而通过调节波导的截面形状可以对这两种偏振模式的色散进行有效调控, 使得两者发生上转换所需的准相位匹配的极化周期一致。如此可以通过调节泵浦激光的偏振分量, 使得通过波导之后两种偏振模式的光都发生相同转换效率的合频过程, 实现偏振无关的单光子上转换。通过有限元仿真计算, 我们分析了各种波导构型下波长为1550 nm的随机偏振单光子与1950 nm的泵浦激光的合频过程, 获得了最高为163.8%/W cm²的偏振无关上转换效率; 而在保持上转换光子偏振态与入射光子的偏振态一致的要求下, 转换效率亦有92.1%/W cm²。

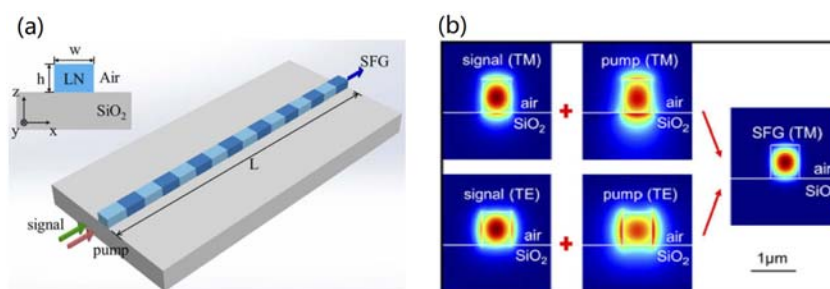


图1 (a) z-切的PPLN薄膜波导示意图。(b) 在这种构型的波导中信号光(1550 nm)、泵浦光(1950 nm)及合频光(863.57 nm)的模式光强分布。

关键词: 铌酸锂薄膜波导, 上转换单光子探测器, 偏振无关

参考文献:

- [1] H. Takesue et al., 1.5- μ m single photon counting using polarization-independent up-conversion detector, Opt. Express 14, 13067 (2006).
- [2] S. Wang et al., Polarization-independent photon up-conversion with a single lithium niobate waveguide, Opt. Express 30, 2817 (2022).

时间-频率纠缠光子的量子光学合成

金锐博

武汉工程大学 光学信息与模式识别湖北省重点实验室, 武汉, 430205

邮箱: jin@wit.edu.cn 主页: www.qubob.com

摘要: 传统的光学合成技术, 即操纵光谱分量的振幅和相位以产生具有不同时间模式的光脉冲, 正在彻底改变着超快光学和计量学。该技术的基础是光场在时域和频域之间的一维傅立叶变换。然而, 一维傅立叶变换方法无法处理带有量子关联特性的光子。在本研究中, 我们把光学傅立叶合成技术从一维扩展到高维空间来处理量子相关性, 并在实验上展示了双光子态在二维时频空间的调控。作为一个潜在的应用, 我们也展示了对宣布式单光子源时域分布的调控, 这是传统的一维傅立叶光学无法解释的。我们的方法为双光子波包的时间特性调控开辟了一条新的途径。这种高维处理方法有可能在量子光学和超快光学测量之间架起一座桥梁。

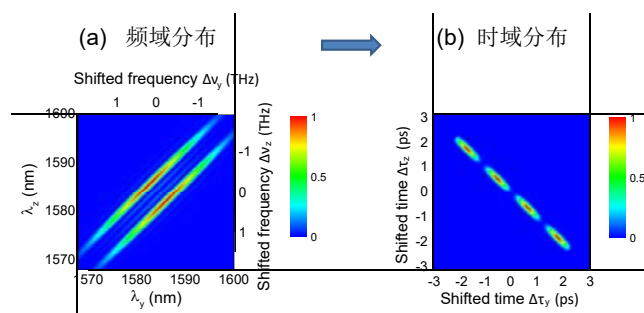


图1: 时间-频率纠缠光子的量子光学合成: 在频域对纠缠光子的振幅和相位进行调控, 从而在时域获得特定形状的脉冲。

关键词: 量子光学合成, 纠缠光子, 时间-频率纠缠态

参考文献

- [1] Rui-Bo Jin, Kurumi Tazawa, Naoto Asamura, Masahiro Yabuno, Shigehito Miki, Fumihiro China, Hirotaka Terai, Kaoru Minoshima, Ryosuke Shimizu, “Quantum optical synthesis in 2D time–frequency space” APL Photonics 6, 086104 (2021)
- [2] Bei Wei, Wu-Hao Cai, Chunling Ding, Guang-Wei Deng, Ryosuke Shimizu, Qiang Zhou, Rui-Bo Jin “Mid-infrared spectrally-uncorrelated biphotons generation from doped PPLN: a theoretical investigation” Optics Express 29(1), 256-271 (2021)
- [3] Wu-Hao Cai, Ying Tian, Shun Wang, Chenglong You, Qiang Zhou, Rui-Bo Jin “Optimized design of the lithium niobate for spectrally-pure-state generation at MIR wavelengths using metaheuristic algorithm” Advanced Quantum Technologies 2200028(2022)
- [4] Neng Cai, Wu-Hao Cai, Shun Wang, Fang Li, Ryosuke Shimizu, Rui-Bo Jin “Broadband laser diode pumped periodically poled potassium titanyl phosphate-Sagnac polarization-entangled photon source” Opt. Soc. Am. B 39(1), 77-82 (2022)

基于高斯纠缠态的远程态制备

韩冬梅, 王娜, 王美红, 秦忠忠, 苏晓龙*

山西大学光电研究所, 量子光学与光量子器件国家重点实验室

山西省太原市坞城路 92 号 030006

suxl@sxu.edu.cn

摘要正文: 远程态制备 (Remote state preparation), 是一种基于量子纠缠的量子态远程传输方式。和量子隐形传输 (Quantum teleportation) 相比, 远程态制备具有经典信息消耗量少, 不需要Bell测量等优势; 和量子态的直接传输相比, 具有更高的安全性。我们基于高斯纠缠态, 结合高斯和非高斯操作, 实现了高斯态[1]和非高斯态[2]的远程制备, 如图一所示。Alice将双模纠缠态的一个模式远程分发给Bob, Alice通过对其拥有的模式进行高斯投影操作, 在Bob端实现了压缩态的远程制备和压缩方向的远程操控[1]。随后, Alice对其拥有的模式进行减光子操作, 在Bob端实现了具有Wigner负值的非高斯态的远程制备, 并且我们实验验证了Bob对Alice的量子导引是Bob端获得具有Wigner负值的非高斯态的充要条件[2]。进一步, Alice对其拥有的模式进行减光子操作和高斯投影测量, 在Bob端实现了光学猫态的远程制备。我们的研究成果为基于高斯纠缠的远程量子信息处理提供了必要的量子资源。

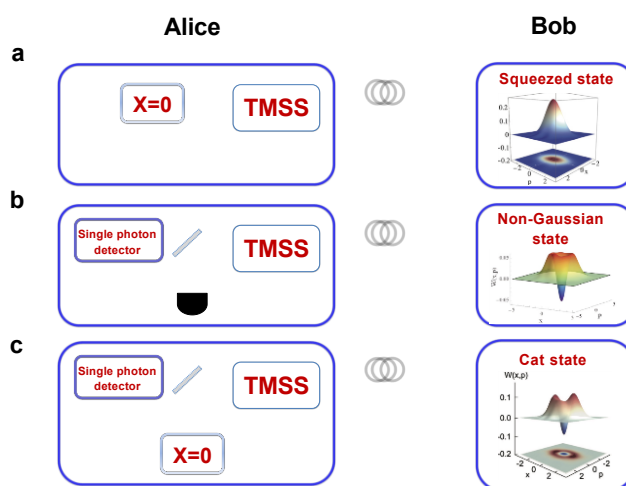


图1 基于高斯纠缠态的远程态制备示意图。

(a)压缩态远程制备。(b)非高斯态远程制备。(c)猫态远程制备。

关键词: 量子纠缠, 远程态制备, 压缩态, 非高斯态, 猫态,

参考文献

[1] Dongmei Han, et al, Remote preparation and manipulation of squeezed light, Opt. Lett, 47, 3295 (2022).

[2] Shuheng Liu, et al, Experimental demonstration of remotely creating Wigner negativity via quantum steering, Phys. Rev.Lett, 128, 200401 (2022).

利用表面等离激元探针对不同偏振取向的单光子源进行近场调控

刘晓婧，吴赞琨，朱文光，任希锋等

安徽省合肥市包河区金寨路中国科学技术大学，230026

lxj2018@mail.ustc.edu.cn

单光子源作为光学量子信息过程的核心资源之一，在量子计算、量子模拟、量子通信、量子精密测量等领域发挥着重要作用。对单光子源辐射特性的调控是量子信息处理过程中极为重要的一部分，表面等离激元是实现这一过程的理想工具之一。它能够将光场束缚在亚波长范围内，显著提高模式密度，从而增强与单光子源的相互作用，而且可以利用它的光场矢量性质，深入研究调控过程中的偏振敏感性。在这项工作中，我们利用一根光纤锥和银纳米线集成得到表面等离激元探针，由于其对偏振比较敏感，在与不同偏振取向的单光子源发生近场相互作用时，调控局域光场的能力不尽相同。因此，通过控制探针和单光子源之间的光-物质相互作用，可以达到调节单光子源寿命的目的。光纤锥和银纳米线的表面非常光滑，而且光纤锥的尖端逐渐变细，银纳米线上传输的光可以绝热地耦合进光纤中，因此这种新型探针的收集效率远高于传统的近场光学探针。考虑到单光子源具有不同的偏振方向，在实际应用中它们各有优势。将表面等离激元探针落到单光子源的近场范围内，仅需控制两者之间的相对位置，就可以实现不同程度的调制：对具有面外偏振分量的单光子源来说，辐射寿命显著降低（Purcell factor约为7），同时荧光强度显著增强；对具有平面内偏振取向的单光子源来说，在水平方向上移动探针可以动态调节寿命增加或减少，平均调制幅度范围约为0.69-1.23（取决于探针和单光子源的相对位置）。这项工作通过实验测量结合数值模拟和理论分析，系统而深入地揭示了该过程中光与物质相互作用的强偏振依赖性，为纳米光子器件和集成电路的设计和发​​展提供了新的可能。该项研究还为新兴的量子信息技术的发展提供了新的应用工具，如在室温下获得更亮的单光子源；对纳米尺度的单发光点进行更加灵活精准，乃至突破衍射极限的局域调控；利用表面等离激元探针进行矢量光场的分析和探测等等。

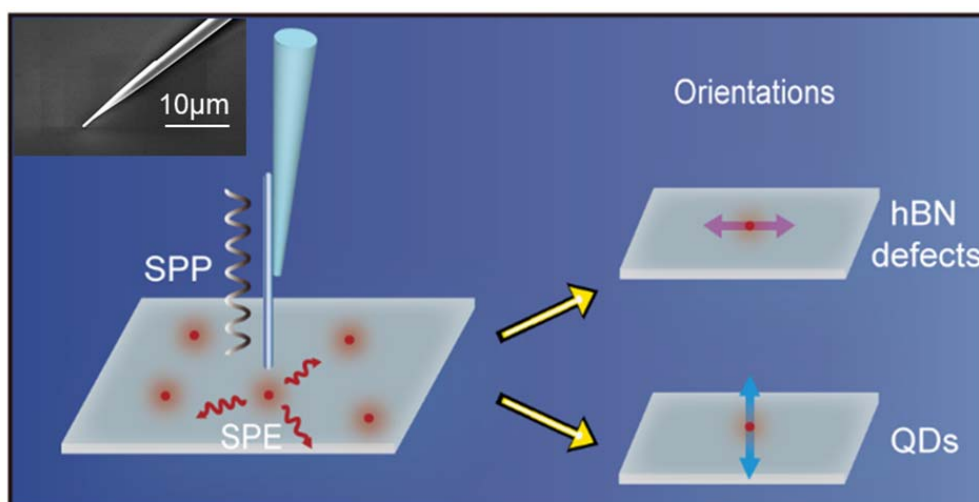


图1 表面等离激元探针在近场范围内调控单光子源辐射特性的示意图，插图为探针的扫描电子显微镜图像。

关键词：单光子源，表面等离激元，偏振，近场

参考文献

- [1] Xiao-Jing Liu et al., Near-field Modulation of Differently Oriented Single Photon Emitters with A Plasmonic Probe, Nano Lett. 22(6), 2244 (2022).

微环谐振腔产生轨道角动量的单光子源

陈波^{1,2}, 刘进^{1,2}, 王雪华^{1,2}

1 中山大学光电材料与技术国家重点实验室, 广东 广州 510275

2 中山大学物理学院, 广东 广州 510275

chenb255@mail.sysu.edu.cn

提升量子光源在量子信息处理方面的编码容量是量子技术发展亟需解决的问题。轨道角动量作为光子一个独特的自由度, 其空间模式分布会形成无限维完备的希尔伯特空间正交解, 因此利用光子的轨道角动量进行编码可以极大地提高信息处理的容量, 是高维量子信息处理的重要资源。常用的产生携带轨道角动量的单光子都是由非线性过程概率性的产生^[1], 且效率很低, 成为制约高维量子信息处理的主要瓶颈。我们提出将量子点嵌入角向光栅微环谐振腔中的微纳集成量子光源结构, 使量子点与具有轨道角动量的微腔模式实现高效耦合, 增强量子点的发光效率和角向光栅对单光子的向上散射。利用荧光成像精确定位技术和微纳加工制备技术, 实现了量子点在角向光栅微环谐振腔中的精确定位, 在国际上制备出光源亮度达0.23(4)的高亮度触发式轨道角动量单光子发射器件^[2], 如图1所示。该携带轨道角动量出射的单光子源其单光子纯度接近90%, 轨道角动量模式纯度达到理论值的80%左右。

该研究工作是首次在芯片上实现携带轨道角动量的单光子发射, 为推进量子光源性能的按需调控和高维量子信息处理迈出了非常重要的一步。此外, 该器件与半导体加工工艺兼容, 具有器件尺寸小, 可集成、可扩展的优势。有望应用于芯片上的高维量子通信、量子计算、量子存储等领域, 对于发展具有更高信息容量和更高安全性的量子信息技术具有重要意义。

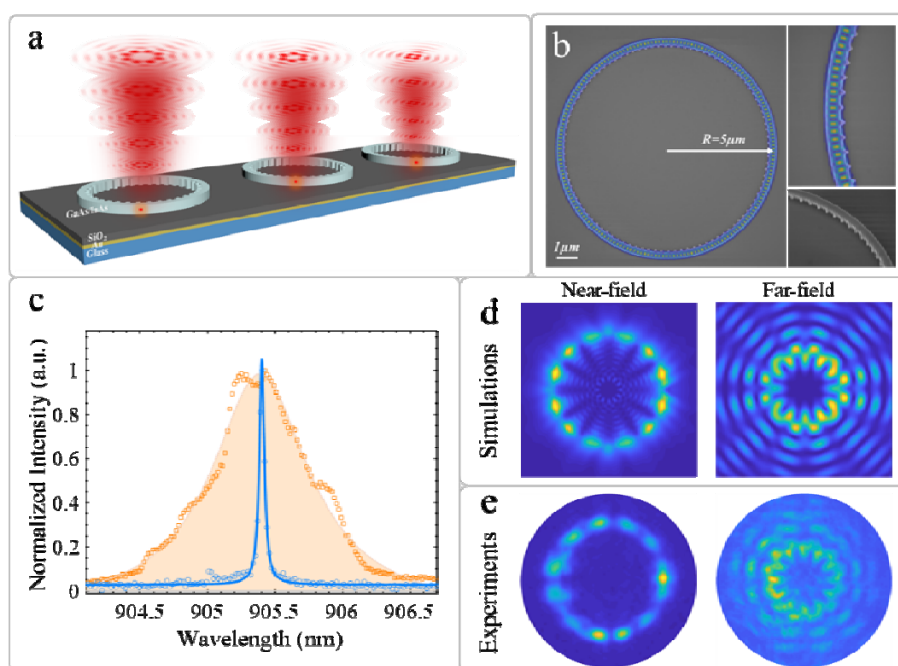


图1. (a) 嵌入量子点的微环谐振腔产生携带OAM量子叠加态的单光子源示意图. (b) 样品SEM图. (c) 量子点和腔模耦合谱线. (d-e) 仿真和实验测量携带轨道角动量量子叠加态单光子的近场和远场分布.

关键词: 轨道角动量; 微环谐振腔; 单光子源; 量子点.

参考文献

- [1] Wang, X.L., Luo, Y.H., Huang, H.L., Chen, M.C., Su, Z.E., Liu, C., Chen, C., Li, W., Fang, Y.Q., Jiang, X. and Zhang, J., 18-qubit entanglement with six photons' three degrees of freedom. *Physical Review Letters*, 120(26), 260502 (2018).
- [2] Chen, B., Wei, Y., Zhao, T., Liu, S., Su, R., Yao, B., Yu, Y., Liu, J. and Wang, X., Bright solid-state sources for single photons with orbital angular momentum. *Nature Nanotechnology*, 16(3), 302-307 (2021).

自旋轨道耦合玻色爱因斯坦凝聚体的 Quench 动力学

张永生 刘胜 张欢

合肥市中国科学技术大学量子信息实验室 230026

yshzhang@ustc.edu.cn

碱金属冷原子气体形成的玻色爱因斯坦凝聚体（BEC）作为宏观量子物质，有良好的相干性。由拉曼型激光耦合引入自旋轨道耦合，从而产生人工规范势后，利用冷原子BEC可以研究许多重要的物理模型。我们在理论上通过有限时间调整自旋轨道耦合BEC的Rabi振荡频率，发现可以研究两种典型的非平衡动力学现象：（1）Rabi频率有限时间内穿过零动量相和平面波相的相变点，由于Z2对称破缺，会产生KZ机制。（2）Rabi振荡相位的突变，会导致法拉第波的产生。

关键词：玻色爱因斯坦凝聚，KZ机制，法拉第波

参考文献

- [1] Sheng Liu and Yongsheng Zhang, Quench dynamics in a trapped Bose-Einstein condensate with spin-orbit coupling, Phys. Rev. A 99, 053609 (2019).
- [2] Chang-Rui Yi, Sheng Liu, Rui-Heng Jiao, Jin-Yi Zhang, Yong-Sheng Zhang, and Shuai Chen, Exploring Inhomogeneous Kibble-Zurek Mechanism in a Spin-Orbit Coupled Bose-Einstein Condensate, Phys. Rev. Lett. 125, 260603 (2020).
- [3] Huan Zhang, Sheng Liu, and Yong-Sheng Zhang, Faraday patterns in spin-orbit-coupled Bose-Einstein condensates, Phys. Rev. A 105, 063319 (2022).

多光子反事实量子调控

李征鸿

上海宝山区上大路 99 号, 上海大学理学院物理系, G409, 200444

refirefox@shu.edu.cn

基于无相互作用测量[1]和量子芝诺效应[2,3], 人们已经发现信息可以不依赖任何实际载体来远程传输。该传输过程不需要预制纠缠, 而且整个传输过程中, 通讯双方之间既没有任何物质粒子交换, 也没有任何能量交换[4]。这便是反事实量子直接通讯。该理论已经在2017年被实验所验证[5,6]。

反事实量子直接通讯的物理本质是通过多重量子测量对一个局域的单光子实施非局域量子调控。对于处于路径叠加态的单光子来说, 对其所处的某一个路径状态作测量, 如果没有发现光子则意味着光子态必然塌缩到了另一个路径上, 从而观测行为对光子的路径状态产生了非局域的影响。而通过采用多重量子测量, 并对量子测量的频率和顺序做设计, 我们便可以根据功能需求, 模拟任意的幺正矩阵, 从而并实现相应的、针对光子的非局域量子调控[7]。目前, 反事实量子调控的研究对象包括量子纠缠制备[8], 量子计算[9], 量子成像[10]等。这些功能都可以通过非局域的方式来远程调控实现。

从上述的介绍中, 我们可以看到光子的量子性质在反事实量子调控中起到了非常重要的作用。事实上, 目前所有反事实量子调控研究都局限于对单光子的调控。而在本工作中, 我们对这一限制条件做了研究和拓展[11]。我们的进一步研究表明, 单光子源并不是反事实量子调控实现的必要条件。事实上对于多光子光场, 甚至包括强相干光场, 它们都可以通过多重量子测量被非局域调控。这意味着, 相干光场可以被视作为一个整体, 像一个单光子般行为。在具体的工作中, 我们首先给出针对任意光子数分布的光场实现反事实量子调控的理论条件。我们同时分析说明, 量子测量在反事实量子理论中的核心作用。在此基础上, 我们也对验证性实验展开了探讨。我们的研究显示, 即便基于现有的实验条件, 强相干光源的反事实量子现象也是有可能被观测到的。

我们的工作不仅能进一步加深对非局域量子现象[12]的研究认识, 同时也有望在未来被使用于通讯加密, 隐蔽测量等实际应用中。

关键词: (量子调控, 非局域性, 量子测量, 反事实量子直接通讯, 量子芝诺效应)

参考文献

- [1] A. C. Elitzur, and L. Vaidman, *Found. Phys.* **23**, 987 (1993).
- [2] P. G. Kwiat, H. Weinfurter, T. Herzog, A. Zeilinger, and M. A. Kasevich, *Phys. Rev. Lett.* **74**, 4763 (1995).
- [3] O. Hosten, M. T. Rakher, J. T. Barreiro, N. A. Peters, and P. G. Kwiat, *Nature* **439**, 949 (2006).
- [4] H. Salih, Z.-H. Li, M. Al-Amri, and M. S. Zubairy, *Phys. Rev. Lett.* **110**, 170502 (2013).
- [5] Y. Cao, Y.-H. Li, Z. Cao, J. Yin, Y.-A. Chen, H.-L. Yin, T.-Y. Chen, X. F. Ma, C.-Z. Peng, and J.-W. Pan, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **114**, 4920 (2017).
- [6] C. Liu, J.-H. Liu, J.-X. Zhang, and S.-Y. Zhu, *Sci. Rep.* **7**, 10875 (2017).
- [7] Z.-H. Li, M. Al-Amri, X. H. Yang, and M. S. Zubairy, *Phys. Rev. A* **100**, 022110 (2019).

- [8] Q. Guo, L.-Y. Cheng, L. Chen, H.-F. Wang, and S. Zhang, *Sci. Rep.* **5**, 8416 (2015).
- [9] Z. Cao, *Phys. Rev. A* **102**, 052413 (2020).
- [10] J. R. Hance and J. Rarity, *npj Quantum Information* **7**, 88 (2021).
- [11] Z.-H. Li, S.-Y. Feng, M. Al-Amri, and M. S. Zubairy, *arXiv:2202.03935v1* (2021).
- [12] Y. Aharonov, and D. Rohrlich, *Phys. Rev. Lett.* **125**, 260401 (2020).

Effects of counter-rotating-wave terms on the noisy frequency estimation

Wei Wu (吴威)

Key Laboratory of Theoretical Physics of Gansu Province and Lanzhou Center for Theoretical Physics, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

E-mail : wuw@lzu.edu.cn

Abstract : Quantum metrology aims at acquiring an ultrahigh-precision estimation of a quantity of interest by making use of certain quantum resources, which have no classical counterparts. Quantum entanglement, quantum squeezing as well as quantum criticality are the most common resources employed in the scheme of quantum metrology. Unfortunately, the superiority of quantum metrology is usually destroyed by decoherence, which is induced by the inevitable interaction with the surrounding environment. Almost all the present studies of noisy quantum metrology have restricted their attention to the pure dephasing mechanism or the rotating-wave approximation. The effect of counter-rotating-wave terms on the performance of quantum metrology remains indistinct.

In this talk, I shall report our recent work [1]. We find the counter-rotating-wave terms are able to boost the noisy quantum metrological performance in the intermediate- and strong-coupling regimes, whether the dissipative environment is composed of bosons or fermions. The results presented in this paper may pave the way to design a high-precision quantum estimation scenario under practical decoherence.

Key words: Counter-rotating-wave terms, Quantum metrology, Decoherence

[1] Ze-Zhou Zhang and Wei Wu, Effects of counter-rotating-wave terms on the noisy frequency estimation. Phys. Rev. A 105, 043706 (2022).

并行 EIT 冷却实现囚禁离子的近基态冷

张杰，张满超，谢艺，吴春旺，欧保全，陈婷，吴伟，陈平形

国防科技大学，湖南省长沙市开福区德雅路 109 号，410073

zj1589233@126.cm

我们从理论上和实验上证明了一个利用并行电磁感应透明效应冷却离子晶体的方案。这个方案对于冷却的限制条件相比于传统的电磁感应透明冷却更为简单，因此在原则上我们可以将任意带宽的离子运动模式冷却。实验上，我们采用单个到多个囚禁离子验证了这个冷却方案。我们观察到了4个离子所有运动模式的近基态冷却，最小声子数达到0.2。通过调节离子宏频率模拟模式宽带，我们可以在约5M带宽内实现离子的冷却，而标准的电磁感应透明冷却方案展示了受限制的冷却宽度。我们的方法实验实现非常简便，只需要对标准EIT的探测激光进行调制，因此可以适用于冷却各种各样的离子。我们的冷却方案为实现囚禁离子量子计算和模拟中离子的初始化提供了一个强有力的工具。

关键词：EIT冷却，囚禁离子，量子信息

参考文献

[1] Jie Zhang, Man-Chao Zhang, Yi Xie, Chun-Wang Wu, Bao-Quan Ou, Ting Chen, Wan-Su Bao, P. C. Haljan, Wei Wu, Shuo Zhang and Ping-Xing Chen, Physical Review Applied (accepted).

量子系统动力学演化的速率极限

孙舒宁¹, 郑雨军*

山东省济南市历城区山大南路 27 号山东大学物理学院, 250100

yzheng@sdu.edu.cn

量子体系中量子态演化的最大速率或从一个量子态演化到另外一个不同量子态的最短时间是多
少? 怎样实现量子系统中量子态演化的演化加速? 该问题在量子物理的一些研究领域具有重要的科
学意义。如: 量子通信、量子计算要依赖量子态的快速反转以实现超快的计算速度; 提高量子态演
化速度以实现量子系统状态和动力学过程的最优控制等; 同时在量子热力学、量子熵减及熵产率
等领域也具有重要的意义。

量子体系的动力学演化由薛定谔方程给出, 但薛定谔方程并不能直接确定量子体系动力学演化
的速率极限。因此, 人们发展了不同类型的量子速率极限: 1945年 Mandelstam 和 Tamm 给出量子
体系从一个量子态演化到与其正交量子态的最短时间与体系能量不确定度的关系——
Mandelstam-Tamm 界 (MT bound) [1]。1998年, Margolus 和Levitin建立了该时间与量子体系能量
平均值的关系——Margolus-Levitin 界 (ML bound) [2]。此后, 人们把上述量子速率极限推广至开
体系、多体量子体系等[3,4], 并广泛研究了加速量子体系演化的物理内禀因素以及量子纠缠、量子
相干、量子体系非马尔可夫性等对量子速率极限界的影响等。

我们基于量子力学几何性以及其规范不变性, 建立了一种不同于上述 MT、ML 界的量子系统
最大演化速率的界限: 建立了量子系统演化速率与广义潘氏联络以及几何相位的关系, 为操控量子
体系的几何演化、加速几何量子计算等提供了潜在方案和途径, 对理解量子熵减等问题具有科学意
义[5]。随后, 我们又基于量子力学几何性质, 应用希尔伯特空间动力学李群理论, 将 MT、ML 以
及之前建立的新的量子速率极限界联立, 建立发展了量子速率极限统一界: 用量子体系相位变化率
度量量子系统演化速率极限, 同时, 阐释了此前已有的不同类型量子速率极限界所蕴涵的物理含义:
若量子体系的动力学演化仅满足薛定谔方程, 其动力学演化的量子速率极限由 MT 界给出; 若量子
体系的动力学演化是满足薛定谔方程的(类)测地线演化, 其动力学演化的量子速率极限由 ML 界
给出; 如果量子体系的动力学演化是满足薛定谔方程的平行演化, 其动力学演化的量子速率极限由
我们在 2019 年所发展的极限界给出。该研究建立了量子体系动力学演化速率极限与薛定谔方程的
对应: 量子体系的动力学演化由薛定谔方程给出, 与此相应的量子速率极限则由动力学演化所积累
相位的变化率确定[6]。

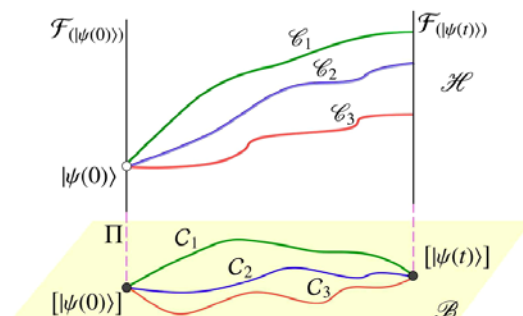


图 1 量子体系在希尔伯特空间 H 中的演化及其在底流形 B 中的投影示意图。

关键词：量子速率极限，几何相位，量子速率极限统一界，相位变化率，测地线

参考文献

- [1] Mandelstam L., Tamm I., The uncertainty relation between energy and time in non-relativistic quantum mechanics, J. Phys., 9, 249–254, 1945.
- [2] Margolus N., Levitin L., The maximum speed of dynamical evolution, Physica D, 120, 188, 1998.
- [3] del Campo A., Egusquiza I., Plenio M. et al., Quantum speed limits in open system dynamics, Phys. Rev. Lett., 110, 050403, 2013.
- [4] Deffner S., Lutz E., Quantum speed limit for non-Markovian dynamics, Phys. Rev. Lett., 111, 010402, 2013.
- [5] Sun S., Zheng Y., Distinct bound of the quantum speed limit via the gauge invariant distance, Phys. Rev. Lett., 123, 180403, 2019.
- [6] Sun S., Peng Y., Hu X., Zheng Y., Quantum speed limit quantified by the changing rate of phase, Phys. Rev. Lett., 127, 100404, 2021.

里德堡原子在微波传感与自组织模拟中的应用

刘宗凯

安徽省合肥市金寨路 96 号 中国科学技术大学 230026

lzk1997@mail.ustc.edu.cn

摘要正文：由于多频微波电场在实际应用中的复杂干扰，多频微波电场的识别具有挑战性。在最近的工作中，我们通过将里德堡原子与深度学习模型相结合来解决这个问题，利用里德堡原子接收通信信号，并使用机器学习模型识别信号。该工作利用了里德堡原子的灵敏度，同时在不求解主方程的情况下减少了噪声的影响[1]。在本次演讲中，我将首先谈谈里德堡原子在量子模拟和量子计量中的一些应用。接下来，介绍了里德堡原子在多频微波传感和自组织模拟中的应用，最后给出将来的工作方向。

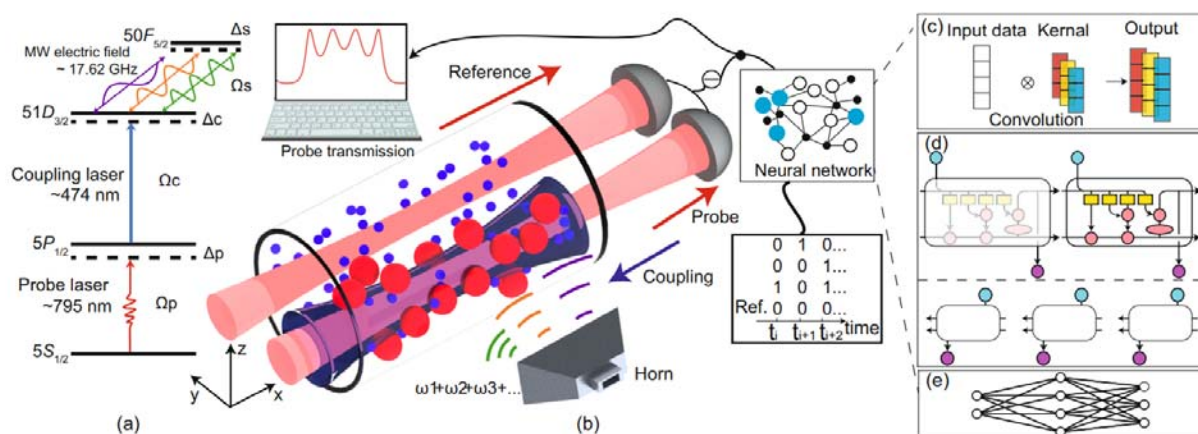


图1 实验装置图。(a)为实验能级图；图(b)为装置图，光路为电磁诱导透明配置与多频率微波耦合里德堡能级。机器学习模型从透射谱中识别出信号；(c-e)为机器学习模型。

关键词：里德堡原子、多频率微波、深度学习

参考文献

[1] Liu, ZK., Zhang, LH., Liu, B. et al. Deep learning enhanced Rydberg multifrequency microwave recognition. Nat Commun 13, 1997 (2022).

结合连续变量和离散变量技术的混合量子信息处理

苏晓龙

山西大学光电研究所，量子光学与光量子器件国家重点实验室

山西省太原市坞城路 92 号 030006

suxl@sxu.edu.cn

摘要正文： 根据所采用的量子变量不同，量子信息分为离散变量和连续变量两大类。基于光学体系的离散变量和连续变量量子信息各有优缺点，并行发展。混合量子信息处理结合离散变量和连续变量的技术实现量子信息处理，能够突破离散变量和连续变量量子信息各自的限制。我们在连续变量量子资源的基础上，结合减光子技术，开展混合量子信息处理。我们通过从压缩真空态中减光子实验制备了光学薛定谔猫态，随后，通过在线压缩操作实现了压缩猫态的制备和操控。近期，我们基于远程分发的高斯纠缠态，通过本地减光子操作，实验实现了非高斯态和光学猫态的远程制备，为远程量子信息处理提供了量子资源。此外，我们提出了一种结合离散变量和连续变量量子密钥分发系统的混合量子密钥分发网络，为实用化量子密钥分发网络提供了一种有效途径。

关键词： 压缩态，减光子，混合量子信息，量子密钥分发

高功率全固态单频连续波激光器研究进展

卢华东、苏静、彭堃堃

量子光学与光量子器件国家重点实验室，山西大学光电研究所，山西省太原市坞城路 92 号，030006

luhuadong@sxu.edu.cn

摘要正文： 全固态单频连续波激光器，具有高光束质量、低噪声、窄线宽以及高相干性等优点，在原子物理、精密测量、激光雷达和激光制导等基础研究及国防和军事领域中有广泛重要应用。随着科学技术的飞速发展，已有的单频激光器不能满足量子技术、量子测量和量子光学等新兴科学和技术发展需求。因此，急需探索新的理论技术和方法大幅度提升单频激光器的整体性能。长期以来，国外产品一直垄断着我国市场，对我国进行严格的技术封锁，尤其是对我国的国防领域实行严格禁运，严重阻碍了我国科学技术的快速发展。因此，发展具有完全自主知识产权的高功率低噪声全固态单频连续波激光器一直是我国长期以来的国家战略需求。课题组根据国家需求和科技前沿的发展，提出了利用非线性光学效应大幅度提升全固态单频连续波激光器的整体性能，并形成了一套新的理论设计、关键技术和方法。在此基础上开发了一系列具有完全自主知识产权的高功率低噪声全固态单频连续波激光器，建立起激光器转化基地并形成批量生产能力。提升了我国在精密光学仪器领域中的研制和开发水平，为我国在关键仪器实现国产化，打破国外禁运方面提供了强有力的支撑。



图1 全固态单频连续波激光器

关键词： 激光器，单频，非线性损耗，低噪声

参考文献 Yongrui Guo

- [1] Yongrui Guo et al., Realization of a 101 W single-frequency continuous wave all-solid-state 1064 nm laser by means of mode self-reproduction, *Optics Letters* 43(24), 6017 (2018).
- [2] Yongrui Guo et al., Influence of the pump scheme on the output power and the intensity noise of a single-frequency continuous-wave laser, *Optics Express* 28(4), 5866 (2020).

通信波段下非线性材料中多种类自发参量下转换

刘希宇 於亚飞 魏正军 赵天明 王金东

华南师范大学，广东省量子调控工程与材料重点实验室，广东省微纳光子
功能材料与器件重点实验室，信息光电子科技学院。广州 510006

邮箱 zhaotm@scnu.edu.cn, 2020022312@m.scnu.edu.cn

摘要正文：自发参数下转换是量子光学实验中的一项重要技术。本文分析和计算了几种典型的周期性极化非线性材料中的各种准相位匹配过程。此外，提出了在单片材料中实现多种类型的准相位匹配的方法。最后，讨论了通过Sagnac干涉仪制备多个纠缠光子对的光路设计，该设计基于通信C波段，既节省资金又节省空间。我们的工作结果可进一步应用在大都市规模的部署光纤上的纠缠分布。

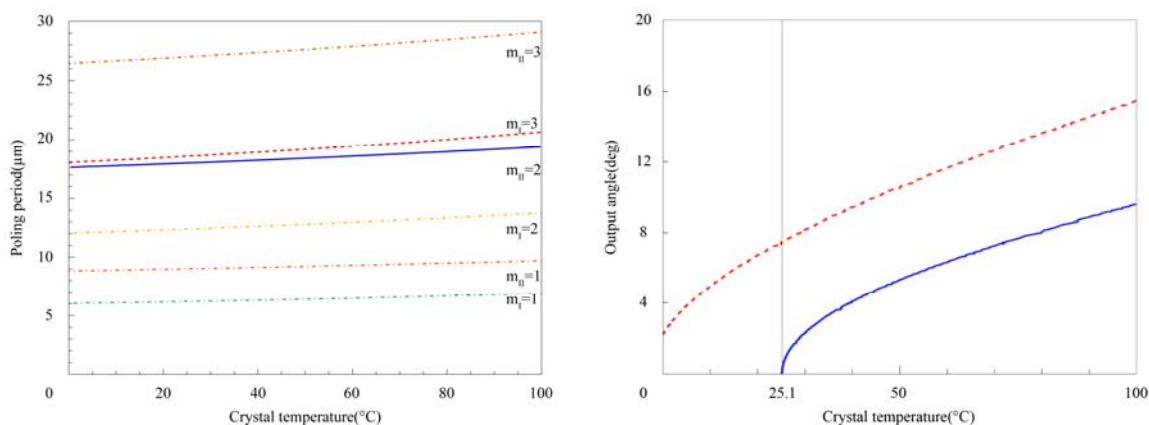


图1 实验原理

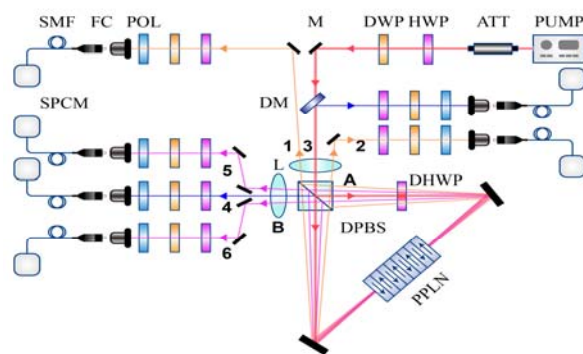


图2 实验光路

关键词：量子光学，量子纠缠源，自发参量下转换

参考文献

[1] Marco G. Research on hidden variable theories: A review of recent progresses[J]. Physics Reports, 413(6): 319-396,

(2005).

[2] Jin R-B, Takeoka M, Takagi U, et al. Highly efficient entanglement swapping and teleportation at telecom wavelength[J]. Scientific Reports, 5(1): 9333, (2015).

[3] Briggs I, Hou S, Cui C, et al. Simultaneous type-I and type-II phase matching for second-order nonlinearity in integrated lithium niobate waveguide[J]. Optics Express, 29(16): 26183-26190, (2021).

A Scheme for Deterministic N -photon State Generation Using Lithium Niobate on Insulator Device

刘华颖*, 尚鸣昊*, 刘晓翌, 韦颖, 米铭灏, 张利剑, 龚彦晓†, 谢臻达‡, 祝世宁

National Laboratory of Solid State Microstructures, School of Electronic Science and Engineering, School of Physics, College of Engineering and Applied Sciences, and Collaborative Innovation Center of Advanced Microstructures, Nanjing University, Nanjing 210093, China

†gongyanxiao@nju.edu.cn ‡xiezhenda@nju.edu.cn

量子信息在原理上可以在计算速率、通信安全性以及计量精度等方面带来革命性的提升,而大规模量子态的制备是实现以上量子信息应用的关键之一。制备量子态的系统有很多,如超导电子系统、离子阱系统、光子系统等等。其中,光子被称为“飞翔的量子比特”,其在室温下就具有极长的相干时间,便于实现各种量子态的操控,因此适合完成各种量子信息的应用。但是,由于光子在常规材料中的相互作用弱,因此大规模光子态的制备仍旧是一个亟待解决的问题。目前,非线性相互作用是建立光子间相互作用最有效的方法。使用自发参量下转换(SPDC)或自发四波混频(SFWM),可以直接生成双光子态,但这种过程是概率性的。这种概率性导致多光子态的产率随光子数的增加而呈现指数下降,因而难以真正实现大规模量子态制备。一种根本性的解决方案是实现确定性的双光子态生成,然后通过级联此过程来制备确定性的 N 光子态。此前有研究者提出过类似理念,但都仅基于理想的二阶或三阶非线性材料的假设,难以实际实现。

近年来,铌酸锂薄膜(LNOI)材料,由于其具有超高的二阶非线性相互作用以及损耗极低的巨大优势,受到众多研究者的广泛关注。在此,基于 LNOI 平台,考虑到实际材料的非线性,我们提出了首个实验可行的确定性产生 N 光子态,且光子数不受限制的方案。该方案通过确定性参量下转换(DPDC)实现光子数倍增,然后分别将下转换后的各个光子通过确定性单光子上转换(DPUC)将频率转化回初始泵浦光子的频率,二者共同构成光子倍增模块(PDU),然后将多个 PDU 进行级联,即可实现由单光子态确定性制备 N 光子态。该 PDU 仅需要 Q 因子为 10^7 量级的 LNOI 微环谐振腔和 mW 级的片上泵浦激光功率,此前的实验工作已经证实了这些条件是可以实现的[2, 3]。将这种 PDU 和其他片上调控器件结合,可以制备各种可扩展的大规模量子态,如 cluster 态和 GHZ 态,以满足不同量子信息应用的需求。在本工作中,我们已经完成了大规模光子态制备方案的理论研究,后续通过 LNOI 片上器件加工和集成技术的提高,有望真正实验实现这一方案。

References:

- [1] Liu H Y, Shang M, Liu X, et al. A Scheme for Deterministic N -photon State Generation Using Lithium Niobate on Insulator Device. arXiv:2205.14956, 2022.
- [2] Gao R, Zhang H, Bo F, et al. Broadband highly efficient nonlinear optical processes in on-chip integrated lithium niobate microdisk resonators of Q -factor above 10^8 [J]. New Journal of Physics 23(12), 123027 (2021).
- [3] Zhang J, Fang Z, Lin J, et al. Fabrication of crystalline microresonators of high quality factors with a controllable wedge angle on lithium niobate on insulator[J]. Nanomaterials 9(9), 1218 (2019).

基于光纤信道的长距离确定性量子离物传态

冯晋霞, 孙婧可, 赵豪, 程琳, 李渊骥, 张宽收

山西大学光电研究所, 量子光学与光量子器件国家重点实验室, 030006

fengjx@sxu.edu.cn

摘要正文: 量子离物传态是量子信息领域最重要的协议之一, 可应用于量子通信中的量子中继器、量子计算, 在量子网络中发挥关键作用^[1]。我们利用单个 II 类位相匹配非简并光学参量振荡器实验制备了 1550 nm 光通信波段 Einstein-Podolsky-Rosen (EPR)量子纠缠态光源^[2]。将产生的 EPR 量子纠缠态光源在光纤信道中进行分发^[3], 并实现了基于光纤信道的长距离确定性连续变量量子离物传态^[4]。将一束 EPR 纠缠光束在 Alice 处与一束相干态进行联合测量, 另一束纠缠光束通过光纤信道传输到 Bob 处, 联合测量的经典信息对 Bob 处的纠缠光束进行平移变换, 实现基于光纤信道的远距离量子离物传态。当光纤传输距离为 10.0 km 时, 保真度可达到 0.51 ± 0.01 , 高于 1/2 的经典离物传态极限。当光纤传输距离为 2.0 km 时, 保真度可达到 0.68 ± 0.01 , 突破了 2/3 的量子不可克隆极限。该研究扩展了连续变量量子离物传态的传输距离, 也为建立基于光纤信道的城域量子通信网络提供了一种可行的方案。

关键词: 连续变量, 量子纠缠态光场, 光纤量子通信, 量子离物传态

参考文献

- [1] Pirandola S. et al., Advances in quantum teleportation, Nature photonics 9, 641 (2015)
- [2] Feng J. X. et al., Generation of 8.3 dB continuous variable quantum entanglement at a telecommunication wavelength of 1550 nm, Laser Phys. Lett. 15, 015209 (2018)
- [3] Feng J. X. et al., Distribution of continuous variable quantum entanglement at a telecommunication wavelength over 20 km of optical fiber, Opt. Lett. 42, 3399 (2017)
- [4] Zhao H. et al., Real time deterministic quantum teleportation over 10 km of single optical fiber channel, Opt. Express, 30(3), 3770 (2022)

基于热原子的高性能腔增强量子存储

马丽霞、雷兴、闫捷利、闫智辉、贾晓军、谢常德、彭堃堃

山西大学光电研究所，量子光学与光量子器件国家重点实验室，太原，030006

Email: mlx510138@163.com, jiaxj@sxu.edu.cn

摘要正文：量子科技是当今社会的一种新型技术革命，主要包括量子通信、量子计算、量子模拟、量子传感和量子精密测量等。量子存储器在量子科技中起着十分重要的作用，可以构建量子中继器实现远距离的量子通信^[1]，同步光量子计算中的概率性过程，提高量子精密测量的精度。因此，实现高效率、低噪声和高保真度的高性能量子存储是必需的。

我们提出了一种基于电磁感应透明效应（EIT）的腔增强量子存储^[2]。该实验将加热的铷泡置于光学谐振腔中进行量子存储，并结合时间模式反演理论，实现了高效率、低噪声、高保真度的量子存储^[3]，实验装置图如图 1 所示。在实验过程中，信号光通过波导调制器形成了最佳的输入波形（时间常数为 50ns 的 e 指数波形），谐振腔增强了光和原子的相互作用，从而提高了量子存储效率。当铷泡加热到 95℃时，量子存储效率达到了 78%。此外，谐振腔也可以抑制存储过程中的额外噪声，通过调节腔长，控制信号光共振于谐振腔模式，控制光近共振于谐振腔模式，从而使得四波混频引起的反斯托克斯光与谐振腔模式不共振，抑制了四波混频引起的额外噪声。利用平衡零拍探测系统，对释放光场的正交分量进行探测，测量得到存储过程中的额外噪声达到了量子噪声水平。并且对不同强度与位相的光学信号进行测量，其存储保真度均超越了经典边界，突破了经典光学存储极限，证明该腔增强存储系统具有量子性，可以工作在量子区域，实验结果如图 2 所示。该系统紧凑简单，适用于非经典光场的存储，为开发高性能量子存储提供了技术支撑，为实用化连续变量量子信息网络的构建提供了参考。

关键词：腔增强、电磁感应透明效应、存储效率、噪声、保真度

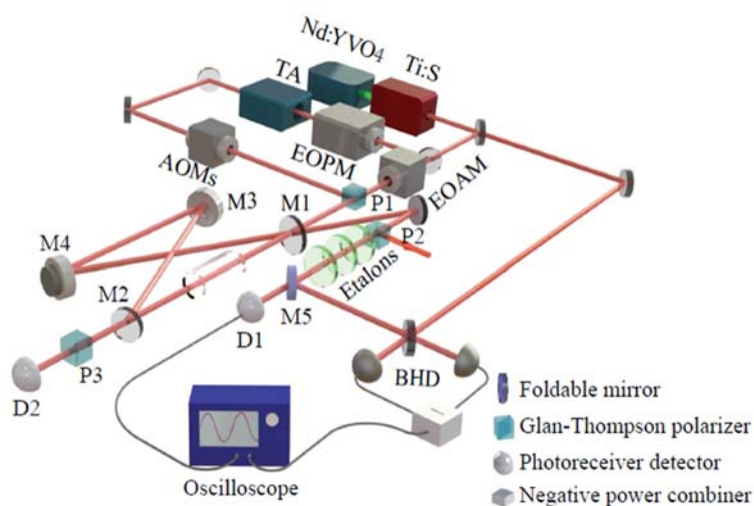


图 1 腔增强量子存储实验装置图

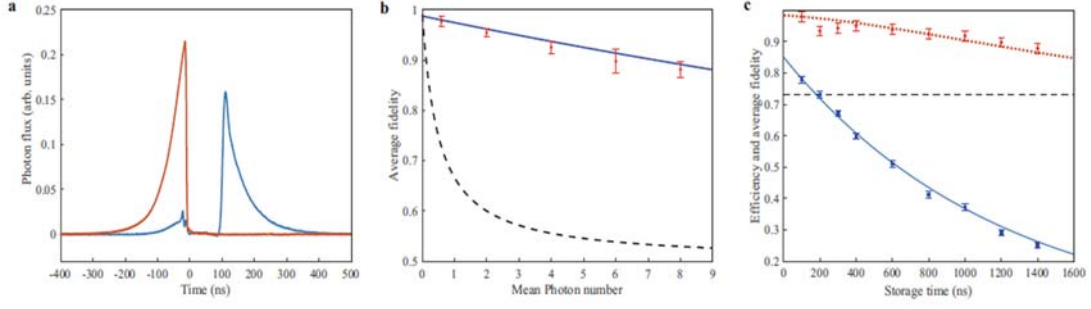


图2 腔增强量子存储实验结果图

(a)图表示对 e 指数波形进行 100ns 的存储后可以达到 78%的存储效率；(b)图表示平均保真度随平均光子数的变化，平均保真度一直大于保真度基准；(c)图表示存储效率和平均保真度随存储时间的变化，随着存储时间的增长，平均保真度一直高于保真度基准。

参考文献

- [1] Z. H. Yan, L. Wu, X. J. Jia, Y. H. Liu, R. J. Deng, S. J. Li, H. Wang, C. D. Xie, and K. C. Peng, Establishing and storing of deterministic quantum entanglement among three distant atomic ensembles, *Nat. Commun.* 8, 718 (2017).
- [2] Z. H. Yan, Y. H. Liu, J. L. Yan, and X. J. Jia, Deterministically entangling multiple remote quantum memories inside an optical cavity. *Phys. Rev. A* 97, 013856 (2018).
- [3] L. X. Ma, X. Lei, J. L. Yan, R. Y. Li, T. Chai, Z. H. Yan, X. J. Jia, C. D. Xie, and K. C. Peng, High-performance cavity-enhanced quantum memory with warm atomic cell, *Nat. Commun.* 13, 2368 (2022).

基于巨型原子的微波量子光学调控

王信

陕西省西安市咸宁西路 28 号西安交通大学物理学院

wangxin.phy@xjtu.edu.cn

巨型原子的研究大致从2014年开始，但该领域的进展迅速。巨型原子效应是超导量子电路系统中特有的现象。由于超导量子比特可以和光学/声学波导实现多点耦合，导致偶极近似不再成立，光子在多点耦合点之间传播会有相位差，因此巨型原子中存在明显的量子干涉效应。当耦合距离可以和辐射光子波包相比时，这时还有辐射延时的马尔可夫效应。

本次报告首先简介巨型原子的基本性质，并讨论其在超导量子电路中的实现。我们重点探讨巨型原子与波导耦合的奇异量子光学现象，并介绍近期我们在该领域的一些研究进展。这些包括手性束缚态、定向辐射和模拟有带隙的人工环境等。这些研究表明，巨型原子在微波光子调控中有着独特优势，可以实现很多超越传统原子的量子调控现象。这为超导量子电路中的光子调控提供了新思路。

关键词：巨型原子；量子干涉；束缚态

参考文献

- [1] X. Wang, T. Liu, A. F. Kockum, H.-R. Li, and F. Nori, Tunable Chiral Bound States with Giant Atoms, *Phys. Rev. Lett.* 126, 043602 (2021)
- [2] X. Wang and H.-R. Li, Chiral quantum network with giant atoms, *Quantum Sci. Technol.* 7, 035007 (2022)
- [3] W.-X. Liu, Y.-F. Lin, J.-Q. Li and X. Wang, Nonreciprocal Waveguide-QED for Spinning Cavities with Multiple Coupling Points, *Front. Phys.* 10, 894115 (2022)
- [4] X. Wang, Z.-M. Gao, J.-Q. Li, H.-B. Zhu, H.-R. Li, Unconventional Quantum Electrodynamics with Hofstadter-Ladder Waveguide, *arXiv:2203.10757*

高噪音抵抗能力高维量子通信

胡晓敏

中科院量子信息重点实验室

中国科学技术大学

huxm@ustc.edu.cn

摘要正文：量子纠缠一个重要的作用就是作为媒介来完成量子通信的任务，而量子纠缠分发过程中面临最大的困难在于如何减小噪声的干扰。高维纠缠的高噪音抵抗能力归结为两个方面：第一个方面是高维纠缠本身具有的高噪音抵抗能力。第二个方面是经过噪音信道之后，高维纠缠相对于二维纠缠往往可以剩下更多的纠缠量（Ebit），所以可以进行量子纯化，获得高保真度的二维纠缠。然而高维纠缠的分发面临着更多的技术挑战，以我们使用的路径纠缠为例，路径自由度属于光子的横模，远距离分发路径自由度面临的重大挑战在于如何保持不同路径之间的相干性和相位稳定性。针对高维量子通信的机遇和挑战，我们使用芯径之间相位稳定的多芯光纤，经过色散补偿，实现了11km的高维纠缠分发（Optica 7, 738 (2020)）。同时我们也通过使用子空间编码、多出口测量技术实现了基于高维纠缠的量子通信（PRL 127, 110505 (2021)）和量子纯化（PRL 126, 010503 (2021)），从而证明高维纠缠的高噪音抵抗能力。今年我们又实现了高维的无探测效率漏洞Bell测试（in preparation），我们制备的高维纠缠源的整体探测效率达到71.7%，保真度为0.995，这种技术将为高噪音抵抗能力的高维DI任务奠定坚实的基础。

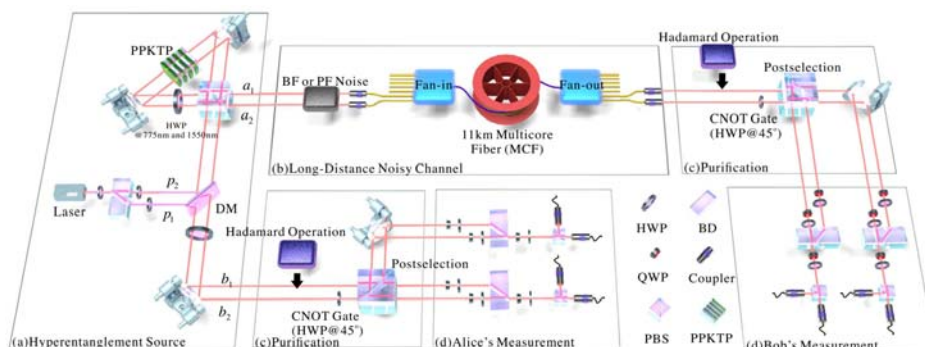


图1 高维纠缠远距离分发

关键词：量子通信 量子网络 高维量子纠缠

参考文献

- [1] Xiao-Min Hu, Cen-Xiao Huang, Yu-Bo Sheng, Lan Zhou, Bi-Heng Liu, Yu Guo, Chao Zhang, Wen-Bo Xing, Yun-Feng Huang, Chuan-Feng Li, Guang-Can Guo, Long-distance entanglement purification for quantum communication, Physical Review Letters 126 (1), 010503 (2021)
- [2] Xiao-Min Hu, Chao Zhang, Yu Guo, Fang-Xiang Wang, Wen-Bo Xing, Cen-Xiao Huang, Bi-Heng Liu, Yun-Feng Huang, Chuan-Feng Li, Guang-Can Guo, Xiaoqin Gao, Matej Pivoluska, Marcus Huber,

Pathways for entanglement-based quantum communication in the face of high noise, *Physical Review Letters* 127 (11), 110505 (2021)

- [3] Xiao-Min Hu, Chao Zhang, Bi-Heng Liu, Yu Guo, Wen-Bo Xing, Cen-Xiao Huang, Yun-Feng Huang, Chuan-Feng Li, and Guang-Can Guo, High-dimensional Bell test without detection loophole, in preparation (2022)

空间多模光场高保真度存储的实验研究

王程远

物理学院，西安交通大学 710049

wcy1992@xjtu.edu.cn

摘要正文：量子存储技术能够同步与整合分处异地的量子资源，是构建大规模量子网络及实现分布式量子计算的关键技术。空间多模光场可以用来进行高维信息的编码，实现其高保真度的存储能够提升量子通信速率，同时降低存储器对存储寿命的要求。目前常用的存储系统有热原子、冷原子、非线性晶体等。热原子系统相比于其他存储系统具有成本低廉、操作简单等优势，而且热原子池横向尺寸可控，非常适合空间大尺度多模光场的存储。但是热原子也存在一个明显的缺点，即在信息存储过程中，原子吸收空间多模光场后由于热运动会发生扩散，在信息读取阶段，原子的重新分布引起读出光场空间结构发生改变，这是限制热原子实现高保真度存储的主要原因。一般情况下，扩散在角谱空间可以等效为一个低通滤波器。空间多模光场在具有扩散运动的热原子介质中存储时由于高频分量被过滤掉而变得模糊，导致存储保真度低下。我们提出了两种有效方案来解决这一问题。首先，我们通过将任意空间多模光场的角谱调制为细环状的结构，这种光场在低通滤波后只会使其光场强度衰减，而不会影响空间分布，因而可以实现高保真度存储。其次，我们通过对存储系统中的探测光与控制光之间设定一定的夹角，将低通滤波器转换为中心频率可调谐的带通滤波器，使得光场高频分量得以通过，进而提高了存储保真度。

关键词：量子存储；空间多模光场；相干扩散

参考文献

- [1] O. Firstenberg, et al., Colloquium: coherent diffusion of polaritons in atomic media, *Rev. Mod. Phys.* 85, 941–960 (2013)
- [2] C. Wang, et al., Experimental investigation of light storage of diffraction-free and quasi-diffraction-free beams in hot atomic gas cell, *Front. Phys.* 17, 22503 (2022)
- [3] Y. Chen, et al., Angular dependency of spatial frequency modulation in diffusion media, *arXiv:2206.12580* (2022)

基于 Sagnac 环的简易连续变量量子密钥分发系统高斯调制方案

赵焕熹¹ 李华生³ 徐越寒¹ 黄鹏^{1,2} 王涛^{1,2,4} 曾贵华^{1,2,5}

1. 上海交通大学量子感知与信息处理研究所

2. 上海量子科学研究中心

3. 上海循态量子科技有限公司

4. tonystar@sjtu.edu.cn

5. ghzeng@sjtu.edu.cn

摘要正文:

简化光路一直是QKD发展的关键之一。通过对光路结构的简化，不仅可以降低系统的成本，还可以扩大QKD的使用场景。然而在以往的工作中，CV-QKD高斯调制方案中的发射机通常采用强度调制器和相位调制器级联的方式，导致偏置电压会随时间发生漂移，严重影响到系统的性能，且常需通过增加稳偏装置来解决此问题，进而增加了系统的复杂性。

针对上述问题，我们提出了基于简易高稳定调制结构的连续变量量子密钥分发（Continuous-Variable Quantum Key Distribution，简称CV-QKD）系统的方案。其核心技术是基于Sagnac环结构的高斯调制方案，通过在调制部分仅使用一个相位调制器（phase modulator, PM），解决了由强度调制器需要稳偏装置所引起的成本问题，且在长时间的工作中能保持高水平的稳定性，为新一代高稳定和低复杂度的CV-QKD系统提供了新的可能性。

我们利用Sagnac环结构，在高斯调制部分仅用到一个相位调制器，降低了实现的成本，同时也提高了系统的稳定性。具体而言，光载波脉冲经环形器和分束器后形成两个等功率的脉冲，分别沿着Sagnac环的顺时针和逆时针传输并被PM调制。调制后的顺时针和逆时针光脉冲同时回到分束器合成一束并经环形器向后传输。研究人员分别利用Anderson-Darling（AD），Jarque-Bera（JB）和Shapiro-Wilk（SW）正态分布检验方法对调制数据和接收数据进行检验分析，并采用线性回归对调制数据和接收数据进行数据一致性的评估。此外，我们进行了10小时的测试，记录与高斯性相关的参数变化（偏度，峰度，决定系数）。结果表明在长时间的工作中，数据依然可以保持较高的高斯性，且在50公里的传输距离下预期的安全密钥率可以维持在80kbps。

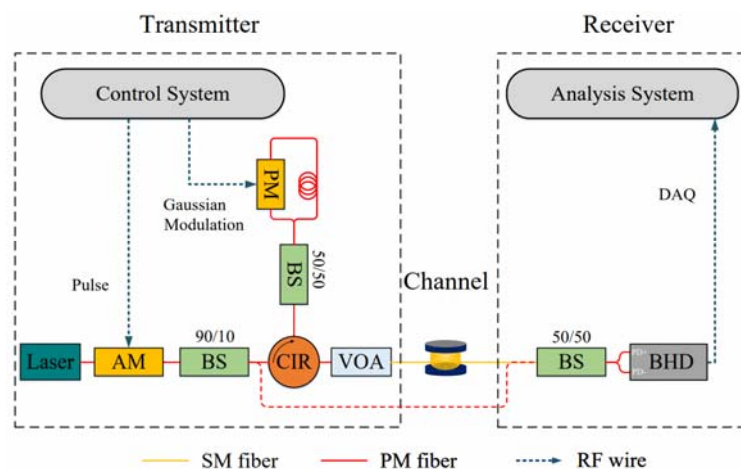


图1 简易化连续变量量子密钥分发系统方案

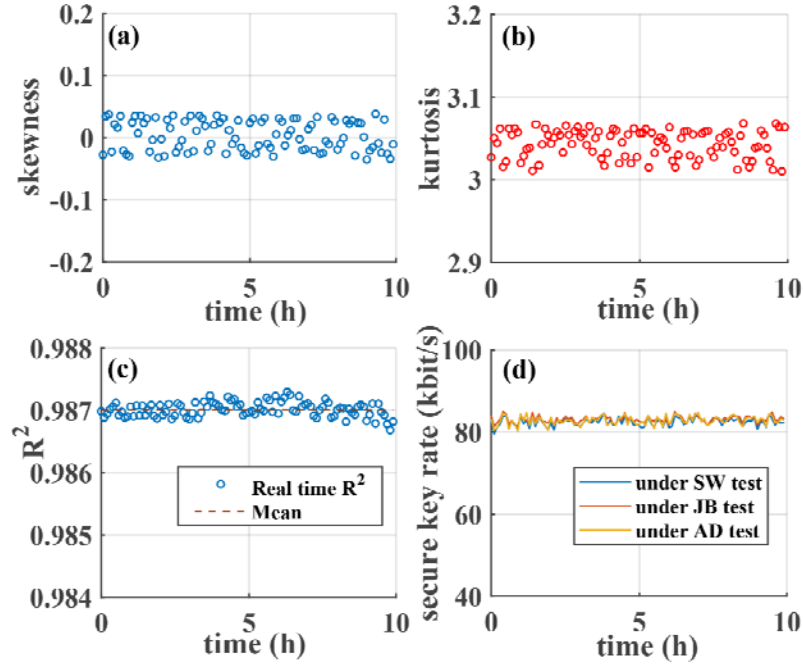


图2 10小时稳定性测试结果

关键词：连续变量量子密钥分发；高斯调制；Sagnac环

参考文献

- [1] N. Gisin, G. Ribordy, W. Tittel, and H. Zbinden, “Quantum cryptography,” *Rev. Mod. Phys.* 74, 145–195 (2002).
- [2] F. Grosshans and P. Grangier, “Continuous variable quantum cryptography using coherent states,” *Phys. Rev. Lett.* 88, 057902 (2002).
- [3] F. Grosshans, G. Van Assche, J. Wenger, R. Brouri, N. J. Cerf, and P. Grangier, “Quantum key distribution using gaussian-modulated coherent states,” *Nature* 421, 238–241 (2003).
- [4] C. Weedbrook, S. Pirandola, R. Garcia-Patron, N. J. Cerf, T. C. Ralph, J. H. Shapiro, and S. Lloyd, “Gaussian quantum information,” *Rev. Mod. Phys.* 84, 621–669 (2012).
- [5] S. Pirandola, S. L. Braunstein, and S. Lloyd, “Characterization of collective gaussian attacks and security of coherent-state quantum cryptography,” *Phys. Rev. Lett.* 101, 200504 (2008).
- [6] A. Leverrier, R. García-Patrón, R. Renner, and N. J. Cerf, “Security of continuous-variable quantum key distribution against general attacks,” *Phys. Rev. Lett.* 110, 030502 (2013).
- [7] A. Leverrier, “Composable security proof for continuous-variable quantum key distribution with coherent states,” *Phys. Rev. Lett.* 114, 070501 (2015).
- [8] P. Jouguet, S. Kunz-Jacques, A. Leverrier, P. Grangier, and E. Diamanti, “Experimental demonstration of long-distance continuous-variable quantum key distribution,” *Nat. Photonics* 7, 378–381 (2013).
- [9] D. Huang, P. Huang, D. Lin, and G. Zeng, “Long-distance continuous-variable quantum key distribution by controlling excess noise,” *Sci. Reports* 6, 19201 (2016).
- [10] Y. Zhang, Z. Chen, S. Pirandola, X. Wang, C. Zhou, B. Chu, Y. Zhao, B. Xu, S. Yu, and H. Guo, “Long-distance continuous-variable quantum key distribution over 202.81 km of fiber,” *Phys. Rev. Lett.* 125, 010502 (2020).
- [11] T. Wang, P. Huang, Y. Zhou, W. Liu, H. Ma, S. Wang, and G. Zeng, “High key rate continuous-variable quantum key distribution with a real local oscillator,” *Opt. Express* 26, 2794–2806 (2018).

- [12] H. Wang, Y. Pi, W. Huang, Y. Li, Y. Shao, J. Yang, J. Liu, C. Zhang, Y. Zhang, and B. Xu, “High-speed gaussian-modulated continuous-variable quantum key distribution with a local local oscillator based on pilot-tone-assisted phase compensation,” *Opt. Express* 28, 32882–32893 (2020).
- [13] G. Zhang, J. Y. Haw, H. Cai, F. Xu, S. M. Assad, J. F. Fitzsimons, X. Zhou, Y. Zhang, S. Yu, J. Wu, W. Ser, L. C. Kwek, and A. Q. Liu, “An integrated silicon photonic chip platform for continuous-variable quantum key distribution,” *Nat. Photonics* 13, 839–842 (2019).
- [14] X.-F. Mo, B. Zhu, Z.-F. Han, Y.-Z. Gui, and G.-C. Guo, “Faraday–michelson system for quantum cryptography,” *Opt. Lett.* 30, 2632–2634 (2005).
- [15] S. Wang, W. Chen, Z.-Q. Yin, D.-Y. He, C. Hui, P.-L. Hao, G.-J. Fan-Yuan, C. Wang, L.-J. Zhang, J. Kuang, S.-F. Liu, Z. Zhou, Y.-G. Wang, G.-C. Guo, and Z.-F. Han, “Practical gigahertz quantum key distribution robust against channel disturbance,” *Opt. Lett.* 43, 2030–2033 (2018).
- [16] T. K. Paraíso, I. De Marco, T. Roger, D. G. Marangon, J. F. Dynes, M. Lucamarini, Z. Yuan, and A. J. Shields, “A modulator-free quantum key distribution transmitter chip,” *npj Quantum Inf.* 5, 42 (2019).
- [17] I. D. Marco, R. I. Woodward, G. L. Roberts, T. K. Paraíso, T. Roger, M. Sanzaro, M. Lucamarini, Z. Yuan, and A. J. Shields, “Real-time operation of a multi-rate, multi-protocol quantum key distribution transmitter,” *Optica* 8, 911–915 (2021).
- [18] D. Ma, X. Liu, C. Huang, H. Chen, H. Lin, and K. Wei, “Simple quantum key distribution using a stable transmitter-receiver scheme,” *Opt. Lett.* 46, 2152–2155 (2021).
- [19] M. Dennis, I. Duling, and W. Burns, “Inherently bias drift free amplitude modulator,” *Electron. Lett.* 32, 547 – 548 (1996).
- [20] B. Qi and C. C. W. Lim, “Noise analysis of simultaneous quantum key distribution and classical communication scheme using a true local oscillator,” *Phys. Rev. Appl.* 9, 054008 (2018).
- [21] H. Li, C. Wang, P. Huang, D. Huang, T. Wang, and G. Zeng, “Practical continuous-variable quantum key distribution without finite sampling bandwidth effects,” *Opt. Express* 24, 20481–20493 (2016).
- [22] T. W. Anderson and D. A. Darling, “Asymptotic theory of certain goodness of fit criteria based on stochastic processes,” *The Annals Math. Stat.* 23, 193 – 212 (1952).
- [23] M. J. Carlos and K. B. Anil, “Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals,” *Econ. Lett.* 6, 255–259 (1980).
- [24] S. S. Shapiro and M. B. Wilk, “An analysis of variance test for normality (complete samples),” *Biometrika* 52, 591–611(1965).

高鲁棒和高灵活的非可信节点量子密钥分发网络

范元冠杰*, 卢奉宇, 王双, 银振强, 何德勇, 王泽浩, 滕俊, 周政, 陈巍,

郭光灿, 韩正甫

中科院量子信息重点实验室 中国科学技术大学 合肥 230026

fanygj@ustc.edu.cn

摘要正文: 作为量子互联网的关键角色, 量子密钥分发(QKD)网络可为多用户提供无条件安全的通信保障。其中, 测量设备无关(MDI)协议具有免疫测量设备侧信道漏洞的优势, 是提高QKD网络现实安全性、推动量子互联网向非可信节点网络跨越的重要桥梁[1]。MDI网络的实用化必须满足多用户场景下的可用性和鲁棒性需求。围绕该核心诉求, 我们此前提出了无需硬件改动的MDI非独立组网方案[2], 可基于现有的BB84网络基础设施实现MDI协议, 有助于降低MDI系统的部署成本, 推动MDI网络化。在此基础上, 我们进一步围绕MDI网络化的具体需求研究未来MDI系统的组网形态, 完成了免偏振补偿的参考系与测量设备双无关网络的构建[3]。在该实验中, 我们通过设计新型Sagnac–Mach–Zehnder编码器、免偏振补偿Bell态测量装置和基于偏振的被动组网方案, 可将参考系无关协议的高实用性、测量设备无关协议的高安全性、免偏振补偿方法的高鲁棒性和多用户组网的高可用性相融合, 从而完成多用户的密钥同步分发, 并免除偏振和参考系校准需求, 显著提升高用户容量时网络的运行效率和抗信道干扰能力。该系列工作将助力MDI网络的实用化, 有力推动量子互联网向下一阶段发展。

关键词: 量子网络; 量子密钥分发; 测量设备无关

参考文献

- [1] Wehner S. et al., Quantum internet: A vision for the road ahead, *Science* 362, 303 (2018).
- [2] Guan-Jie Fan-Yuan, et al., Measurement-device-independent quantum key distribution for non-standalone networks, *Photonics Research* 9, 1881-1891 (2021) Editors' Pick
- [3] Guan-Jie Fan-Yuan, et al., A robust and adaptable quantum key distribution network without trusted nodes, *Optica*, Accepted

Optical isolator based on backward Brillouin scattering

马胜利

School of physics, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China

msl1987@xjtu.edu.cn

摘要正文:

We propose to realize an optical isolator based on backward Brillouin scattering in a whispering-gallery-mode (WGM) cavity that supports both traveling optical and acoustic waves. When the WGM cavity is optically driven in one direction, the time-reversal symmetry is broken due to the unidirectional photon–phonon coupling, leading to the desired optical nonreciprocity. We show that the signal light can be either transmitted or absorbed, when it propagates in the same or opposite direction as the strong pump laser. The perfect photon absorption can be interpreted as a phase transition in a parity–time–symmetric non-Hermitian Hamiltonian with the balanced gain and loss. The proposed scheme paves a way for the realization of an on-chip optical isolator with the high degree of isolation, large bandwidth, and low insertion loss simultaneously.

关键词: Optical nonreciprocity; Optical isolator; Backward Brillouin scattering.

参考文献

- [1] Ma S. L. et al., Optical isolator based on backward Brillouin scattering, Appl. Phys. Lett. 120, 051109 (2022).
- [2] Ren Y. L. et al., Nonreciprocal single-photon quantum router, Phys. Rev. A 105, 013711 (2022).

非高斯态量子特性及其应用研究

何琼毅

北京大学物理学院, 100871

qiongyihe@pku.edu.cn

最近国际上在制备具有Wigner负性的多模非高斯态方面取得了重要进展, 促进了相关理论和实验研究的发展。Wigner负性是量子态具有非经典性的重要特征, 也是基于连续变量通用量子计算的重要资源。非高斯纠缠态具有高阶关联, 纠缠程度往往更强, 类型也更为丰富, 有利于实现长距离量子信息处理。量子纠缠和Wigner负性都是量子世界的内禀属性, 我们最近的研究展示了它们之间深层的联系。

薛定谔猫态是一类典型的具有Wigner负性的非高斯量子态, 我们提出了基于量子导引的远程猫态制备方案[1]。基于腔磁系统中的磁光耦合性质, 利用激光脉冲可以实现磁子与光学模式间的量子导引, 进而对传输到遥远距离处的光学模式进行减单光子与投影测量操作, 可以把磁子远程制备到奇宇称猫态; 如果对光学模式依次进行减单光子、加单光子和投影测量操作, 则可以将磁子远程制备成偶宇称猫态, 由此实现了磁子猫态的远程制备与调控。在实验可实现参数下, 对远程制备的磁子猫态性质进行了详细的分析, 提出了实现高保真度和高非经典性磁子猫态的参数要求, 且远程制备的磁子猫态具有足够大的尺度可以应用于量子信息任务中。

基于多模连续变量光学系统, 我们从定量的角度研究了多用户场景中Wigner负性的远程制备和分配机制, 展示了量子导引在多用户间制备Wigner负性中不可替代的作用[2]。通过构建Coffman-Kundu-Wootters (CKW) 型约束关系, 揭示了Wigner负性资源无法在各用户间自由分配, 严格证明了产生的集体Wigner负性总是大于等于个体资源的和; 进而, 我们与山西大学光电研究所苏晓龙教授实验组合作, 基于双模EPR纠缠光场实现了远程制备具有Wigner负性的非高斯态, 验证了量子导引和产生的Wigner负性之间的定性、定量关系。同时, 展示了远程产生的Wigner负态在量子精密测量中具有优越的计量能力[3]。

由于非高斯纠缠态包含了更复杂的高阶关联, 如何有效判定和度量非高斯纠缠还是一个亟待解决的问题, 制约着非高斯纠缠态在量子信息处理中的进一步应用。我们基于条件自旋压缩系数给出的判定方法可以比已有的判据更有效地探测非高斯导引, 探测能力随着可观测量的高阶矩而逐渐增强[4]。此外, 针对多模非高斯纠缠态, 我们给出了一个具有一般性的基于Fisher信息的判定方法, 可以对全可分、部分可分、全不可分、真正多体纠缠等多种纠缠类型进行分类检测, 检测出的纠缠具有量子计量价值, 即, 数值越大可以提供更高的测量灵敏度[5]。

关键词: 非高斯、Wigner负性、多体纠缠

参考文献

- [1] Sun F. et al., Remote generation of magnon Schrödinger cat state via magnon-photon entanglement, *Phys. Rev. Lett.* 127, 087203 (2021).
- [2] Xiang Y. et al., Distribution and quantification of remotely generated Wigner negativity, *npj Quantum Information* 8, 21 (2022).
- [3] Liu S. et al., Experimental demonstration of remotely creating Wigner negativity via quantum steering, *Phys. Rev. Lett.* 128, 200401 (2022).
- [4] Guo J. et al., Detecting Einstein-Podolsky-Rosen steering in non-Gaussian spin states from conditional spin-squeezing parameters, *arXiv:2106.13106*.
- [5] Tian M. et al., Characterizing multipartite non-Gaussian entanglement for three-mode spontaneous parametric down-conversion process, under review.

混合量子光学系统中量子态的操控

袁璐琦

上海交通大学，物理与天文学院，200240

邮箱: yuanluqi@sjtu.edu.cn

量子光学系统中通过研究光与物质相互作用，可以提供各类新颖的光子操控手段以及量子态制备方案，在量子信息领域有着重要的研究意义。本报告将围绕三类相关的混合量子光学系统，介绍课题组最新的研究成果。首先我们将讨论用多光子量子态去搭建任意合成维度的可能性，并将一维谐振腔阵列中的 N 光子态展开成具有高对称性的 N 维合成晶格体系[1]。该理论平台为研究多光子相互作用下的动态演化问题提供新的研究思路。接下去我们研究一维动态耦合谐振腔系统与巨原子混合的量子光学体系中的单光子传输问题[2]。我们的研究发现，通过一个从外界输入的传输光子态，可以有效地激发中间腔与巨原子的混合态，从而达到光子局域以及原子态激发的效应。最后我们探索了一维原子阵列与一对反向单向光波导所构成的成角度耦合的量子系统。在该系统中，原子激发态可以通过光子介导实现偶极-偶极相互作用，从而构建了一个等效非厄米晶格结构。我们研究发现该系统中存在亚辐射局域态以及超辐射扩散态，并且在原子阵列的中间位置，支持了一种新颖的亚辐射趋肤效应。我们在不同混合量子光学系统中开展的系列研究工作，在将来对于推动光子态量子态操控有潜在的积极意义。

关键词：量子态操控，合成晶格，单光子传输，非厄米，亚辐射趋肤效应

参考文献

- [1] D. Cheng, et. al., Arbitrary synthetic dimensions via multiboson dynamics on a one-dimensional lattice, Phys. Rev. Res. 3, 033069 (2021).
- [2] H. Xiao, et. al., Bound state in a giant atom-modulated resonators system, accepted to npj Quantum Inf., arXiv:2111.06764 (2022).

超导腔光力系统中宏观机械振子的基态冷却以及长相干量子存储

作者（刘玉龙）

地址：北京市海淀区西北旺东路 10 号院西区 3 号楼 邮编：100193

邮箱：liuyl@baqis.ac.cn

Abstract :

Cavity optomechanics can be realized at microwave frequencies. High-stress silicon nitride (SiN) has emerged as the material to realize the highest mechanical quality factors for usage in quantum optomechanics. This is due to the fact that a high pre-stress shunts the material losses, and the mode profile can be designed such that anchor losses are mitigated [1]. In our work, a high Q value assists in reaching mechanical ground-state and conditions where quantum backaction becomes relevant. However, a relatively low frequency and narrow spectral linewidth create experimental challenges, which we show can be overcome. We show sideband cooling close to the ground state, reaching $n_m = 0.3$. We then carry out a quantum backaction measurement using a large 0.5 mm diameter silicon nitride membrane oscillator with 707 kHz frequency, via a microwave cavity readout. The measurement shows that quantum backaction noise can be evaded in the quadrature measurement of the motion of a large object. Against the most reasonable comparison, the backaction is evaded by 9 quanta at cooperativity $C = 10$. This implies the oscillator fluctuations amount to only 60% of that with QBA contribution included [2].

When the mechanical mode enters the quantum regime, we experimentally study optomechanical anti-lasing and find the latter occurs at a critical optomechanical coupling. Meanwhile, anti-lasing mediates a phase transition. Subsequently, the group delay measured with a continuous or pulsed probe field exhibits a singularity, around which the group advance and delay diverge [3]. The singularity with the infinite group delay may motivate ways to realize extremely long signal storage times as an alternative to the schemes based on, e.g., solid nuclear spins, or atomic frequency comb.

Key words: Ground-state cooling, quantum backaction evasion, antilasing singularity, quantum memory

参考文献:

- [1] Wu, Sishi, Liu, Yulong, et al. "Hybridized Frequency Combs in Multimode Cavity Electromechanical System." *Physical Review Letters*, 128(15), 153901 (2022).
- [2] Liu, Yulong, et al. "Quantum backaction evading measurements of a silicon nitride membrane resonator." *arXiv preprint arXiv:2201.11041* (2022).
- [3] Liu, Yulong, et al. "Optomechanical Anti-Lasing with Infinite Group Delay at a Phase Singularity." *Physical Review Letters*, 127(27), 273603 (2021).
- [4] Liu, Yulong, Mummery, J., Zhou, J., & Sillanpää, M. A. "Gravitational forces between nonclassical mechanical oscillators." *Physical Review Applied*, 15(3), 034004 (2021).

External-level assisted cooling by measurement

景俊

Department of Physics, Zhejiang University
jingjun@zju.edu.cn

Abstract:

A quantum resonator in a thermal-equilibrium state with a high temperature has a large average population and is featured with significant occupation over Fock states with a high excitation number. The resonator could be cooled down via continuous measurements on the ground state of a coupled two-level system. Beyond the conventional strategy, we introduce strong driving between the excited state of the qubit and an external level. It can remarkably broaden the cooling range. The driving-induced fast transition constrains the resonator and the ancillary qubit at their ground state upon measurement and then simulates the quantum Zeno effect. Our protocol is applied to cool down a high-temperature magnetic resonator.

References:

J. Yan and J. Jing*, External-level assisted cooling by measurement, *Physical Review A* 104, 063105 (2021).

金刚石光机械晶体中的非常规量子声-物质相互作用

董星亮

陕西省西安市碑林区咸宁西路 28 号, 710049

735553065@qq.com

摘要正文：金刚石光机械晶体是实现高协同度自旋-声子接口的候选材料。基于SiV色心和金刚石光机械晶格，我们理论研究了一系列非常规的量子声-物质相互作用。这个报告主要包含两个相关的工作。首先，利用光学模式对声学能带进行原位调谐，可以打破时间反演对称性并打开一个声学带隙。在能带区域，实现了共振的手性自旋-声子耦合。在带隙区域，发现了带有宇称特点的自旋-声光极化子束缚态。在另一个工作中，通过对声子晶体进行结构设计产生声学的二聚和三聚晶格。在非共振区域，重点研究了一组具有定向包络特点的手性自旋-声子束缚态。通过绝热消除声学模式，可以介导手性的相干自旋-自旋耦合。这些新奇量子声学现象的研究为用声子作为信息载体的量子信息处理、量子网络和量子模拟提供了新思路。

关键词：金刚石光机械晶体；SiV色心；手性量子声学；自旋-声子束缚态

参考文献

- [1] X.-L. Dong, P.-B. Li, T. Liu, and F. Nori, Unconventional quantum sound-matter interactions in spin-optomechanical-crystal hybrid systems, *Phys. Rev. Lett.* 126, 203601 (2021).
- [2] X.-L. Dong, C.-P. Shen, S.-Y. Gao, H.-R. Li, H. Gao, F.-L. Li, and P.-B. Li, Chiral spin-phonon bound states and spin-spin interactions with phononic lattices, *Phys. Rev. Research* 4, 023077 (2022).

多力学模腔光力系统中的基态冷却与光力纠缠

廖洁桥

湖南师范大学物理与电子科学学院 410081

jqliao@hunnu.edu.cn

摘要正文：多力学模腔光力系统不仅是研究量子力学基本问题的理想物理平台，而且在前沿量子科技中具有深远的应用前景。在多个简并力学振子与共同腔模耦合的系统中，力学暗模效应会压制基态冷却的实现和光力纠缠的产生。因此，如何打破该系统中的力学暗模效应并实现力学振子阵列的协同基态冷却成为该领域中的一个重要课题。本报告中，我将介绍采用构建人工磁场和引入辅助腔的方法来打破力学暗模效应，进一步实现对多个力学振子的协同基态冷却。我也将介绍在该系统中通过打破暗模效应实现光力纠缠的增强。

关键词：（多模腔光力系统，基态冷却，光力纠缠）

参考文献

- [1] Lai D.-G. et al., Nonreciprocal ground-state cooling of multiple mechanical resonators, *Phys. Rev. A* 102, 011502(R) (2020).
- [2] Lai D.-G. et al., Domino cooling of a coupled mechanical-resonator chain via cold-damping feedback, *Phys. Rev. A* 103, 063509 (2021).
- [3] Lai D.-G. et al., Noise-Tolerant Optomechanical Entanglement via Synthetic Magnetism, *arXiv:2201.10814*.

基于弱值的高精度量子系统直接表征研究

胥亮¹, 董莹^{1*}, 徐南阳^{1†}, 张利剑^{2‡}

¹ 之江实验室量子传感研究中心, 浙江杭州, 310000

² 南京大学现代工程与应用科学学院, 江苏南京, 210000

*yingdong@zhejianglab.com; †nyxu@zhejianglab.com; ‡lijian.zhang@nju.edu.cn

弱测量能够在获取量子系统信息的同时, 避免量子系统的坍缩, 经过相互无偏基的后选择得到的弱值可以实现对波函数概率幅的直接测量, 该量子系统表征方法被称为“直接量子层析”^[1]。直接层析方法通过附属的测量仪器态提取量子系统信息, 规避了高维量子系统表征所需要的高维量子测量, 可以对量子系统密度矩阵的任意矩阵元进行直接测量, 避免了复杂的重构算法, 大幅度降低了对量子系统特定性质进行表征的复杂度。基于这些独特的优势, 直接量子层析技术在对多种量子态和量子过程^[2]的表征中取得巨大成功。

在该报告中, 本人将介绍我们近期在推广直接层析理论框架、发掘该方法对于高维度量子纠缠态表征的潜力和优势, 以及系统性提升密度矩阵元素表征精度等方面的工作。如图1 (a) 所示: 我们从反向演化的双态矢量形式出发, 通过合理的选取可观测量, 建立弱值与量子探测器测量算符矩阵元之间的对应关系, 从而实现对量子探测器的直接表征^[3]。在图1 (b) 中, 我们进一步测量两个不相容可观测量的序列弱值, 实现量子测量算符非对角元素的直接表征, 并在实验中演示了对量子探测器相干性演化的直接监测^[4]。在面对复杂量子态的表征时, 我们发展了如图1 (c) 所示基于联合弱值的多粒子态直接表征理论, 并应用到高维光量子纠缠态的直接表征, 该方法具有优秀的高维可扩展性, 大幅度降低了表征的实验复杂度。在图1 (d) 中, 我们系统优化了耦合强度并利用“有效弱值”代替序列弱值, 使得密度矩阵元素表征精度 (标准差) 提升一个数量级。通过这四项工作, 我们成功建立了对量子探测器进行直接层析的理论框架, 完善了直接量子层析技术, 为复杂量子探测器的表征提供了新的思路; 在实验中演示了直接层析技术在表征多粒子高维度量子态方面的优势, 并系统性的给出了大幅度提升表征精度的方法, 为大规模量子态的直接表征提供了可靠手段。

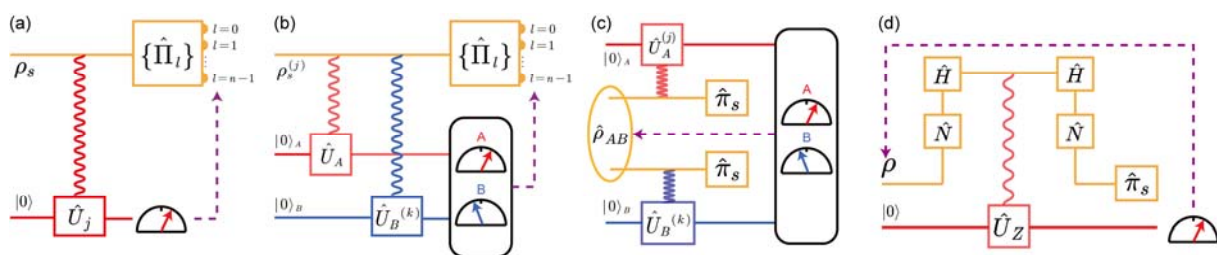


图1: (a) 直接量子探测器层析; (b) 量子探测器相干性的直接监测; (c) 直接表征高维量子纠缠态; (d) 基于有效弱值直接表征密度矩阵。

关键词: 弱测量、弱值、直接量子层析

参考文献

- [1]Lundeen, J. S. et. al., Direct measurement of the quantum wavefunction, Nature, 474, 188 (2011).
- [2]Kim Y. et al. Direct quantum process tomography via measuring sequential weak values of incompatible observables, Nature communications, 9, 192 (2018).
- [3]Xu L. et. al.,Direct Characterization of Quantum Measurements Using Weak Values, Phys. Rev. Lett., 127, 180401(2021).
- [4]Xu L. et. al.,Direct characterization of coherence of quantum detectors by sequential measurements, Adv. Photonics, 3,066001 (2021)

Imaging impurity ions in an atomic gas

Vogt Thibault¹, Du Jinjin², and Li Wenhui²

¹School of Physics and Astronomy, Sun Yat-Sen University, Zhuhai, Guangdong, China

519082

²Centre for Quantum Technologies, National University of Singapore, Singapore 117543,

Singapore

ttvogt@mail.sysu.edu.cn

摘要正文:

Cold hybrid ion-atom systems are promising for understanding the physics of impurities with possible studies of charge mobility, ion-atom reaction, sympathetic cooling, and polarons. Studying the dynamics of impurity ions would benefit greatly from a non-destructive and fast imaging technique.

In this talk, I show how Rydberg atoms can be used for imaging the electric field created by ions embedded in an atomic gas, allowing for the fast detection of the ions [1]. Rydberg energy levels of atoms are subject to huge Stark effects in the vicinity of an ion. When the ion-atom mixture is begun driven in condition of electromagnetically induced transparency (EIT) involving a Rydberg state, the ions within the atomic cloud induce enhanced scattering of the probe light in their surrounding due to a phenomenon similar to photon blockade. While simple shadow imaging of the probe light was employed for imaging the ions in our previous work [1], a recent improvement making use of homodyne detection with a strong reference beam allows us to realize imaging in a single shot in only one microsecond. The experimental work being presented is done in the Rydberg atom group at Centre for Quantum Technologies, National University of Singapore.

关键词: Electromagnetically induced transparency, Rydberg state, ions, imaging

参考文献

[1] C. Gross[#], T. Vogt[#], and W. Li^{*}, Ion Imaging via Long-Range Interaction with Rydberg Atoms, Phys. Rev. Lett. 124, 053401 (2020)

基于优化控制实现极性分子摆动态的量子信息处理

刘金明^{1,*}, 张佐源^{2,†}

¹华东师范大学精密光谱科学与技术国家重点实验室, 上海, 200241

²扬州大学物理科学与技术学院, 扬州, 225009

*Email: jmliu@phy.ecnu.edu.cn; †Email: zy.zhang@yzu.edu.cn

摘要: 优化控制是求解约束条件下物理问题最优解的一种常用手段。利用量子最优控制方法, 设计控制微波场并对其进行优化, 可驱动量子系统从初态到目标态进行特定的演化。本报告拟介绍我们最近在基于优化控制驱动极性分子摆动态产生量子纠缠及实现量子信息处理研究方面的一些进展, 包括高维纠缠态的产生[1]、多比特量子逻辑门和量子算法的实现[2]、以及分子摆动态之间纠缠和相干的制备与转换[3]等。

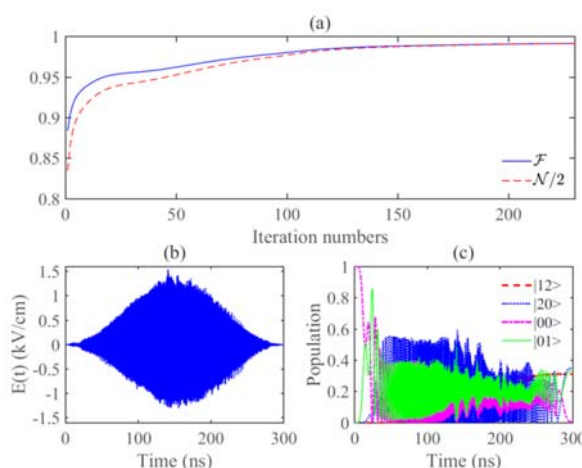


图1. 从初态 $|00\rangle$ 至目标态 $(|01\rangle + |12\rangle + |20\rangle)/\sqrt{3}$ 转变对应末态的保真度与负性熵、收敛脉冲以及布居几率的时间演化

关键词: 最优控制, 极性分子, 量子纠缠, 量子信息处理

参考文献:

- [1] Zuo-Yuan Zhang and Jin-Ming Liu, Creation of high-dimensional entanglement of polar molecules via optimal control fields, *Phys. Rev. A* 105, 023113 (2022).
- [2] Zuo-Yuan Zhang, Jin-Ming Liu, Zhengfeng Hu, and Yuzhu Wang, Implementation of three-qubit quantum computation with pendular states of polar molecules by optimal control, *J. Chem. Phys.* 152, 044303 (2020).
- [3] Zuo-Yuan Zhang, Jin-Ming Liu, Zhengfeng Hu, and Yuzhu Wang, Optical control of entanglement and coherence for polar molecules in pendular states, *Opt. Exp.* 27, 26588-26599 (2019).

基于量子计量的多模非高斯纠缠判定

田铭圣

北京大学物理学院 100091

mingsheng@pku.edu.cn

摘要正文：多模非高斯态是量子信息处理与量子计算中的重要资源，然后由于多模非高斯态复杂的高阶关联特性，如何去刻画和测量该类体系的纠缠一直是一个挑战，本文基于量子计量中的费舍尔信息和压缩系数，给出了一个实验可行的观测纠缠的方法。具体来说，我们将费舍尔信息和压缩系数中表征关联的可观测量写成一系列高阶算符的线性组合，将测量非高斯的纠缠问题转化为一个凸优化问题，经过优化得到的解便是最优的表征纠缠的可观测量。基于此，我们分析了在超导体系下制备的三模非高斯态的数据，并说明在目前实验的水平下，基于我们优化得到的可观测量可以观测到非高斯三模完全纠缠。此外，我们的判据所判断出来的纠缠是对量子计量有用的，在量子精密测量中有应用潜力。

关键词：量子精密测量 非高斯纠缠 参量下转换

参考文献

- [1] Agustí, Andrés, et al. "Tripartite genuine non-Gaussian entanglement in three-mode spontaneous parametric down-conversion." *Physical Review Letters* 125.2 (2020): 020502.
- [2] Gessner, Manuel, Augusto Smerzi, and Luca Pezzè. "Metrological nonlinear squeezing parameter." *Physical review letters* 122.9 (2019): 090503.
- [3] Chang, CW Sandbo, et al. "Observation of three-photon spontaneous parametric down-conversion in a superconducting parametric cavity." *Physical Review X* 10.1 (2020): 011011.

近期量子计算设备上的应用探索

黄合良

河南省量子密码与量子信息重点实验室 河南省郑州市 450000

邮箱: quanhlhl@ustc.edu.cn

摘要正文: 量子计算近年来取得了诸多重要进展, 在我们实现的量子计算优越性的里程碑后, 量子计算的实际应用将成为接下来发展的重点。在这个报告中, 我将介绍我们团队在量子计算应用上取得的一系列最新进展, 包括量子机器学习[1-5]、安全量子云计算[6]、量子模拟[7]等。

关键词: 量子计算、量子机器学习、量子云计算、量子模拟、量子计算优越性

参考文献

- [1] Gong, M., Huang, H. L., Wang, S., Guo, C., Li, S., Wu, Y., ... & Pan, J. W. (2022). Quantum neuronal sensing of quantum many-body states on a 61-qubit programmable superconducting processor. arXiv preprint arXiv:2201.05957.
- [2] Huang, H. L., Wang, X. L., Rohde, P. P., Luo, Y. H., Zhao, Y. W., Liu, C., ... & Pan, J. W. (2018). Demonstration of topological data analysis on a quantum processor. *Optica*, 5(2), 193-198.
- [3] Huang, H. L., Du, Y., Gong, M., Zhao, Y., Wu, Y., Wang, C., ... & Pan, J. W. (2021). Experimental quantum generative adversarial networks for image generation. *Physical Review Applied*, 16(2), 024051.
- [4] Liu, J., Lim, K. H., Wood, K. L., Huang, W., Guo, C., & Huang, H. L. (2021). Hybrid quantum-classical convolutional neural networks. *Science China Physics, Mechanics & Astronomy*, 64(9), 1-8.
- [5] Ding, C., Bao, T. Y., & Huang, H. L. (2021). Quantum-inspired support vector machine. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*.
- [6] Huang, H. L., Zhao, Q., Ma, X., Liu, C., Su, Z. E., Wang, X. L., ... & Pan, J. W. (2017). Experimental blind quantum computing for a classical client. *Physical review letters*, 119(5), 050503.
- [7] Huang, H. L., Narożniak, M., Liang, F., Zhao, Y., Castellano, A. D., Gong, M., ... & Pan, J. W. (2021). Emulating quantum teleportation of a Majorana zero mode qubit. *Physical Review Letters*, 126(9), 090502.

非互易单光子调控

唐江山^{1,2}, 肖敏^{1,2,3}, Franco Nori^{4,5}, 陆延青¹, 夏可宇^{1,2*}

¹College of Engineering and Applied Sciences, National Laboratory of Solid State Microstructures, and Collaborative Innovation Center of Advanced Microstructures, Nanjing University, Nanjing 210023, China

²School of Physics, Nanjing University, Nanjing 210023, China

³Department of Physics, University of Arkansas, Fayetteville, Arkansas 72701, USA

⁴RIKEN Quantum Computing Center, RIKEN Cluster for Pioneering Research, Wako-shi, Saitama 351-0198, Japan

⁵Physics Department, The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan 48109-1040, USA

*Email: keyu.xia@nju.edu.cn

摘要正文：基于麦克斯韦方程组的经典电磁场理论认为，在没有输入和激励源的空间中不存在电磁场。从无源麦克斯韦方程出发推导的洛伦兹互易定理是线性时不变电磁系统普遍遵从的物理规律。然而，根据量子光学理论，即使没有输入和激励，真空中也存在量子涨落即量子真空场，导致其中的电磁场不为零。因此，如何利用量子真空场打破洛伦兹互易定理是一个基础科学问题。相比各种传统的方法，手性量子光学系统可以利用量子机制实现光学非互易，这提供了前所未有的非传统量子信息处理能力。本报告基于量子真空场将分别介绍两种单光子调控的理论方案：(1) 我们提出了一种新型无磁拓扑光学系统实现非互易单光子拓扑能带结构。在其中，我们揭示了很多凝聚态电子系统中没有的物理现象，比如无磁的非互易边界态、平带和能隙。同时，我们也可以利用该量子器件实现抗背向散射的频率复用单光子环形器，这为设计新型抗背向散射的光学器件提供了思路。(2) 基于单向压缩光学腔模式实现光隔离器和光环形器的理论方案，此方案不仅适用于经典相干光，也适用于单光子，并且能够实现非互易的全光晶体管。

关键词：单光子调控，量子真空场，手性量子光学，光环形器

参考文献：

[1] Jiang-Shan Tang, Wei Nie, Lei Tang, Mingyuan Chen, Xin Su, Yanqing Lu, Franco Nori, and Keyu Xia, “Nonreciprocal Single-Photon Band Structure”, *Phys. Rev. Lett.* 128, 203602 (2022).

[2] Lei Tang, Jiang-Shan Tang, Mingyuan Chen, Franco Nori, Min Xiao, Keyu Xia, “Quantum Squeezing Induced Optical Nonreciprocity”, *Phys. Rev. Lett.*, 128, 083604 (2022).

基于受激触发式双光子共振激发的高性能微柱腔量子点单光子源

刘顺发*, 韦玉明, 李学诗, 刘进, 王雪华

光电材料与技术国家重点实验室, 物理学院, 中山大学, 广州, 510275

邮箱: liushf7@mail2.sysu.edu.cn

基于半导体量子点的高性能单光子源在光量子信息技术中有着重要作用, 高纯度、高亮度、高全同性以及高线偏振度是体现单光子源性能的重要指标。提升量子点单光子源的性能主要可以从量子点辐射的微纳尺度调控以及量子点能级的相干光学操控两个方面入手。比如, 实现量子点与微腔的确定性耦合可显著提高单光子的提取效率[1], 采用基于偏振消光的共振激发技术可消除量子点辐射过程中的随机时间抖动以提高光子全同性。然而, 共振激发容易引起量子点重激发, 导致单光子纯度降低, 偏振消光方案从原理上将导致 50% 的光子损耗, 制约了单光子源性能的进一步提升。本工作提出了量子点的受激触发式双光子共振新型光学泵浦方案[2], 在双光子共振脉冲作用之后, 引入第二束超短激光脉冲, 利用受激辐射过程对量子点中的级联辐射进行触发和操控, 从而消除时间抖动、选择辐射路径, 克服双光子共振激发时单光子偏振态随机分布和全同性差的缺点, 同时从原理上突破共振激发方案 50% 的最大亮度限制。我们在微柱腔量子点确定性耦合器件中验证了一方案进行了实验验证, 实现了单光子纯度 99.8%, 光子全同性 92.6%, 线偏度 0.81, 偏振动态可切换, 并且线偏振单光子强度与共振激发相比加倍的单光子源。

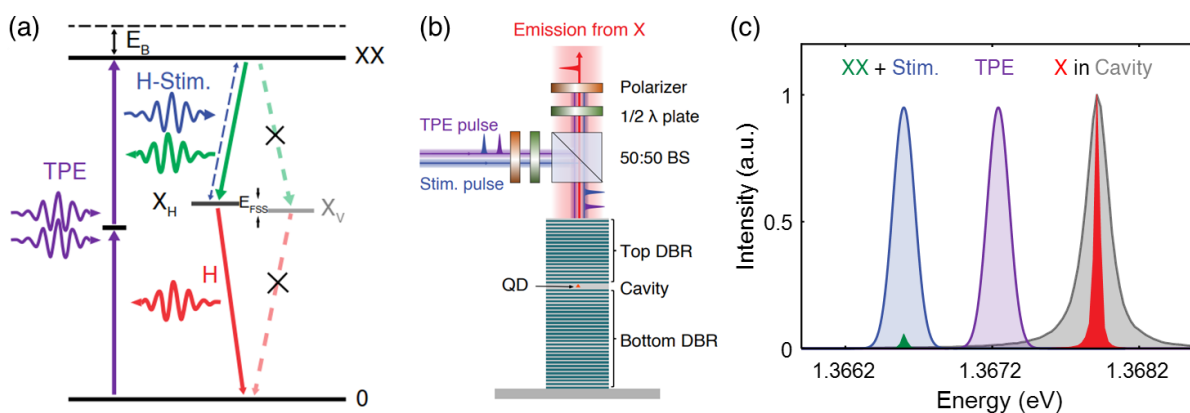


图1. 量子点的受激触发式双光子共振激发方案。(a) 受激触发式双光子共振激发能级示意图, (b) 受激触发式双光子共振激发器件与光路示意图, (c) 受激触发式双光子共振激发脉冲与量子点光谱。

关键词: 半导体量子点、单光子源、光学微腔

参考文献

- [1] Shunfa Liu, Kartik Srinivasan*, and Jin Liu*. Nanoscale Positioning Approaches for Integrating Single Solid - State Quantum Emitters with Photonic Nanostructures [J]. Laser & Photonics Reviews, 15, 2100223 (2021).
- [2] Yuming Wei#, Shunfa Liu#, Xueshi Li, Ying Yu, Xiangbin Su, Shulun Li, Xiangjun Shang, Hanqing Liu, Huiming Hao, Haiqiao Ni, Siyuan Yu, Zhichuan Niu, Jake Iles-Smith, Jin Liu* and Xuehua Wang. Tailoring solid-state single-photon sources with stimulated emissions [J]. Nature Nanotechnology, 17, 470 (2022).

强耦合腔 QED 系统中非线性光学非互易

杨鹏飞, 李刚, 张鹏飞, 张天才

量子光学与光量子器件国家重点实验室, 山西大学光电研究所, 030006, 太原
yangpengfeisxu@163.com

光的时间反演对称性破缺对基础物理具有重要意义, 基于此的无磁光学非互易 (Optical Non-Reciprocity, ONR) 系统在光子学应用方面有巨大的潜力。ONR 源于对系统洛伦兹互易性的破坏, 利用经典的方法实现的对光场控制的 ONR 很难满足片上光子信息处理对无磁和超低功耗的苛刻要求。我们在实验上建立了少原子与光学腔的强耦合实验系统。基于原子和非对称光学微腔强耦合系统中显著的非线性, 获得了少光子 (低至 3.8 个平均光子数) 的 ONR。实验能够实现最大可达 30dB 的反向光阻塞率和 18% 的正向光的透射率。与传统实现非线性 ONR 的系统相比, 获得了国际上最小的工作功率和最大的阻塞率的非线性光学非互易传输, 可以实现超低功耗的片上光二极管。该光学非互易利用了强烈的原子量子非线性效应, 为实现极弱光场的无磁非线性光学非互易传输开辟了新的途径。更进一步, 我们通过将极化的原子与传统的强耦合腔 QED 相结合, 破坏了原子-腔耦合系统的时间反演对称性, 制备了非互易的腔极子。该系统在单光子水平上实现了隔离度 >30 dB 且方向可切换的无磁光隔离器, 同时获得了光场量子统计行为非互易。首次在实验上将光场的非互易性质从能量传输拓展到了光场量子统计特性。

参考文献:

- [1] P. Yang, X. Xia, H. He, S. Li, X. Han, P. Zhang, G. Li, P. Zhang, J. Xu, Y. Yang, T. Zhang. *Realization of Nonlinear Optical Nonreciprocity on a Few-Photon Level Based on Atoms Strongly Coupled to an Asymmetric Cavity*. Phys. Rev. Lett., **123**, 233604 (2019).
- [2] P. Yang, M. Li, X. Han, H. He, G. Li, C.-L. Zou, P. Zhang, T. Zhang. *Non-reciprocal cavity polariton*. arXiv:1911.10300.

囚禁离子系统中 Leggett-Garg 不等式的实验研究

展天翔，杨雪滢，胡寒，苏闻博，张杰，谢艺，吴春旺，陈平形，吴伟

湖南省长沙市开福区德雅路 109 号国防科技大学 410073

zhantianxiang20@nudt.edu.cn

摘要：薛定谔通过“薛定谔的猫”的理想实验^[1]巧妙地将微观的叠加态延伸到宏观世界，但宏观叠加态又与我们直觉上的宏观实在性相违背。为了研究宏观叠加态是否存在，Leggett和Garg提出了Leggett-Garg不等式^[2]。Leggett-Garg不等式在宏观系统中的上下限为

$$-3 \leq K_3 \leq 1。$$

K_3 是一个描述了系统时间关联性的函数，微观系统可能会违反 K_3 的上限。在微观系统中 K_3 的上限与所采取的状态更新规则有关，当采用Lüders状态更新规则时， K_3 可以超过1但不会超过1.5，当采用Von Neumann状态更新规则时， K_3 可以超越1.5^[3]。Leggett-Garg不等式给了我们一个在实验上寻找微观和宏观之间界限的思路。目前已经在多个实验系统中实现了Leggett-Garg不等式的验证，例如：超导系统^[4]、核磁共振系统^[5]、NV色心系统^[6]、光子系统^[7]等。

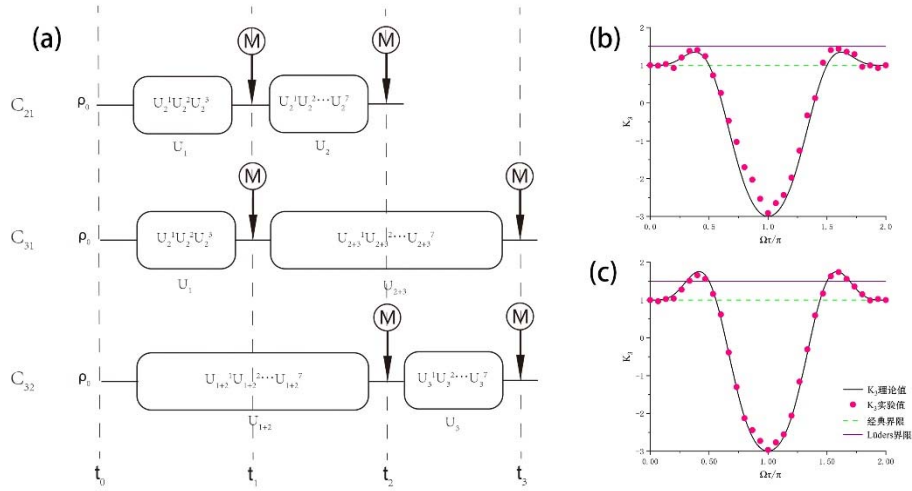


图1 图(a)是实验流程图，其中 ρ_0 表示初始密度算子，U表示么正演化，M表示测量。图(b)是使用Lüders状态更新规则的结果，图(c)是使用Von Neumann状态更新规则的结果，其中曲线是理论结果，圆点是实验结果，水平虚线是经典边界1，水平实线是Lüders边界1.5。由于统计误差的量级约为 10^{-2} ，因此误差棒在图中不可见。

囚禁离子系统具有相干时间长与保真度高的优势，适合被用来做Leggett-Garg不等式的验证。在我们的工作中，我们首次在囚禁离子系统中完成了Leggett-Garg不等式的实验检验，实验流程图如图1(a)所示。我们利用单个钙离子的三个能级，使用两种状态更新规则，分别获得了不同的实验结果，如图1(b)和图1(c)所示。可以看到，在两种状态更新规则下 K_3 都超越了经典边界1，区别在于：当使用Lüders状态更新规则时， K_3 不会超越Lüders边界1.5；但在Von Neumann状态更新规则下 K_3 超越了Lüders边界。我们首次在囚禁离子系统中实现了Leggett-Garg不等式的实验检验，并且得到了在磁场中的大自旋进动模型下的最大 K_3 值。我们采用了两种状态更新规则，并对两种状态更新规则下的结果进行了对比分析。除此之外，我们采用的是一个真正的三维系统，而不是使用两个qubit来合成一个qutrit。

关键词：宏观实在性，Leggett-Garg不等式，状态更新规则，囚禁离子系统

参考文献

- [1] Schrödinger E. Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik[J]. Naturwissenschaften. 23(50): 844-849(1935).
- [2] Leggett A J, Garg A. Quantum mechanics versus macroscopic realism: Is the flux there when nobody looks?[J]. Physical Review Letters. 54(9): 857(1985).
- [3] Emary C, Budroni C. Temporal Quantum Correlations and Leggett-Garg Inequalities in Multilevel Systems[J]. Physical Review Letters. 113(5): 50401(2014).
- [4] Santini A, Vitale V. Experimental violations of Leggett-Garg inequalities on a quantum computer[J]. Physical Review A. 105(3): 32610(2022).
- [5] Katiyar H, Brodutch A, Lu D, et al. Experimental violation of the Leggett – Garg inequality in a three-level system[J]. New Journal of Physics. 19(2): 23033(2017).
- [6] Tusun M, Cheng W, Chai Z, et al. Experimental violation of the Leggett-Garg inequality with a single-spin system[J]. Physical Review A. 105(4): 42613(2022).
- [7] Wang K, Emary C, Zhan X, et al. Enhanced violations of Leggett-Garg inequalities in an experimental three-level system[J]. Optics express. 25(25): 31462-31470(2017).

Non-Markovian Quantum Thermometry

Jun-Hong An

School of Physical Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730000

Abstract: The rapidly developing quantum technologies and thermodynamics have put forward a requirement to precisely control and measure the temperature of microscopic matter at the quantum level. Many quantum thermometry schemes have been proposed. However, precisely measuring low temperature is still challenging because the obtained sensing errors generally tend to diverge with decreasing temperature. Using a continuous-variable system as a thermometer, we propose a non-Markovian quantum thermometry to measure the temperature of a quantum reservoir. A mechanism to make the sensing error δT scale with the temperature T as the Landau bound $\delta T = T$ in the full-temperature regime is discovered. Our analysis reveals that it is the quantum criticality of the total thermometer-reservoir system that causes this enhanced sensitivity. Efficiently avoiding the error-divergence problem, our result gives an efficient way to precisely measure the low temperature of quantum systems.

Keywords: non-Markovian effect, quantum thermometry

Reference:

[1] Ning Zhang, Chong Chen, Si-Yuan Bai, Wei Wu, and Jun-Hong An, Phys. Rev. Applied 17, 034073 (2022).

基于量子导引实现远程制备非高斯量子态

项玉，何琼毅

北京大学物理学院 人工微结构和介观物理国家重点实验室，北京 100871

Email: xiangy.phy@pku.edu.cn

摘要正文：作为量子力学区别于经典力学最显著的特征之一，量子纠缠不仅具有重要的理论研究意义，也是量子密码、量子通信、量子计算和量子测量等技术的重要资源，对这方面的研究已经成为国际科技界激烈竞争的焦点。量子导引是一种特殊的量子纠缠类型，与一般定义的量子态不可分的纠缠类型相比，还具有非定域性和天然的不对称性，这些特性使得它在实现单方设备不依赖的量子密钥分发和量子秘密共享等量子信息处理任务中具有不可替代的作用。近期，我们发现量子导引在远程制备非高斯态中有不可替代的作用。

基于多模连续变量系统，我们从定量的角度研究了多用户场景中Wigner负性的远程制备和分配机制，展示了量子导引在多用户间制备Wigner负性中不可替代的作用（图1），并通过构建Coffman-Kundu-Wootters（CKW）型约束关系，揭示了Wigner负性资源无法在各用户间自由分配，严格证明了产生的集体Wigner负性总是大于等于个体资源的和【1】。此外，对于减光子这类典型的非高斯操作，研究结果指出远程产生的Wigner负性大小可以完全由系统初始量子态的纯度刻画，并提供了一种更便捷的度量方法。随后，我们与实验组合作，基于双模EPR纠缠光场首次实现了远程制备具有Wigner负性的非高斯态，验证了上述的量子导引和产生的Wigner负性之间的定性、定量关系【2】。

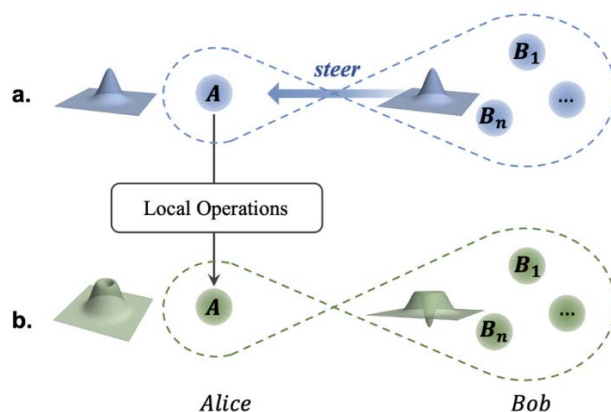


图 1 基于量子导引远程制备非高斯态示意图。(a) 具有高斯量子导引的初态；(b) 在被导引方 Alice 处做本地操作后，导引方 Bob 处量子态由高斯初态变为具有 Wigner 负性的非高斯态。

关键词：远程态制备，量子导引，非高斯量子态

参考文献

- [1] Xiang Y. et al., Distribution and quantification of remotely generated Wigner negativity, npj Quantum Information 8, 21 (2022).
- [2] Liu S. et al., Experimental demonstration of remotely creating Wigner negativity via quantum steering, Phys. Rev. Lett. 128, 200401 (2022).

Quantum interference between non-identical single particles

钟艺, 王云飞, 颜辉, 朱诗亮

广东省量子调控工程与材料重点实验室, 华南师范大学 物理与电信工程学院,
511400

yunfeiwang2014@126.com, yanhui@scnu.edu.cn, slzhu@scnu.edu.cn

摘要: We demonstrate quantum interference between single photons and single magnons using a generalized beam splitter based on a quantum memory. The cross-over from the bosonic to fermionic quantum statistics is observed by tuning the beam splitter to non-Hermitian in the Hong-Ou-Mandel type interference. Moreover, multi-particle interference that simulates the behavior of three fermions by three input photons has been realized.

关键词: the magnon-photon HOM interferometer, full quantum interference, non-Hermitian, multi-particle interference

参考文献:

[1] Keyu Su, Yi Zhong, Shanchao Zhang, Jianfeng Li, Chang-Ling Zou, Yunfei Wang, Hui Yan, and Shi-Liang Zhu, Quantum interference between non-identical single particles. (已投稿)

基于铁磁-超导系统的量子关联研究

孔德一¹, 徐俊¹, 王飞², 胡亮¹, 田雅¹, 胡响明^{1,*}

¹ 华中师范大学 物理科学与技术学院, 湖北 武汉 430079

² 湖北工业大学 理学院, 湖北 武汉 430068

*xmhu@ccnu.edu.cn

摘要正文: 磁振子作为磁性材料的集合自旋激发量子, 具有长寿命、高自旋密度、易调控等特点, 是研究宏观量子效应的理想载体。此外, 磁振子可以实现与微波光子、光学光子、声子、超导 qubit 等不同量子信息载体的相干耦合, 构成混杂的量子系统。近期, 铁磁-超导系统引起了人们的广泛关注, 在实验上和理论上也取得了一些重要进展。目前基于铁磁-超导系统的研究, 大部分都是由二能级超导人工原子与磁振子耦合构成, 与二能级系统相比, 多能级系统具有更加丰富的原子相干和量子干涉效应。为了探究铁磁-超导系统中蕴含的丰富的物理效应和隐藏在背后的物理机制, 我们将铁磁-超导系统扩展到两个磁振子与三能级系统耦合, 并通过对三能级人工原子的相干调控实现了两个磁振子之间强的量子纠缠和单向导引。我们提出通过色散微波腔的媒介作用实现两个磁振子与缀饰三能级原子间的相干耦合, 利用超导人工原子库的单、双通道耗散机制分别实现可控的远距离磁振子单向导引和近乎理想的磁振子双模压缩及纠缠。我们的工作为实验上实现磁振子与多能级原子相干耦合提供了一种思路, 并且在宏观量子效应的研究和量子器件的制备中可能具有潜在的应用。

关键词: 铁磁-超导系统, 磁振子, 超导人工原子, 量子纠缠, 单向导引

参考文献

- [1] D. Y. Kong, X. M. Hu, L. Hu, and J. Xu, Magnon-atom interaction via dispersive cavities: Magnon entanglement, Phys. Rev. B 103, 224416 (2021).
- [2] D. Y. Kong, J. Xu, Y. Tian, F. Wang, and X. M. Hu, Remote asymmetric Einstein-Podolsky-Rosen steering of magnons via a single pathway of Bogoliubov dissipation, Phys. Rev. Research 4, 013084 (2022).

量子纠缠对光场时间相干性的影响

张云霄¹, 霍楠¹, 崔亮¹, 郭学石¹, 李小英^{1*}, 区泽宇²⁺

¹ 天津大学精密仪器与光电子工程学院, 光电信息技术教育部重点实验室, 天津 300072

² Department of Physics, City University of Hong Kong, Kowloon, Hong Kong, P. R. China

邮箱: * xiaoyingli@tju.edu.cn; + jeffou@cityu.edu.hk

在光场的相干理论中, 时间相干性是一个很重要的概念。近年来, 人们提出并发现在考虑纠缠性后, 相干性(V)和可区分性(D)满足的不等式 $V^2 + D^2 \leq 1$ 可写成等式: $V^2 + D^2 + C^2 = 1$, 其中 $C(0 \leq C \leq 1)$ 为衡量纠缠度的量; 并且, 已经利用经典偏振纠缠和单光子对该关系进行了实验验证[1,2]。本文利用具有时间序列(time-bin)纠缠关系的双光子, 从理论和实验两方面研究光场的相干时间与可区分性和纠缠的关系。我们采用超短脉冲光泵浦的SU(1,1)干涉仪, 演示了双光子之间的纠缠度不同时, 时间相干性与探测器前滤波器带宽的关系是如何变化的, 实验结果与理论预期一致[3]。结果表明, 双光子间的纠缠度C与可区分度一样, 均可用于改变表征光场相干性的可见度。当纠缠度最大, 也即 $C=1$ 时, 即使不可区分度 $D=0$, 干涉可见度V仍然为零。此外, 我们的工作也为测量复杂系统纠缠度提供了一种方法。

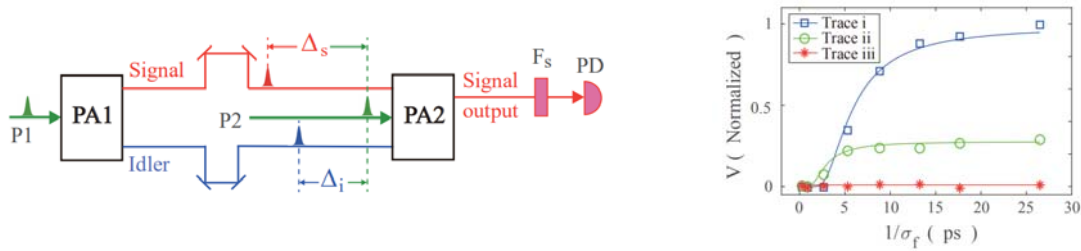


图1 (a)脉冲光泵浦的SU(1,1)干涉仪; (b) 在三种情况下测量的滤波器带宽与干涉可见度的关系: (i) 无纠缠参与, (ii)部分纠缠, (iii)完全的time-bin纠缠态。PA, 光学参量放大器, F, 滤波器, PD, 强度探测器。

图1(a)为装置示意图, 图1(b)为在三种典型实验条件下获得的实验结果和理论拟合。蓝色数据为无量子纠缠($C=0$)的情况, 此时干涉可见度可以通过采用窄带滤波器, 从而使相干时间的延长以消除可区分性而得到恢复; 红色数据为time-bin纠缠态度最大($C=1$)的情况, 此时干涉可见度始终为0; 绿色数据为纠缠度为 $0 < C < 1$ 的情况, 采用窄带滤波使相干时间的延长可以恢复部分干涉可见度。

关键词: 时间相干性, 量子纠缠, 干涉可见度。

参考文献

- [1] X.-F. Qian, A. N. Vamivakas and J. H. Eberly, “Entanglement limits duality and vice versa”. *Optica*, 5, 942–947 (2018).
- [2] X.-F. Qian, K. Konthasinghe, S. K. Manikandan, D. Spiecker, A. N. Vamivakas, and J. H. Eberly, “Turning off quantum duality,” *Phys. Rev. Res.* 2, 012016(R) (2020).
- [3] Y. Zhang, N. Huo, L. Cui, X. Guo, J. Fan, Z. Zhang, X. Li and Z. Y. Ou, “Temporal coherence of optical fields in the presence of entanglement”, arXiv: 2204.00364 (2022).

Quantum-Light Multidimensional Spectroscopy of Molecules

Zhedong Zhang

City University of Hong Kong

zzhan26@cityu.edu.hk

Quantum states of the light, e.g., single photons, entanglement and squeezing, opens up a new avenue for spectroscopy by utilizing the parameters of quantum optical fields as novel control knobs and through the variation of photon statistics. With the advance of cavity quantum electrodynamics and light source technology, imaging and controlling the electron and vibrational motions of molecules can be achieved, towards unprecedented resolution and precision, not accessible by the classical light pulses [1]. In this talk, I will present our recent works on multidimensional spectroscopy using quantum states of light. Several schemes will be discussed: multidimensional coherent probe, photon-coincidence counting, and Raman spectra with quantum optical fields [2,3,4]. Microscopic models for molecular polaritons using reduced density matrix approach will be incorporated for a unified understanding of the signals.

Key words: Entanglement, Cavity, Polariton, Molecule, Spectroscopy

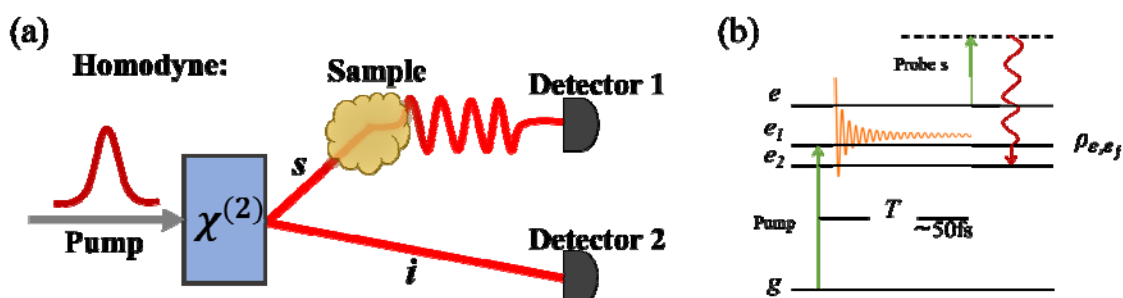


Figure: (a) Schematic of entangled photons as ultrafast probe for molecules, where a parametric down conversion (PDC) through nonlinear crystals and photon-coincidence counting are presented; (b) Raman interaction between molecules and entangled photons generated from PDC process.

References

- [1] Dorfman, K. E., *et al.*, Rev. Mod. Phys. **88**, 045008 (2016).
- [2] Zhang, Z. D., *et al.*, Light: Sci. & Appl., in press (2022).
- [3] Zhang, Z. D., *et al.*, J. Phys. Chem. Lett. **10**, 4448 (2019).
- [4] Zhang, Z. D., *et al.*, J. Chem. Phys. **148**, 074302 (2018).

轨道角动量复用连续变量量子资源的确定性分发

秦忠忠*, 曾理, 马荣, 温虹, 王美红, 刘军, 苏晓龙

山西大学光电研究所, 山西省太原市小店区坞城路 92 号, 030006

*zzqin@sxu.edu.cn

摘要正文:

轨道角动量复用是提高量子通信信道容量的一种有效方法。将轨道角动量复用的量子资源在信道中进行分发是实现高信道容量量子通信的基础。原子系综中的四波混频过程具有空间多模优势, 已经被证明是制备轨道角动量复用连续变量纠缠态的一种理想方法[1-3]。我们利用铯原子系综中的四波混频过程制备了轨道角动量复用的Einstein-Podolsky-Rosen (EPR)纠缠态光场, 并实现了轨道角动量复用的量子纠缠、量子导引和量子相干的确定性分发[4, 5]。我们的实验结果表明在损耗和噪声信道中, 携带 $l=1,2$ 阶轨道角动量的EPR纠缠态光场与 $l=0$ 阶高斯模式的EPR纠缠态光场具有相同的退相干特性。在噪声信道中, 我们观察到了轨道角动量复用的连续变量量子纠缠和量子导引的突然死亡, 而轨道角动量复用的量子相干始终存在。我们的结果证明了利用轨道角动量复用的连续变量量子资源实现高信道容量量子信息处理的可行性。

关键词: 轨道角动量复用, 量子纠缠, 量子导引, 确定性分发

参考文献

- [1] Pan X. et al., Orbital-angular-momentum multiplexed continuous-variable entanglement from four-wave mixing in hot atomic vapor, *Phys. Rev. Lett.* 123, 070506 (2019).
- [2] Li S. et al., Deterministic generation of orbital-angular-momentum multiplexed tripartite entanglement, *Phys. Rev. Lett.* 124, 083605 (2020).
- [3] Wang W. et al., Large-scale quantum network over 66 orbital angular momentum optical modes, *Phys. Rev. Lett.* 125, 140501 (2020).
- [4] Zeng L. et al., Deterministic distribution of orbital angular momentum multiplexed continuous-variable entanglement and quantum steering, *Photon. Res.* 10, 777 (2022).
- [5] Wen H. et al., Quantum coherence of an orbital angular momentum multiplexed continuous-variable entangled state, *Opt. Contin.* 1, 697 (2022).

开放系统和逆转退相干

刘墨地

中科院量子信息重点实验室，中国科学技术大学，230026

zdlou@ustc.edu.cn

摘要正文： Open quantum systems typically lose their quantum properties when subjected to environmental noise. In this Letter we demonstrate how noise can actually purify an open quantum system. That is, we effectively reverse the direction of decoherence. In particular, we consider two qubits under dephasing noise. We implement our purification protocol in an all-optical experiment and apply it in noisy quantum teleportation. Remarkably, we achieve high teleportation fidelities without the initial resource qubits ever violating the Bell-CHSH inequalities. Our results can be explained by hybrid entanglement and hidden nonlocality.

关键词： Open quantum systems, decoherence, quantum teleportation, entanglement.

参考文献

- [1] Zhao-Di Liu, et al. Experimental implementation of fully controlled dephasing dynamics and synthetic spectral densities, *Nature Communications*, 9, 3453, (2018,)
- [2] Zhao-Di Liu, et al. Experimental realization of high-fidelity teleportation via a non-Markovian open quantum system, *Physical Review A*, 102, 062208, (2020)
- [3] Zhao-Di Liu, et al. Open quantum systems and reverse decoherence, Submitted

实用化量子数字签名

张春辉^{1*}, 周星宇¹, 李剑¹, 王琴¹

¹ 量子信息技术研究所, 南京邮电大学, 江苏南京, 210003

*邮箱: chz@njupt.edu.cn, 网址: quantum.njupt.edu.cn

摘要正文: 数字签名在验证金融交易和电子合同等数字文件的真实性和完整性方面有着广泛的应用。目前的数字签名, 我们称之为经典数字签名, 提供基于计算复杂度的安全性。然而, 经典量子数字签名系统将受到来自于超算或量子计算的威胁。量子数字签名[1]因其能够保证消息具有理论上的无条件安全性量子数字签名, 近来受到了广泛的关注, 成为量子密码领域研究的一大分支。自2001年提出第一个QDS协议, 2012年完成第一个实验演示后, 已经消除了许多实际应用的障碍, 如去除了量子存储器和安全量子信道的需求, 以及使用量子密钥分发来实现量子密钥分发协议。此外, 还提出了测量设备无关协议来解决对测量设备的侧信道攻击。

在此, 我们汇报下量子数字签名的实用化进程的前沿进展以及我们团队在此方向所作的工作。团队相关工作主要包括: 为避免强度调制过程中发生的信息泄漏, 提出并搭建了被动式诱骗态量子数字签名系统, 并完成40dB的传输[2]; 基于低损耗BB84编解码系统, 实现了280km的量子数字签名传输[3], 仍是目前最远的传输距离; 提出了双场量子数字签名协议并给出相应的安全性证明, 方案可大幅提升量子数字签名的传输距离[4]; 基于参考系无关协议, 在城市中心完成了13.2dB的量子数字签名传输的实地实验, 验证了协议和系统的鲁棒性[5]; 等。

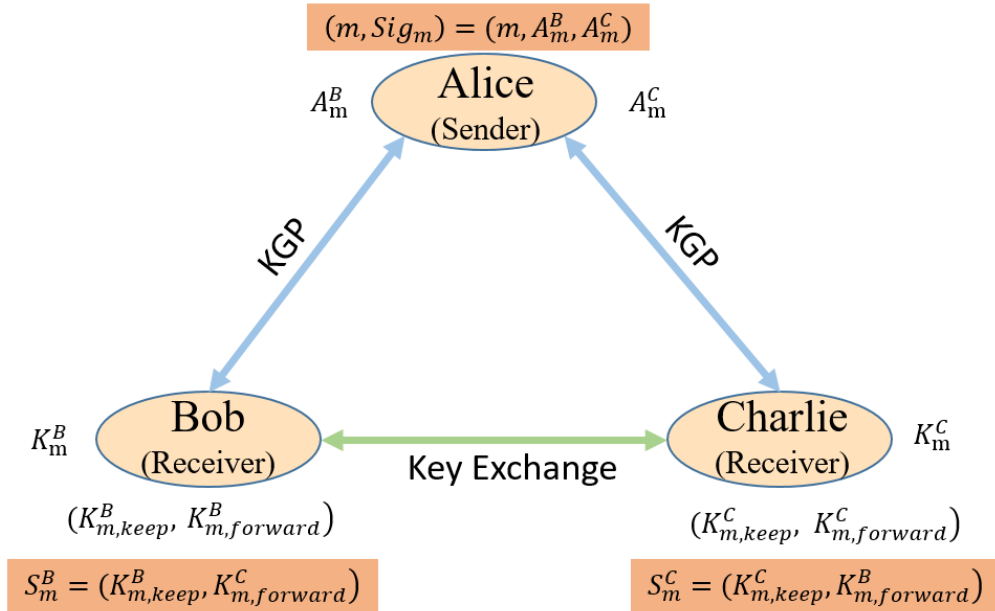
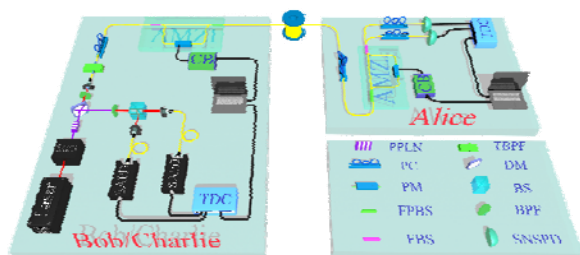
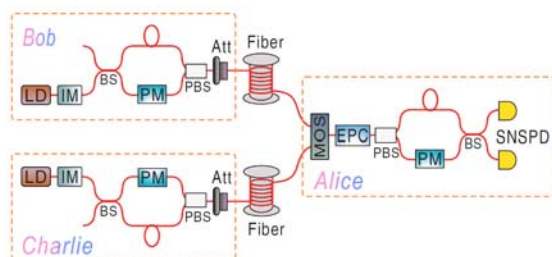


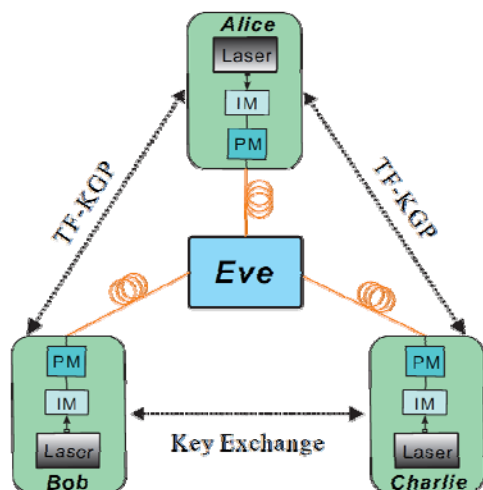
图1 量子数字签名工作流程示意图



(a) 被动式量子数字签名系统[2]



(b) 280 km量子数字签名系统[3]



(c) 双场量子数字签名协议[4]



(d) 实地参考系无关量子数字签名系统[5]

图2 团队在量子数字签名方向的部分工作

关键词：量子数字签名，安全性，实用化

参考文献

- [1] D. Gottesman and I. Chuang, Quantum digital signatures, arXiv:quant-ph/0105032 (2001).
- [2] C. H. Zhang, X. Y. Zhou, H. J. Ding, C. M. Zhang, G. C. Guo, and Q. Wang, Proof-of-principle demonstration of passive decoy-state quantum digital signatures over 200 km, Phys. Rev. Appl. 10, 034033 (2018).
- [3] H. J. Ding, J. J. Chen, L. Ji, X. Y. Zhou, C. H. Zhang, C. M. Zhang and Q. Wang, 280-km experimental demonstration of a quantum digital signature with one decoy state, Opt. Lett. 45, 1711 (2020).
- [4] C. H. Zhang, X. Y. Zhou, C. M. Zhang, J. Li, and Q. Wang, Twin-field quantum digital signatures, Opt. Lett. 46, 3757 (2021).
- [5] H. J. Ding, et al, Field-trial quantum digital signature in Nanjing city center, in preparation.

实验演示机器学习的量子优越性及量子盲盒游戏

尹华磊

南京大学物理学院、固体微结构物理国家重点实验室 210093

hlyin@nju.edu.cn

摘要正文：2020年，荷兰阿姆斯特丹大学研究团队和美国IBM公司研究团队共同提出了量子优惠券收集问题，并用PAC学习理论首次严格证明了该问题存在具有量子优势的学习算法[1]。但是，原始的量子优惠券算法的实验演示需要用到高度复杂的单光子量子指纹态，以及远超当前实验技术的高度非线性测量装置，以实现超高维的半正定算子测量。我们通过巧妙地设计相干态优惠券协议，成功地使用线性光学量子技术实验演示了量子优惠券收集任务，利用“可能近似正确”（PAC）学习理论，首次实验证明了量子技术可以为机器学习提供具有量子优势的学习算法[2]。为了进一步展示量子优惠券理论的潜在应用价值，文章针对备受年轻人追捧的盲盒游戏，设计了其量子版本并成功地进行实验演示。这些结果有力地证明了利用量子技术可以在机器学习和通信复杂度方面实现相对于经典技术的量子优越性。

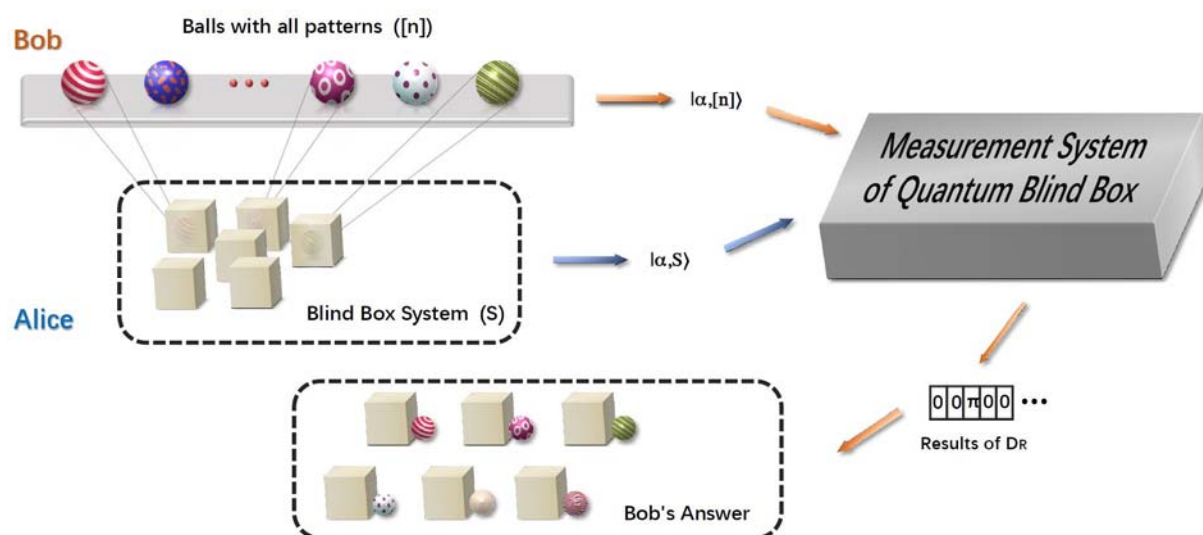


图1 量子盲盒游戏

关键词：机器学习，相干态，量子优越性，通信复杂度，盲盒

参考文献

- [1] Arunachalam S. et al., Quantum Coupon Collector, In 15th Conference On the Theory of Quantum Computation, Communication and Cryptography (2020).
- [2] Zhou M.-G. et al., Experimental Quantum Advantage with Quantum Coupon Collector, Research 2022, 9798679 (2022).

Quantum precision measurement of two-dimensional forces with 10^{-28} -Newton stability

Xiaoji Zhou (周小计)

School of Electronics, Peking University, Beijing 100871, China;

Email: xjzhou@pku.edu.cn

Abstract :

High-precision sensing of vectorial forces has broad impact on both fundamental research and technological applications such as the examination of vacuum fluctuations and the detection of remote seismic activity and surface roughness of nanostructures. Recent years have witnessed much progress on sensing alternating electromagnetic forces for the rapidly advancing quantum technology---orders-of-magnitude improvement has been accomplished on the detection sensitivity with atomic sensors, whereas precision measurement of static forces lags far behind with the corresponding long-term stability rarely demonstrated. Here, based on quantum atomic matter waves confined by a laser potential, we perform precision measurement of static forces by imaging coherent wave mechanics in the reciprocal space. We achieve a state-of-the-art measurement sensitivity of $2.30(8) \times 10^{-26} \text{ N}/\sqrt{\text{Hz}}$. Long-term stabilities on the order of 10^{-28} N are observed in the two spatial components of a force, which allows probing atomic Van der Waals forces at a millimeter distance. The weak electromagnetic force is well controlled and the alternating force could be measured in our experiment. Further developments of our method hold promise for delivering unprecedented atom-based quantum force sensing technologies.

Key words:

Quantum precision measurement, ultra-cold atom, vectorial force

References:

- [1] Xinxin Guo, Zhongcheng Yu, Fansu Wei, Shengjie Jin, Xuzong Chen, Xiaopeng Li, Xibo Zhang, Xiaoji Zhou. Quantum precision measurement of two-dimensional forces with 10^{-28} -Newton stability, prepare to submit to Science bulletin.
- [2] V. Blums, M. Piotrowski, M. I. Hussain, et al. A single-atom 3D sub-attoneutron force sensor. Science Advance, 2018, 4(3): eaao4453.
- [3] C. L. Degen, F. Reinhard, P. Cappellaro. Quantum sensing. Reviews of Modern Physics, 2017, 89(3).
- [4] M. J. Biercuk, H. Uys, J. W. Britton, et al. Ultrasensitive detection of force and displacement using trapped ions. Nature Nanotechnol, 2010, 5(9): 646-50.
- [5] U. Mohideen, A. Roy. Precision Measurement of the Casimir Force from 0.1 to 0.9 μm . Physical Review Letters, 1998, 81(21): 4549-52.

量子点中的精细结构劈裂、调控和量子点纠缠光源

龚明

中国科学技术大学量子信息重点实验室, 230026

邮箱: 230026

量子点一直以来被认为是实现确定性纠缠光源的理想系统。但是因为它自身的对称性问题, 它的两个明态其实是不简并的, 而是有几十个微电子伏特的劈裂。这个能量破坏了双光子的纠缠性, 导致只能实现经典关联, 而非量子纠缠的双光子对。这个报告总结我们在量子点纠缠光源方面的工作, 并讨论未来可能的实验实现。首先, 我们介绍量子点精细结构的性质, 然后, 我们介绍我们的二能级有效模型。基于这个模型, 我们讨论在外力下精细结构劈裂的最小值问题。接下来, 我们讨论如何利用多个外力调节、消除量子点的精细结构劈裂, 并实现和其它量子系统的耦合。最后, 我们讨论一个新的概念, 即寿命的各向异性, 并讨论本征寿命差和观测寿命差的关系。最近, 寿命差的概念已经部分得到了实验验证, 我们在报告中将讨论如何在现有的实验装置中验证我们得到的解析结论, 并讨论这些结果的物理意义。

关键词: 量子点、精细结构劈裂、寿命各向异性

参考文献: Fundamental Intrinsic Lifetimes in Semiconductor Self-Assembled Quantum Dots, Wen Xiong, Xiulai Xu, Jun-Wei Luo, Ming Gong, Shu-Shen Li, and Guang-Can Guo, Phys. Rev. Applied. 10, 044009 (2018).

利用原子波函数的扩展性和局域性探测亚引力

张海潮

地址和邮编（上海市嘉定区清河路 390 号，201800）

邮箱（zhanghc@siom.ac.cn）

摘要正文：亚引力来自于标量场，标量场的引入是为了使相对论引力理论与马赫原理协调[1]。不同于长程牛顿引力，标量引力的力程很短[2]。因此，在实验室和太阳系中很难观测到[3]。

我们引入有效背景密度构造了产生亚引力的物质源，以使得检验原子可以穿越物质源感知最大的亚引力[4]。

我们首先引入广义麦克斯韦-玻尔兹曼分布。对于单个粒子的量子态 $|\phi\rangle$ ，粒子的平均动能（动能算符的期望值）可分为以下两部分[5]： $\langle\phi|\hat{p}^2/(2M)|\phi\rangle = (\bar{p})^2/(2M) + \overline{(\Delta p)^2}/(2M)$ ，其中 M 是粒子质量。前者对应于粒子的平均动量（量子态中动量算子 $\hat{p}$ 的期望值 $\bar{p}$ ）；后者对应于粒子动量的均方根起伏 Δp 。众所周知，在统计力学中，著名的玻耳兹曼因子 $\exp(-\beta\varepsilon)$ 与单个粒子的总能量 ε 相关。因此，假设粒子速度起伏的分布独立于平均速度（速度算子 $\hat{p}/M$ 的期望值）分布，那么，可以把麦克斯韦-玻尔兹曼分布函数扩展为[4]：

$$f(\bar{v}; \Delta p) = C \exp\left(-\frac{M\bar{v}^2}{2k_B T} - \frac{(\Delta p)^2}{2Mk_B T}\right),$$

其中 C 是归一化常数。

基于该扩展分布函数，我们就可以讨论如何构造产生亚引力的物质源。

实验必须在超高真空中进行。我们把真空室中的工作原子分为两类：1. 弹子球型。在这种情形下，原子碰撞和自由运动均可以经典描述；2. 扩展波包型。这时，必须用量子力学来描述。对于弹子球类型，物质的微观密度在单个原子的位置处达到极大，原子之间的距离远大于其半径（以s波散射长度表征）。因此，在“弹子球”原子之间，物质密度为零。弹子球型的原子也可以用量子力学来描述。这时，单个原子的局部密度可以视为空间 δ 函数。对于扩展波包型，我们使用有效背景密度(EBD)来描述真空腔内背景的物质密度。EBD是由原子的重叠扩展波函数定义的。波包的最大扩展尺度由真空室的大小决定。由于在稀薄气体中可以忽略弹子球状原子占据的空间体积，因此背景密度的定义中不包括漂浮在真空腔中的单个弹子球状原子。

$$\text{结合扩展的分布函数和不确定关系[6]，我们得到EBD： } \rho_b = 4 \cdot \pi^{-1/2} n M \int_0^{\zeta \pi^{1/2} n^{1/3} \lambda_{th}} e^{-x^2} x^2 dx,$$

其中 n 是粒子数目密度， λ_{th} 是约化热波长。在积分上限中，引入 ζ 是为了表征不确定关系，即

$\Delta p \cdot \Delta q = \zeta \hbar$ ， $1/2 \leq \zeta < \infty$ 。利用有效背景密度EBD，可以构造产生亚引力的物质源。用激光束照射背景原子，并调节激光频率对原子共振跃迁频率的失谐，就可以改变激光辐照区域的质量密度，从而形成激光调谐的物质源。

检验原子是通过标准的三维光学黏胶技术制备的。该超冷原子团位于产生亚引力的物质源的上

方。冷原子团是一个包含数百万个无相互作用的原子系综。基于系综探测原理，一个包含这么多无相互作用原子的单一实验相当于连续多次重复的单个原子的测试累积。检验原子团的相空间密度不能太大。否则，原子之间的相互作用便不能忽略，系综描述便失效了。

当检验原子从初始位置释放时，它们自由下落并可穿越产生亚引力的物质源，从而感知隐藏在物质源表面附近的亚引力。

图1是在相应实验条件下的计算结果。图2是实验结果。

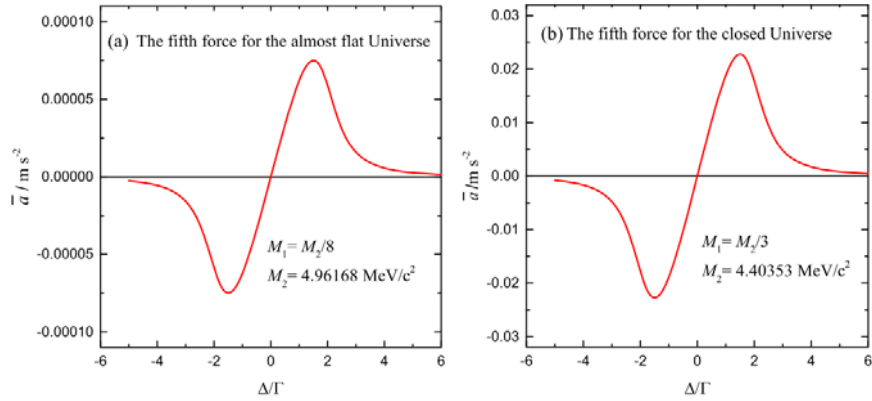


图1.亚引力在变频飞行时间方案中的计算结果。亚引力在短尺度上的大小远远大于牛顿万有引力。

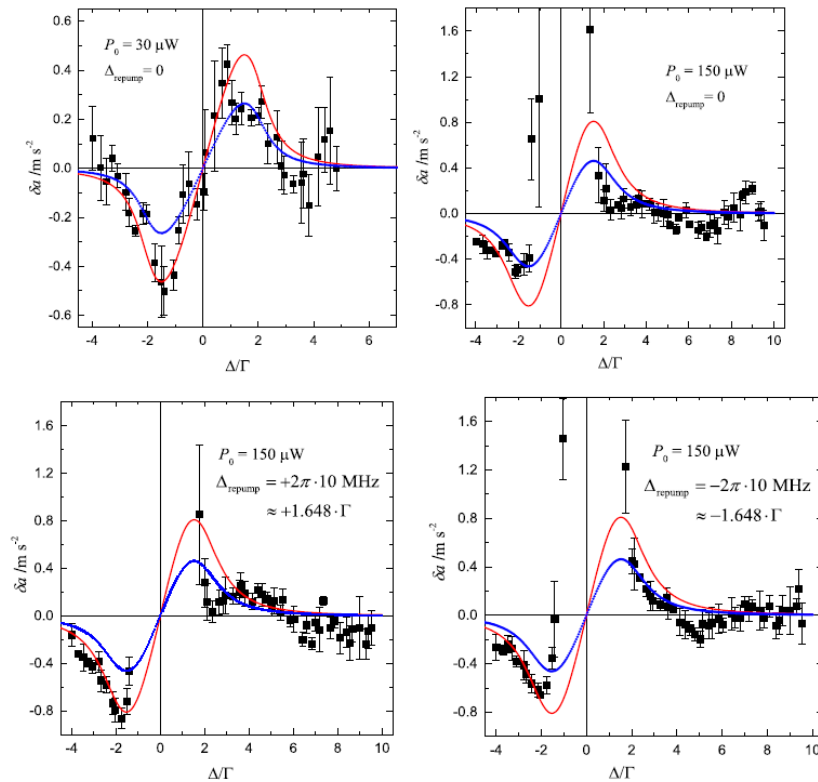


图2. 利用变频飞行时间法测得的检验原子加速度随激光失谐变化的实验数据。每一个频率点测量四次，交叉扫描以抑制系统误差。

本报告将详细报道实验方案及其实验结果。

关键词：第五种力，亚引力，暗能量，飞行时间法；fifth force, sub-gravitational force, dark energy, time-of-flight (TOF)

参考文献

- [1] C. Brans and R. H. Dicke, Mach's principle and relativistic theory of gravitation, *Phys. Rev.* 124, 925 (1961).
- [2] Hai-Chao Zhang, Obtaining a scalar fifth force via a symmetry-breaking coupling between the scalar field and matter, *Phys. Rev. D* 101, 044020 (2020).
- [3] D. O. Sabulsky, I. Dutta, E. A. Hinds, B. Elder, C. Burrage, and Edmund J. Copeland, Experiment to Detect Dark Energy Forces Using Atom Interferometry, *Phys. Rev. Lett.* 123, 061102 (2019).
- [4] Hai-Chao Zhang, Xin-Ping Xu, Jing-Fang Zhang, and Chuan Wang, Could trapped quintessence account for the laser-detuning-dependent acceleration of cold atoms in varying-frequency time-of-flight experiments? *Phys. Rev. D* 105 102006 (2022).
- [5] 曾谨言, 量子力学(下册), (科学出版社, 北京, 1981), 第468页.
- [6] W. Heisenberg, *The Physical Principles of the Quantum Theory* (Dover Publications, New York, 1998).

基于光子行走实验验证广义本征态热化假说

王琴琴，许小冶，韩永建，李传锋

中国科学院量子信息重点实验室，中国科学技术大学，合肥 230026

邮箱: wgqinqin@ustc.edu.cn

理解初始远离平衡的孤立量子系统最终如何达到平衡，以及达到平衡后的态用何种统计系综来描述是非平衡态统计物理中的一个重要问题。本征态热化假说在理解不可积量子系统的热化方面起着至关重要的作用，即每一个能量本征态都是一个热态。然而对于可积的量子系统，在额外的守恒量（比如动量）的约束下无法热化。尽管如此，可积量子系统仍然可以发生广义热化。通过搭建具有完整初态制备和末态刻画能力的大尺度光子行走平台，我们实验验证了广义本征态热化假说在诠释孤立可积量子系统中广义热化过程的有效性。

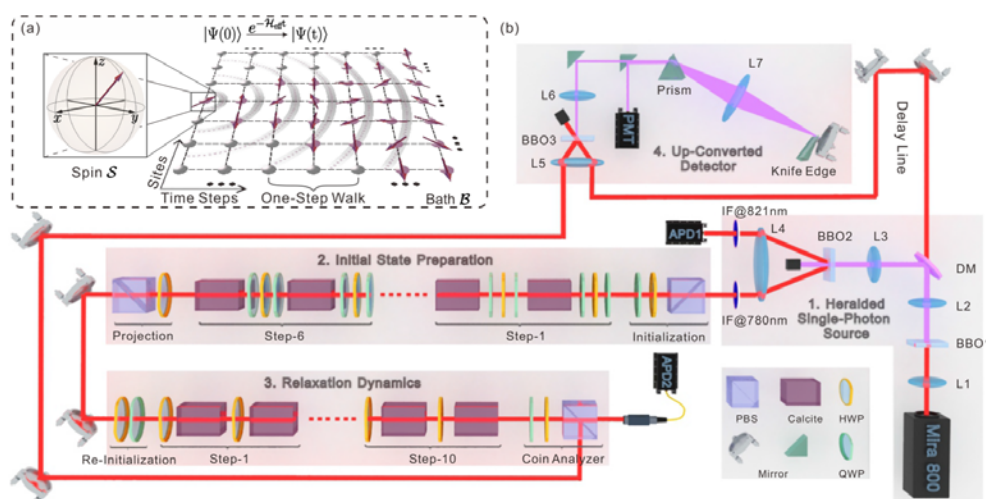


图1 量子行走模型和实验装置示意图。

关键词：量子行走；量子热化；可积系统；广义本征态热化假说

参考文献：

- [1] Rigol M., Dunjko V. and Olshanii M. Thermalization and its mechanism for generic isolated quantum systems. *Nature* 452, 854-858 (2008).
- [2] Q.-Q. Wang, et al., Experimental verification of generalized eigenstate thermalization hypothesis in an integrable system, *Light: Science & Applications* 11, 194 (2022).
- [3] Q.-Q. Wang, et al., Robustness of entanglement as an indicator of topological phases in quantum walks, *Optica* 7, 53-58 (2020).
- [4] Q.-Q. Wang, et al., Dynamic-disorder-induced enhancement of entanglement in photonic quantum walks, *Optica* 5, 1136-1140 (2018).
- [5] X.-Y. Xu, et al., Measuring the winding number in a large-scale chiral quantum walk. *Phys. Rev. Lett.* 120, 260501 (2018).

巨型原子的非互易

张岩, 吴金辉

东北师范大学物理学院量子科学中心, 130024

zhangy345@nenu.edu.cn

通常情况下在原子-波导耦合系统中原子尺寸远小于波导模波长, 于是原子和波导的相互作用被看作为点耦合。然而近期实验中一个超导 transmon 量子比特被设计为通过多个耦合点与表面声波相互作用, 耦合点间距离可以远大于表面声波波长, 这类模型被称为巨型原子^[1]。巨型原子展现出了一些有趣的量子现象^[2-5], 如频率相关弛豫速率和 Lamb 频移、非指数原子衰减、无退相干原子间相互作用、非平庸束缚态、量子芝诺效应和反芝诺效应等。另一方面, 手性量子光学近年来受到关注, 即通过打破时间反演对称性使原子与波导模之间的相互作用与方向相关的。该范式可通过一些方法来实现, 如自旋动量锁定效应、在超导电路中插入环形电路、应用拓扑波导、合成人工规范场等。

本工作首先研究了原子外部耗散和局域耦合相位对二能级巨型原子的单光子散射特性的影响。当在两个耦合点之间引入相位差时(实验上可以通过加入约瑟夫森结实现), 通过比较 Markovian 区中单光子散射特性, 这里构造的具有耦合点相位的二能级巨型原子系统可以等效于手性耦合的小原子系统。然而, 在 non-Markovian 区中散射光谱会表现出独特的巨型原子效应。研究结果证明并解释了二能级巨型原子中与手性相互作用相关的时间反演对称性破缺不足以实现非互易光子散射; 在没有原子外部耗散的情况下, 即使原子自发辐射是手性的, 光子散射仍然是互易的。为了实现无外部耗散巨型原子的非互易单光子散射, 这里还构造了耦合在两个波导上具有耦合点相位的闭合三能级 ∇ 型和 Δ 型巨型原子结构, 实现了非互易散射和手性散射。基于该系统的可调谐非互易特性, 实现了单光子靶向路由和循环器的有效方案。最后, 比较了 ∇ 型和 Δ 型巨型原子非互易散射的不同的内在物理机制^[6]。

关键词: Giant atom, Chiral interaction, Nonreciprocal scattering

参考文献

- [1] Kockum A. F., Quantum optics with giant atoms—the first five years, p125-p146 in Mathematics for Industry (Springer Singapore, 2021).
- [2] Andersson G. et al., Nonexponential decay of a giant artificial atom, Nat. Phys. 15, 1123 (2019).
- [3] Kannan B. et al., Waveguide quantum electrodynamics with superconducting artificial giant atoms, Nature (London) 583, 775 (2020).
- [4] Du L. et al., Giant Atoms in Synthetic Frequency Dimensions, Phys. Rev. Lett. 128, 223602 (2022).
- [5] Du L. et al., Giant atoms with time-dependent couplings, Phys. Rev. Research 4, 023198 (2022).
- [6] Chen Y.-T. et al, Nonreciprocal and chiral single-photon scattering for giant atoms, Commun. Phys., under review. (<https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.00823>)

机器学习在量子精密测量中的应用

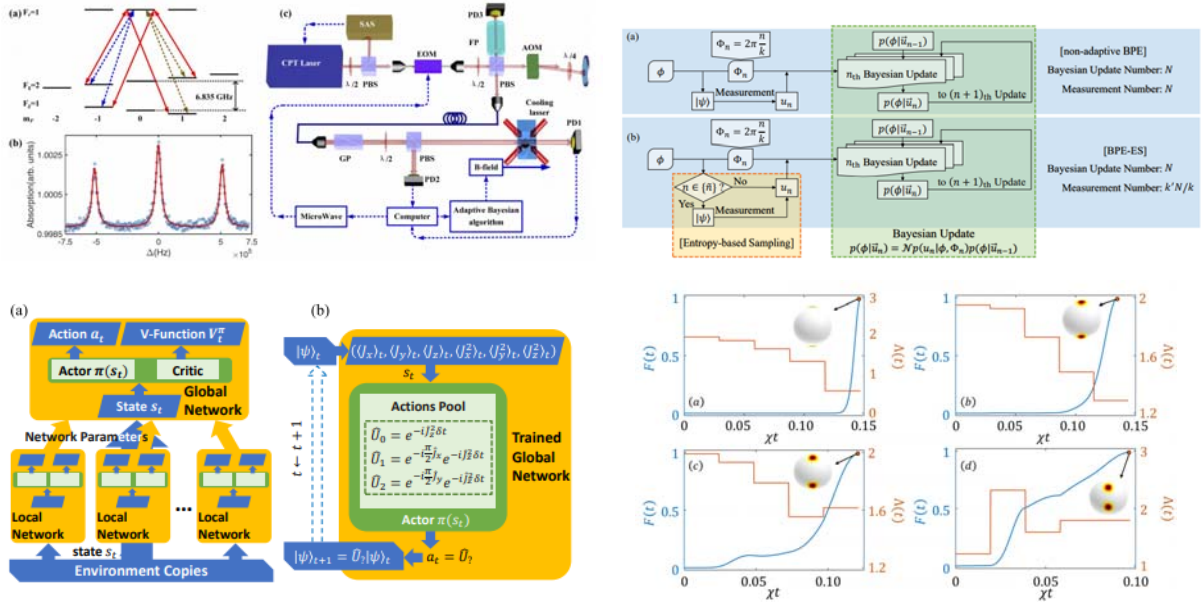
李朝红、黄嘉豪、邱宇翔、霍宏滔、韩成银、庄敏

中山大学物理与天文学院, 519082

lichao2@mail.sysu.edu.cn

摘要正文:

量子精密测量研究如何利用量子资源来提高参数测量的精度。一般的测量过程分为态制备、信号积累以及读出三个步骤。为了实现最佳的测量精度，在相干时间、粒子数等量子资源有限的情况下，这三个步骤均需要进行优化。近年来随着信息科学的蓬勃发展，许多机器学习算法逐渐成熟，为解决这类优化问题提供了有力的工具。在本报告中，我们将介绍机器学习在量子精密测量中的应用。具体包括：利用自适应贝叶斯算法寻找所需的磁敏感跃迁[1]，基于熵采样的高效贝叶斯相位估计[2]，基于机器学习优化[3,4]与强化学习[5]的纠缠增强量子精密测量方案等。



关键词：量子精密测量；机器学习；贝叶斯估计；强化学习

参考文献

- [1] Han C. et al., Adaptive Bayesian algorithm for achieving a desired magneto-sensitive transition, Opt. Exp. 29, 21031 (2021).
- [2] Qiu Y. et al., Efficient Bayesian phase estimation via entropy-based sampling, Quan. Sci. Technol. 7, 035022 (2022).
- [3] Huang J. et al., Efficient generation of spin cat states with twist-and-turn dynamics via machine optimization, Phys. Rev. A 105, 062456 (2022).
- [4] Huo H. et al. Machine optimized quantum metrology of concurrent entanglement generation and sensing, Quan. Sci. Technol. 7, 025010 (2022).
- [5] Qiu Y. et al., Efficient and robust entanglement generation with deep reinforcement learning for quantum metrology, New J. Phys. (in press).

基于超冷原子和囚禁离子的非厄米量子物理研究

罗乐

中山大学物理与天文学院, 519082

Email: luole5@mail.sysu.edu.cn

摘要:

在传统量子力学中, 用来进行量子计算与量子模拟的量子体系, 其系统的物理可观测量都是实数。1998年, Bender 发现具有宇称-时间反演对称 (PT-对称) 的非厄米哈密顿量也可以存在全为实数的本征值能谱。这一发现极大地促进了非厄米物理学的发展。由于量子调控技术的进步, 非厄米系统特有的一系列新奇性质被理论和实验研究不断预言和发现, 关于非厄米系统的研究正成为当前物理学的热点研究方向。

近年来, 通过超冷原子[1]和囚禁离子这两类原子物理实验, 我们研究了开放量子系统中非厄米量子态探测与调控研究。该报告将会介绍在囚禁离子中制备了宇称时间和反宇称时间对称的哈密顿量, 包括增益耗散平衡的非厄米量子比特的动力学演化 (非幺正演化)、PT 对称-破缺转变 (本征值能谱)、非正交的本征态、开放系统中的量子速度极限[2], 以及设计脉冲序列实现了对反 PT 对称哈密顿量的模拟[3]。通过高精度含时控制的非厄密哈密顿量的制备, 在囚禁离子系统中实现了 PT 和反 PT 对称下的本征态的拓扑转换, 分别在两种对称下实现了两类拓扑态转换 (非互易且手性、非互易且非手性) 并验证了拓扑态转移的鲁棒性。此外, 我们基于现有的厄米系统中的动力学解耦序列理论与实验基础, 将动力学解耦方法引入非厄米 PT 对称系统中用于保护 PT 对称系统中的量子演化[4], 并且对此方案进行了理论模拟和实验验证。

关键词: 囚禁离子; 超冷原子; 开放量子系统; 非厄米量子力学; 宇称时间对称性;

参考文献:

- [1] Jiaming Li. et al., Observation of parity-time symmetry breaking transitions in a dissipative Floquet system of ultracold atoms, *Nature Communication*, 10 (1), 1-7, (2019).
- [2] Pengfei Lu. et al., Realizing quantum speed limit in open system with a PT-symmetric trapped-ion qubit. *arXiv:2206.00940*.
- [3] Ji Bian. et al., Quantum simulation of a general anti -PT symmetric Hamiltonian with a trapped ion qubit, *Fundamental Research*, <https://doi.org/10.1016/j.fmre.2022.05.019>.
- [4] Ji Bian. et al., Protection of quantum evolutions under parity-time symmetric non-Hermitian Hamiltonians by dynamical decoupling. Accepted by PRA.

光与原子的量子界面：从厄米到非厄米

王兴昌，王建民，Georgios A. Siviloglou, 陈洁菲

深圳量子科学与工程研究院，南方科技大学，518055

chenjf@sustech.edu.cn

线性分束元件（Beam-splitter）是最重要的一种光学元件之一，其在量子精密测量、光子量子计算、量子网络中都有重要的作用。线性分束元件在大多数的研究当中都被认为是无损的元件实现入射及出射光波或者物质波的幺正变换，而整个发生转换的系统可以用一个厄米的哈密顿量来描述。然而，非厄米的分束系统导致非幺正变换，相当于分束元件的透射和反射率之间的相位差不等于90度。这种非厄米物理系统能改写光子的聚束行为而使光子出现类费米子的反聚束行为，并用于开发非线性量子门器件[1,2]。

我们在最近的工作中把这种厄密性可调的分束元件模型[3]应用到不同类的玻色子中而实现量子干涉[4]。存储在原子系综中的“光子”以原子相干集体激发的形式存在，且等效为一种准粒子激发——“磁子”。飞行光子与磁子之间的高效转换是光学量子存储的核心，且它们之间的转换界面就是一种重要的光与原子量子界面。我们首先利用一束远失谐的泵浦激光场将基态原子激发到虚能级并进而发生拉曼激发过程，结果是其中一个原子被泵浦到另外一个亚稳态能级而形成单磁子，与此同时释放出一个光子，通过探测这个光子便能确定性地知道是否产生了单个磁子。在光量子存储中，飞行的光子可以相干地转换为相干集体激发的形式。若一个单光子可以被转换为一个磁子并存储下来，且可以按需读为与原来相同模式的飞行光子，原子-光界面就构成了光子-磁子之间的一个分束器。利用Fock态的单磁子与平均光子数小于1的单光子脉冲进行著名的Hong-Ou-Mandel干涉，并在实验中平衡两种玻色子输入的比例以得到超过50%的干涉对比度，超越了经典干涉的极限。此系统的厄米性可由增加原子和光相互作用通道的损耗，即通过控制光与原子跃迁频率的失谐量调控。我们证明了厄米性这个自由度可有效成为操控光-物质界面的新手段。

关键词：光与原子界面，厄米性，量子干涉，量子存储

参考文献

- [1] T. Roger, et al., Coherent Absorption of N00N States, Phys. Rev. Lett. 117,023601 (2016);
- [2] B. Vest, et al., Anti-coalescence of bosons on a lossy beam splitter, Science 356, 1373 (2017);
- [3] R. Wen et al., Non-Hermitian Magnon-Photon Interference in an Atomic Ensemble, Phys. Rev. Lett. 122, 253602 (2019);
- [4] X. Wang et al., Quantum Interference between Photons and Single Quanta of Stored Atomic Coherence, Phys. Rev. Lett. 128.083605 (2022).

两比特量子集体测量的实验实现及其应用

吴康达

安徽省合肥市包河区金寨路 96 号, 230026, 中国科学技术大学, 中科院量子信息重点

实验室

wukangda@ustc.edu.cn

摘要正文：在相同制备的量子系统上进行集体测量可以提取比局部测量更多的信息，从而提高信息处理效率。尽管这一非经典现象已经被发现多年，但在实验中证明集体测量的优势仍然是一项具有挑战性的任务。在这里，我们介绍了基于量子行走对两个相同制备的量子位执行确定性集体测量的一般方法。利用光子量子行走，我们在实验上实现了一种优化的集体测量，无需后选择。作为应用，我们实现了高效率的量子态层析和热力学量子测量反作用力的减小【1】。在量子热力学中，当我们对一个系统的哈密顿量的本征态进行投影测量的时候，会破坏掉系统的相干性，因此会失去量子态的相干信息。这种现象被称为测量反作用（measurement backaction）。为了减少这种反向作用，Perarnau-Llobet等人提出了一种基于集体测量的方案【2】，通过集体测量来提取更多初始态的相干信息。我们在实验上利用了光子量子行走实现了该方案，成果量化地展示了其在减少测量反作用力上的优势【3】。基于以上的集体测量方案，我们将纠缠引入了测量中，理论进一步减少了量子测量带来的反作用，并且我们在实验上实现了该方案，演示了将反作用减少到最小的两比特纠缠测量【4】。因此，我们的实验装置证明了在各种当前技术中深入研究量子力学基本原理的可行性。

关键词：量子测量，量子热力学，量子相干性

参考文献

- [1] M. Perarnau-Llobet, E. Bäumer, K. V. Hovhannisyan, M. Huber, and A. Acín, No-Go Theorem for the Characterization of Work Fluctuations in Coherent Quantum Systems, *Phys. Rev. Lett.* 118, 070601 (2017).
- [2]] Z. Hou, J.-F. Tang, J. Shang, H. Zhu, J. Li, Y. Yuan, K.-D. Wu, G.-Y. Xiang, C.-F. Li, and G.-C. Guo, Deterministic realization of collective measurements via photonic quantum walks, *Nat. Commun.* 9, 1414 (2018).

- [3] K.-D. Wu, Y. Yuan, G.-Y. Xiang, C.-F. Li, G.-C. Guo, and M. Perarnau-Llobet, Experimentally reducing the quantum measurement back action in work distributions by a collective measurement, *Sci. Adv.* 5, 2375 (2019).
- [4] K.-D. Wu, E. Bäumer, J.-F. Tang, K. V. Hovhannisyan, M. Perarnau-Llobet, G.-Y. Xiang, C.-F. Li, and G.-C. Guo, Minimizing backaction through entangled measurements, *Phys. Rev. Lett.* 125, 210401 (2020).

不等臂非线性干涉仪输出场特性与测量方法的关系

霍楠¹, 张云霄¹, 崔亮¹, 赵雯¹, 郭学石¹, 区泽宇²⁺, 李小英^{1*}

¹ 天津大学精密仪器与光电子工程学院, 光电信息技术教育部重点实验室, 天津 300072

² Department of Physics, City University of Hong Kong, 83 Tat Chee Avenue, Kowloon, Hong Kong

Email: * xiaoyingli@tju.edu.cn; + jeffou@cityu.edu.hk

非线性干涉仪是一种量子干涉仪, 其典型结构是采用参量放大器代替马赫-曾德干涉仪中的线性分束器来实现分束与合束功能。随着对其基本原理的深入研究, 人们不仅对其提升测量灵敏度的机理有了更深入的理解, 而且发现了其在光谱分析、模式调控和遥感遥测等应用方面的独特性质[1]。这些新发现和新认识激发了人们对这种新型量子干涉仪进行深入研究的兴趣。

在实现精密测量与光学传感的应用中, 非线性干涉仪的一臂往往需要经过具有一定长度的样品, 从而引起两臂的光程不均衡。此时, 在两级之间引入了光子在时间或偏振等维度的可区分性, 从而导致在干涉仪输出端直接测量强度时, 干涉条纹消失。本文通过脉冲泵浦且两臂光程不等的非线性干涉仪, 观察到平衡零拍测量消除这种可区分性而恢复量子干涉的现象。这种恢复量子干涉的新机制不同于以往通过投影测量消除光子可区分性恢复量子干涉的方法[2]。利用量子干涉是振幅叠加的本质, 采用平衡零拍探测测量振幅, 并结合其选模特性和探测器慢速响应的特点, 则可通过光电流相干叠加恢复量子干涉[3]。这种恢复量子干涉的新方法也可用于其它类型的非平衡干涉仪, 对研究量子测量和量子传感有重要意义。

关键词: 非线性干涉仪, 量子干涉, 平衡零拍探测, 量子传感

参考文献

- [1] Z. Y. Ou and X. Y. Li, Quantum SU(1,1) interferometers: Basic principles and applications, APL Photon. 5, 080902 (2020).
- [2] A. G. Zajonc, L. J. Wang, X. Y. Zou, and L. Mandel, Quantum eraser, Nature 353, 507 (1991).
- [3] N. Huo, L. Cui, Y. X. Zhang, W. Zhao, X. S. Guo, Z. Y. Ou, and X. Y. Li, Measurement-dependent erasure of distinguishability for the observation of interference in an unbalanced SU(1,1) interferometer, PRX Quantum 3, 020313 (2022).

探测和度量真正多体量子纠缠及相干性的研究

张成杰

宁波大学物理科学与技术学院, 315211

邮箱: chengjie.zhang@gmail.com

摘要正文: Experimentally quantifying entanglement and coherence are extremely important for quantum resource theory. However, because the quantum state tomography requires exponentially growing measurements with the number of qubits, it is hard to quantify entanglement and coherence based on the full information of the experimentally realized multipartite states. Fortunately, other methods have been found to directly measure the fidelity of experimental states without quantum state tomography. Here we present a fidelity-based method to derive experimentally accessible lower bounds for measures of genuine multipartite entanglement and coherence. On the one hand, the method works for genuine multipartite entanglement measures including the convex-roof extended negativity, the concurrence, the G-concurrence, and the geometric measure for genuine multipartite entanglement. On the other hand, the method also delivers observable lower bounds for the convex roof of the l_1 -norm of coherence, the geometric measure of coherence, and the coherence of formation. Furthermore, all the lower bounds are based on the fidelity between the chosen pure state and the target state, and we obtain the lower bounds of several real experimental states as examples of our results.

关键词: 真正多体纠缠、量子相干性、纠缠目击者、相干性目击者

参考文献

- [1] Dai Y. et al., Experimentally Accessible Lower Bounds for Genuine Multipartite Entanglement and Coherence Measures. *Physical Review Applied* 13, 054022 (2020).
- [2] Ma Z. et al., Detecting and estimating coherence based on coherence witnesses. *Physical Review A* 103, 012409 (2021).

确定性压缩薛定谔猫态的全光产生

张筑城, 邵磊, 卢旺军, 王晓光*

地址: 浙江大学物理学院近代物理中心, 邮编: 310027

邮箱: xgwang1208@zju.edu.cn

量子态是重要的资源,其制备是所有量子技术的必要前提。然而,由于不可避免的耗散,它们极其脆弱。本文提出了一种基于耗散的确定性压缩薛定谔猫态的全光产生方案。我们的系统基于三个光学模式之间的 Fredkin 型相互作用,其中一个模式是双光子驱动,其余是相干驱动。我们表明,在我们的系统中可以设计一个等效的简并三波混频过程,这会导致双光子的同时损耗,从而确定性地产生压缩薛定谔猫态。更重要的是,通过控制系统中的驱动场,双光子损耗可以有效地调节,从而加速压缩薛定谔猫态的产生。此外,我们采用本系统产生的压缩薛定谔猫态来估计光学干涉仪中的相位。我们表明在多光子数的极限下,相位的量子 Fisher 信息可以达到海森堡极限。同时,在少光子数情况下,它比海森堡极限有一个数量级的因子提升,这对于无法承受多光子的脆弱系统非常有价值。总之,本文提出了一种全光制备压缩薛定谔猫态的方案。该方案可用于高速制备压缩薛定谔猫态,并可推广到其他的物理平台。

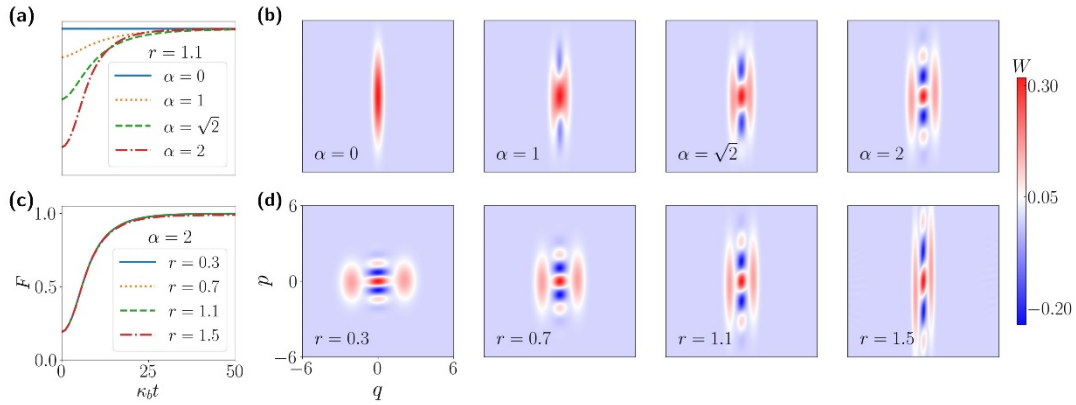


图 1 (a)和(c) 保真度的时间演化; (b)和(d) 稳态的 Wigner 函数。其中 α 为猫态尺寸, r 为猫态的压缩度。

关键词: 薛定谔猫态, 压缩, 量子 Fisher 信息

参考文献

- [1] Zhang Z. C. et al., All-optical generation of deterministic squeezed Schrödinger-cat states, arXiv:2206.02497 [quant-ph] (2022).
- [2] Zhang Z. C. et al., Single-photon-triggered spin squeezing with decoherence reduction in optomechanics via phase matching, Physical Review A 104 (5), 053517 (2021).

无探测效率漏洞的高维 bell 测试

张超, 胡晓敏, 柳必恒, 李传锋, 郭光灿

安徽省合肥市包河区金寨路 96 号中国科学技术大学, 量子信息重点实验室, 230026

zhangcha@mail.ustc.edu.cn

摘要正文: Bell不等式的违背显示了量子力学和局部实在论之间的强烈冲突。无漏洞Bell测试不仅加深了对量子力学的理解, 更是量子信息中设备无关(DI)任务的重要基础。与qubit相比, 高维量子系统在关闭探测漏洞方面具有显著优势。在对称情况下的无漏洞实验中, 使用四维量子态和四组测量的Bell不等式容忍低至61.8%的检测效率。在实验中, 我们首次证明了四维纠缠光子对在关闭探测漏洞的同时违背了Bell不等式。该四维纠缠源的检测效率约为71.7%, 纠缠态的保真度为 0.995 ± 0.001 。此外, 结合多芯光纤技术, 无漏洞高维Bell测试和高维量子设备无关技术拥有广阔的前景。

关键词: Bell不等式, 探测效率, 纠缠态, 保真度。

参考文献

- [1] T. V'ertesi, S. Pironio, and N. Brunner, Phys. Rev. Lett. 104, 060401 (2010).
- [2] M. Giustina, A. Mech, S. Ramelow, B. Wittmann, J. Kofler, J. Beyer, A. Lita, B. Calkins, T. Gerrits, S.W.Nam, et al., Nature 497, 227 (2013).
- [3] B. G. Christensen, K. T. McCusker, J. B. Altepeter, B. Calkins, T. Gerrits, A. E. Lita, A. Miller, L. K. Shalm, Y. Zhang, S. W. Nam, et al., Phys. Rev. Lett. 111, 130406 (2013)
- [4] B. Wittmann, S. Ramelow, F. Steinlechner, N. K. Langford, N. Brunner, H. M. Wiseman, R. Ursin, and A. Zeilinger, New Journal of Physics 14, 053030 (2012).

引力诱导的纠缠放大

冯田峰

广东省广州市中山大学新港西路 135 号，邮政编码 510275

fengt3@mail2.sysu.edu.cn

摘要正文：在量子力学的框架下如何理解引力是现代物理学的一大挑战。最近，一种测试量子引力的量子信息理论方法表明，观察到两个大质量粒子之间的引力引起的纠缠是其非经典（量子）性质的证据[1,2]。到目前为止，已经提出了各种物理系统，例如 Stern-Gerlach 干涉测量法、类中微子振荡、光力学和原子干涉仪。然而，引力场中的量子效应非常小，因此现有的量子引力提议似乎极具挑战性。

为了解决上述关键挑战，在本次报告中，我们将提出一个基于弱纠缠逻辑矛盾的标准，该标准可以提高由于引力引起的纠缠而导致的信号灵敏度 [3]。具体来说，我们同时使用了弱值放大场景 [4] 和 Einstein-Podolsky-Rosen (EPR) 导引 [5,6]。与贝尔检验类似，我们考虑了两组可以随机选择的测量基，其中一组是正常的测量基（例如计算基），而另一组对应于弱值放大。我们表明，在弱纠缠的情况下，经典介体（经典引力场）无法模拟与弱值基矢的测量可见度，从而排除了定域的经典引力模型。与以前的协议相比，我们的方法可以将非经典（量子）引力模型信号放大任何所需的因子（该因子取决于弱值的大小）。也就是说，我们的方法可以让我们观察到以前无法观察到的纠缠信号。我们的工作使引力诱导纠缠的检测更接近实验实现。我们的结果不仅为在不久的将来探测引力的非经典性开辟了可能性，而且为更普遍的弱纠缠标准铺平了道路。

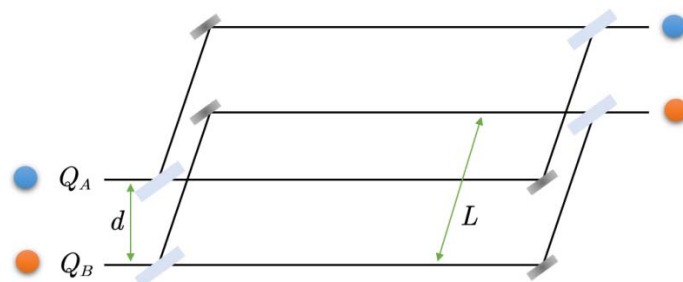


图1 用于测试引力引起的纠缠的 Bose-Marletto-Vedral 实验装置。有两个具有质量的粒子QA和QB，每个粒子单独且平行地经过马赫-曾德尔型干涉仪。它们通过引力场与对方相互作用。

关键词：量子引力、量子纠缠、弱值放大

参考文献

[1] C. Marletto and V. Vedral, Gravitationally Induced Entanglement between Two Massive Particles is Sufficient Evidence

of Quantum Effects in Gravity, *Phys. Rev. Lett.* 119, 240402 (2017).

[2] S. Bose, A. Mazumdar, G. W. Morley, H. Ulbricht, M. Toro, et al., Spin Entanglement Witness for Quantum Gravity, *Phys. Rev. Lett.* 119, 240401 (2017).

[3] T. Feng and V. Vedral, Amplification of Gravitationally Induced Entanglement, [arXiv.2202.09737](https://arxiv.org/abs/2202.09737) (2022)

[4] Y. Aharonov, D. Z. Albert, and L. Vaidman, How the result of a measurement of a component of the spin of a spin-1/2 particle can turn out to be 100, *Phys. Rev. Lett.* 60, 1351 (1988).

[5] A. Einstein, B. Podolsky, and N. Rosen, Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? *Phys. Rev.* 47, 777–780 (1935).

[6] H. M. Wiseman, S. J. Jones, and A. C. Doherty, Steering, entanglement, nonlocality, and the Einstein-Podolsky-Rosen paradox, *Phys. Rev. Lett.* 98, 140402 (2007).

简并模式单原子关联辐射激光与腔内微波压缩态的观测

阮馨慧^{2,1} 谭锦磊¹ 李静¹ 吴热冰² 刘玉玺² 周兰¹ 张靖³ 彭智慧¹

¹⁾ 低维量子结构与量子控制教育部重点实验室, 物理系量子效应与应用协同创新中心,

湖南师范大学, 长沙 410081, 中国

²⁾ 清华大学自动化系, 北京 100084, 中国

³⁾ 西安交通大学自动化科学与工程学院, 西安 710049, 中国

邮箱 rxh20@mails.tsinghua.edu.cn, zhangjing.1997@tsinghua.org.cn, zhihui.peng@hnnu.edu.cn

摘要正文:

超导量子电路不仅能够用于量子计算, 还能用于量子光学基本现象的研究。激光是量子光学的一种重要现象, 有着广泛的应用。基于超导量子电路的强量子非线性, 人们可以实现强耦合体系下单人工原子激光。我们在实验上用单个超导磁通型三能级人工原子和一个超导谐振腔构建了能产生简并模式单人工原子关联辐射激光系统, 并表征了简并模式关联辐射激光的光学性质, 包括激光的发射谱、激光的相干性、受激辐射放大现象等。我们测得的激光线宽低于Schawlow-Townes极限1/3以上, 考虑受激辐射后, 线宽能进一步减小1/8。由于原子的两个激发态和腔模之间的相互作用具有很强的关联性, 简并模式关联辐射激光系统实际上是一种相敏感的放大器, 它能放大腔场某一方向的噪声同时缩小其正交方向的噪声, 因此能产生腔内压缩态, 我们在实验上观测到了这一现象并重构了压缩态的Wigner函数。Scully等人曾理论预言关联辐射激光能产生压缩度超过3dB的腔内压缩态。在考虑系统噪声温度的情况下, 我们能达到这一压缩极限。我们的研究提供了一种实现片上激光器和片上压缩光的方式, 有望用于量子精密测量领域。

关键词: 关联辐射激光; 压缩态; 超导量子电路

参考文献

[1] Scully, M. O. et al., Two-photon correlated--spontaneous-emission laser: Quantum noise quenching and squeezing. Phys. Rev. Lett. 60, 4 (1988).

基于极化—动量锁定的手性量子光学与量子非互易

夏可宇, 龚尚庆, 吴浩东, 张涵, Franco Nori, Min Xiao

南京大学

江苏省南京市栖霞区仙林大道 163 号, 210023 中国

Keyu.xia@nju.edu.cn

摘要正文: 手性量子光学和量子非互易是量子光学领域的前沿, 提供了新颖的非传统量子信息技术, 但是其实现机制非常有限, 主要是依赖于自旋—动量锁定。本次报告将首先介绍一种实现手性量子光学和量子非互易的极化—动量锁定新机制。该机制利用原子微观热运动引起的微观多普勒效应与单向控制光结合, 诱导出依赖于信号光传输方向的介质极化 [1]。然后, 基于该机制构建手性量子光学系统, 实现无磁场的光学非互易 [1], 单光子隔离 [2], 打破非线性光学动态互易限制[3]。更进一步, 报告将介绍光学非互易在基础物理效应分析领域的重要应用, 提供一种利用光学非互易甄别电磁感应透明和Autler-Townes劈裂的客观方法 [4]。

关键词: 极化—动量锁定, 手性量子光学, 量子非互易, 光隔离, 微观多普勒效应

参考文献

- [1] Shicheng Zhang et al., Thermal-motion-induced non-reciprocal quantum optical system, *Nature Photon.*, 12, 744 (2018).
- [2] Keyu Xia, Franco Nori, and Min Xiao, Cavity-Free Optical Isolators and Circulators Using a Chiral Cross-Kerr Nonlinearity, *Phys. Rev. Lett.*, 121, 203602 (2018).
- [3] Ming-Xin Dong et al., All-optical reversible single-photon isolation at room temperature, *Sci. Adv.*, 7:eabe8924 (2021).
- [4] Haodong Wu et al., Fundamental Distinction of Electromagnetically Induced Transparency and Autler-Townes Splitting in Breaking the Time-Reversal Symmetry, *Laser & Photonics Rev.* 2100708 (2022).

基于拓扑半金属材料的中红外波段直接轨道角动量探测

孙栋

北京大学物理学院量子材料国际中心，北京，100871

sundong@pku.edu.cn

摘要正文： 近期，基于拓扑半金属 WTe_2 的探测器实现了对光轨道角动量的直接光电探测，但该工作仅局限于近红外波段，并未将其拓展至在实际中更有应用前景的中红外波段。这是因为大多数光电探测器的光电流响应一方面对相位信息不敏感，另一方面其在中红外波段的响应度也较低。在本工作中，我们设计了一种基于第二类外尔半金属 TaIrTe_4 的光电探测器，在中红外波段实现了对光轨道角动量的直接光电探测。该探测器具有特殊的电极形状，能够收集由轨道光电效应产生的特定方向上的光电流，实验结果表明器件收集到的光电流的幅度与光轨道角动量的模式数成正比。此外， TaIrTe_4 在中红外波段具有拓扑增强的响应，能够进一步帮助其克服类似器件在中红外波段响应度低的问题，未来再结合其所具有对线偏振和圆偏振的灵敏度，以及常规的光强度响应能力，将其进一步集成至集成到焦平面阵列中，能够在中红外波段实现多光学参量的同时表征。

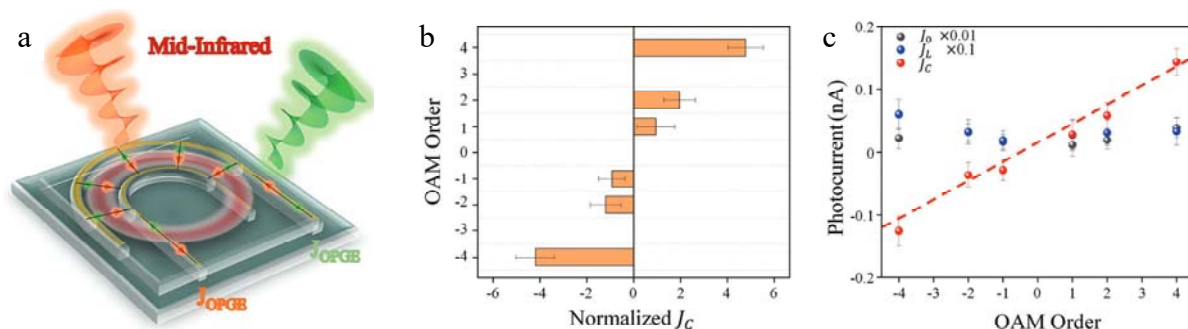


图 1 光电探测器示意图与相应测试结果 (a) 基于 TaIrTe_4 的光电探测器示意图 (b) 归一化后的圆偏振光电流成分随光轨道角动量模式数的关系图，其大小正比于光轨道角动量的模式数 (c) 偏振无关光电流成分、圆偏振光电流成分与各向异性光电流成分随光轨道角动量模式数的关系图，仅有圆偏振光电流成分随光轨道角动量模式数存在明显变化

关键词： 轨道角动量、轨道光电效应、中红外、外尔半金属

参考文献

- [1] Jiawei Lai, Junchao Ma, Zipu Fan, Xiaoming Song, Peng Yu, Zheng Liu, Pei Zhang, Yi Shi, Jinluo Cheng, Dong Sun, Advanced Materials: Direct Light Orbital Angular Momentum Detection in Mid-Infrared Based on the Type-II Weyl Semimetal TaIrTe_4 , Advanced Materials, DOI:10.1002/adma.202201229 (2022).

Synthetic topological vacua of Yang-Mills fields in Bose-Einstein condensates

李嘉桢[#], 邹聪俊[#], 杜炎雄, 吕庆先, 黄巍, 梁振涛,

张丹伟, 颜辉, 张善超*, 朱诗亮*

广东省广州市广州大学城华南师范大学物理与电信工程学院, 510006

sczhang@m.scnu.edu.cn

摘要正文: The vacuum of is the gauge field state with the lowest energy and thus zero field strength. It is crucial to our understanding of some amazing features of particle structures and quantum fields. A familiar vacuum is the zero point fluctuation of the electromagnetic field, which leads to physical effects such as the Lamb shift and Casmir force. In the electroweak theory, the investigation of vacuum leads to our deep understanding of the world such as the origin of mass and Higgs model. Notably, the vacua of Abelian gauge field have been widely studied in various platforms and attracted a lot of interest. In sharp contrast, the vacua of non-Abelian Yang-Mills fields has not been synthetized with any systems and is hard to be explored since it is a nonperturbative solution of a nonlinear quantum field equation. Topological vacua are a family of degenerate ground states of the non-Abelian Yang-Mills field with zero field strength but non-trivial topological structures. They were firstly predicted in year 1975 and afterwards play fundamental roles in modern particle physics and quantum field theory. However, it has not yet been experimentally observed. In this talk, we would like to discuss the first theoretical proposal and experimental realization of a synthetic topological vacua with a cloud of atomic Bose-Einstein condensates. The vacuum of topological number $n = 1$ and are realized, the different topology can be easily observed from their distinctive spin textures and Hopf links.

关键词: synthetic gauge field, non-abelian vacuum, ultracold atoms, Bose-Einstein condensate

参考文献:

- [1] R. Jackiw, C. Rebbi, Phys. Rev. Lett. 37, 172 (1976)
- [2] G. 't Hooft, Phys. Rev. Lett. 37, 8 (1976)
- [3] S. Sugawa, F. Salces-Carcoba, A. R. Perry, Y. Yue, I. B. Spielman, Science 360, 1429 (2018)
- [4] D.-W. Zhang, Y.-Q. Zhu, Y. X. Zhao, H. Yan, S.-L. Zhu, Advances in Physics 67, 253 (2018).

Floquet engineering to reactivate a dissipative quantum battery

白思远

甘肃省兰州市城关区兰州大学, 730000

Email: baisy@lzu.edu.cn

As an energy storing and converting device near atomic size, a quantum battery (QB) promises enhanced charging power and extractable work using quantum resources. However, the ubiquitous decoherence causes its cyclic charging-storing-discharging process to become deactivated, which is called aging of the QB. Here, we propose a mechanism to overcome the aging of a QB. It is found that the decoherence of the QB is suppressed when two Floquet bound states (FBSs) are formed in the quasienergy spectrum of the total system consisting of the QB-charger setup and their respective environments. As long as either the quasienergies of the two FBSs are degenerate or the QB-charger coupling is large in the presence of two FBSs, the QB exposed to the dissipative environments returns to its near-ideal cyclic stage. Our result supplies an insightful guideline to realize the QB in practice using Floquet engineering.

Reference:

Si-Yuan Bai and Jun-Hong An; *Floquet engineering to reactivate a dissipative quantum battery*; Phys. Rev. A. 102.060201 (2020)

Experimental optimal direction guessing with abstention

Wen-Zhe Yan,^{1,2} Zhibo Hou,^{1,2,*} Jun-Feng Tang,^{1,2} Guo-Yong Xiang,^{1,2,†}

Chuan-Feng Li,^{1,2} Guang-Can Guo,^{1,2} and Marc-Olivier Renou^{3,‡}

¹ CAS Key Laboratory of Quantum Information, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, People's Republic of China

² CAS Center For Excellence in Quantum Information and Quantum Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, People's Republic of China

³ ICFO-Institut de Ciències Fòniques, The Barcelona Institute of Science and Technology, Castelldefels (Barcelona), Spain.

ywzhhhh@mail.ustc.edu.cn

摘要正文: Quantum measurements with abstention allow for better performance in quantum information processing tasks such as unambiguous state discrimination^[1] and quantum metrology^[2]. However, their experimental realization is quite challenging, since sophisticated quantum measurements are required. Here, we focus on the fundamental task of direction estimation^[3]. We consider the problem in which a party, Alice, is given a two spin-1/2 state rotated in some direction, and performs a measurement to guess this direction. In the standard estimating protocols without abstention, the optimal direction guessing can only be achieved with some specific input states^[3]. Here we consider the case in which the input state is suboptimal, experimentally demonstrating that Alice can, under some conditions, still reach the optimal guessing score (in terms of the fidelity and maximum likelihood scores) using abstention. We develop a general method to implement arbitrary two-qubit POVMs, and realize the optimal five-output two-qubit collective measurements with fidelities above 0.9850 using nine-step photonic quantum walks^[4]. Thanks to abstention, we obtain more than a 10-fold improvement of the direction guessing scores (in terms of deviation to the optimal guessing scores) [see FIG.1]. Furthermore, our experimental method promises scalability, which makes it possible to implement generalized measurements in higher dimensions. Our work demonstrates the versatility of photonic quantum walks for implementing many-qubit sophisticated measurements.

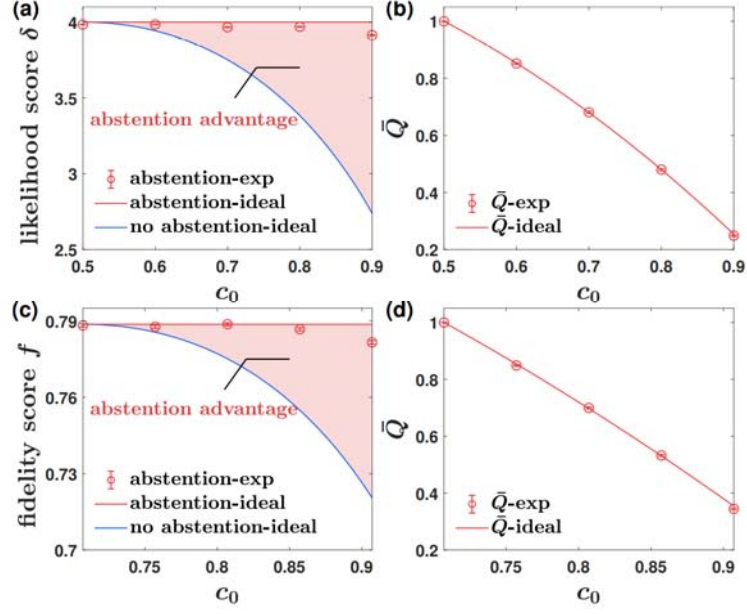


FIG. 1. Experimental results of the optimal direction guessing. For (a) likelihood score and (c) fidelity score, it is experimentally proved that the suboptimal states can also achieve the maximal score with abstention. The corresponding acceptance rate in each case is shown in (b) and (d) respectively.

关键词： direction guessing, abstention, collective measurement, quantum walk

参考文献

- [1] I. Ivanovic, Physics Letters A 123, 257 (1987).
- [2] B. Gendra, E. Ronco-Bonvehi, J. Calsamiglia, R. Muñoz Tapia, and E. Bagan, Phys. Rev. Lett. 110, 100501 (2013).
- [3] N. Gisin and S. Popescu, Phys. Rev. Lett. 83, 432 (1999).
- [4] P. Kurzyński and A. Wójcik, Phys. Rev. Lett. 110, 200404 (2013).

光与原子强耦合系统在人工磁场下的新奇量子相

张瑜瑜

重庆大学物理学院

yuyuzh@cqu.edu.cn

摘要正文： The quantum Rabi describes a two-level atom coupled to an optical cavity strongly, which undergoes a super-radiant phase transition in the limit where the atomic transition frequency in the unit of the cavity frequency tends to infinity[1-3]. The interplay of interactions, symmetries, and gauge fields usually leads to intriguing quantum many body phases. To explore the nature of emerging phases, we study a quantum Rabi triangle system as an elementary building block for synthesizing an artificial magnetic field. We develop an analytical approach to study the rich phase diagram and the associated quantum criticality[4]. Of particular interest is the emergence of a chiral-coherent phase, which breaks both the Z_2 and the chiral symmetry. In this chiral phase, photons flow unidirectionally and the chirality can be tuned by the artificial gauge field, exhibiting a signature of broken time-reversal symmetry. The finite-frequency scaling analysis further confirms the associated phase transition to be in the universality class of the Dicke model. This model can simulate a broad range of physical phenomena of light-matter coupling systems, and may have an application in future developments of various quantum information technologies.

关键词： Quantum Rabi model, artificial magnetic field, chiral photon current

参考文献：

- [1]M.-J. Hwang, R. Puebla, and M. B. Plenio, Phys. Rev. Lett . 115, 180404 (2015).
- [2]M. X. Liu, S. Chesi, Z.J. Ying, X.S. Chen, H.G.Luo, and H.Q. Lin, Phys. Rev. Lett . 119, 220601 (2017).
- [3]X.Y. Chen, Y.Y. Zhang, L.B. Fu, and H. Zheng, Phys. Rev. A 101, 033827 (2020).
- [4]Y.Y. Zhang, Z. X. Hu, L.B.Fu, H.G.Luo, H.Pu, X.F.Zhang, Phys. Rev. Lett . 127, 063602 (2021).

Sparse interferometry for measuring multiphoton collective phase

吴骥宙

南方科技大学 物理系 518055

wuchichou@gmail.com

摘要正文:

A multiphoton collective phase is a multiphoton-scattering feature that cannot be reduced to a sequence of two-photon scattering events, and the three-photon “triad phase” is the smallest nontrivial example. Observing a higher-order collective phase is experimentally challenging, and only triad and four-photon tetrad collective phases have been observed. We introduce a scheme to make higher-order multiphoton collective-phase observations feasible by designing a sparse interferometer, which significantly reduces complexity compared with the current best scheme for observing a multiphoton collective phase. Specifically, our scheme reduces the optical depth from logarithmic to constant and reduces the number of beam splitters from $O(n \log n)$ to linear scaling with respect to the collective-phase order n . As constant depth reduces loss and dispersion to a fixed rate regardless of collective-phase order, a major obstacle to observing large-scale collective phases is removed.

关键词:

multiphoton interference, multiphoton collective phase, sparse interferometry, constant optical depth, high-order correlation

光悬浮纳米粒子系统旋转运动与偶极散射实验研究

于旭东

山西省 太原市 坞城路 92 号 山西大学 030006

jiance_yu@sxu.edu.cn

真空光学悬浮微纳米粒子系统是基础物理和精密测量的重要研究平台，与其他光机械系统相比较，具有许多优异特性，例如：（1）无悬梁臂，降低了环境的影响，其Q值可达 10^{12} ，这是其他光机械系统很难比拟的；（2）与光学探测方式自然融合，可实现对粒子运动状态的精密测量；（3）具有丰富的动力学研究内容，除质心运动外，还可以观测扭摆运动和旋转运动^[1,2]；（4）质心运动捕获频率可达100kHz，扭摆运动在MHz量级，这使粒子运动状态的冷却更容易实现，目前实验上已实现质心运动的基态冷却^[3,4,5]，以及粒子六个自由度运动状态的冷却^[6]；（5）与其他多种技术的兼容性与灵活的操控性，如光、电、磁、微波技术等，可以通过这些手段对捕获的粒子进行外态和内态的操控；（6）可提供一个无粒子-基片相互作用的干净背景，用于粒子散射、成像等方面的研究。光悬浮系统这些出色的性能引起了研究人员的广泛兴趣，特别是旋转运动，实验目前已实现旋转频率超过GHz的高速机械转子。我们通过竖直光路设计和采用高数值孔径物镜，在无反馈冷却条件下，实现了转速超过4GHz的超高速转子，并且进一步通过质心运动反馈冷却，观察到6GHz的超高速旋转运动^[7]。此外，利用该系统，我们实验研究了单个纳米粒子的散射成像，以及两个粒子散射场的矢量干涉^[8]。

关键词：光悬浮，机械转子，散射，适量干涉

参考文献

- [1] J. Ahn, Z. Xu, J. Bang, Y. Deng, T. M. Hoang, Q. Han, R. Ma, and T. Li, Phys. Rev. Lett. 121, 033603 (2018).
- [2] R. Rene, M. Doderer, E. Hebestreit, R. Diehl, M. Frimmer, D. Windey, F. Tebbenjohanns, and L. Novotny, Phys. Rev. Lett. 121, 033602 (2018).
- [3] U. Deli'c, M. Reisenbauer, K. Dare, D. Grass, V. Vuleti'c, N. Kiesel, and M. Aspelmeyer, Science 367, 892 (2020).
- [4] L. Magrini, P. Rosenzweig, C. Bach, A. Deutschmann-Olek, S. G. Hofer, S. Hong, N. Kiesel, A. Kugi, and M. Aspelmeyer, Nature 595(7867), 373 – 377 (2021).
- [5] F. Tebbenjohanns, M. L. Mattana, M. Rossi, M. Frimmer, and L. Novotny, Nature 595, 378 (2021).
- [6] Antonio Pontin, Hayden Fu, Marko Toroš, Tania S. Monteiro, Peter F. Barker, arXiv:2205.10193v1.
- [7] Y. Jin, J. Yan, S. J. Rahman, X. Yu, and J. Zhang, Appl. Phys. Lett., 119, 021106 (2021).
- [8] Y. Jin, J. Yan, S. J. Rahman, X. Yu, and J. Zhang, Opt. Express, 30, 20026 (2022).

基于深度强化学习的量子传感参数估计*

肖太龙¹, 范建平², 曾贵华^{1†}

¹上海交通大学区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室, 量子感知与信息处理研究所, 中国, 上海, 20003

² 北卡罗来纳州立大学夏洛特分校计算机科学系, 美国, 北卡罗来纳州, 28241

摘要: 量子传感中的参数估计是科学和工程中的关键任务, 而量子信息技术则被认为大幅度提高参数估计的精度极限。传统的量子参数估计主要集中在优化探索态和测量方案中。在实际的量子传感场景中, 由于环境噪声、态制备和测量的不完美效应的影响, 参数估计的实际极限与理论极限还有较大差距。一种基于深度强化学习的量子控制方案旨在优化时变演化量子态的演化路径, 从而消除对最优量子测量的依赖, 实现最精确的量子参数估计。分别设计了在理想和有噪声演化情形下的仿真实验, 仿真结果展示了量子深度学习算法能够高效地优化出量子控制信号, 实现对量子态演化的最优控制, 逼近理论参数估计精度极限, 并且算法的可以被扩展到多比特的量子系统中。

关键字: 量子传感, 参数估计, 深度强化学习, 量子控制

参考文献

[1] Xiao, T., Fan, J. & Zeng, G. Parameter estimation in quantum sensing based on deep reinforcement learning. *npj Quantum Inf* **8**, 2 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41534-021-00513-z>.

* 国家自然科学基金资助项目(61701302, 61631014)

† 通讯作者: ghzeng@sjtu.edu.cn

第一作者: tailong_shaw@sjtu.edu.cn

基于 $SU(2)$ 酉演化的量子多参数同步最优估计

杨玉¹, 茹世浩¹, 安民¹, 王云龙¹, 王斐然^{1,2}, 张沛¹, 李福利¹

¹ 物质非平衡合成与调控教育部重点实验室

¹ 陕西省量子信息与光电量子器件重点实验室

¹ 西安交通大学物理学院, 西安 710049

² 西安工程大学物理学院, 西安 710048

yangyu1229@hotmail.com

摘要正文:

在量子精密测量的任务中, 实现多个参数的同步最优估计是实际应用中不可或缺的客观需求。本工作针对由 $SU(2)$ 动力学演化系统编码的多个参数, 首先提出了一种有效的数学方法用于研究量子反馈控制在提升多参数同步最优估计方面的可行性与局限性。所提出的方法以 $SU(2)$ 生成元的系数矢量及其关于任意参数的偏导矢量之间的嵌套向量积为数学工具, 揭示了量子反馈控制并非对多参数同步最优估计的性能提升始终有效。具体来说, 当上述系数矢量与偏导矢量之间的夹角为 90° 时, 量子反馈控制可以最大限度地提升参数估计精度, 当该夹角逐渐趋近于 0° 或者 180° 时量子反馈控制所贡献的精度提升逐渐减小, 当该夹角等于 0° 或者 180° 时量子反馈控制将完全失效。其次, 我们发现了一系列限制多参数同步最优估计的条件, 而且严格证明了利用最大纠缠 2-Qubit 量子态作为探针态并且添加一条辅助信道, 可以成功消除这些限制条件。最后, 一个自旋 $1/2$ 系统被用作例子, 进一步验证上述所提出结论的正确性。本工作所提出的数学方法, 可以用于研究任意的时间无关 $SU(2)$ 参量化过程, 并且充分阐述了控制增强的量子多参数估计性能。

关键词:

量子多参数估计, $SU(2)$ 酉演化, 量子反馈控制

参考文献

- [1] Yang Y. et al., Multiparameter simultaneous optimal estimation with an $SU(2)$ coding unitary evolution, Phys. Rev. A 105, 022406 (2022).
- [2] Yang Y. et al., Untwining two parameters at the exclusive zero-coincidence points, arXiv:2206.05999 (2022).
- [3] Hou Z. et al., Zero-trade-off multiparameter quantum estimation via simultaneously saturating multiple Heisenberg uncertainty relations, Sci. Adv. 7, eabd2986 (2021).
- [4] Yuan H., Sequential Feedback Scheme Outperforms the Parallel Scheme for Hamiltonian Parameter Estimation, Phys. Rev. Lett. 117, 160801 (2016).

超辐射晶格

王大伟

浙江大学物理学院

dwwang@zju.edu.cn

摘要：超辐射晶格是由原子的集体激发态组成的动量空间晶格，可以通过多数激光耦合电磁诱导透明系统构造出来。在实验中我们可以通过探测原子的透射和反射谱研究超辐射晶格的能带结构和传输特性。和冷原子的光晶格相比，超辐射晶格不受原子热运动的限制，可以在热原子汽中制备出来，从而为量子模拟提供了一个可在室温下运行的平台。本报告将介绍超辐射晶格的基本原理[1]、BEC超辐射晶格的观测[2]、热原子超辐射晶格的手征边缘流、平带局域化及Zak相位的测量[3]等最新研究进展。

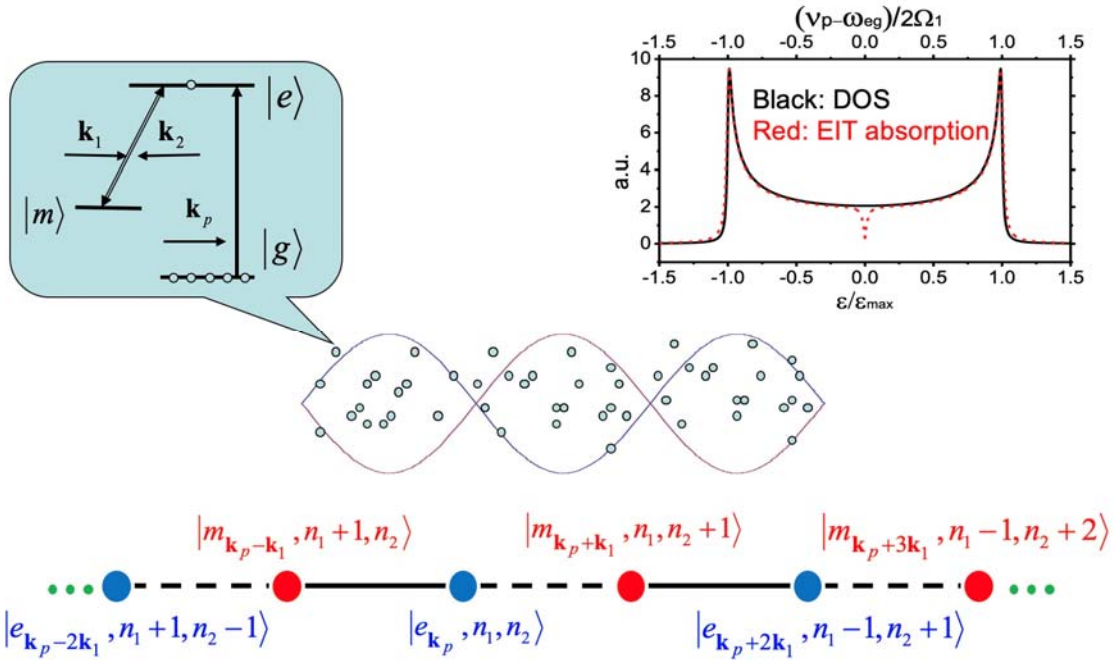


图1 超辐射晶格

关键词：超辐射，Zak相位，平带局域化，手征边缘流，拓扑相

参考文献：

- [1] Phys. Rev. Lett. 114, 043602 (2015); Optica 2, 712 (2015).
- [2] Phys. Rev. Lett. 120, 193601 (2018); npj Quantum Information 6, 18 (2020); Phys. Rev. A 104, 043326 (2021).
- [3] Phys. Rev. Lett. 122, 023601 (2019); Phys. Rev. Lett. 126, 103601 (2021); arXiv.2111.12378.

基于多测量设置的高维量子导引

瞿睿, 王云龙, 王斐然, 李福利, 张沛*

陕西省西安市咸宁西路 28 号西安交通大学物理学院, 710049

* Zhang.pei@xjtu.edu.cn

摘要正文: 高维量子系统最常提及的好处之一是导致更强的相关性, 具有对噪声更强的鲁棒性。在该工作中, 我们实验证明了 N 测量设置的线性高维量子转向判据。实验结果表明, 与两测量设置对比, 基于多测量设置的方法可以揭示更高的量子导引强度。而这也使得高维量子导引可以从更高噪声的环境中被提取出来。我们在实验中证明了具有63.4%噪声比例的11维各向同性态的导引特性, 并且在5维和7维的可容忍噪声阈值均超过了50%, 超越了两测量设置判据最高容忍50%噪声的限制。我们的工作提供了实际的单边设备独立的量子信息处理的潜力, 容忍噪声环境, 无损检测, 并超越目前的传输距离限制。

同时, 真正的高维量子导引最近被提出用于验证单方设备无关条件下的高维纠缠, 用施密特数量化[Phys. Rev. Lett. 126, 200404(2021)]。由于导引测试的核心挑战之一是容忍的噪声阈值, 这里我们开了一种更鲁棒的方法, 以在嘈杂环境中验证真正的高维量子导引。在理论上, 我们提出了基于多测量设置的真正高维量子导引判据, 超越了之前只有两个测量设置的限制。虽然目前的多设定准则不是紧的, 但我们从理论上证明了它比紧的二测量设定判据对噪声有更强的鲁棒性。为了测试我们方法在实际条件下的实用性, 我们报告了一个实验演示, 使用光子轨道角动量纠缠态在维度 $D=3,4,5$ 。我们的工作提供了一个更可靠的方法来见证实际的单方设备无关量子信息处理中的量子纠缠维度。

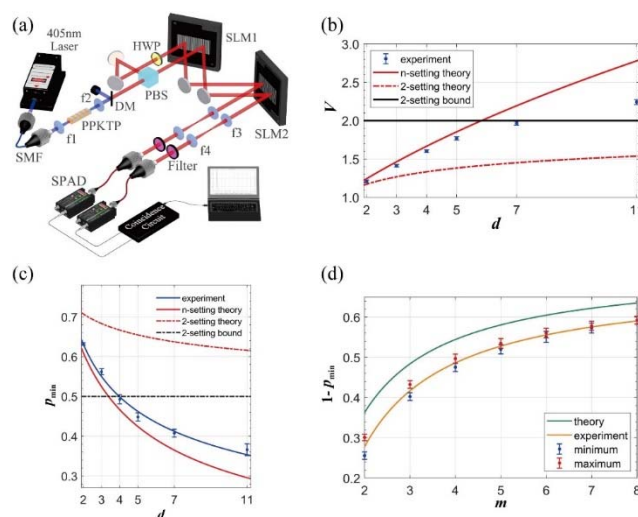


图1: (a) 双光子高维导引实验; (b) 对导引不等式的违反程度; (c) 不同维度的噪声阈值; (d) 不同测量设置的噪声阈值

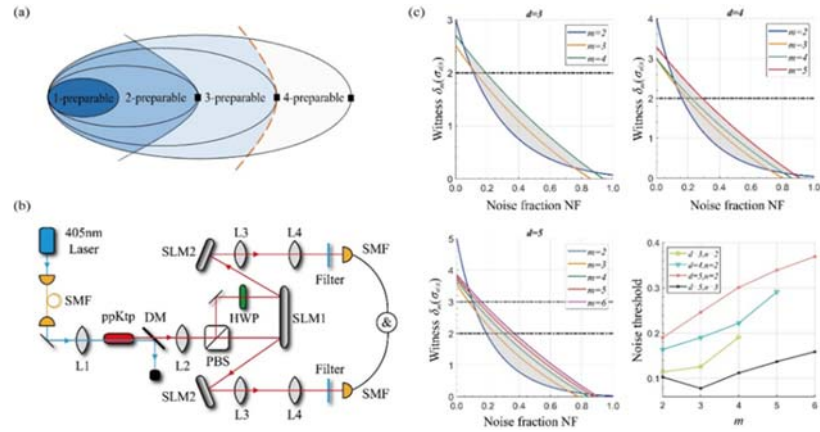


图2: (a) 真正高维导引嵌套结构; (b) 双光子高维导引实验; (c) 理论结果

关键词: 量子导引; 高维量子信息; 轨道角动量纠缠

参考文献 (中文小五号宋体, 英文和数字为 Times New Roman 小五号字)

- [1] Rui Qu, Yunlong Wang, Min An, Feiran Wang, Quan Quan, Hongrong Li, Hong Gao, Fuli Li, and Pei Zhang, "Retrieving High-Dimensional Quantum Steering from a Noisy Environment with N Measurement Settings." *Physical Review Letters* 128,240402. (2022)
- [2] Rui Qu, Yunlong Wang, Xiaolin Zhang, Shihao Ru, Feiran Wang, Hong Gao, Fuli Li, and Pei Zhang, "Robust method for certifying genuine high-dimensional quantum steering with multimeasurement settings," *Optica* 9, 473-478 (2022)

基于冷铷原子气体的多脉冲 CPT-Ramsey 干涉

鹿博、方瑞环、韩成银、江迅达、邱宇翔、郭媛媛、赵敏华、黄嘉豪、

李朝红

中山大学物理与天文学院，广东省珠海市，519082

lubo3@mail.sysu.edu.cn; hjiahao@mail2.sysu.edu.cn; lichao2@mail.sysu.edu.cn

相干布居数囚禁（CPT）是原子与光场作用产生的一种量子干涉现象，广泛应用于原子的相干操控、原子钟和磁力计等领域。类似于两能级Ramsey干涉，利用分离的双CPT脉冲可实施CPT-Ramsey干涉，干涉条纹线宽（ $\Delta\nu=1/2T$ ）。增加演化时间T能压窄条纹的线宽，但是当T较大时，条纹包含大量的、幅值相近的振荡，难以识别中心条纹。如何抑制CPT-Ramsey干涉的边带条纹并提高中心条纹的识别度，不仅是重要的科学问题，还对发展实用型CPT原子钟和磁力计至关重要。

为了解决CPT-Ramsey干涉中心条纹难以分辨的问题，我们在分离的双CPT脉冲间插入周期脉冲序列，实施多脉冲CPT-Ramsey干涉。基于激光冷却的铷-87原子和lin||lin的CPT方案，利用多脉冲CPT-Ramsey干涉，我们实验获得了频域间隔等于CPT脉冲序列重复频率的透射光谱梳。研究表明，在相同积分时间内，增加脉冲数，可增大梳齿间距和抑制边带条纹，继而提高中心条纹的识别度和对比度。从双 Λ 构型的五能级Bloch方程出发，我们解析地证明了时域多脉冲CPT-Ramsey干涉可映射到空间FP腔干涉。每个时域脉冲对应FP腔的一次反射，且反射率与拉比频率、脉冲宽度相关。由于铷-87原子基态的朗德因子存在微小差别，双 Λ 构型的磁非敏感跃迁包含的两个单 Λ 跃迁频率并非完全相同。得益于多脉冲CPT-Ramsey干涉光谱的高分辨率，当磁场不太弱时，多脉冲CPT-Ramsey干涉的中心条纹劈裂成两个峰，且该劈裂和磁场成纯线性关系。利用该劈裂，能够通过双 Λ 构型的磁非敏感跃迁的多脉冲CPT-Ramsey干涉直接测量磁场；反之，在确定磁场下，也可以利用该劈裂测量核朗德因子 g_I 。

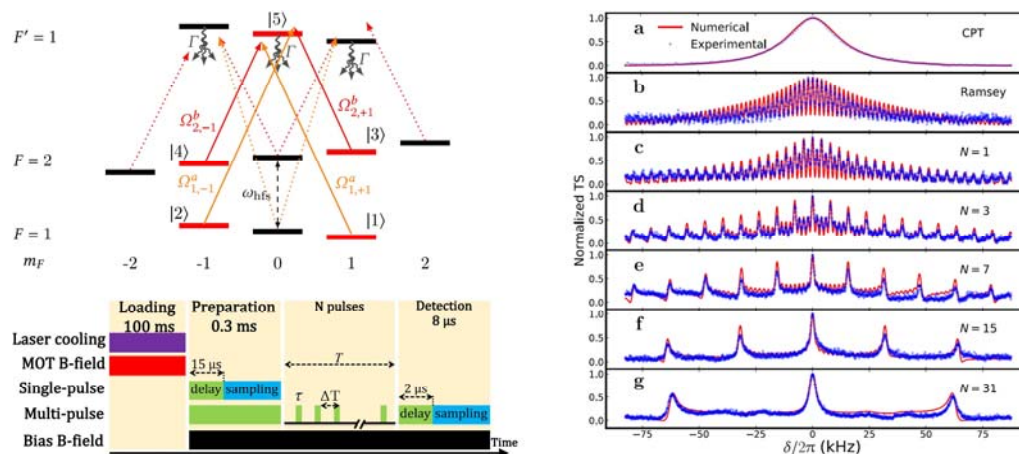


图1 多脉冲CPT-Ramsey干涉。左图为实验涉及的能级和时序，右图为获得的干涉光谱。

关键词：铷原子，相干布居数囚禁，CPT-Ramsey干涉

参考文献

- [1] Ruihuan Fang, Chengyin Han, Xunda Jiang, Yuxiang Qiu, Yuanyuan Guo, Minhua Zhao, Jiahao Huang, Bo Lu, and Chaohong Lee, Temporal analog of Fabry-Pérot resonator via coherent population trapping, npj Quantum Information 7:143 (2021).

基于光纤中四波混频的强度差压缩态的时域测量

赵雯¹, 郭学石¹⁺, 李小英^{1*}

¹ 天津大学精密仪器与光电子工程学院, 光电信息技术教育部重点实验室, 天津 300072

邮箱: * xiaoyingli@tju.edu.cn; + xueshiguo@tju.edu.cn

超短脉冲光泵浦的光纤中的四波混频是产生光学量子态的一种有效手段^[1-2]。如图1(a)所示^[3], 由于超短脉冲光高峰值功率特性以及光纤的低损耗特性, 该光量子态产生方案仅需超短脉冲单次通过非线性介质, 因而其产生的量子态具有短时性与宽带性。强度差压缩态是目前光纤系统中能够高质量产生的连续变量量子态, 目前已报道的直接测量最佳压缩度为6.2dB, 但已报道的结果中, 其测量电子频率均明显低于脉冲量子态的重复频率^[3]。本研究以80MHz带宽光纤耦合的快速差分探测器作为探测工具, 以5Gs/s采样率的数字示波器作为数据采集系统对重复频率为50MHz的强度差压缩态进行时域测量。将光脉冲序列中25万对同步的信号光和闲频脉冲的测量电压值通过差分探测器相减后分别做时间积分, 我们得到如图1(b)所示的积分结果直方图以及高斯拟合参数: 其中ID为光纤产生的强度差量子态噪声, SNL为同等功率下的散粒噪声, EN为无光时探测器的电子噪声。上述结果验证了同步的一对光脉冲具有强度差压缩特性。我们进一步研究了差分探测器输出的电脉冲时间积分值的关联特性, 结果表明相邻脉冲之间的关联系数小于7%, 且随着脉冲间隔数的增加而进一步减小。本研究为光纤系统中基于脉冲周期时间模式的时分复用多体纠缠态的产生提供了基础。

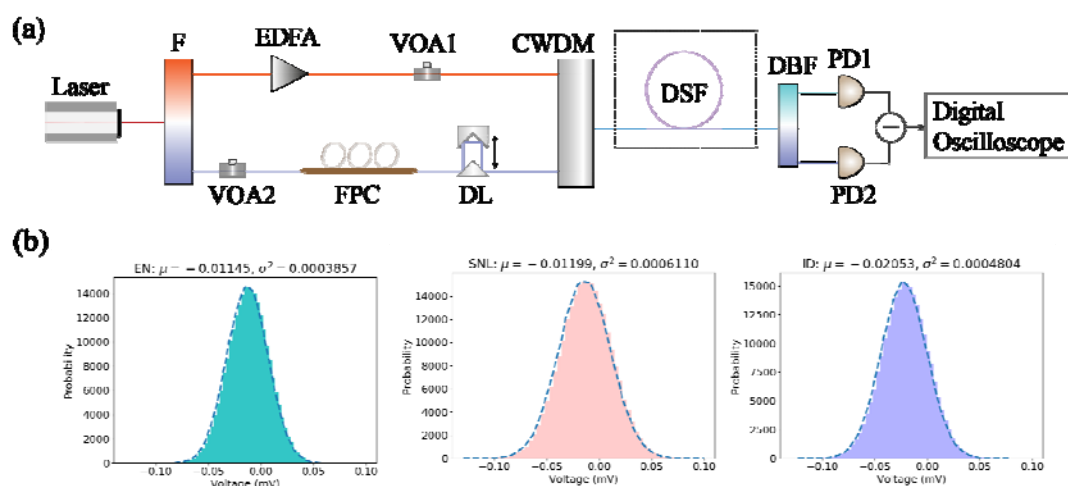


图1: (a) 实验装置, 详见参考文献^[3]; (b) 时域测量脉冲电压积分值的直方图。

关键词: 量子压缩态, 强度差压缩态, 光纤, 压缩态时域测量

参考文献

- [1] Li, Xiaoying et. al., Fiber-based source of photon pairs at telecom band with high temporal coherence and brightness for quantum information processing, Opt. Lett. **33**, 593-595 (2008)
- [2] Huo, Nan et. al., Direct Temporal Mode Measurement for the Characterization of Temporally Multiplexed High Dimensional Quantum Entanglement in Continuous Variables, Phys Rev Lett. **124**, 213603 (2020)
- [3] Liu Y. et al., Long-distance distribution of the telecom band intensity difference squeezing generated in a fiber optical parametric amplifier, Optics Letters, **43**, 5559 (2018).

Omnipresent coexistence of rogue waves in a nonlinear two-wave interference system and its explanation by modulation instability

Changchang Pan,¹ Lili Bu,¹ Shihua Chen,^{1,*} Dumitru Mihalache,²

Philippe Grelu,³ and Fabio Baronio^{4,†}

¹School of Physics and Quantum Information Research Center, Southeast University, Nanjing 211189, China, cshua@seu.edu.cn

²Department of Theoretical Physics, Horia Hulubei National Institute for Physics and Nuclear Engineering, Magurele-Bucharest, RO-077125, Romania

³Laboratoire ICB, U.M.R. 6303 C.N.R.S., Université Bourgogne Franche-Comté, 9 avenue A. Savary, F-21078 Dijon, France

⁴INO CNR and Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Brescia, Via Branze 38, 25123 Brescia, Italy, fabio.baronio@unibs.it

Email: ccpanzw@163.com

Abstract: We investigate the coexisting rogue wave dynamics associated with two fundamental-frequency optical waves interacting in a quadratic nonlinear medium. Using the vector Chen–Lee–Liu nonlinear Schrödinger equation model, we obtain exact rogue wave solutions at first and higher orders on the more general periodic backgrounds. We unveil that the inherent self-steepening effect may allow an omnipresent rogue wave coexistence over a broad range of parameters in both the normal and anomalous dispersion regimes, in addition to allowing ultrastrong peak amplitudes. We also demonstrate that such universality of coexistence can be anticipated by the appearance of two peaks in the modulation instability spectrum. We numerically confirm the robustness of the coexisting Peregrine solitons against initial noise as well as their excitation from a turbulent wave field caused by modulation instability. We expect that these findings will shed light on the generation of extreme wave events resulting from the interference of multiple continuous-wave fields.

Keywords: rogue wave, Peregrine soliton, vector Chen–Lee–Liu equation

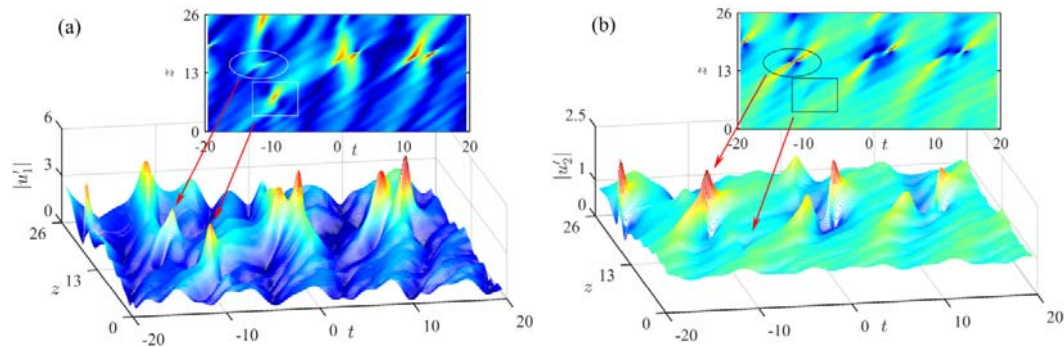


FIG. Numerical excitation of coexisting Peregrine solitons from a turbulent periodic-wave field. The ellipses and boxes in the insets of (a) and (b) have singled out such coexisting Peregrine soliton states in a sea of waves.

References

- [1] S. Chen, Y. Ye, *et al*, Peregrine Solitons Beyond the Threefold Limit and Their Two-Soliton Interactions, *Phys. Rev. Lett.* 121, 104101 (2018).
- [2] S. Chen, C. Pan, *et al*, Fundamental Peregrine Solitons of Ultrastrong Amplitude Enhancement through Self-Steepening in Vector Nonlinear Systems, *Phys. Rev. Lett.* 124, 113901 (2020).

Paper link:

<https://journals.aps.org/prresearch/abstract/10.1103/PhysRevResearch.3.033152>

玻色爱因斯坦凝聚体中长程相互作用和临界现象

Yongchang Zhang¹, Fabian Maucher², Valentin Walther³, Thomas Pohl⁴

1. School of Physics, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China

2. Departament de Física, Universitat de les Illes Balears, E-07122 Palma, Spain

3. ITAMP, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, Massachusetts 02138, USA

4. Department of Physics and Astronomy, Aarhus University, 8000 Aarhus C, Denmark

zhangyc@xjtu.edu.cn

摘要正文: This talk will present several results on pattern-formation in long-range interacting ultracold atomic systems. The first part will focus on cold atomic gas with inherent long-range interactions, i.e., dipolar Bose-Einstein condensates, for which the possibility of obtaining quantum states with self-organized long-range ordering can be facilitated by quantum fluctuations which suppress collapse and pave the way for supersolids. We find that quantum fluctuations can alter the order of the phase transition from first- to second order. Furthermore, apart from the usual triangular lattice of density droplets, quantum fluctuations can give rise to a novel quantum state whose density distribution displays a honeycomb structure. The second part will present photon-mediated effective atom-atom interactions via retro-reflecting mirrors. These lead to a rich variety of patterns of self-bound droplet clusters of ultracold matter waves.

关键词: dipolar BECs; quantum fluctuations; supersolids; long-range interactions

参考文献

- [1] Yong-Chang Zhang, Thomas Pohl, and Fabian Maucher, Phys. Rev. A 104, 013310 (2021).
- [2] Yong-Chang Zhang, Valentin Walther, and Thomas Pohl, Phys. Rev. A 103, 023308 (2021).
- [3] Yong-Chang Zhang, Fabian Maucher, and Thomas Pohl, Phys. Rev. Lett. 123, 015301 (2019).
- [4] Yong-Chang Zhang, Valentin Walther, and Thomas Pohl, Phys. Rev. Lett. 121, 073604 (2018).

题目: Scattering and localization of photons in quasiperiodic waveguide QED

作者: 柯勇贯、张莉、柳文洁、李朝红

地址和邮编: 中山大学珠海校区物理与天文学院, 519082

邮箱: keyg@mail2.sysu.edu.cn, chleecn@szu.edu.cn

摘要正文: Waveguide QED as a hybrid system of excitation and photon, serves as an important platform to explore light-matter interaction. In this talk, I will introduce the localization and scattering of a single photon in a waveguide coupled to qubit arrays with quasiperiodic spacings. In stark contrast to the fully disordered waveguide QED where all states are localized, only a fraction of excitation states are localized. We analytically find that the fraction of localized states is up to $(3-\sqrt{5})/2$ when the modulation frequency is $(1+\sqrt{5})/2$. To uncover the relation between localization and transmission, we develop two equivalent methods to calculate the reflection and transmission, one is transfer-matrix method in real space and the other is Green's function method in momentum space. When the quasiperiodic strength is weak, an extended subradiant state can support the transmission of photon. However, as the quasiperiodic strength increases, localized subradiant states can completely block the transmission of a single photon in resonance with the subradiant states, and enhance the overall reflection. Our work may find potential applications in tunable atomic mirror, quantum storage and quantum information process.

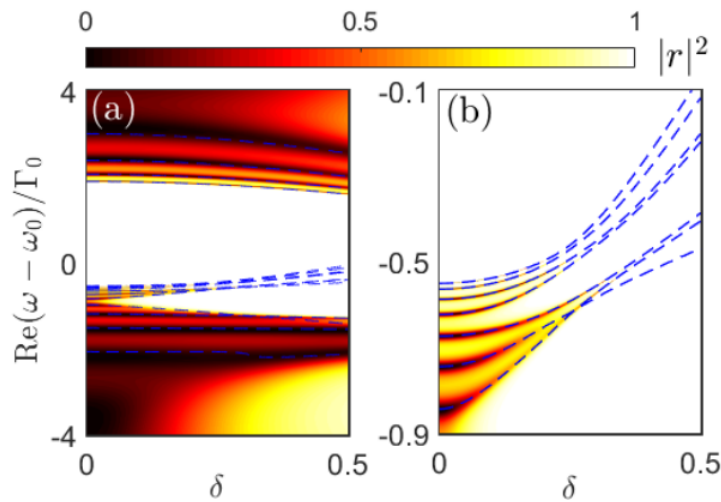


图1 单光子反射率随准周期调制强度与光子入射频率的变化, 其中蓝色虚线为亚辐射激发态的本征频率

关键词: Fractional Localization, enhanced reflection, fine Mirrors, Quasiperiodic qubit arrays

参考文献

[1] Y. Ke, A. V. Poshakinskiy, C. Lee, Y. S. Kivshar, A. N. Poddubny, Phys. Rev. Lett. 123, 253601 (2019).

[2] Y. Ke, J. Zhong, A. V. Poshakinskiy, Y. S. Kivshar, A. N. Poddubny, C. Lee, Phys. Rev. Research 2, 033190 (2020).

掩藏光子路径信息

郭进先, 袁其章, 吴媛, 张卫平

物理与天文学院, 李政道研究所, 上海交通大学, 上海 200240

数理学院物理系, 上海师范大学, 上海, 200234

精密光谱国家重点实验室, 光子原子量子所, 物理系, 华东师范大学, 200062

上海量子研究中心, 上海, 201315

极端光学协同创新中心, 山西大学, 山西太原, 030006

合肥国家实验室上海分部, 上海, 201315

lphysics@shnu.edu.cn

干涉仪中量子粒子的路径信息是推断量子粒子过去的键。它引起了许多广泛的讨论, 包括量子互补和路径-干涉对比度的关系讨论。这些讨论的基础是对路径信息的描述、检测和控制。我们主要研究在嵌套马赫-曾德尔干涉仪中的多维路径信息。我们不仅给出了路径信息的一般表达式, 还证明通过不同的检测方法可以提取不同维度的路径信息。进一步的分析表明, 路径信息可以由嵌套马赫-曾德尔干涉仪臂之间的相位差和分束比来控制。此外, 我们还预测并实验证明了一种新的路径信息消除现象。我们的工作可以帮助理解量子粒子的物理, 潜在地应用于量子信息处理和量子计量。

关键词: 路径信息, 干涉仪, 量子互补性, 波粒二象性

基于干涉式弱值技术实现高精度的倾角测量

张超霞

山西省太原市小店区坞城路 92 号山西大学 030000

992363914@qq.com

我们通过使用 Sagnac 干涉仪辅助高阶光学模式的平衡零拍探测以及弱值放大技术，实验实现高精度的倾角测量的。与分束探测相比，平衡零拍探测可以观察到更小的最小可测量倾角和更高的信噪比。因此，在我们的实验条件下，可以很容易地达到 3.8nrad 的最小可测量倾角。并证明 WVA 技术与 BHD 相结合可以增强彼此的优势，在一些特殊的应用场景中表现得更好，例如极弱的输出、更宽的测量带宽等。此外，通过实验参数优化可以进一步提高精度。

关键词：倾角测量，弱值放大技术，平衡零拍探测，信噪比

- [1] H. Sun. et al., Small-displacement measurements using high-order Hermite-Gauss modes, Appl. Phys. Lett. 104,121908 (2014).
- [2] P. B. Dixon et. al., Ultrasensitive Beam Deflection Measurement via Interferometric Weak Value Amplification, Phys. Rev. Lett.102, 173601 (2009).

Realization of Bose-Einstein condensates of ^{174}Yb Atoms

黄威龙

华南师范大学 物理与电信工程学院, 广东 广州 510006

Wl_huang2019@163.com

摘要正文: We report the ^{174}Yb Bose-Einstein condensates achieved by evaporative cooling in cross optical dipole trap. Compared with the traditional method of constructing the green magneto-optical trap, we use a axicon to generate a hollow beam, which is nested in a conventional green MOT. Through the implementation of blue hollow beam nested green Gaussian beam, the fast loading speed of $^1\text{S}_0$ - $^1\text{P}_1$ transition line can be utilized, and the atomic loss during the transfer from blue MOT to green MOT can be avoided, which effectively improves the atomic loading speed and the number of loaded atoms. Based on this technique, we achieved the loading of 4×10^8 MOT atoms, and obtained the BEC by evaporative cooling with an atomic number of 2×10^5 and a temperature of 70nK.

关键词: Bose-Einstein condensates; axicon; optical dipole trap

参考文献

- [1] Takeshi Fukuhara. et al., Degenerate Fermi Gases of Ytterbium, Physical Review Letters 98, 030401 (2007).
- [2] Jeongwon Lee. et al., Core-shell magneto-optical trap for alkaline-earth-metal-like atoms, Physical Review A 91, 053405 (2015)

Nonreciprocity with structured light using optical pumping in hot atoms

Fei Song^{1,2}, Zhiping Wang^{1,2}, Enze Li³, Benli Yu^{1,2}, and Zhixiang Huang²

¹Key Laboratory of Opto-Electronic Information Acquisition and Manipulation of Ministry of Education, Anhui University, Hefei 230601, China

²Information Materials and Intelligent Sensing Laboratory of Anhui Province, Anhui University, Hefei 230601, China

³Key Laboratory of Quantum Information, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui 230026, China

feisong6@126.com

Abstract: Nonreciprocal transmission of structured light has possible applications in the high capacity optical communication and high-dimensional signal processing. Here, we demonstrate the magnet-free and cavity-free optical nonreciprocity of orbital angular momentum (OAM) beam using optical pumping technology with the assistance of the Doppler effect in hot atoms. By using optical pumping to induce a direction-dependent population transferring of the ground-state atoms, we realize the optical nonreciprocity for the signal laser carrying OAM. Interestingly, the isolation ratio is close to 30 dB and the maximum transmission is over 0.86 without using any optical cavity can be achieved simultaneously. Due to the unique amplitude and helical phase profile of the structured light, our proposal may open a new door for exploring the singularity characteristics of the optical nonreciprocity using structured light.

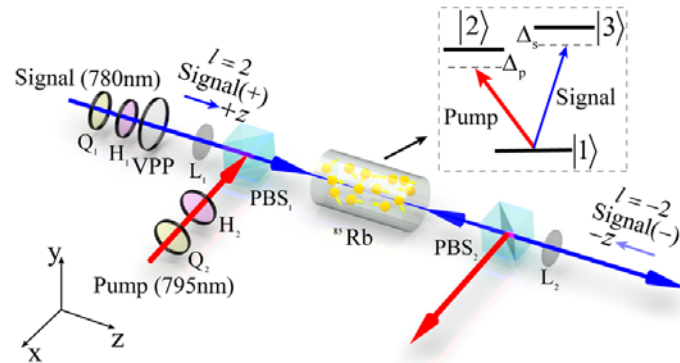


Fig. 1. Experimental setup of the optical nonreciprocity

REFERENCES

- [1] Yu Z. F. et al, Complete optical isolation created by indirect interband photonic transitions, *Nature Photonics*, 3, 91-94 (2009).
- [2] Fan L. et al, An all-silicon passive optical diode, *Science*, 335, 447–450 (2012).
- [3] Dong C. H. et al, Brillouin-scattering-induced transparency and non-reciprocal light storage, *Nature Communications*, 6, 1-6 (2015).
- [4] Sayrin C. et al, Nanophotonic optical isolator controlled by the internal state of cold atoms, *Physical Review X*, 5, 041036 (2015).
- [5] Shen Z. et al, Experimental realization of optomechanically induced non-reciprocity, *Nature Photonics*, 10, 657–661 (2016).
- [6] Zhang S. C. et al, Thermal-motion-induced non-reciprocal quantum optical system, *Nature Photonics*, 12, 744–748 (2018).
- [7] Xia K. Y. et al, Cavity-free optical isolators and circulators using a chiral cross-Kerr nonlinearity, *Physical Review Letters*, 121, 203602 (2018).
- [8] He B et al, Transmission nonreciprocity in a mutually coupled circulating structure, *Physical Review Letters*, 120, 203904 (2018).
- [9] Lin G. W. et al, Nonreciprocal amplification with four-level hot atoms, *Physical Review Letters*, 123, 033902 (2019).
- [10] Hu Y. et al, Multiwavelength magnetic-free optical isolator by optical pumping in warm atoms, *Physical Review Applied*, 12, 054004 (2019).
- [11] Yang P. et al, Realization of Nonlinear Optical Nonreciprocity on a Few-Photon Level Based on Atoms Strongly Coupled to an Asymmetric Cavity, *Physical Review Letters*, 123, 233604 (2019).
- [12] Guo X. X. et al, Nonreciprocal metasurface with space–time phase modulation, *Light: science & applications*, 8, 123 (2019).
- [13] Liang C. et al, Collision-induced broadband optical nonreciprocity, *Physical Review Letters*, 125, 123901 (2020).
- [14] Li E. Z. et al, Experimental demonstration of cavity-free optical isolators and optical circulators, *Physical Review Research*, 2, 033517 (2020).
- [15] Lu X. et al, Nonreciprocity and quantum correlations of light transport in hot atoms via reservoir engineering, *Physical Review Letters*, 126, 223603 (2021).

- [16] Dong M. X. et al, All-optical reversible single-photon isolation at room temperature, *Science Advances*, 7, eabe8924 (2021).

腔磁系统中非互易放大

赵成松，周玲*

大连理工大学物理学院，大连 116024

zhhlxn@dlut.edu.cn

摘要正文：

我们提出了一个在混合腔磁系统中实现非互易放大的方案。由于不同路径之间的干涉相消和磁子泵浦的引入，我们可以观察到非互易的放大的现象。由于增益和耗散的存在，随着参数的变化，有效哈密顿的特征值会出现奇异点。我们研究了奇异点和非互易放大传输之间的关系，发现奇异点会将参数划分为不同的区域，在这些区域中信号传输的放大的行为是不同的；因此奇异点可以帮助我们理解非互易放大行为，并找到优化的参数。

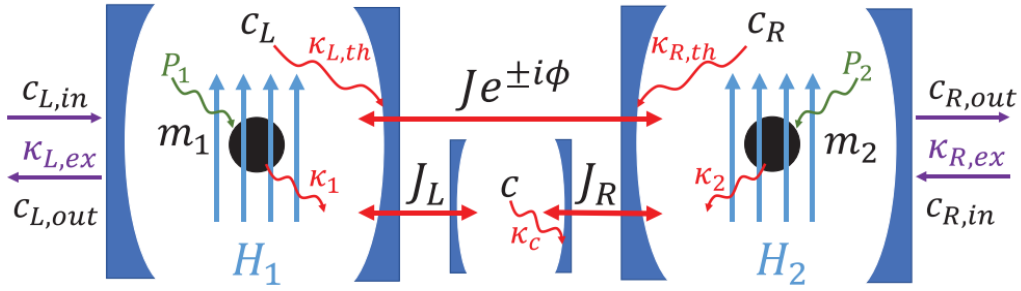


图1 实现非互易放大的腔磁系统装置示意图。

关键词：非互易放大，腔磁系统，PT对称，奇异点

参考文献

[1] Chengsong Zhao, Rui Peng, Zhen Yang, Shilei Chao, Chong Li, Zhihai Wang, and Ling Zhou,

Nonreciprocal amplification in a cavity magnonics system, Phys. Rev. A 105, 023709 (2022).

里德堡原子偶极-偶极相互作用引起的空间 Kramers-Kronig 关系和单向反射

郑迪迪, 张岩, 刘一谋, 张晓军, 吴金辉 *

东北师范大学, 量子科学中心, 吉林 长春 130024

*email: jhwu@nenu.edu.cn

摘要: 由于天然线性材料的互易特性使其无法用来制备单向光学器件, 近些年来利用人造材料实现和操控非对称反射及单向反射的研究取得了大量进展。通过人工设计介质的复介电常数使其具备对应的光学特性是常用手段, 例如, 宇称-时间 (Parity-Time, PT) 对称介质在自发PT对称破缺点上存在单向反射^[1]。但是这种介质需要光学增益区域, 这在实验上很难达到。Horsley等人在2015年提出, 当介质的复介电常数分布满足空间Kramers-Kronig (KK) 关系时, 来自介质的左侧或右侧的反射会消失, 且这种介质可以不需要增益^[2], 并在实验上已经对此现象得到验证^[3]。但这种设计通常采用固定结构, 缺乏调控灵活性。本文的模型通过里德堡原子间的范德瓦尔斯 (Van der Waals) 偶极-偶极相互作用, 将信号场的色散与吸收响应通过空间KK关系从频域映射到空间域, 并基于这种非局域长程相互作用实现了动态可调节的单向反射特性, 如图1 (a) 所示。其中, 三能级控制原子在单光子共振驱动机制下保持在高激发里德堡态, 同时, 在单光子大失谐机制下, 将三能级目标原子等效为一个二能级结构, 如图1 (b) 和图1 (c) 所示。调节信号场失谐 Δ_s 和有效失谐 δ_{eff} 在可控范围内, 均出现了信号场的非对称和单向反射区域。协同空间KK关系与布拉格 (Bragg) 散射, 将目标原子用周期原子晶格替代均匀原子样品, 可以在不破坏非对称或单向反射的前提下大幅度提高非零反射率。本文的研究结果对结合非厄米量子光学和里德堡原子相干操控的应用具有指导意义。

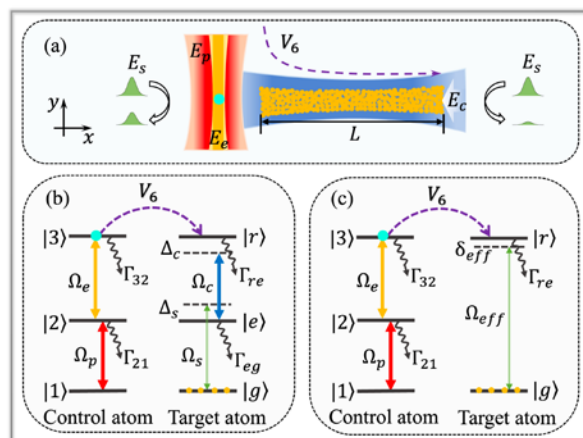


图1 (a)信号场通过受外部里德堡控制原子作用的里德堡目标原子样品的左侧单向反射模型图; (b)由泵浦场和激发场驱动的控制原子与一个由信号场和耦合场驱动的目标原子之间通过Van der Waals偶极-偶极相互作用的原子系统构型图; (c)将目标原子绝热消除为二能级后的原子系统构型图。

(图片取自文献^[4])

关键词: 里德堡原子; 偶极-偶极相互作用; 空间Kramers-Kronig关系; 单向反射; Bragg散射。

参考文献

- [1] Yuan L. J. et al., Unidirectional reflectionless transmission for two-dimensional PT -symmetric periodic structures, Phys. Rev. A 100, 053805 (2019).
- [2] Horsley S. A. R. et al., Spatial Kramers-Kronig relations and the reflection of waves, Nat. Photon. 9, 436-439 (2015).
- [3] Ye D. X. et al., Observation of reflectionless absorption due to spatial Kramers-Kronig profile, Nat. Commun. 8, 51 (2017).
- [4] Zheng D. D. et al., Spatial Kramers-Kronig relation and unidirectional light reflection induced by Rydberg dipole-dipole interactions, submitted to PRA.

Composite picosecond control of atomic state through a nanofiber interface

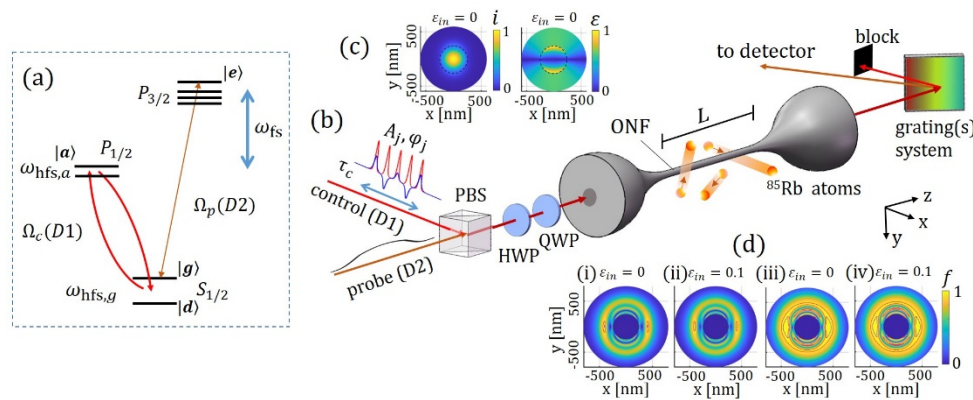
马昱迪

复旦大学 200438

ydma18@fudan.edu.cn

Accurate control of single emitters at nanophotonic interfaces may greatly expand the accessible quantum states of coupled optical spins in the confined geometry and to unveil exotic nonlinear quantum optical effects. However, the optical control is challenged by spatially varying light-atom coupling strength generic to nanophotonics. We demonstrate numerically that despite the near-field inhomogeneity, nearly perfect atomic state control can be achieved by exploiting geometric robustness of optical transitions with composite picosecond excitations. Our proposal is followed by a proof-of-principle demonstration where an $N=3$ composite sequence is applied to robustly invert the D1 population of free-flying ^{85}Rb atoms trespassing a nanofiber interface. The precise control is confirmed by comparing the D2 fiber transmission with full-level simulation of scheme to large N for precise phase patterning and arbitrary optical dipole control at the nanophotonic interface.

key words: quantum optics, quantum control, nanofiber



Delay-line based adiabatic spin-dependent kicks on a hyperfine manifold

袁李阳¹, 胡江勇¹, 吴赛骏¹

¹复旦大学物理系, 应用表面物理国家重点实验室和微纳光子结构教育部重点实验室, 上海, 200438。

lyqiu16@fudan.edu.cn, jyhu20@fudan.edu.cn, saijunwu@fudan.edu.cn

Significant aspects of advanced quantum technology today rely on rapid Raman control of atomic hyperfine matterwaves. Unfortunately, efficient Raman excitations are usually accompanied by uncompensated dynamic phases and coherent spin-leakages, preventing accurate and repetitive transfer of recoil momentum to large samples. We provide systematic study to demonstrate that the limitations can be substantially overcome by dynamically programming an adiabatic pulse sequence. Experimentally, counter-propagating frequency-chirped pulses are programmed on an optical delay line to parallelly drive five $\Delta m=0$ hyperfine Raman transitions of ^{85}Rb atoms for spin-dependent kick (SDK) within $\tau=40\text{ns}$, with an $f_{\text{SDK}}\approx 97.6\%$ inferred fidelity. Aided by numerical modeling, we demonstrate that by alternating the chirps of successive pulses in a balanced fashion, accumulation of non-adiabatic errors including the spin-leakages can be managed, while the dynamic phases can be robustly cancelled. Operating on a phase-stable delay line, the method supports precise, fast, and flexible control of spinor matterwaves with efficient Raman excitations.

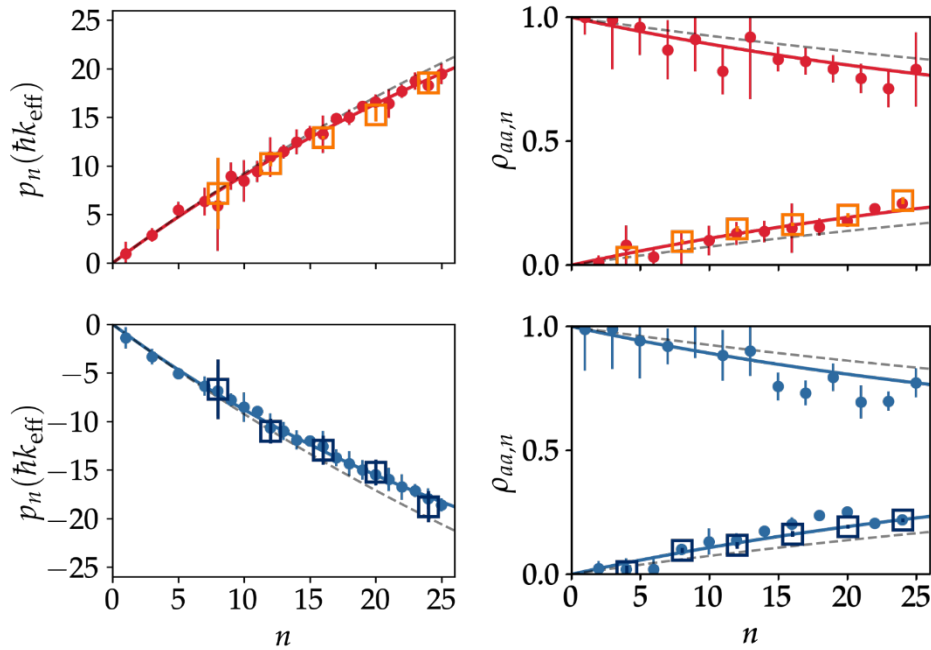


FIG. 1. Measurements of recoil momentum and hyperfine population transfer by multiple adiabatic SDKs.

Key words: Cold atoms, Optical delay-line, Raman transitions, Large momentum transfer, Geometric control

参考文献

- [1] Kasevich, M. & Chu, S. Measurement of the gravitational acceleration of an atom with a light-pulse atom interferometer. *Appl Phys B* 54, 321–332 (1992).
- [2] Mizrahi, J. et al. Ultrafast Spin-Motion Entanglement and Interferometry with a Single Atom. *Phys Rev Lett* 110, 203001 (2013).
- [3] Barrett, M. D. et al. Quantum Information Processing with Trapped Ions. *Aip Conf Proc* 770, 350–358 (2005).

A Biased-rotation Approach to Precise Control of Spinor Matterwaves Near Raman Speed Limit

袁李阳

复旦大学物理学系 200433

lyqiu16@fudan.edu.cn

摘要正文: Fast and accurate Raman spinor matterwave control is key to implementing advanced quantum technology for quantum sensing, simulation, and computation. Typical Raman controls are achieved at large single-photon detunings, not only to avoid spontaneous emissions but also for reducing the differential Stark shifts. Our work focuses on moderate single-photon detuning where the universal rotations of atomic spinors by the Raman coupling are biased by a significant Stark shift at a fixed "biased angle". We demonstrate that within this "biased rotation" regime, composite pulses can be efficiently derived with simple $SU(2)$ dynamics for their precise implementation to alkaline atoms on a hyperfine manifold. Our scheme fills the gap between related techniques in atom interferometry and trapped-ions for stark-shift compensation, enabling ultra-precise universal Raman spin-wave control within nanoseconds with moderate laser power.

关键词: spinor matterwaves, Raman control, composite pulse

Investigation of the effect of quantum measurement on parity-time symmetry

Wei-Chen Wang^{1,2}, Yi Xie^{1,2}, Man-Chao Zhang^{1,2}, Jie Zhang^{1,2}, Chun-Wang Wu^{1,2},
Ting Chen^{1,2}, Bao-Quan Ou^{1,2}, Wei Wu^{1,2}, and Ping-Xing Chen^{1,2*}

1. Department of Physics, College of Liberal Arts and Sciences, National University of Defense Technology,
Changsha 410073, China;

2. Interdisciplinary Center for Quantum Information, National University of Defense Technology, Changsha
410073, China;

*Corresponding author (email: pxchen@nudt.edu.cn)

Abstract: Symmetry, including the parity-time (PT)-symmetry, is a striking topic, widely discussed and employed in many fields. It is wellknown that quantum measurement can destroy or disturb quantum systems. However, can and how does quantum measurement destroy the symmetry of the measured system? To answer the pertinent question, we establish the correlation between the quantum measurement and Floquet PT-symmetry and investigate for the first time how the measurement frequency and measurement strength affect the PT-symmetry of the measured system using the $^{40}\text{Ca}^+$ ion. It is already shown that the measurement at high frequencies would break the PT symmetry. Notably, even for an inadequately fast measurement frequency, if the measurement strength is sufficiently strong, the PT symmetry breaking can occur. The current work can enhance our knowledge of quantum measurement and symmetry and may inspire further research on the effect of quantum measurement on symmetry.

Key words: quantum measurement, PT-symmetry, ion trap

一种新的非厄米算子平均值测量方案

苏闻博，胡寒，吴春旺，陈平形，张杰

湖南省长沙市开福区国防科技大学理学院，410073

suwenbo20@nudt.edu.cn

摘要正文：量子力学的基本假设之一是力学量为厄米算子，但是在实际研究中我们经常会遇到处理非厄米算子的情况，由于非厄米算子的本征值是复数，我们通过传统量子测量的方法很难测量非厄米算子的平均值。近年来，科学家提出了一种基于弱测量直接测量非厄米算子平均值的方案[1]，并在一些实验系统中得以实现[2]。但是，这个方案针对不同算子需要特定的后选择态，这一条件可能会使测量条件变得苛刻，以至难以精确测量。我们基于二能级系统用弱测量技术提出了一种新的测量方案，将二能级系统的基态和激发态固定地作为后选择态，通过选取合适的测量强度可以更容易地获得较准确的测量结果。我们在囚禁离子系统中用这个方案测量了一对泡利自旋算子乘积这一非厄米算子的平均值。最后，我们用测量结果验证了对易与反对易关系。

关键词：非厄米算子，弱测量，囚禁离子

参考文献

- [1] Arun Kumar Pati. et al., Measuring non-Hermitian operators via weak values, PhysRevA 92, 052120 (2015).
- [2] Richard Wagner. et al., Direct experimental test of commutation relation via imaginary weak value, PhysRevResearch 3, 023243 (2021).

Non-reciprocal reflection in a defective atomic lattice

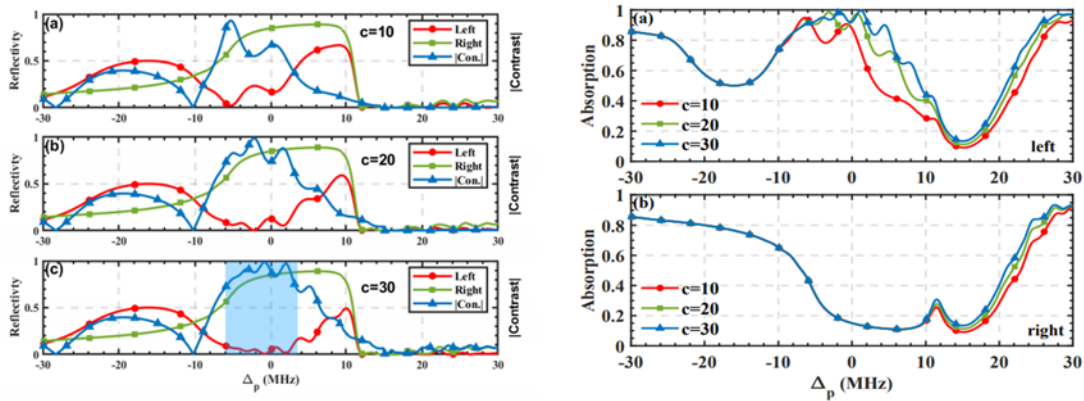
Tianming Li, Maohua Wang, Chengping Yin, Jinhui Wu^{*}, and Hong Yang^{*}

School of Physics and Electronic Engineering, Hainan Normal University, Haikou

571158, P. R. China

Email: yang_hongbj@126.com

Based on broken spatial symmetry, we propose a new scheme for realizing non-reciprocal reflections in the one-dimensional defective atomic lattice. Specifically, we determine the separation of the reflectivities R_{pl} and R_{pr} due to the periodic introduction of vacant lattice cells and continuous fulfilled lattice cells. The numerical solutions show that a broadband asymmetric reflection region with a reflection contrast higher than 0.9 can be achieved in the EIT window, by modulating the number of vacant lattice cells and periods. Our proposed scheme lays the foundations for the realization of non-reciprocal light propagation.



The reflectivities (absorptions) R_{pl} and R_{pr} (A_{pl} and A_{pr}) as a function of probe detuning, corresponding to the period of vacant lattice cell $c=10, 20$ and 30 , respectively.

Stronger Hardy-Like Proof of Quantum Contextuality

Wen-Rong Qi^{1,2}, Jie Zhou³, Ling-Jun Kong^{4,5}, Chenghou Tu², Yongnan Li²,

Jing-Ling Chen³, and Hui-Tian Wang^{4,5}

¹ School of Physics, Henan Normal University, Xinxiang, Henan 453007, China

² Key Laboratory of Weak-Light Nonlinear Photonics and School of Physics, Nankai University, Tianjin 300071, China

³ Theoretical Physics Division, Chern Institute of Mathematics, Nankai University, Tianjin 300071, China

⁴ National Laboratory of Solid State Microstructures, Nanjing University, Nanjing 210093, China

⁵ Collaborative Innovation Center of Advanced Microstructures, Nanjing University, Nanjing 210093, China

e-mail address: qwrbsnk123@163.com

Quantum contextuality, as a general quantum correlation, not only is necessary for fault-tolerant quantum computation via magic state distillation and measurement-based quantum computation, but also plays an important role in fundamental quantum physics. A particularly compelling way to reveal quantum contextuality is through a so-called “Hardy-like proof”, which for quantum contextuality is analogous to Hardy’s proof for Bell nonlocality. In this work, we have advanced the study of the Hardy-like proof of quantum contextuality: (i) We have theoretically presented a stronger Hardy-like proofs of quantum contextuality in which the success probability $P(e) = 1/4$ for the simplest case and $P(e)$ tends to 1 when the number of measurements tends to infinity. Our theory is stronger than the original work [Phys. Rev. Lett. 111, 180404, 2013], and our theoretical result has reached the maximum limit of probability $P(e)$. (ii) We have also experimentally tested the stronger Hardy-like proof (for the simplest case with $n=7$) in the hybrid four-dimensional quantum system defined by the polarization and orbital angular momentum of single photons, and the experimental result agrees with the theoretical prediction within experimental errors. Furthermore, importantly the stronger Hardy-like proof can lead to stronger noncontextuality inequality with the same number of measurements, which has an advantage over the extended KCBS noncontextuality inequality in the previous literature. Our results offer a way for optimizing and enriching exclusivity graphs, helping to explore more abundant quantum properties.

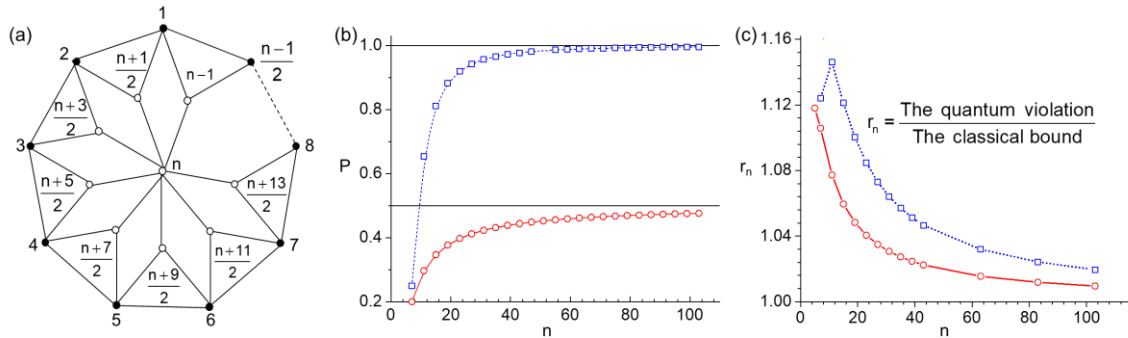


Fig.1. (a) Compatibility graph of the n measurements (with $n = 7, 11, 15, 19, \dots$) used for the Hardy-like proof of quantum contextuality. Each vertex represents a measurement. Vertices connected by an edge are jointly measurable. Each of the outer vertices belongs to two triangles. In totally, there are $(n-1)/2$ triangles. (b) The success probabilities of our theory (blue curve) and that of the n -cycle Hardy-like proof (red curve) versus n . (c) The degree of quantum contextuality of our theory (blue curve) and that of the extended KCBS inequality (red curve) versus n .

Keywords: quantum contextuality; Hardy-Like Proof; exclusivity graphs; orbital angular momentum.

Reference

- [1] B. Yan, “Quantum correlations are tightly bound by the exclusivity principle,” *Phys. Rev. Lett.* 110, 260406 (2013).
- [2] M. Howard, J. Wallman, V. Veitch, and J. Emerson, “Contextuality supplies the ‘magic’ for quantum computation,” *Nature (London)* 510, 351 (2014).
- [3] R. Raussendorf, “Contextuality in measurement-based quantum computation,” *Phys. Rev. A* 88, 022322 (2013).
- [4] A. Cabello, P. Badzia, M. Terra Cunha, and M. Bourennane, “Simple Hardy-like proof of quantum contextuality,” *Phys. Rev. Lett.* 111, 180404 (2013).

Symmetry-Protected Higher-Order Exceptional Points in Staggered Photonic Rhombic Lattices

Yingying Zhang^{1#}, Shiqiang Xia^{1,*#}, Liqin Tang^{2,*}, Zunlue Zhu¹ and Xingdong Zhao^{1,*}

1) School of Physics, Henan Normal University, Xinxiang, Henan 453007, China

2) The MOE Key Laboratory of Weak-Light Nonlinear Photonics, TEDA Applied Physics Institute and School of Physics, Nankai University, Tianjin 300457, China

*xiashiqiang@htu.edu.cn, tanya@nankai.edu.cn, phyzhxd@gmail.com

Higher-order exceptional points (EPs), which appear as multifold degeneracies in the spectra of non-Hermitian systems, are garnering extensive attention in various multidisciplinary fields. However, constructing higher-order EPs still remains as a challenge due to the strict requirement of the system symmetries. Here we demonstrate that higher-order EPs can be judiciously fabricated in PT-symmetric staggered rhombic lattices by introducing not only on-site gain/loss but also non-Hermitian couplings. Zero-energy flatbands persist and symmetry-protected third-order EPs (EP3) arise in these systems owing to the non-Hermitian chiral/sublattice symmetry, but distinct phase transitions and propagation dynamics occur. Specifically, the EP3 arises at the Brillouin zone (BZ) boundary in the presence of on-site gain/loss. The single-site excitations display an exponential power increase in the PT-broken phase. Meanwhile, a nearly flatband sustains when a small lattice perturbation is applied. For the lattices with non-Hermitian couplings, however, the EP3 appears at the BZ center. Quite remarkably, our analysis unveils a dynamical delocalization-localization transition for the excitation of the dispersive bands and a quartic power increase beyond the EP3. Our scheme provides a new platform towards the investigation of the higher-order EPs, and can be further extended to the study of topological phase transitions or nonlinear processes associated with higher-order EPs.

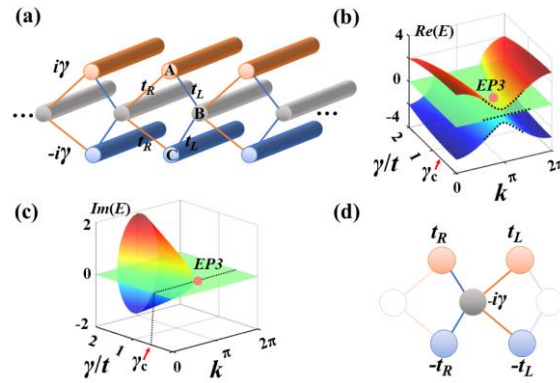


Fig.1. (a) Schematic of the diagonal PT -symmetric photonic rhombic lattices formed by waveguide arrays without non-Hermitian coupling. The unit cell consists of three sites: two edge sites with gain γ (A, red) or loss $-\gamma$ (C, blue) and one central site with a neutral imaginary part (B, gray). The staggered coupling coefficients are $t_L = t(1+g)$ and $t_R = t(1-g)$, where $0 \leq g < 1$ and t is the coupling coefficient of uniform lattices ($g = 0$). For simplicity, we set the lattice period $l = 1$. (b, c) Calculated real (b) and imaginary (c) parts of the spectrum as a function of γ/t for $g = 0.2$. The red circles represent the position of the EP3 and the corresponding critical value of phase transition is $\gamma_c/t=0.56$. (d) Field distribution of a flatband CLS, which occupies two unit cells. The characters show the corresponding amplitudes.

Keywords: Higher-Order Exceptional Points, Rhombic Lattices, Flatband, Symmetry-Protected

Reference: arXiv:2206.00965

Stable high-dimensional weak-light soliton molecules and their active control

Lu Qin^{1,2}, Chao Hang², Boris A. Malomed³, and Guoxiang Huang²

¹Department of Physics, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China

²State Key Laboratory of Precision Spectroscopy, East China Normal University, Shanghai 200062, China

³Department of Physical Electronics, School of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel

Email: qinlu@htu.edu.cn; gxhuang@phy.ecnu.edu.cn

Bound states of solitons, alias soliton molecules (SMs), are well known in one-dimensional (1D) systems, while making stable bound states of multidimensional solitons is a challenging problem because of the underlying instabilities. Here we propose a scheme for the creation of stable (2+1)D and (3+1)D optical SMs in a gas of cold Rydberg atoms, in which electromagnetically induced transparency (EIT) is induced by a control laser field. We show that, through the interplay of the EIT and the strong long-range interaction between the Rydberg atoms, the system gives rise to giant nonlocal Kerr nonlinearity, which in turn supports stable (2+1)D spatial optical SMs, as well as ring-shaped soliton necklaces, including rotating ones. They feature a large size, low generation power, and can be efficiently manipulated by tuning the nonlocality degree of the Kerr nonlinearity. Stable (3+1)D spatiotemporal optical SMs, composed of fundamental or vortex solitons, with low power and ultraslow propagation velocity, can also be generated in the system. These SMs can be stored and retrieved through the switching off and on of the control laser field. The findings reported here suggest applications to data processing and transmission in optical systems.

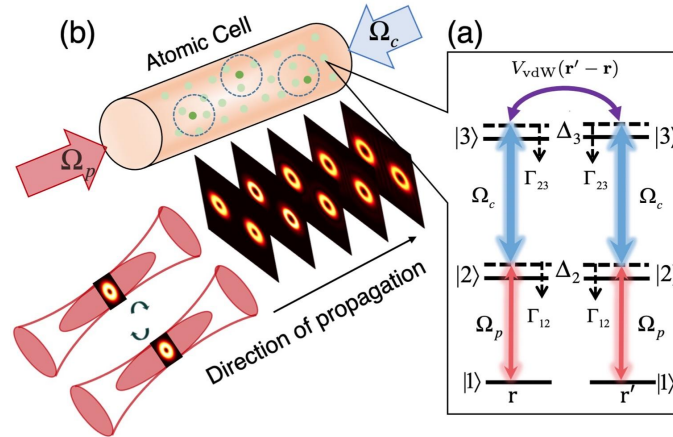


Figure 1: Schematics of the model. (a) Energy-level diagram and excitation scheme of two ladder-type three-level atoms. (b) Top part: possible experimental geometry. Bottom part: the contactless interaction between two optical vortices, which form a stable vortex molecule.

Keywords: soliton molecules, Rydberg atoms, nonlocal Kerr nonlinearity

Reference:

[1] Lu Qin, Chao Hang, Boris. Malomed, Guoxiang Huang, Laser & Photo. Rev. 2100297, (2022)

回音壁模腔光力系统中光子非互易传输的热噪声抑制

唐志祥，徐勋卫^{*}

湖南师范大学物理与电子科学学院，长沙 410081

^{*}E-mail : davidxu0816@163.com

摘要：理论和实验表明利用回音壁模腔光力系统中的光力诱导透明现象[1,2]，可以实现零磁场光学非互易传输[3-5]。但是由于回音壁模腔光力系统中的力学模式本征频率较低，声子热噪声效应非常明显，这严重限制了光力非互易效应在量子领域的应用。为了抑制回音壁模腔光力系统中的热噪声效应，本文提出在光力系统中引入辅助力学模式抑制光子非互易传输中的热噪声。研究表明当辅助力学模式与光力系统中的力学模式相干耦合且共用同一个热库时，系统热噪声谱中会出现量子干涉效应，致使光子共振透射频率附近的热噪声得到显著抑制。本文为在室温下实现单光子水平的非互易传输提供了新的途径。

关键词：回音壁模腔光力系统，光子非互易，热噪声抑制

参考文献：

- [1] G. S. Agarwal and S. Huang, Phys. Rev. A **81**, 041803(R) (2010).
- [2] S. Weis, R. Riviere, S. Deleglise, E. Gavartin, O. Arcizet, A. Schliesser, and T. J. Kippenberg, Science **330**, 1520 (2010).
- [3] M. Hafezi and P. Rabl, Opt. Express **20**, 7672 (2012).
- [4] Z. Shen, Y.-L. Zhang, Y. Chen, C.-L. Zou, Y.-F. Xiao, X.-B. Zou, F.-W. Sun, G.-C. Guo, and C.-H. Dong, Nat. Photonics **10**, 657–661 (2016).
- [5] F. Ruesink, M.-A. Miri, A. Alù, and E. Verhagen, Nat. Commun. **7**, 13662 (2016).

Quantum simulation of the Unruh effect with a Rydberg-dressed Bose-Einstein condensate

盛天泽, 钱军, 李晓林, 钮月萍和龚尚庆

上海市梅陇路 130 号华东理工大学, 200237

y10210142@mail.ecust.edu.cn

摘要正文:

Motivated by the exploration of Unruh effect [1] with ultracold atoms and the progress in Rydberg-dressed atomic gases, we propose a scheme to investigate the Unruh effect by the time-periodic driving of the long-range Rydberg-dressing interaction in a Bose condensate. We apply a different strategy to simulate the thermal bath in an accelerating reference frame that can be controlled by dynamically modulating the long-range interaction with lasers. We find that the excitation dynamics of the BEC, which manifests a uniformly accelerating reference frame, could be realized by controlling the oscillation frequency of the Rydberg-dressing interaction. Further, we demonstrate that the soft-core nature of the dressing interaction plays a key role in the analog gravity phenomenon discussed here.

关键词: Unruh effect, Quantum simulation, Rydberg dressing, Bose-Einstein condensate

参考文献

- [1] Unruh, W. G., Notes on black-hole evaporation, Phys. Rev. D 14, 870 (1976).
- [2] M. Płodzień, G. Lochead, J. de Hond, N. J. van Druten and S. Kokkelmans, Rydberg dressing of a one-dimensional Bose-Einstein condensate, Phys. Rev. A 95, 043606 (2017).
- [3] J. Hu, L. Feng, Z. Zhang, and C. Chin, Quantum simulation of Unruh radiation, Nat. Phys. 15, 785 (2019).

低插损可调谐的光学隔离器

胡依奇, 刘立峰, 张示城, 李晓林, 钱军, 林功伟, 钮月萍, 龚尚庆

上海市徐汇区梅陇路 130 号华东理工大学 200237

17854257129@163.com

Abstract:

An optical isolator controlling the direction of light, which requires breaking of the reciprocity^[1], is one of the key components in optical communication and quantum network. The conventional optical nonreciprocity, achieving via Faraday effect in bulk magneto-optical material, is difficult to be integrated into on-chip photonic system^[2]. The magnetic-free optical isolator with a low insertion loss and high isolation is desirable for quantum networks and modern optical communication. Here, we realize an optical isolator with the far-off resonant Raman process in a thermal Λ -type atomic system. The experimental results show a high isolation, ultra-low insertion loss, and widely tunable frequency simultaneously. The maximum isolation is more than 30 dB with 0.07 dB insertion loss. And, the frequency of the isolation can be tuned continuously over 1.2 GHz. This high-performance magnetic-free optical isolator offers opportunities for applications in integrated optics and quantum networks.

Keywords: Magnetic-free optical isolator, Low insertion loss, Tunable frequency, Atomic ensemble

References:

- [1] D. Jalas, et al., What is - and what is not - an optical isolator, *Nature Photon.* 7,579(2013).
- [2] Asadchy V S, Mirmoosa M S, Diaz-Rubio A, et al. Tutorial on electromagnetic nonreciprocity and its origins[J]. *Proceedings of the IEEE*, 108(10), 1684, (2020).

Passive Nonlinear Optical Isolators Bypassing Dynamic Reciprocity

胡依奇

上海市徐汇区梅陇路 130 号 200237

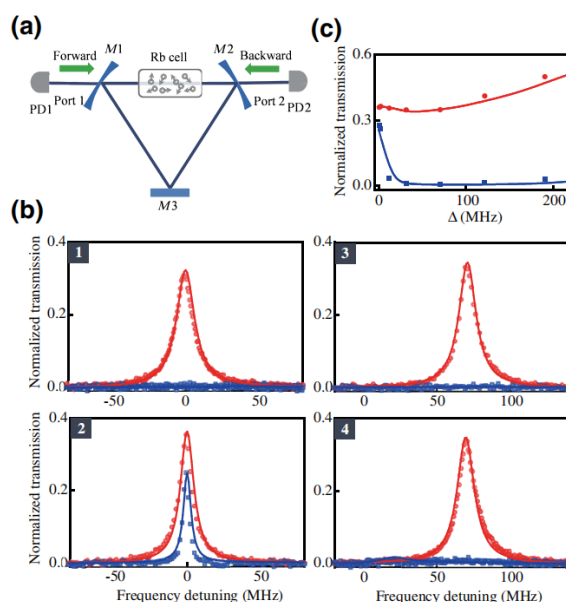
y12212143@mail.ecust.edu.cn

摘要正文：（中文，宋体五号字，其中英文和数字为Times New Roman五号字）

无磁光隔离器是实现集成光学系统的关键组成部分。无源非线性光学隔离器的基本物理并不仅仅是关于不需要任何外部偏置就打破洛伦兹互易性。事实上，自干型非线性光隔离器运行的一个主要障碍是所谓的动态互易性，其中一个严重的结果是，在前向强信号存在时，后向信号不能被隔离。在这项工作中，我们提倡速度选择非线性的概念来绕过这种动态互易性。利用非对称腔中铷原子的原理证明平台，我们通过实验实现了在强正向信号存在下的反向信号的隔离，实验观察结果与我们的理论模拟一致。因此，这项为实现克尔型无源光隔离器的功能迈出了重要的一步。

光隔离器预计在全光信号处理中具有广泛的应用前景。它们是非互易器件，允许光在一个方向上传输，但完全抑制光在反向传播。实现光隔离器的一个先决条件是打破洛伦兹互易性[1]。磁偏置很容易打破光学互易性，但这不是集成光子学的理想解决方案。事实上，在过去的十年中，已经提出了一些基于外部电或激光偏置的无磁非互易方案，包括不同的物理分支和各种平台，包括时空调制[2-4]、手性量子光学[5-7]和光力学系统[8,9]。

图1 实验设置和结果。(a)实验装置示意图。 m_1 、 m_2 和 m_3 是腔镜，形成不对称腔。Rb原子被用作非线性介质。正向和反向信号分别由光电探测器2（PD2）和1（PD1）检测。(b)正向（红色圆圈）和



反向（蓝色方块）信号的归一化传输。向前向和向后的信号分别入射（面板1）或同时入射（面板2），没有速度选择非线性机制。正向和反向信号分别入射（面板3）或同时（面板4）与我们提出的速度选择非线性的作用。正向和反向信号强度固定在0.6 mW。(c)同时注入正向和后向信号的归一化传输作为的函数。理论模拟的结果在这里用实线表示。

关键词：光隔离器，动态非互易，铷原子，腔

参考文献

- [1] D. Jalas, A. Petrov, M. Eich, W. Freude, S. Fan, Z. Yu, R. Baets, M. Popović, A. Melloni, J. D. Joannopoulos, M. Vanwolleghem, C. R. Doerr, and H. Renner, What is-and what is not-an optical isolator, *Nat. Photonics* 7, 579 (2013).
- [2] Z. Yu and S. Fan, Complete optical isolation created by indirect interband photonic transitions, *Nat. Photonics* 3, 91 (2009).
- [3] H. Lira, Z. Yu, S. Fan, and M. Lipson, Electrically Driven Nonreciprocity Induced by Interband Photonic Transition on a Silicon Chip, *Phys. Rev. Lett.* 109, 033901 (2012).
- [4] N. A. Estep, D. L. Sounas, J. Soric, and A. Alù, Magnetic free non-reciprocity and isolation based on parametrically modulated coupled-resonator loops, *Nat. Phys.* 10, 923 (2014).
- [5] P. Lodahl, S. Mahmoodian, S. Stobbe, A. Rauschenbeutel, P. Schneeweiss, J. Volz, H. Pichler, and P. Zoller, Chiral quantum optics, *Nature* 541, 473 (2017).
- [6] K. Xia, G. Lu, G. Lin, Y. Cheng, Y. Niu, S. Gong, and J. Twamley, Reversible nonmagnetic single-photon isolation using unbalanced quantum coupling, *Phys. Rev. A* 90, 043802 (2014).
- [7] M. Scheucher, A. Hilico, E. Will, J. Volz, and A. Rauschenbeutel, Quantum optical circulator controlled by a single chirally coupled atom, *Science* 354, 1577 (2016).
- [8] Z. Shen, Y.-L. Zhang, Y. Chen, C.-L. Zou, Y.-F. Xiao, X.-B. Zou, F.-W. Sun, G.-C. Guo, and C.-H. Dong, Experimental realization of optomechanically induced non-reciprocity, *Nat. Photonics* 10, 657 (2016).
- [9] F. Ruesink, M. A. Miri, A. Alù, and E. Verhagen, Nonreciprocity and magnetic-free isolation based on optomechanical interactions, *Nat. Commun.* 7, 13662 (2016).

强相互作用里德堡原子中的自感应透明效应研究

白正阳¹、黄国翔¹、李伟斌²、Charles S. Adams³

1. 华东师范大学精密光谱学国家重点实验室, 200062, 上海

2. 诺丁汉大学物理与天文学院系, NG7 2RD, 英国

3. 杜伦大学物理系, DH1 3LE, 英国

邮箱: zhybai@lps.ecnu.edu.cn

摘要正文: 我们研究了利用自感应透明效应在室温下的里德堡原子气体中实现纳秒激光脉冲稳定传输的新方案。通过深入分析原子碰撞截面与原子温度、量子数、能态衰变率等的关系和详细求解光脉冲与原子相互作用的非线性运动方程组, 揭示了室温下里德堡原子中光脉冲相干传播的自感应透明特征, 提出了新的、与原子相互作用有关的脉冲传播面积定理。该研究为基于里德堡原子气体实现强的相干非线性与量子光学效应及其在光量子信息处理等中的应用提供了新思路。

关键词: 里德堡原子、强非线性光学、自感应透明、光孤子

参考文献

[1] Zhengyang Bai, Charles S. Adams, Guoxiang Huang, Weibin Li, Phys. Rev. Lett. 125, 263605 (2020).

机器学习辅助的光纤慢漂优化过程

赵杰、黄文峰、吴媛、陈丽清

华东师范大学物理与电子科学学院，上海 200241

Lqchen@phy.ecnu.edu.cn

摘要正文：光纤型Sagnac干涉仪在引力波探测、分布式传感、角速度测量、空间导航、温度传感、形变探测等精密测量领域有良好应用前景[1-2]。但是，光纤对温度、机械应力的敏感性以及光纤中存在的偏振耦合、瑞利散射、Kerr效应等多种过程[3-4]，使得基于光纤的Sagnac干涉测量精度受限于额外的慢漂、零偏误差及各类热噪声。实际实验中，现有的方法往往只能针对某一种因素带来的误差进行处理。而近二十年来，机器学习算法开始广泛用于物理研究[5-6]。其中的神经网络方法则可以对较为复杂的多个未知参数过程进行回归、预测，从而帮助解决这一问题。在本文中，我们采用了隐藏层为5层和Adam下降收敛的神经网络(ANN)，并将其与PID算法混合，使得这种混合式的控制方法兼具了两者的优点，既能大范围地搜索和预测全局最优值，同时对实验光路系统进行实时反馈以精确锁定探测信号，这比起一些数据后处理方法具有显著优势。具体而言，我们是将这种神经网络辅助的方法应用到1km的保偏光纤的光信号慢漂补偿和锁定中，将神经网络预测的最佳参数通过液晶波片器件反作用到光路系统中以补偿线偏光在沿保偏光纤传输后的强度慢漂和偏振态变化，并进行循环实时交互。以1mW入射的795nm线偏光为例，我们实现了将其通过1公里保偏光纤后的强度慢漂从23.2 μ W的峰峰值降低到3.8 μ W左右。此外，我们也进一步演示了在长时间连续测量过程中这种方法对光纤系统慢漂优化的稳定性和鲁棒性。

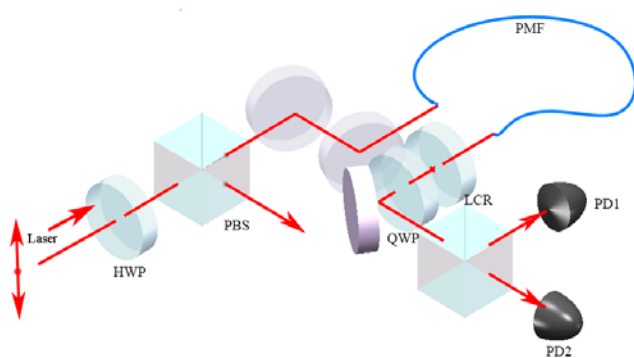


图1 机器学习反馈优化光纤慢漂的光路

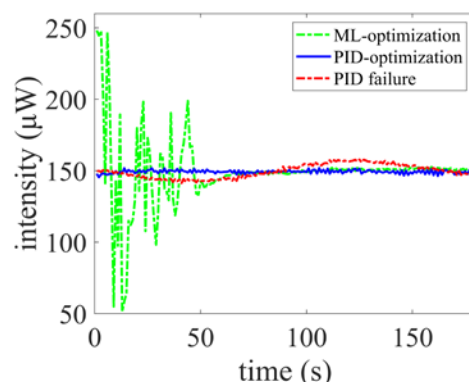


图2 长时间连续采集下ML与PID效果对比图

关键词：神经网络，保偏光纤，慢漂优化，长时间连续测量

参考文献

- [1] Culshaw B., The optical fibre Sagnac interferometer: an overview of its principles and applications, Measurement Science and Technology, 17(1), R1 (2005).
- [2] Starodumov A. N., et al., Fiber Sagnac interferometer temperature sensor. Applied Physics Letters, 70(1): 19-21 (1997).
- [3] Böhm K., Russer P., et al., Low-noise fiber-optic rotation sensing. Optics letters, 6(2): 64-66 (1981).
- [4] Bergh R. A., et al., Compensation of the optical Kerr effect in fiber-optic gyroscopes. Optics Letters, 7(6): 282-284 (1982).
- [5] Wigley P. B., et al., Fast machine-learning online optimization of ultra-cold-atom experiments. Scientific reports, 6(1): 1-6 (2016).
- [6] Sharma K., et al., Trainability of dissipative perceptron-based quantum neural networks. Physical Review Letters, 128(18): 180505 (2022).

基于腔光机械系统的多窗口光学非互易传输

刘军浩，於亚飞，王金东，张智明

华南师范大学信息光电子科技学院，广州，510006

邮箱:jhliu@m.scnu.edu.cn

腔光机械系统是一类利用高品质光学微腔增强光与机械振子相互作用的装置，其中光与机械振子通过辐射压力耦合^[1]。近年来实现非互易光传输成为该领域的研究热点，基于腔光机械系统的光学隔离器、环形器、非互易相移器先后被提出和实现^[2-4]。

最近，我们小组在这一领域做出了一些工作^[5]。我们利用一个双腔模光机械系统实现了多窗口的非互易光传输。通过对两个腔模分别采用红蓝失谐驱动，发现输出谱中会出现多个窗口，其中有的窗口表现为正向光隔离，有的窗口表现为逆向光隔离，还有的窗口表现为非互易光放大。我们的工作为实现多功能的光学非互易器件提供了理论基础。

关键词：腔光机械系统、非互易光传输、多窗口多功能器件

参考文献

- [1] Aspelmeyer M, et al., Cavity optomechanics, Rev. Mod. Phys. 86, 1391 (2014).
- [2] Manipatruni S, et al., Optical nonreciprocity in optomechanical structures, Phys. Rev. Lett. 102, 213903 (2009).
- [3] Shen Z, et al., Experimental realization of optomechanically induced non-reciprocity, Nat. Photon. 10, 657 (2016).
- [4] Liu J H, et al., Nonreciprocal transmission and fast-slow light effects in a cavity optomechanical system, Opt. Express 27, 15382 (2019).
- [5] Liu J H, et al., Optomechanically induced multi-windows nonreciprocity, in preparation.

Continuous-frequency microwave heterodyne detection in an atomic vapor cell

刘笑宏

广东省广州市番禺区华南师范大学大学城校区理六栋 101 和 511400

liuxiaohong@m.scnu.edu.cn

摘要正文: Heterodyne receiver based on Rydberg atoms pushes the electromagnetic wave detection towards quantum projection noise-limited sensitivity, but it is typically limited to detection of discrete frequencies within the narrow bandwidth of Rydberg transitions. Here we demonstrate an atomic heterodyne scheme for continuous frequency measurement of microwave electric fields based on multilevel Rydberg atoms in a room-temperature vapor cell. Driven by two off-resonant microwaves acting as a tunable local oscillator field, the heterodyne receiver can retrieve the amplitude, phase, and frequency information of signal microwave in a continuous frequency band. In our experiment, the receiver achieves an electric field sensitivity of up to $1.5 \mu\text{V cm}^{-1}\text{Hz}^{-1/2}$, 80 dB linear dynamic range, and over 1 GHz of continuous frequency range. We also demonstrate the reliable reception of continuously-tunable phase-modulated carriers in the digital communication. This work will facilitate the application of atomic heterodyne in the areas such as radar technique, radio monitoring and radio astronomy.

关键词: Rydberg atoms Heterodyne receiver Electromagnetic wave detection

参考文献

- [1] H. T. Tu, K. Y. Liao, Z. X. Zhang, X. H. Liu, S. Zheng, S. Yang, X. Zhang, H. Yan and S.L. Zhu, High-efficiency coherent microwave-to-optics conversion via off-resonant scattering, *Nat. Photon.* 16, 291C296 (2022).
- [2] D. H. Meyer, P. D. Kunz, and K. C. Cox, Waveguide-coupled Rydberg spectrum analyzer from 0 to 20 GHz, *Phy. Rev. Applied* 15, 014047(2021).
- [3] M. Jing, Y. Hu, J. Ma, H. Zhang, L. Zhang, L. Xiao, and S. Jia, Atomic superheterodyne receiver based on microwave-dressed Rydberg spectroscopy. *Nat. Phys.* 16, 911-915 (2020).
- [4] D. H. Meyer, Assessment of Rydberg Atoms for Wideband Electric Field Sensing, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 53 034001 (2019).
- [5] A. Sedlacek, A. Schwettmann, H. Kubler, R. Low, T. Pfau, and J. P. Shaffer, Microwave electrometry with Rydberg atoms in a vapour cell using bright atomic resonances, *Nat. Phys.* 8, 819 (2012).
- [6] C. L. Holloway, and J. A. Gordon, Broadband Rydberg Atom-Based Electric-Field Probe for SI-Traceable, Self-Calibrated Measurements, *IEEE Trans. Antennas Propagation* 62, 6169 (2014).

基于室温里德堡原子的太赫兹探测技术

余圳跃 李显喆 林雅益 杨小林 尚燕飞 张彩霞 黄 巍 颜辉 朱诗亮

(华南师范大学物理与电信工程学院, 广东省量子调控工程与材料重点实验室, 广州 510006)

太赫兹 (THz) 波一般是指频率在 0.1—10 THz 范围内的电磁波, 频率介于微波和红外波段之间, 兼有微波和光波的特性, 具有低能量、大带宽、良好的穿透性等特点。里德堡原子指的是主量子数 >10 的高激发态原子, 它对电场灵敏度响应高, 自然线宽很窄。里德堡原子在太赫兹频段具有极大的电偶极矩, 而太赫兹波能量低、极高的方向性, 具有很好的穿透能力和抗干扰能力, 利用量子干涉效应可实现对该频段电磁波场强的高灵敏探测, 理论上灵敏度可达到远高于现有探测技术的水平。因此基于里德堡原子量子效应的电磁场探测及成像技术在通信、安检、国防、成像、医疗和生物等方面有着巨大的应用前景。

我们已实现了基于室温里德堡原子超外差的太赫兹探测, 在基于里德堡原子的 EIT 的基础上, 引入太赫兹本振场及太赫兹信号场, 二者有一个失谐, 因此探测光会携带一个正弦振荡差分信号, 通过解析这个信号它可以解析太赫兹信号的相位和频率, 最优探测灵敏度: $2.88\mu\text{V cm}^{-1} \text{ Hz}^{-1/2}$ 。另一方面, 我们还实现了基于里德堡原子荧光的太赫兹成像, 采用三步光激发将原子制备到里德堡态, 利用该里德堡态将太赫兹转化为可见光。该太赫兹成像方法比用半导体器件成像具有更低的噪声水平、更高的灵敏度和更高的成像速度。

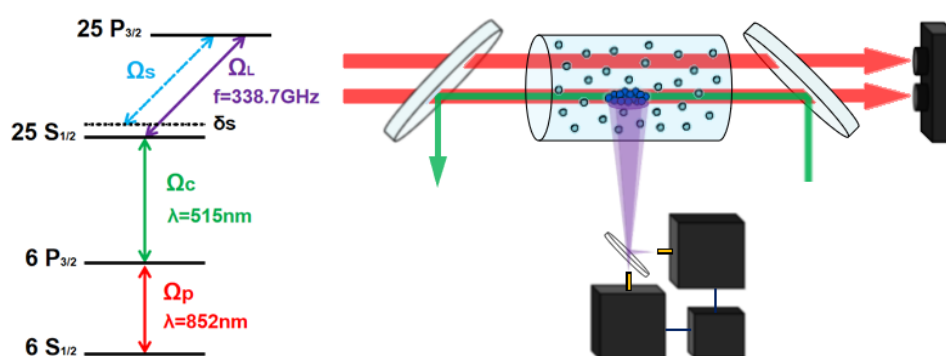


图1 原子能级及实验系统示意图

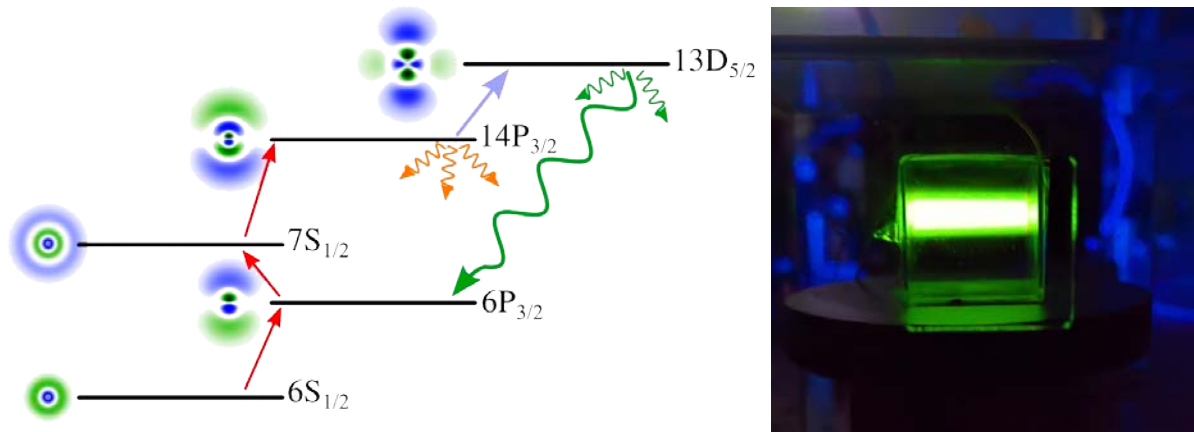


图2 太赫兹荧光成像

关键词：里德堡原子；太赫兹探测；太赫兹成像

参考文献

- [1] C. L. Holloway et al., Broadband Rydberg Atom-Based Electric-Field Probe for SI-Traceable, Self-Calibrated Measurements [J]. IEEE Transactions on Antenn. and Propag., 2014, 62, 6169.
- [2] M. Y. Jing, Y. Hu, J. Ma, H. Zhang, L. J. Zhang, L. T. Xiao, S. T. Jia, Atomic superheterodyne receiver based on microwave-dressed Rydberg spectroscopy [J]. Nat. Phys., 2020, 16, 911.
- [3] L. A. Downes, A. T. MacKellar, D. J. Whiting, C. Bourgenot, C. S. Adams, K. J. Weatherill, Full-Field Terahertz Imaging at Kilohertz Frame Rates Using Atomic Vapor [J]. Phys. Rev. X., 2020, 10, 011027.
- [4] Sedlacek J A, Schwettmann A, Kübler H, et al. Microwave electrometry with Rydberg atoms in a vapour cell using bright atomic resonances[J]. Nature Physics, 2012, 8(11): 819-824.
- [5] Sedlacek, J. A. et al. Microwave electrometry with Rydberg atoms in a vapour cell using bright atomic resonances. Nat. Phys. 8, 819 – 824 (2012).
- [6] Holloway, C. L. et al. Broadband Rydberg atom-based electric-field probe for SI-traceable, self-calibrated measurements. IEEE Trans. Antennas Propag. 62, 6169 – 6182 (2014).
- [7] Holloway, C. L. et al. Electric field metrology for SI traceability: systematic measurement uncertainties in electromagnetically induced transparency in atomic vapor. J. Appl. Phys. 121, 233106 (2017).
- [8] Kumar, S., Fan, H., Kübler, H., Jahangiri, A. J. & Shaffer, J. P . Rydberg-atom based radio-frequency electrometry using frequency modulation spectroscopy in room temperature vapor cells. Opt. Express 25, 8625 – 8637 (2017).
- [9] Ibirait-Lukenskien D , Ikamas K , Lisauskas T , et al. Passive Detection and Imaging of Human Body

Radiation Using an Uncooled Field-Effect Transistor-Based THz Detector[J]. *Sensors* (Basel, Switzerland), 20(15).

[10]C. G. Wade, N. Šibalić, N. R. De Melo, J. M. Kondo, C. S. Adams, K. J. Weatherill, Real-time near-field terahertz imaging with atomic optical fluorescence [J]. *Nat. Photon.*, 2016, 11, 40.

[11]L. A. Downes, A. T. MacKellar, D. J. Whiting, C. Bourgenot, C. S. Adams, K. J. Weatherill, Full-Field Terahertz Imaging at Kiloherzt Frame Rates Using Atomic Vapor [J]. *Phys. Rev. X.*, 2020, 10, 011027.

[12]Huang Wei, Liang Zhen-Tao, Du Yan-Xiong, Yan Hui, Zhu Shi-Liang. Rydberg-atom-based electrometry. *Acta Phys. Sin.*, 2015, 64(16): 160702. doi: 10.7498/aps.64.160702

[13]Lin Y, She Z, Chen Z, et al. The Room-Temperature Rydberg-Atom Receiver For Terahertz Wireless Communications[J]. *arXiv preprint arXiv:2205.11021*, 2022.

量子模拟拓扑绝缘体中自旋陈数的测量

吕庆先^{1,2}, 刘鸿志¹, 杜炎雄^{1*}, 颜辉^{1,2*}, 朱诗亮^{1,2*}

¹华南师范大学物理与电信工程学院广东省量子工程和量子材料重点实验室, 广东 广州 510006;

²华南师范大学物理前沿科学研究院粤港量子物质联合实验室, 广东 广州 510006

qingxianlv@scnu.edu.cn

liuhz0@163.com

摘要正文: 1988 年 Haldane 构建了一类新的具有霍尔效应的物理模型, 展示了具有时间反演对称破缺但不存在朗道能级的量子霍尔效应, 预言了反量子霍尔效应的物理现象。具有两个带自旋的 Haldane 模型的结合, 展示出的物理现象称为量子自旋霍尔效应, 它展示了在具有时间反演对称时仍具有拓扑效应, 为了解释量子自旋霍尔效应的稳定性, 盛东宁、翁征宇、盛利和 Haldane 提出了用自旋陈数刻画量子霍尔效应。2006 年, Bernevig、Hughes 和 Zhang (BHZ) 提出了 BHZ 模型^[1], 用于二维拓扑绝缘体的研究, 但自旋陈数至今尚未被实验直接测量到, 直接测量这个拓扑不变量的挑战在于自旋陈数是基于人工构造的波函数定义的, 而这些波函数在真实的凝聚态系统中很难实现, 因此还没有被实验测量到。

我们提出采用非绝热线性响应理论^[2]测量自旋陈数的方法, 并首次利用冷原子体系模拟 Bernevig-Hughes-Zhang 模型, 通过设计四能级量子系统来模拟具有两个赝自旋的四能带 BHZ 模型, 通过对操纵原子的微波的振幅、相位和频率的调制, 独立地产生和操纵每个赝自旋的波函数, 实现对 BHZ 模型中的量子态的操控, 从而实现了自旋陈数的测量。我们模拟的 BHZ 模型在第一布里渊区内的自旋贝里曲率可以通过系统的非绝热线性响应方法测量, 而自旋陈数则是对第一布里渊区的自旋贝里曲率积分得到的。为了实现 BHZ 模型的哈密顿量, 需要通过微波拉比振荡的干涉来精确地确定微波间的相对相位, 哈密顿量中非对角耦合项 g 可以用来模拟非可逆自旋电流, 并通过赝自旋之间的微波耦合进行控制, 在探测阶段利用量子态层析的方法提取贝里曲率。

通过实验观察到, 当两个赝自旋之间存在耦合时, 用于刻画每个自旋分量的陈数不再是好的定义, 但当能量和自旋间隙都没有消失时, 由它们的差异测量的自旋陈数仍然有很好的定义, 它标定了手征自旋流的数量, 解决了自旋陈数是否可以在自旋非守恒系统中定义的理论问题。同时, 我们观察到自旋陈数对参数变化以及随机波动具有鲁棒性。

关键词 Bernevig-Hughes-Zhang 模型; 自旋陈数; 自旋贝里曲率; 线性响应理论

参考文献

[1] B. A. Bernevig, T. L. Hughes, and S. C. Zhang, *Science* 314, 1757 (2006).

[2] V. Gritseva and A. Polkovnikov, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 109, 6457 (2012).

基于超导芯片与冷原子复合系统的微波光波相干转换

吕庆先¹, 杨震寰¹, 陈儒杰¹, 梁振涛¹, 杜炎雄¹, 颜辉¹, 朱诗亮¹

¹广东省量子调控工程与材料重点实验室, 华南师范大学 物理与电信工程学院, 广东 广州 510006

qingxianlv@scnu.edu.cn

利用量子网络将众多低容错率的相对小规模量子计算机互联起来, 是最有望构建大规模低容错率量子计算机的方法。实现分布式量子计算与量子网络首要解决的关键科学问题之一是如何实用化地将超导量子电路中的微波光子高效率、高保真度地转换为通信波段的光波光子[1]。目前国际上基于里德堡冷原子六波混频实现了最高效率(>82%)的微波光波相干转换[2], 但其还不能直接应用于工作在低温环境下超导量子电路的微波光波相干转换。我们将在已有的超导芯片与冷原子复合系统的基础研究之上, 开展在低温环境下实现超导量子芯片与冷原子系综强耦合的研究, 并在此基础上实现可应用于超导量子电路的高效率微波光波相干转换, 争取早日实现实用化的超导微波量子存储器与光学接口。该研究取得的创新性成果将为实现超导量子比特的光学接口奠定基础, 为分布式超导量子计算机和杂化量子网络的研究提供技术支撑, 对拓展科学前沿起着重要作用。

关键词: 超导芯片与冷原子复合系统, 微波光波相干转换, 量子接口

参考文献:

[1] Han, Xu, et al. "Microwave-optical quantum frequency conversion." *Optica* 8.8 (2021).

[2] Tu, Hai-Tao, et al. "High-efficiency coherent microwave-to-optics conversion via off-resonant scattering." *Nature Photonics* 16.4 (2022).

题目 热原子系统中无吸收折射率增强的方案设计与应用

作者 崔雨晴¹, 赵天明^{1*}, 苗荣欣^{2,†}, 王金东³, 陈焕阳⁴

地址和邮编 1. 华南师范大学, 信息光电子科技学院, 广东省微纳光子功能材料与器件
重点实验室, 广州 510631;

2. 中山大学, 物理与天文学院, 珠海 519082;

3. 华南师范大学, 广东省量子调控工程与材料重点实验室, 广州 510631;

4. 厦门大学 物理学系, 厦门 361005

邮箱 * zhaotm@scnu.edu.cn, [†] miaorx@mail.sysu.edu.cn

摘要正文: 平行世界是量子力学和宇宙学中极富想象力的思想。本文介绍如何在热原子系统中实现无吸收折射率增强, 用理论计算和模拟图像的方式分析折射率变化的影响因素。联系超材料中的时空模拟, 提出了利用热原子系统实现光学平行宇宙薛定谔猫态的创新思想。主要工作是提出两种可以实现平行世界的方案: 其一, 利用马赫-曾德尔干涉仪的两个路径分别模拟不同时空, 当光子通过时, 它在两个时空出现的概率相等且具有不确定性, 这样便实现了平行宇宙在路径上的叠加; 其二, 在基于叠加态原子系统的单一路径中, 同样当光子通过时, 也实现了平行宇宙的叠加态。这项工作将折射率增强理论拓展到了时空领域。

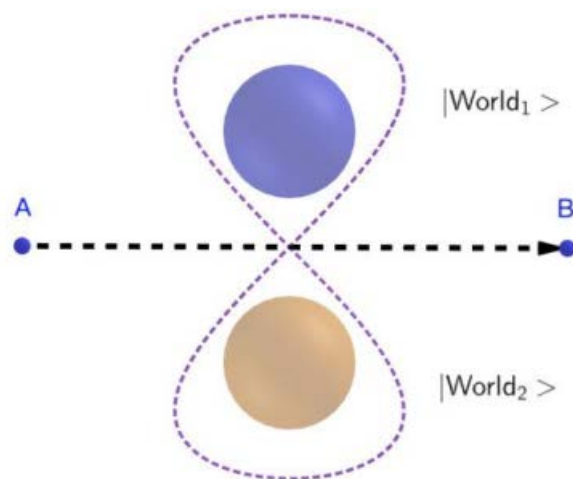


图1 平行世界叠加态的单一路径图。一个光子通过光学平行世界的叠加态:

$$|\Psi\rangle = (1/\sqrt{2})(|World_1\rangle + |World_2\rangle)$$

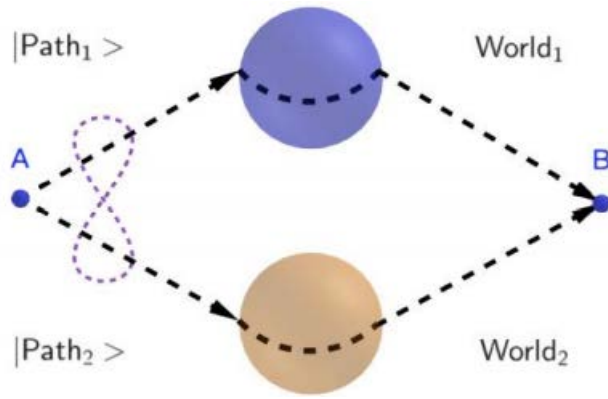


图2 光学平行世界的双路径叠加图。在路径的叠加态 $|\Psi'\rangle = (1/\sqrt{2})(|\text{Path}_1\rangle + |\text{Path}_2\rangle)$ 中，一个光子通过了两个经典的光学平行世界。

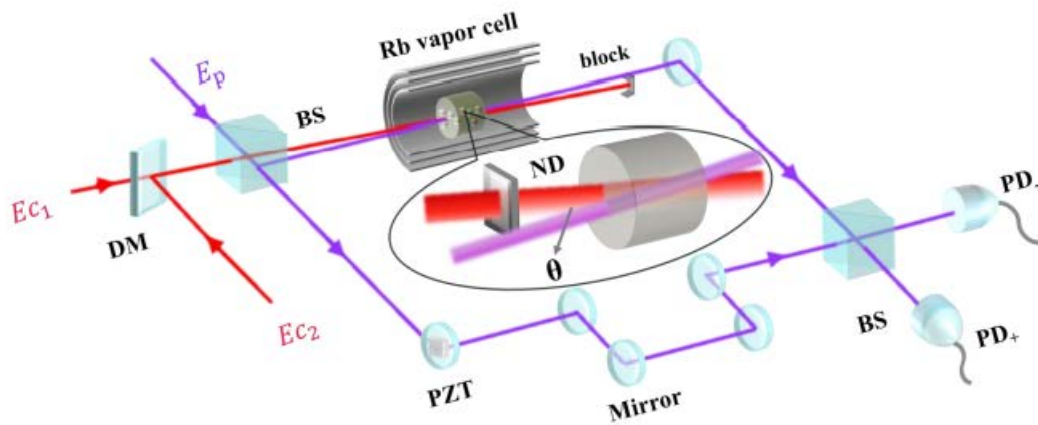


图3 平行世界的实验方案图。实验在磁屏蔽Rb蒸气池中进行； E_p 是探测光束， E_{c1} 和 E_{c2} 是两个控制光束；放大插图显示了由于控制光束上的梯度衰减器（ND）而引起的沿轴的光强梯度。

关键词：热原子系综，非线性效应，折射率增强

参考文献

- [1] Everett. H, Reviews of Modern Physics 29, No.3, 1957, pp. 454-462. Reprinted in The Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics, ed. B. S. DeWitt and N.Graham (Princeton: Princeton University Press), pp. 141-149, 1973.
- [2] Chen H Y, Tao S, Bělin J, et al. Transformation cosmology [J]. Physical Review A, 102(2): 023528.(2020)
- [3] Yavuz D D. Refractive index enhancement in a far-off resonant atomic system [J]. Physical Review Letters, 95(22): 223601.(2005)

High Efficiency Coherent Microwave-to-Optical

Conversion via Off-Resonant Scattering

Hai-Tao Tu^{1,2}, Kai-Yu Liao^{1,2}, Zuan-Xian Zhang^{1,2}, Xiao-Hong Liu^{1,2}, Shun-Yuan Zheng^{1,2}, Shu-Zhe Yang^{1,2}, Xin-Ding Zhang^{1,2}, Hui Yan^{1,2} and Shi-Liang Zhu^{1,2}

*1Guangdong Provincial Key Laboratory of Quantum Engineering and Quantum Materials,
GPETR Center for Quantum Precision Measurement, SPTE,
South China Normal University, Guangzhou 510006, China*

*2Frontier Research Institute for Physics, South China Normal University, Guangzhou 510006,
China*

Email: haitaotu@m.scnu.edu.cn; liaokaiyu1989@foxmail.com

Abstract:

Quantum transducers that can convert quantum signals from the microwave to the optical domain are a crucial optical interface for quantum information technology. Coherent microwave-to-optics conversions have been realized with various physical platforms, but all of them are limited to low efficiencies of less than 50%—the threshold of the no-cloning quantum regime. Here we report coherent microwave-to-optics transduction using Rydberg atoms and off-resonant scattering with an efficiency of $82 \pm 2\%$ and a bandwidth of about 1 MHz. The high conversion efficiency is maintained for microwave photons ranging from thousands to about 50, suggesting that our transduction is readily applicable to the single-photon level. Without requiring cavities or aggressive cooling for the quantum ground states, our results would push atomic transducers closer to practical applications in quantum technologies.

References:

- [1] Kiffner, M. et al. Two-way interconversion of millimeter-wave and optical fields in Rydberg gases. *New J. Phys.* 18, 093030(2016).
- [2] Han, J. et al. Coherent microwave-to-optical conversion via sixwavemixing in Rydberg atoms. *Phys. Rev. Lett.* 120, 093201(2018).
- [3] Tu, HT., Liao, KY. et al. High-efficiency coherent microwave-to-optics conversion via off-resonant scattering. *Nat. Photon.* 16, 291–296 (2022).

基于里德堡原子超外差接收机

郭钟毓，郑顺元，李仲启，仇思源，边武，廖开宇，涂海涛，刘笑宏，

张新定，颜辉，朱诗亮

广东省量子调控工程与材料重点实验室，

华南师范大学 物理与电信工程学院，广东 广州 510006

yanhui@scnu.edu.cn, slzhunju@163.com

摘要正文：

微波在雷达、通信、遥感等国防安全及社会经济领域方面都有重要应用，对微波各物理参数的测量具有重要意义。

相比于传统微波测量方法，里德堡原子具有较大的电偶极矩和极化率，所以相对于传统偶极天线，对外界电场更为敏感；并且原子可进行自校准，将测量结果溯源到基本物理量；原子本身对待测电场产生的干扰小。

因此研制这套微波接收样机系统是为了更精准地测量微波电场和接收微波信号。里德堡原子量子相干效应为测量微波电场提供了新方法和技术，弥补了传统天线接收微波方法所存在的不足，具有非常重要的应用前景。本系统可以测量微波幅度，相位等信息，我们基于此系统进行了初步通信接收实验。



图1 里德堡超外差接收机图示

关键词：微波电场;里德堡原子;Autler-Townes;超外差接收机;可搬运

参考文献:

- [1]廖开宇, 涂海涛, 张新定,等. 基于里德堡原子的微波传感与通信[J]. 中国科学: 物理学、力学、天文学, 2021, 51(7):14.
- [2]Jing, M., Hu, Y., Ma, J. et al. Atomic superheterodyne receiver based on microwave-dressed Rydberg spectroscopy. Nat. Phys. 16, 911 – 915 (2020).

在囚禁离子系统中基于后选择测量的量子 Fisher 信息

李贺飞，於亚飞*

华南师范大学信息光电子科技学院，广州，510006

联系人：李贺飞；邮箱：1244431070@qq.com

摘要正文：量子测量是量子力学的核心问题之一，在 1932 年冯诺依曼提出了最早的测量理论框架[1]，将要研究的系统称为待测系统，测量仪器称为探测系统，在测量过程中被测系统的信息通过相互作用流向探测系统，但经过一次测量后破坏了被测系统的状态，不利于提取被测系统的信息。而当被测系统和探测系统间的相互作用较弱时不利于被测系统的信息向探测系统流动，因而在探测系统中很难提取到被测系统的信息。针对这一问题，1988 年 Aharonov 等人提出了后选择弱测量理论[2]，即处于某个初态的待测系统和探测系统进行弱相互作用后对待测系统进行后选择，通过牺牲后选择成功的概率，可在探测系统中间接观测到被测系统的较多的信息。故在弱耦合情况下选择与被测系统初态接近正交的末态对被测系统进行后选择，尽管可以获得较多的信息量但后选择成功概率接近 0；在强耦合下后选择成功的概率增大，但其获得的信息量较少。因此，如何在获取较大的信息量和后选择成功概率之间取得平衡是我们研究的主题。

而在离子阱系统[3-5]进行后选择量子测量时离子的内部自由度作为被测系统，外部自由度作为探测系统，通过外部光场的控制可使两系统发生耦合，为我们深度观察量子测量提供了便利。为此，基于离子阱系统，我们将被测系统与探测系统之间的耦合参量评估作为后选择量子测量的应用背景，研究当后选择量子测量由弱到强变化时参量评估的量子 Fisher 信息与后选择成功概率随着耦合强度的变化，寻求二者平衡点的过程。此外我们还研究了不同探针态下量子 Fisher 信息与后选择成功概率的变化轨迹。通过理论推导和分析我们发现当探针态为相干态时，存在量子 Fisher 信息与后选择成功概率二者平衡的点。

关键词：囚禁离子系统、后选择测量、量子Fisher信息

参考文献

- [1] J. V. Neumann, Mathematical Foundations of Quantum Mechanics (Springer Press, Berlin, 1932).
- [2] Y. Aharonov, D. Z. Albert and L. Vaidman, How the Result of a Measurement of a Component of the Spin of a Spin- 2 Particle Can Turn Out to be 10Phys. Rev. Lett. **60**, 1351 (1988).
- [3] C. W. Wu, J. Zhang, Y. Xie, B. Q. Ou, T. Chen, W. Wu and P. X. Chen, Scheme and experimental demonstration of fully atomic weak-value amplification, Phys. Rev. A **100**, 062111 (2019).
- [4] Y. Pan, J. Zhang, E. Cohen, C. W. Wu, P. X. Chen and N. Davidson, Weak-to-strong transition of quantum measurement in a trapped-ion system, Nat. Phys. **16**, 1206 (2020).
- [5] K. Araya-Sossa and M. Orszag, Influence of squeezing on the weak-to-strong measurement transition, Phys. Rev. A **103**, 052215 (2021).

High-fidelity photonic quantum logic gate based on near-optimal Rydberg single-photon source

Biao Xu¹, Lin Li²

MOE Key Laboratory of Fundamental Physical Quantities Measurement,
Hubei Key Laboratory of Gravitation and Quantum Physics, PGMF,
Institute for Quantum Science and Engineering, School of Physics,
Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China

¹E-mail: baozi_xub@hust.edu.cn

²E-mail: li_lin@hust.edu.cn

Abstract :

Compared to other types of qubits, photon is one of a kind due to its unparalleled advantages in long-distance quantum information exchange. Therefore, photon is a natural candidate for building a large-scale, modular optical quantum computer operating at room temperature. However, low fidelity two-photon quantum logic gates and their probabilistic nature result in a large resource overhead for fault tolerant quantum computation. Improving the photonic quantum gate fidelity and efficiency alleviates the overwhelming resource consumption and holds the promise to tackle the probabilistic problem in linear optical entangling operations with error correction. A major limitation on the fidelity of photonic quantum logic gates is the imperfection of single photons. Here, we overcome this obstacle by using high-quality single photons generated from Rydberg atoms as qubits for the interference-based linear optical gate protocol, and achieve a post-selected truth table gate fidelity of 99.84(3) % and entangling gate fidelity of 99.69(4) %. Our work paves the way for scalable photonic quantum applications based on near-optimal single-photon qubits and photon-photon gates.

Key word: Rydberg atoms, single-photon source, photonic CNOT gate

References:

- [1] Shuai, S. et al. High-fidelity photonic quantum logic gate based on near-optimal Rydberg single-photon source. Nat. Commun. Accepted (2022).
- [2] Knill, E., Laflamme, R. & Milburn, G. J. A scheme for efficient quantum computation with linear optics. Nature 409, 46–52 (2001).
- [3] Li, Z.-D. et al. Experimental quantum repeater without quantum memory. Nat. Photon. 13, 644–648 (2019).
- [4] Aharonovich, I., Englund, D. & Toth, M. Solid-state single-photon emitters. Nat. Photon. 10, 631–641 (2016).
- [5] Dudin, Y. O. & Kuzmich, A. Strongly interacting Rydberg excitations of a cold atomic gas. Science 336, 887–889 (2012).

Long-time Bell states of waveguide-mediated qubits via continuous measurement

Huiping Zhan and Huatang Tan*

Department of Physics, Huazhong Normal University, Wuhan 430079, China
tth@mail.ccnu.edu.cn

Abstract: In this paper we consider a scheme for achieving long-time sustainable Bell states of two distant qubits mediated by a one-dimensional waveguide whose outputs are subjected to time-continuous photon counting or homodyne detection. In both of the detection cases, it is shown that different Bell states can be obtained, for different initial states, in the long-time regime. In particular, we find that, in the case of photon counting, a cyclic jump among Bell states can be formed once the first photon is registered. While in the homodyne-detection case we further reveal that any steady Bell state can be achieved independent of detection efficiency, with a probability of 50% . The underlying physical reason for this is also analyzed. Our scheme is advantageous over previous studies in which only transient or intermittent Bell states can be generated. The long-time Bell states of distant qubits can be used for constructing quantum networks.

Keyword: Bell state, photon counting, homodyne detection, quantum trajectory

References

- [1] H. Zhan and H. Tan, Long-time Bell states of waveguide-mediated qubits via continuous measurement, *Phys. Rev. A* 101, 063834 (2020).
- [2] X. H. H. Zhang and H. U. Baranger, Heralded Bell State of Dissipative Qubits Using Classical Light in a Waveguide, *Phys. Rev. Lett.* 122, 140502 (2019).

Remotely preparing optical Schrödinger cat states via homodyne detection in nondegenerate triple-photon spontaneous downconversion

Miaomiao Wei¹, Huatang Tan^{1,*} and Qiongyi He²

¹ Department of Physics, Huazhong Normal University, Wuhan 430079, China

² State Key Laboratory for Mesoscopic Physics, School of Physics, Frontiers Science Center for Nano-Optoelectronics, and Collaborative Innovation Center of Quantum Matter, Peking University, Beijing 100871, China

Abstract: Optical downconversion is a key resource for generating nonclassical states. Very recently, direct nondegenerate triple-photon spontaneous downconversion (NTPSD) with bright photon triplets and strong third-order correlations has been demonstrated in a superconducting device. Besides, linear and nonlinear tripartite entanglement in this process have also been predicted. In this paper, we consider the generation of nonclassical optical quantum superpositions and investigate nonlinear quantum steering effects in NTPSD. We find that large-size Schrödinger cat states of one downconverted mode can be achieved when the other two modes are subjected to homodyne detection. Also, a two-photon Bell entangled state can be

generated when only one mode is homodyned. We further reveal that such ability of remote state steering originates from nonlinear quantum steerable correlations among the triplets. This is specifically embodied by the seeming violation of the Heisenberg uncertainty relation for the inferred variances of two noncommutating higher-order quadratures of downconverted modes, based on the outcomes of homodyne detection on the other mode, i.e., nonlinear quantum steering, compared to original Einstein-Podolsky-Rosen steering. Our results demonstrate non-Gaussian nonclassical features in NTPSD and would be useful for the fundamental tests of quantum physics and implementations of optical quantum technologies.

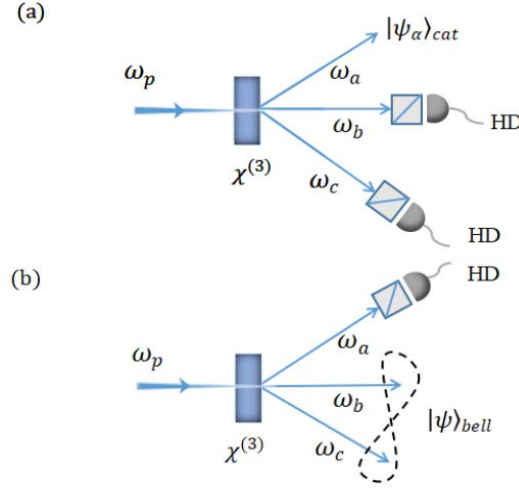


Figure 1. Schematic diagram for remotely generating optical quantum superpositions by homodyne detection in a NTPSD process in which a high-frequency pump photon (with frequency ω_p and in a coherent state $|\alpha_p\rangle$) is simultaneously downconverted into a triplet (denoted by a, b, c) of frequencies ω_a, ω_b and ω_c . (a) By homodyning the downconverted modes b and c , the third mode c is steered into a size-adjustable Schrödinger cat state $|\psi_{\alpha}\rangle_{\text{cat}} = (|i\alpha\rangle + |-i\alpha\rangle)/\sqrt{2(1 + e^{-2|\alpha|^2})}$. (b) When only one mode (e.g. the mode a) is homodyned, the other two modes are projected into a two-photon Bell entangled state $|\psi\rangle_{\text{bell}} = (|0_b, 0_c\rangle + |1_b, 1_c\rangle)/\sqrt{2}$. The abbreviation “HD” stands for homodyne detection.

Keywords: Schrödinger cat states, two-photon Bell entangled states, nonlinear quantum steering, nondegenerate triple-photon spontaneous downconversion

References

- [1]Y. Shen, S. M. Assad, N. B. Grosse, X. Y. Li, M. D. Reid, and P. K. Lam , Nonlinear Entanglement and its Application to Generating Cat States, Phys. Rev. Lett. **114** 100403(2015).
- [2]Feng-Xiao Sun, Sha-Sha Zheng, Y. Xiao, Qihuang Gong, Qiongyi He, and K. Xia, Remote Generation of Magnon Schrödinger Cat State via Magnon-Photon Entanglement, Phys. Rev. Lett. 127 087203(2021).

观察广义宇称对周期性调制热原子 alignment 磁共振光谱的影响

耿旭兴^{1†}、杨国卿²、金恺¹、唐旺旺¹、吴少平¹、黄光明¹、李高翔^{1‡}

1 华中师范大学物理科学与技术学院 武汉 430079

2 杭州电子科技大学电子信息学院 杭州 310018

邮箱:txxgeng@mails.ccnu.edu.cn

lgaox@mail.ccnu.edu.cn

摘要正文: Periodically modulated systems with parity symmetry have been extensively researched in recent years and exhibit various novel phenomena and quantum technologies. We use pump-probe structure to observe the influence of generalized parity on the alignment spectra of magnetic resonance in the periodically biharmonic modulated warm atomic Cesium ensemble. When the generalized parity of modulated Floquet atomic ensemble is present, the alignment spectra are symmetric. The breaking of spectral symmetry is accompanied by the absence of generalized parity. The influence of generalized parity on atomic alignment polarization distribution is analyzed from the perspective of the angular-momentum probability surface. A necessary and sufficient condition for generalized parity to maintain spectral symmetry is verified experimentally and theoretically, which provide a new perspective to investigative complex periodic modulation system. Our results are universally applicable not only to atomic systems, but also to solid-state systems.

关键词: Generalized parity, Periodically modulated systems, Alignment spectra, Atomic magnetic resonance

参考文献

[1] 已被 laser & photonics reviews 杂志接收

双量子比特-单模腔场系统的相干完全吸收

薛明 李高翔

地址:湖北省武汉市洪山区珞喻路 152 号 邮编: 430079

gaox@mail.ccnu.edu.cn

摘要正文:

如何将光子全部囚禁在光腔内实现光子的完全吸收是当前量子光学领域的重要研究课题。本文分别探究了腔中双量子比特距离较远和较近情况下系统的相干完全吸收特性。两量子比特距离较远的情况:当两量子比特全同时,原子的暗模与腔模退耦合,将光场频率调谐到真空拉比频率附近或远离时,展现出与单个量子比特系统类似的双峰与单峰CPA透射谱。对于不全同双量子比特,原子的暗模与腔模不再退耦合,此时透射谱中出现新的透射峰,调节双量子比特频率之间的失谐量,随着第三个峰幅度越来越大,系统只有一个CPA体现出良好的鲁棒性,这展现出与单量子比特-腔耦合系统完全不同的特性。考虑双量子比特距离较近情况下,由于量子比特间偶极-偶极相互作用,当两量子比特全同时,受到集合超辐射的影响,亮模相较于无相互作用时线宽变宽,寿命变短,导致原子激发变少;当两量子比特不全同时,暗模同样不再退耦合,受到集合亚辐射的影响,暗模与无相互作用时相比线宽变窄,寿命更长。不仅如此,我们还发现偶极-偶极相互作用会使第三个透射光谱对应的原子激发相较于量子比特距离较远的情况显著增强。

关键词: 相干完全吸收; 退耦合; 偶极-偶极相互作用; 超辐射; 亚辐射

参考文献

- [1] D. S. Wiersma, P. Bartolini, A. Lagendijk, and R. Righini, *Nature (London)* 390, 671 (1997).
- [2] S. Martin, G. Peter, C. Aegerter, M. Georg, *Phys. Rev. Lett.* 96, 063904 (2006).
- [3] D. M. Jovic, C. Denz, and M. R. Belic, *Opt. Lett.* 37, 4455 (2012).
- [4] L. V. Hau, S. E. Harris, and C. H. Behroozi, *Nature (London)* 397, 594 (1999).
- [5] M. Fleischhauer and M. D. Lukin, *Phys. Rev. Lett.* 84, 5094 (2000).
- [6] Z. Yang, L. Ci, S. Lin, and P. Ajayan, *Nano. Lett.* 8, 446 (2008).
- [7] A. Yariv, Y. Xu, R. Lee, and A. Scherer, *Opt. Lett.* 24, 711 (1999).
- [8] N. Landy, S. Sajuyigbe, J. Mock, et al. *Phys. Rev. Lett.* 100, 207402 (2008).
- [9] Y. Fan, F. Zhang, Q. Zhao, Z. Wei, and H. Li. *Opt. Lett.* 39, 006269 (2014).
- [10] X. Hu and J. Wang, *Opt. Lett.* 40, 5538 (2015).
- [11] Y. Fan, Z. Liu, F. Zhang, et al. *Scientific Reports* (2015).
- [12] S. Thongrattanasiri, H. L. Frank, et al. *Phys. Rev. Lett.* 108, 047401 (2012).
- [13] C. Wang, C. Huang, C. Hu, M. Wang, et al. *Opt. Express* 20, 2246 (2012).
- [14] M. Pu, Q. Feng, C. Hu, et al. *Plasmonics*, 7, 733 (2012).
- [15] J. H. Chow, M. A. Taylor, T. T. Lam, J. Knittel, et al. *Opt. Express* 20 12622 (2012).
- [16] J. Shen and S. Fan, *Phys. Rev. A* 82, 021802 (2010).
- [17] J. F. Zhang, C. C. Guo, Z. H. Zhu, et al. *Opt. Express* 22 012524 (2014).
- [18] Y. D. Chong and A. D. Stone, *Phys. Rev. Lett.* 107, 163901 (2011).
- [19] N. Liu, M. Mesch, T. Weiss, M. Hentschel and H. Giessen, *Nano Lett.* 10, 2342 (2010).
- [20] X. Fang, M. L. Tseng, J. Y. Ou, K. F. MacDonald, et al. *Appl. Phys. Lett.* 104, 141102 (2014).

- [21] Bruck R. and Muskens, *Opt. Express* 21, 27652 (2015).
- [22] V. Kravets, F. Schedin, R. Jalil, et al. *Nature Mater* 12, 304–309 (2013).
- [23] A. Luque and S. Hegedus, *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering* (New York: Wiley) (2008).
- [24] K. Gerasimos and E. H. Sargent, *Nat. Nanotechnol.* 5, 391–400 (2010).
- [25] S. Debnath, E. Khan and E. E. Narimanov, *Opt. Express* 27, 9561 (2019).
- [26] G. Dayal and S. A. Ramakrishna, *Opt. Express* 20, 17503 (2012).
- [27] J. Piper and S. Fan, *ACS Photonics* 1, 347 (2014).
- [28] Kotlicki and J. Scheuer, *Opt. Lett.* 39, 6624 (2014).
- [29] M. Villinger, M. Bayat, L. Pye, and A. Abouraddy, *Opt. Lett.* 40, 5550 (2015).
- [30] V. Pham, J. Park, D. Vu, H. Zheng, J. Rhee, K. Kim, and Y. Lee, *Adv. Nat. Sci. Nanosco. Nanotechnol.* 4, 015001 (2013).
- [31] L. Jiang, J. Guo, Q. Wang, X. Dai, and Y. Xiang, *Plasmonics* 12, 1825 (2017).
- [32] J. Mei, G. Ma, M. Yang, Z. Yang, et al. *Nat. Commun.* 3, 756 (2012).
- [33] G. Ma, M. Yang, S. Xiao, Z. Yang, et al. *Nat. Mater.* 13, 873 (2014).
- [34] J. Song, P. Bai, Z. Hang, and Y. Lai, *New J. Phys.* 16, 033026 (2014).
- [35] Y. D. Chong, L. Ge, H. Cao, and A. D. Stone, *Phys. Rev. Lett.* 105, 053901 (2010).
- [36] W. Wan, Y. D. Chong, L. Ge, H. Noh, A. D. Stone, et al. *Science* 331, 889-892 (2011).
- [37] G. S. Agarwal and Y. F. Zhu, *Phys. Rev. A* 92, 023824 (2015).
- [38] J. F. Zhang, K. F. Macdonald and N. I. Zheludev, *Light: Sci. Appl.* (2012).
- [39] L. Y. Wang, K. Di, Y. F. Zhu, and G. S. Agarwal, *Phys. Rev. A* 95, 013841 (2017).
- [40] G. S. Agarwal, K. Di, L. Y. Wang, and Y. F. Zhu, *Phys. Rev. A* 93, 063805 (2016).
- [41] L.Y. Wang, Z. Tan, Y. F. Zhu, and M. Zhan, *J. Opt. Soc. Am. B.* 34, 001780 (2017).
- [42] Y. Li and C. Argyropoulos, *Opt. Lett.* 43, 1806 (2018).
- [43] L. Y. Wang, et al. *New J. Phys.* 23 123040 (2021).
- [44] M. D. Guo, *Opt. Express* 29, 27653-27660 (2021).
- [45] E. Abraham and S. D. Smith, *Rep. Prog. Phys.* 45, 815 (1982).
- [46] J. Kerckhoff, M. A. Armen, and H. Mabuchi, *Opt. Express* 19, 6478 (2011).
- [47] A. Joshi, A. Brown, H. Wang, and M. Xiao, *Phys. Rev. A* 67, 041801 (2003).
- [48] B. Zou, Z. Tan, M. Musa, and Y. Zhu, *Phys. Rev. A* 89, 023806 (2014).
- [49] G. Q. Yang, Z. Tan, B. Zou, and Y. Zhu, *Opt. Lett.* 39, 6695–6698 (2014).
- [50] L. Xu, Z. M. Zhang, and J. L. Chai, *J. Opt. Soc. Am. B.* 8, 1157-1162 (1991).
- [51] A. Neuzner, M. Körber, O. Morin, S. Ritter, and G. Rempe, *Nat. Photon.* 10, 303 (2016).
- [52] R. Reimann, W. Alt, T. Kampschulte, T. Macha, et al. *Phys. Rev. Lett.* 114, 023601 (2015).
- [53] M. Pleinert, J. Zanthier, and G. S. Agarwal, *Opt.* 4, 779 (2017).
- [54] C. J. Zhu, Y. P. Yang, and G. S. Agarwal, *Phys. Rev. A* 95, 063842 (2017).
- [55] G. Q. Zhang and J. Q. You, *Phys. Rev. B.* 99, 054404 (2019).
- [56] Y. Huang, G. Chen, C. Jin, et al. *Phys. Rev. A* 85, 53827 (2012).
- [57] E. V. Goldstein and P. Meystre, *Phys. Rev. A* 56, 5135 (1997).
- [58] J. Gillet, G. S. Agarwal, and T. Bastin, *Opt. Phys.* 81, 013837 (2010).

基于强度检测的 $SU(1, 1)$ 干涉仪提高角旋转测量分辨率和灵敏度

刘俊、邵涛

江苏科技大学理学院，镇江 212002

Email: shaotao190623@sina.com

摘要：为了提高角旋转测量灵敏度，提出了一种基于强度检测的 $SU(1,1)$ 干涉仪的测量方案。携带轨道角动量(OAM)的相干光束进入插入 Dove 棱镜的 $SU(1,1)$ 干涉仪。通过充分利用两个输出端，采用强度检测，可以通过更高的增益、光子数和 OAM 来提高角旋转测量灵敏度。同时，当泵浦光携带 OAM 时，可以提高分辨率。 $SU(1,1)$ 干涉仪的角旋转测量灵敏度可以超过标准量子极限 $1/(2l\sqrt{N})$ ，当干涉仪内部的光子损耗相同时，该灵敏度仍然是最佳的。

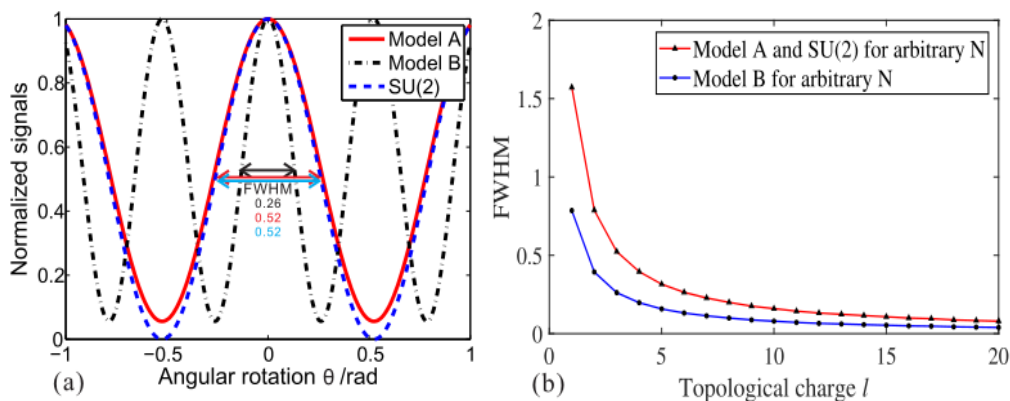


图 1 (a)归一化信号与角旋转的关系;(b)任意平均光子数 N 下，两个模型的归一化信号与拓扑电荷 l 的 FWHM 关系

关键词：强度检测， $SU(1,1)$ 干涉仪，量子极限

参考文献

- [1] Liu J, Wang Y, Zhang M, Wang J, Wei D and Gao H Ultra-sensitive phase measurement based on an $SU(1,1)$ interferometer employing external resources and subtract intensity detection Opt. Express 28 39443-39452 (2020).
- [2] Boyer V, Marino A M and Lett P D Generation of spatially broadband twin beams for quantum imaging Phys. Rev. Lett. 100 14360 (2008).

Two-mode light states before and after delocalized single-photon addition

Bo Lan¹, Hong-chun Yuan² and Xue-xiang Xu^{1,*}

¹College of Physics and Communication Electronics,
Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China;

²School of Electrical and Information Engineering,
Changzhou Institute of Technology, Changzhou 213032, China

Email: [*xuxuexiang@jxnu.edu.cn](mailto:xuxuexiang@jxnu.edu.cn); lanbo@jxnu.edu.cn

Abstract: We studied the effect of delocalized single-photon addition (DPA $a_1^\dagger + e^{i\phi} a_2^\dagger$) on two input modes containing four cases: two independent coherent states (CSs), two independent thermal states (TSs), two independent single-mode squeezed vacuums (SVs), and an entangled two-mode squeezed vacuum (TMSV). In essence, four types of new non-Gaussian entangling light states are generated. We studied the entanglement, the dis correlation and the Wigner negativity for each two-mode light state. Compared with the initial two-mode Gaussian states, the generated two-mode states are entangled, with more parameters and complex structures, characterizing more Wigner negativity or even dis correlation. Our results show that properties for CSs case are more sensitive on the superposition phase ϕ than those of other three cases.

Keywords: delocalized photon addition; entanglement; dis correlation; Wigner negativity

References:

- [1] N. Biagi, L. S. Costanzo, M. Bellini, and A. Zavatta, Entangling macroscopic light states by delocated photon addition, Phys. Rev. Lett. 124, 033604 (2020).
- [2] N. Biagi, L. S. Costanzo, M. Bellini, and A. Zavatta, Generating dis correlated states for quantum information protocols by coherent multimode photon addition, Adv. Quantum Technol. 4, 2000141 (2021).
- [3] E. Meyer-Scott, J. Tiedau, G. Harder, L. K. Shalm, and T. J. Bartley, Dis correlated quantum states, Sci. Rep. 7, 41622 (2017).
- [4] Bo. Lan, Hong-chun Yuan, and Xue-xiang Xu, Two-mode light states before and after delocalized single-photon addition, arXiv:2112.12332v1 (2021).

Improving phase estimation via Laguerre excitation squeezed state

作者 赵泽坤, 张欢, 胡利云, 黄亦斌

地址和邮编 1Center for Quantum Science and Technology, Jiangxi Normal University,
Nanchang 330022, China

2 School of Physics, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

邮箱 1300658399@qq.com

摘要正文: Quantum metrology has an important role in the fields of quantum optics and quantum information processing. Here we introduce a kind of non-Gaussian state, Laguerre excitation squeezed state as input of traditional Mach-Zehnder interferometer to examine phase estimation in a realistic case. We consider the effects of both internal and external losses on phase estimation by using quantum Fisher information and parity detection. It is shown that the external loss presents a bigger effect than the internal one. The phase sensitivity and the quantum Fisher information can be improved by increasing the photon number. The non-Gaussian state can be used to enhance the precision of phase estimation even in realistic case.

在 $SU(1,1)$ 干涉仪中利用相干叠加操作进行相位估计

徐铀可

江西省南昌市高新开发区紫阳大道 99 号江西师范大学 330022

380292644@qq.com

我们基于 $SU(1, 1)$ 干涉仪和强度探测提出了一种以相干态和相干叠加压缩真空态作为输入态来进行相位估计的方案。其中，光子扣除，光子增加以及光子叠加是三种不同的非高斯操作。我们分别在理想情况和实际情况下分析比较了这三种非高斯操作在相位估计过程中的性能表现。结果表明，相干叠加系数 s 对相位灵敏度的改善具有调节作用，尤其是在一个较小的压缩参数范围内时，该调节作用更加显著。

当压缩参数 r 比较大时，相位灵敏度会随着参数 m 和 s 的增大而得到提高。另外，增大光学参量放大器的增益系数 g 时，我们的方案所获得的相位灵敏度在理想情况和存在一定光子损耗情况下均能突破标准量子极限并饱和于 QCRB 界。三种不同的非高斯操作都能够实现测量精度的改善，并且光子增加操作相较于光子扣除和光子叠加操作更具有鲁棒性。此外，在比较小的压缩参数范围内时，如果考虑到实验条件的限制，一介非高斯操作或许是实现高灵敏度相位估计的最优选。我们的结论或许有望于在实际的量子信息领域有所应用。

关键词：相位灵敏度； $SU(1,1)$ 干涉仪；强度探测；非高斯操作

参考文献：

- [1] R. Demkowicz-Dobrzański, and L. Maccone, Using Entanglement Against Noise in Quantum Metrology, Phys. Rev. Lett. 113, 250801 (2014).
- [2] L. Pezzé, and A. Smerzi, Mach-Zehnder Interferometry at the Heisenberg Limit with Coherent and Squeezed-Vacuum Light, Phys. Rev. Lett. 100, 073601 (2008).
- [3] C. M. Caves, Quantum-Mechanical noise in an interferometer, Phys. Rev. D. 23, 1693-1708 (1981).
- [4] L. L. Guo, Y. F. Yu, and Z. M. Zhang, Improving the phase sensitivity of an $SU(1,1)$ interferometer with photon-added squeezed vacuum light, Opt. Express 26(22), 29099 (2018).
- [5] B. Yurke, S. L. McCall, and J. R. Klauder, $SU(2)$ and $SU(1, 1)$ interferometers, Phys. Rev. A 33, 4033 (1986).

光分束器算符的相干态表示及应用

占铭霞, 贾芳, 黄佳利, 张欢, 胡利云

江西省南昌市南昌县紫阳大道 99 号 330022

1737032463@qq.com

在量子光学与量子信息领域中, 光束分离器是一个十分重要的线性器件。它不仅能用于制备量子力学的完备表象、纠缠态表象, 而且能用于模拟量子系统的耗散环境等。本文结合光束分离器的变换关系以及有序算符内的积分技术, 给出了与光束分离器变换对应的量子力学算符的相干态表象表示及其正规乘积形式。基于此, 考虑了光束分离器的相干态表象表示在获取算符恒等式以及连续和离散混合变量纠缠态表象制备中的应用, 并将此推广至两个单、双模级联光束分离器, 给出了相应的相干态表象表示及其正规乘积形式。此外, 进一步考察了光分束器制备纠缠态在量子隐形传输中的应用, 讨论了保真度。以上结果在量子光学与量子信息等领域中具有很好的理论价值。

关键词: 光束分离器, 有序算符内的积分技术, 相干态表象

参考文献

- [1] Fan H Y and Klauder J R, Eigenvectors of two particles relative position and total momentum, Phys. Rev. A 49 704 (1994).
- [2] Liu C J, Yu M, Ye W, Zhang H and Hu L Y, Preparation of nonclassical states by displacement-based quantum Scissors, Results. Phys. 19 103616 (2020).
- [3] Xu X X, Yuan C H and Ma S J, Measurement-induced nonclassical states from a coherent state heralded by Knill-Laflamme-Milburn-type interference, J. Opt. Soc. Am. B 33 6 (2016).

基于光子加成的水下连续可变量子密钥分布

黄佳利, 张欢, 叶炜, 陶向阳, 常守康, 胡利云

江西省南昌市南昌县紫阳大道 99 号 330022

1021851540@qq.com

连续可变量子密钥分配(CVQKD)为提高水下光通信的安全性提供了一种有效的方法,但面临着距离短的尴尬局面。为此,我们利用发射端的光子增加来增强水下 CVQKD 的性能。数值模拟结果表明,相对于右侧的光子扣除,左侧方案的光子增加可以进一步提高水下 CVQKD 的密钥率和传输距离。此外,还考虑了水下 CVQKD 系统中海水质量因素的影响,为水下安全通信提供技术支持。

关键词: 连续可变量子密钥分配, 光子增加, 海水

参考文献

- [1] N. Gisin, G. Ribordy, W. Tittel, H. Zbinden, Quantum cryptography, Rev. Mod. Phys. 74 (2002) 145.
- [2] L. Y. Hu, M. Al-amri, Z. Y. Liao, M. S. Zubairy, Continuous-variable quantum key distribution with nonGaussian operations, Phys. Rev. A 102 (2020) 012608.
- [3] W. Ye, H. Zhong, Q Liao, D. Huang, L. Y. Hu, Y. Guo, Improvement of self-referenced continuous-variable quantum key distribution with quantum photon catalysis, Opt. Express 27 (2019) 17186.

Work statistics and the thermal phase transition of Dicke model

Ze-Zhou Zhang (张泽洲)

Key Laboratory of Theoretical Physics of Gansu Province and Lanzhou Center for Theoretical Physics, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

E-mail: zhangzzh20@lzu.edu.cn

Abstract : Many previous studies have demonstrated that the work statistics can exhibit certain singular behaviors in the critical regimes of many-body systems at zero or very low temperature. However, as the temperature increases, it is commonly believed that such singularities will vanish. On contrary to this common recognition, we here report a non-analytic behavior of the average work done, which occurs at finite temperature, in the Dicke model subject to the sudden quenches of their work parameters. It is revealed that the work statistics can be viewed as a signature of thermal phase transition when the quenched parameters are tuned across the critical line that separates two different phases. This result suggests the work statistics as a tool to characterize the quantum criticality of many-body system. Compared with traditional methods, the work statistics approach has its own superiority, because it requires no prior knowledge of the order parameter or symmetries. Our results may have some applications in quantum information and quantum optics.

Key words: Dicke model, Non-equilibrium thermodynamics, Phase transition.

Reference: Ze-Zhou Zhang and Wei Wu, Work statistics and thermal phase transitions, arXiv: 2206.04422.

Quantum router regulated by Rydberg interaction in decussate coupled-resonator waveguides

Xu Yang and Lei Tan

甘肃省兰州市城关区天水南路 222 号兰州大学 730000

yangxu20@lzu.edu.cn

A single-photon router model made of two Rydberg interaction atoms in one center cavity coupled with a decussate coupled-resonator waveguides as a quantum multi-channel is constructed. In the presence of a classical light field, a three-level atom regulated by Rydberg interactions can be regarded as a quantum emitter to routing photons. It can be found that two Rydberg interactions have different influences on the transmitting spectra. Two different frequencies of photons can be routed and one of which can be turned off by controlling Rydberg interactions and Rabi frequency. It also can be found that one kind of frequency of photons can be transmitted. Based on these characteristics, it is a feasible scheme to generate a multi-frequency photons router and it could be useful for designing the single-photon devices.

Quantum optics, Quantum routing, Rydberg interaction, muti-channel.

- [1] J.I. Cirac, P. Zoller, H.J. Kimble, and H. Mabuchi, Phys. Rev. Lett. 78, 3221 (1997).
- [2] C.-H. Yan, Y. Li, H.-D. Yuan, and L.-F. Wei, Phys. Rev. A. 97, 023821 (2018).
- [3] W. Qin, F. Nori, Phys. Rev. A. 93, 032337 (2016).
- [4] G.-A. Yan, Q.-Y. Can, A.-X. Chen, Eur. Phys. J. D. 70, 93 (2016).
- [5] H.J. Kimble, Nature 07127(2008).
- [6] T. Aoki, A. Parkins, D. Alton, C. Regal, B. Dayan, E. Ostby, K. Vahala, and H. Kimble, Phys. Rev. Lett. 102, 083601 (2009).
- [7] K.J. Vahala, Nature (London) 424, 839 (2003).
- [8] G.S. Agarwal and S.M. Huang, Phys. Rev. A 85, 021801 (2012).
- [9] A.-C. Ji, X.C. Xie, and W.M. Liu, Phys. Rev. Lett. 99, 183602 (2007).
- [10] T.S. Tsoi and C.K. Law, Phys. Rev. A. 80, 033823 (2009).
- [11] T.S. Tsoi and C.K. Law, Phys. Rev. A. 78, 063832 (2008).
- [12] K.-Y. Xia and J. Twamley, Phys. Rev. X. 3, 031013 (2013).
- [13] D. Rossini and R. Fazio, Phys. Rev. Lett. 99, 186401 (2007).
- [14] J.-Q. Liao, Z.-R. Gong, L. Zhou, Y.-X. Liu, C.-P. Sun and F. Nori, Phys. Rev. A. 81, 042304 (2010).
- [15] L. Zhou, L.-P. Yang, Y. Li, and C.-P. Sun, Phys. Rev. Lett. 111, 103604 (2013).
- [16] J. Lu, L. Zhou, L.-M. Kuang and F. Nori, Phys. Rev. A. 89, 013805 (2014).
- [17] J.-F. Huang, J.-Q. Liao, and C.-P. Sun, Phys. Rev. A. 87, 023822 (2013).
- [18] T.F. Gallagher, Rydberg atoms, Vol. 3 (Cambridge University Press, 2005).
- [19] M. Marinescu, H.R. Sadeghpour, and A. Dalgarno, Phys. Rev. A. 49, 982 (1994).

- [20] J.P. Hague, S. Downes, C. MacCormick and P.E. Kornilovitch, *J Supercond Nov Magn.* 27, 937 (2013).
- [21] M.D. Lukin, M. Fleischhauer, and R. Cote, *Phys. Rev. Lett.* 87, 037901 (2001).
- [22] D. Jaksch, J.I. Cirac, P. Zoller, S.L. Rolston, R. Côté, and M. D. Lukin, *Phys. Rev. Lett.* 85, 2208 (2000).
- [23] G.K. Brennen, C.M. Caves, P.S. Jessen, and I.H. Deutsch, *Phys. Rev. Lett.* 82, 1060 (1999).
- [24] L. Isenhower, E. Urban, X.L. Zhang, A.T. Gill, T. Henage, T.A. Johnson, T.G. Walker, and M. Saffman, *Phys. Rev. Lett.* 104, 010503 (2010).
- [25] J.-L. Ma, L. Tan, Q. Li, H.-Q. Gu and W.-M. Liu, *Scientific Reports.* 8, 814367 (2018).
- [26] X.-P. Du, Q. Cao, N. Dang, and L. Tan, *Eur. Phys. J. D.* 75, 79 (2021).
- [27] C.E. Theodosiou, *Phys. Rev. A* 30, 2881 (1984).
- [28] A.A. Kamenski, N.L. Manakov, S.N. Mokhnenko, and V.D. Ovsiannikov, *Phys. Rev. A* 96, 032716 (2017).
- [29] N. Šibalić, C.S. Adams, *Rydberg Physics*, (IOP Publishing Ltd, 2018).
- [30] L. Hai, L. Tan, J.-S. Feng, W.-B. Xu, B. Wang, *Chin. Phys. B.* 23(2), 024202 (2014).

High-fidelity photonic and magnonic topological state transfers in cavity-magnon system

包茜茜, 郭刚峰, 谭磊

甘肃省兰州市城关区 222 号兰州大学, 730000

baoqq19@lzu.edu.cn

We propose an experimentally feasible scheme for realizing high-fidelity topological state transfer via the topological edge states in a one-dimensional cavity-magnon lattice. We find that the cavity-magnon system can be mapped analytically into the generalized Su-Schrieffer-Heeger model with tunable cavity-magnon coupling. It can be shown that the edge state can be served as a quantum channel to realize the photonic and magnonic state transfers by adjusting the cavity-cavity coupling strength. Further, our scheme can realize the quantum state transfer between photonic state and magnonic state by changing the cavity-magnon coupling strength. With the numerical simulation, we quantitatively show that the photonic, magnonic and magnon-to-photon state transfers can be achieved with high fidelity in the cavity-magnon lattice. Spectacularly, three different types of quantum state transfer schemes can be even transformed into each other in a controllable fashion. The Su-Schrieffer-Heeger model based on the cavity-magnon chain provides us a tunable platform to engineer the transport of photon and magnon, which may have potential applications in topological quantum processing.

Keywords: topological state transfer, cavity-magnon system, high-fidelity

参考文献

- [1] L. Qi, G.-L. Wang, S. Liu, S. Zhang, and H.-F. Wang, Opt. Lett. 45, 2018 (2020).
- [2] F. Mei, G. Chen, L. Tian, S.-L. Zhu, and S. Jia, Phys.Rev. A 98, 012331 (2018).

声子场驱动的旋转光力系统中二阶边带增强研究^{*}

廖庆洪, 宋梦林, 邱海燕

南昌大学电子信息工程系, 江西省南昌市, 330031, 中国

E-mail: nculqh@163.com

摘要: 从理论上研究了由声子场驱动的旋转光力系统中二阶边带生成特性。当声子场的驱动频率等于探测场失谐时, 通过调整声子场的幅度、相位和谐振器的转速, 可以很容易地改变二阶边带产生效率。随着声子场幅度增加, 若驱动场来自左侧, 则二阶边带效率显著提高。此外, 讨论了由声子场生成二阶边带的相位相关效应, 并证明二阶边带生成过程可以通过初始相位灵活调控。最后, 研究了泵浦功率对二阶边带的影响, 表明通过添加声子场可以在非常小的泵浦功率下获得显著的二阶边带效率。该研究对调控复合光力系统中非线性光学特性有重要意义。

关键词: 二阶边带, 旋转光力系统, 声子场

^{*} 国家自然科学基金(批准号: 62061028)资助的课题.

超导量子比特耦合机械谐振器系统的探测吸收特性和可调

克尔开关研究^{*}

廖庆洪, 邱海燕, 肖敏

南昌大学电子信息工程系, 江西省南昌市, 330031, 中国

E-mail: nculqh@163.com

摘要: 提出了一种用于研究环行复合系统的吸收光谱和克尔系数的方案, 系统由两个机械谐振器耦合到一个超导磁通量子比特组成。理论研究表明, 基于机械诱导相干布居数振荡的透明现象可以通过改变拉比频率和机械谐振器的衰减率来调制。此外, 还提出了一种非线性克尔开关的设计方法。结果表明, 利用双场探测手段, 根据信号场的吸收谱中双峰之间的宽度可以精确地测量两个机械谐振器之间的耦合强度。同时, 根据吸收峰和增益峰的位置, 实现了机械谐振器振动频率的精确测量。该研究对精密测量和量子信息处理领域具有重要意义。

关键词: 克尔效应, 机械诱导相干布居数振荡, 拉比频率

^{*} 国家自然科学基金(批准号:62061028)资助的课题。

Quantum Interference in Lossy, Asymmetric, and Unbalanced Beam Splitters

Xingchang WANG¹, Jianmin WANG¹, Georgios A. SIVILOGLOU¹, and J. F. CHEN¹

1. Shenzhen Institute for Quantum Science and Engineering(SIQSE) and Department of Physics,
Southern University of Science and Technology(SUSTech), Shenzhen, Guangdong, China

Abstract: Two indistinguishable bosons interfering in a 50:50 lossless beam splitter yield a bunching effect, which is famously known as Hong-Ou-Mandel interference, while an anti-bunching effect is observed for fermions. In a lossy beam splitter, though, a controllable loss can surprisingly force bosonic particles to behave like fermions with respect to their coincidence statistics. Here we theoretically analyze quantum interference of two distinct bosonic modes in a lossy, asymmetric, and unbalanced beam splitter. Our theoretical results are in quantitative agreement with the corresponding experimental demonstration in a non-Hermitian cold atomic magnon-photon beam splitter. This study may provide valuable insights in the field of non-Hermitian physics in the quantum regime.

Key words: non-Hermitian physics; quantum interference; quantum statistics; beam splitter.

Quantum State Tomography with Optical Neural Network

Ying Zuo^{*1}, Chenfeng Cao², Ningping Cao^{3,4}, Xuanying Lai⁵, Bei Zeng²,

Shengwang Du⁵

¹*Shenzhen Institute for Quantum Science and Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen 518055, China*

²*Department of Physics, Hong Kong University of Science and Technology, Clear Water Bay, Kowloon, Hong Kong, China*

³*Department of Mathematics & Statistics, University of Guelph, Guelph, Canada, N1G 2W1 ON*

⁴*Institute for Quantum Computing, University of Waterloo, Waterloo, Canada, ON N2L 3G1*

⁵*The University of Texas at Dallas, Department of Physics, Richardson, Texas, USA, 75080*

*zuoy@sustech.edu.cn

Quantum state tomography (QST)[1], as an analog of the "imaging" technique, is a crucial ingredient for almost all aspects of experimental quantum information processing. As a standard process of reconstructing quantum information of an unknown quantum state through measurements on its copies, QST is born to be a data science problem, where machine learning techniques, noticeably neural networks, have been applied extensively[2-4]. Here, we build and demonstrate an optical neural network (ONN)[5] for photonic polarization qubit QST[6]. Optical neural network take the advantage of properties of light such as the intrinsic parallel computing ability and the fast speed of light. The ONN is equipped with built-in optical nonlinear activation functions based on electromagnetically induced transparency. The schematics of the experiment is shown in Fig.1. With the known quantum state and their measurements as output and input, a multi-layered neural network is trained to reconstruct the quantum state based on the measurements. The trained neural network is optically realized with certain optimizations. Thus the ONN can predict the unknown state with certain measurements optically. The experimental results show that our ONN can determine the phase parameter of the qubit state accurately. As optics ONN highly desired for quantum interconnections, our ONN-QST may contribute to the realization of optical quantum networks and inspire the ideas combining artificial optical intelligence with quantum information studies.

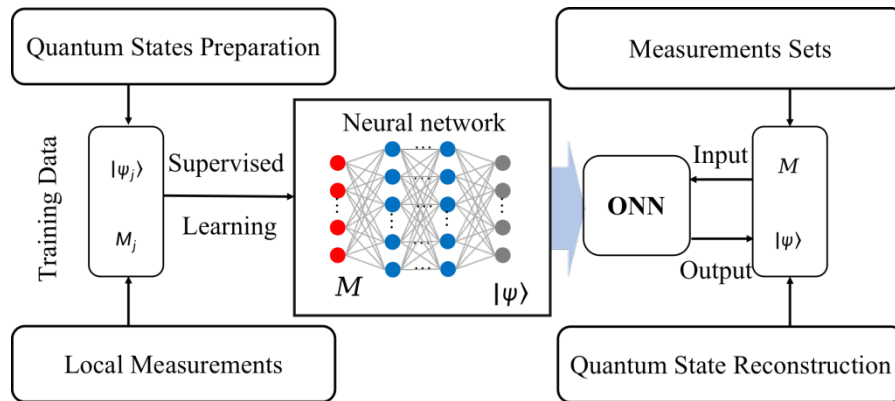


Figure 1: Schematics of optical neural network based quantum state tomography.

Keyword: optical neural network, quantum state tomography

References:

- [1] A. I. Lvovsky and M. G. Raymer, Continuous-variable optical quantum-state tomography, *Rev. Mod. Phys.* 81(1), 299 (2009).
- [2] G. Torlai, G. Mazzola, J. Carrasquilla, et al., Neural-network quantum state tomography, *Nat. Phys.* 14(5), 447 (2018).
- [3] T. Xin, S. Lu, N. Cao, et al., Local-measurement-based quantum state tomography via neural networks, *npj Quantum Inf.* 5(1), 1–8 (2019)
- [4] Y. Quek, S. Fort, and H. K. Ng, Adaptive quantum state tomography with neural networks, *npj Quantum Inf.* 7, 105 (2021).
- [5] Y. Zuo, B. Li, Y. Zhao, et al., All-optical neural network with nonlinear activation functions, *Optica* 6(9), 1132–1137 (2019).
- [6] Y. Zuo, C. Cal, N. Cao, et al., Optical neural network quantum state tomography, *Advanced Photonics*, 4(2), 026004 (2022)

Spatiotemporal Airy biphotons in a cold atomic ensemble

王建民^{*1}, 左瀛¹, 王兴昌¹, G. A. Siviloglou¹, and 陈洁菲^{**1,2}

¹*Shenzhen Institute for Quantum Science and Engineering,
Southern University of Science and Technology, Shenzhen 518055, China*

²*Department of Physics, Southern University of Science and Technology,
Shenzhen 518055, China*

**12131219@mail.sustech.edu.cn; **chenjf@sustech.edu.cn.*

D. N. Christodoulides

*College of Optics & Photonics-CREOL, University of Central Florida,
Orlando, Florida 32816, USA*

The exotic properties of optical Airy beams such as non-diffraction, self-healing, and most importantly self-acceleration have been already explored extensively within the realm of classical optics [1], but their purely quantum counterparts have remained so far largely unexplored [2]. In this work, a source of narrowband non-diffracting spatiotemporal Airy biphotons is demonstrated for the first time in a cold atomic gas.

In our experiments, an ensemble of cold ⁸⁵Rb atoms in a 2D MOT is excited nonlinearly by two counter-propagating laser beams via spontaneous four-wave mixing [3]. Biphotons with an Airy temporal waveform are generated when one of the classical pumping beams is Airy shaped by exploiting the fact that in an optically thick atomic cloud its diffraction dynamics can be mapped to the two-photon temporal wavefunction [4]. The heralded single photons are subsequently spatially Airy shaped as well by a phase-only spatial light modulator to create spatiotemporal Airy biphotons and observe their dynamics.

These subnatural linewidth Airy biphotons inherit the properties of their classical counterparts with the intriguing difference that now the wavefunction is a two-particle one, and effects such as camouflaging single photons in speckle fields and spatiotemporal photon storing in atomic gases can be demonstrated.

Keywords: Airy beam, four-wave mixing, cold atomic ensemble, non-diffraction, self-healing

References

- [1] N. K. Efremidis *et al.*, *Airy beams and accelerating waves: an overview of recent advances*, *Optica*, **6**, 686 (2019)
- [2] O. Lib, and Y. Bromberg, *Spatially entangled Airy photons*, *Optics Letters*, **45**, 1399 (2020)
- [3] W. P. Kuzmich *et al.*, *Generation of nonclassical photon pairs for scalable quantum communication with atomic ensembles*, *Nature*, **423**, 731 (2003)
- [4] L. Zhao *et al.*, *Shaping the biphoton temporal waveform with spatial light modulation*, *Physical Review Letters*, **115**, 193601 (2015)

冷原子系综中的磁场补偿

周子晗^{*1}, 王兴昌¹, 董亮¹, Georgios. A. SIVILOGLOU¹, 陈洁菲¹

1. 深圳量子科学与工程研究院和物理系, 南方科技大学, 深圳, 广东

*12132958@mail.sustech.edu.cn

摘要正文:

基于冷原子系综的光与原子的相互作用量子界面可以实现光场量子态与原子集体激发——自旋波, 间的相干转化, 并实现飞行光量子比特的可控存储, 该机制称为暗态极化子, 可以在单光子水平验证和探索量子效应, 进而实现光量子网络和光量子计算等应用。相比于热原子系综, 冷原子系综具有原子温度低、运动速度低的优势, 这使得冷原子系综的相干时间长, 能级展宽小。要进一步减小冷原子系综中原子自旋波的退相干, 还需要减少外界磁场对原子自旋波的影响[1]。

为了提高在光场传播方向上的光学厚度, 我们的冷原子团是由二维磁光阱产生的雪茄型原子团。我们设计了相应的磁场补偿线圈以抵消地磁场以及其他器件(如离子泵)在冷原子团位置产生的剩余磁场。为了使原子团处的磁场尽可能均匀, 磁场补偿线圈主要由3对平行的长方形线圈组成, 通过在每对线圈上施加同向等大的电流, 可以在线圈中心处产生3维空间中任意方向的磁场。同时, 由于实验环境中还存在波动的磁场, 我们还对原子团附近的磁场进行实时探测, 并利用PID动态反馈调整线圈电流以减小冷原子团处的磁场起伏[2, 3]。

关键词: 冷原子系综, 磁场补偿, 原子自旋波, 光量子存储

参考文献

- [1] 王旭杰, 冷原子长寿命量子存储与纠缠研究[D], 中国科学技术大学, (2018).
- [2] Xu X.-T., Wang Z.-Y., Jiao R.-H. et al., Ultra-low noise magnetic field for quantum gases, *Review of Scientific Instruments*, 90(5), 054708 (2019).
- [3] Dobosz J., Bocheński M. and Semczuk M., Bidirectional, Analog Current Source Benchmarked with Gray Molasses-Assisted Stray Magnetic Field Compensation, *Applied Sciences* 11(21): 10474 (2021).

Measuring the temperature of cold atomic cloud by optical depth time of flight

Liang DONG^{1*}, Xingchang WANG¹, Jianmin WANG¹, Georgios A. SIVILOGLOU¹,
Jiefei CHEN¹

1. Shenzhen Institute for Quantum Science and Engineering(SIQSE) and Department of Physics,
Southern University of Science and Technology(SUSTech), Shenzhen, Guangdong, China
*12032041@mail.sustech.edu.cn

Abstract: Here we discuss the temperature measurement in using of optical depth (OD) time-of-flight (TOF) measurement. The OD is directly related to the atomic density describing the exponential absorption of probe light propagation in atomic media. We will analyze the OD TOF method to measure the temperature of cold atoms ensemble in the specific case of the probe beam in the center of trapped atomic cloud with finite size, which is the same setup for electromagnetically induced transparency measurement, and then give a brief account of the OD TOF measurement in physical picture and experiment setup. We will also discuss the influence of the temperature to the atomic coherence lifetime.

Keyword: cold atomic ensemble, temperature measurement, optical depth, time of flight, atomic coherence

Multi-grating for integrated single-atom trap and manipulation

Aiping Liu¹, Jiawei Liu¹, Wei Peng¹, Rui Zhuang¹, Jingjing Hong¹, Xin-Biao

Xu², XiFeng Ren², Qin Wang¹, and Chang-Ling Zou²

¹ Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003

² Key Laboratory of Quantum Information, University of Science and Technology of China, CAS, Hefei, 230026, China

Email: apliu@njupt.edu.cn

Abstract: An on-chip multi-grating device is proposed to interface single-atoms and integrated photonic circuits, by guiding and focusing lasers $\sim 10\mu\text{m}$ above the chip for trapping, states manipulation and readout of Rubidium atoms. For the optical dipole trap, two 850nm laser beams are diffracted by the gratings and overlapped to form a lattice of single-atom dipole trap, with the trap diameter of optical dipole well around $2.7\mu\text{m}$. Similar two gratings are designed for guiding 780nm probe laser to excite and also collect the fluorescence of Rubidium atoms. Such a device provides a compact solution for future applications of single atom, including the single photon source, single-atom quantum register, and sensor.

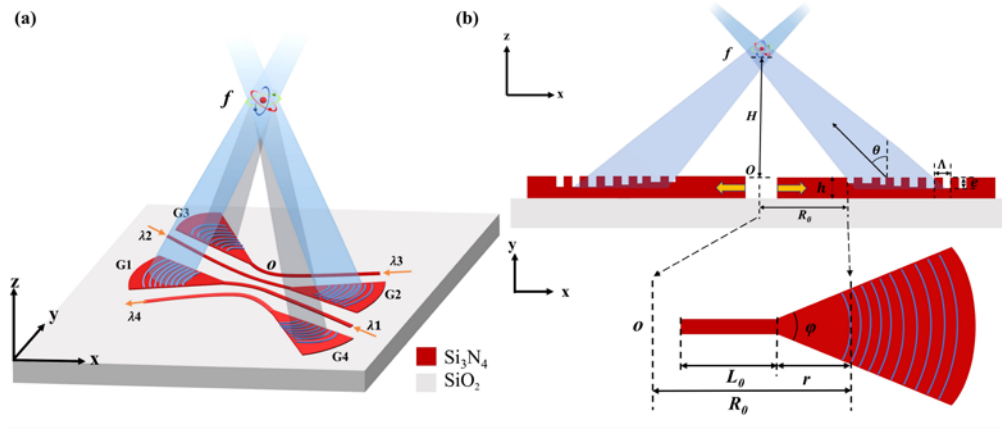


Fig.1 Schematic diagram of multi-grating structure. (a) Three-dimensional diagram of multi-grating. (b) Cross-sectional schematic diagram of two focusing gratings (up) and top view of a single focusing grating (down).

Key Word: multi- grating, atom trap, optical trap potential

Reference

- [1] Liu A. et al., Multigrating design for integrated single-atom trapping, manipulation, and readout, Phys. Rev. A 105, 053520 (2022).

Experimental measurement-device-independent quantum key distribution with the double-scanning method

刘靖阳 陈以鹏 周星宇 张春辉 李剑 王琴*

江苏省南京市鼓楼区新模范马路 66 号 南京邮电大学 21000

qinw@njupt.edu.cn

摘要正文: The measurement-device-independent quantum key distribution (MDI-QKD) can be immune to all detector side-channel attacks. Moreover, it can be easily implemented combining with the matured decoy-state methods under current technology. It, thus, seems a very promising candidate in practical implementation of quantum communications. However, it suffers from a severe finite-data-size effect in most existing MDI-QKD protocols, resulting in relatively low key rates. Recently, Jiang et al. [Phys. Rev. A 103, 012402 (2021).] proposed a double-scanning method to drastically increase the key rate of MDI-QKD. Based on Jiang et al.'s theoretical work, here we for the first time, to the best of our knowledge, implement the double-scanning method into MDI-QKD and carry out corresponding experimental demonstration. With a moderate number of pulses of 10^{10} , we can achieve 150 km secure transmission distance, which is impossible with all former methods. Therefore, our present work paves the way toward practical implementation of MDI-QKD.

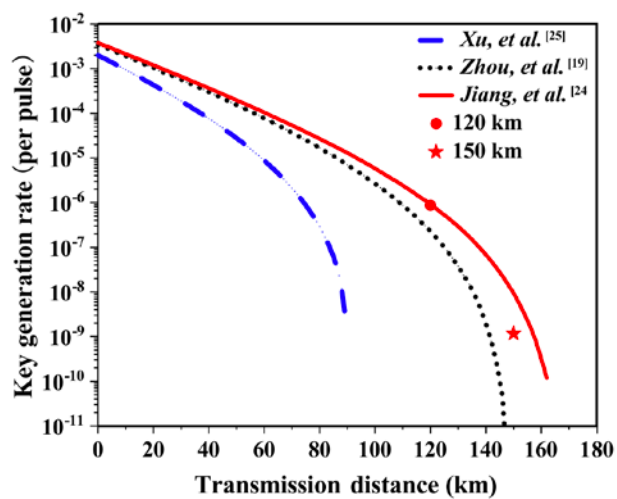


图1 实验结果与理论仿真

关键词：quantum key distribution, measurement-device-independent, double-scanning

参考文献

[1] Liu J Y. et al., Experimental measurement-device-independent quantum key distribution with the double-scanning method, Opt. Lett. 46, 3729-3732 (2021).

Experimental Realization of Sensitivity Enhancement and Suppression with Exceptional Surfaces

Guo-Qing Qin^{1, *}, Ran-Ran Xie^{1, *}, Hao Zhang^{1, *}, Hong Yang¹, Xuan Mao¹(Speaker), and Gui-Lu Long^{1, a}

¹Department of Physics, State Key Laboratory of Low-Dimensional Quantum Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China

^agllong@tsinghua.edu.cn

Keywords: Exceptional Surfaces, Sensitivity Enhancement

Abstract. By preparing a sensor system around isolated exceptional points, one can obtain a great enhancement of the sensitivity benefiting from the non-Hermiticity. However, this comes at the cost of reduction of the flexibility of the system, which is critical for practical applications. By generalizing the exceptional points to exceptional surfaces, it has been theoretically proposed recently that enhanced sensitivity and flexibility can be combined. Here, an exceptional surface is experimentally demonstrated in a non-Hermitian photonic sensing system, which is composed of a whispering-gallery-mode microresonator and two nanofiber waveguides, resulting in a unidirectional coupling between two degenerate counter-propagating modes with an external optical isolator. The system is simple, robust, and can be easily operated around an exceptional surface. On the one hand, sensitivity enhancement is observed by monitoring the resonant frequency splitting caused by small perturbations. This demonstration of exceptional-surface-enhanced sensitivity paves the way for practical non-Hermitian sensing applications. On the other hand, the suppression of frequency splitting around the exceptional surface is also shown for the first time.

Experimental demonstration of phase-matching and Sagnac effect in a millimeter-scale wedged resonator gyroscope

Xuan Mao^{1, *}, Hong Yang^{1, *}, Dan Long¹(**Speaker**), Peng-Yu Wen¹, Yun-Qi Hu¹, Bo-Yang Wang¹, Gui-Qin Li¹, Jian-Cun Gao¹ and Gui-Lu Long^{1,a}

¹Department of Physics, State Key Laboratory of Low-Dimensional Quantum Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China

^agllong@tsinghua.edu.cn

Abstract. The highly efficient coupling of light from conventional optical components to optical mode volumes lies in the heart of chip-based micro-devices, which is determined by the phase-matching between propagation constants of fiber taper and the whispering-gallery-mode (WGM) of the resonator. Optical gyroscopes, typically realized as fiber-optic gyroscopes and ring-laser gyroscopes, have been the mainstay in diverse applications such as positioning and inertial sensing. Here, the phase-matching is theoretically analyzed and experimentally verified. We observe Sagnac effect in a millimeter-scale wedged resonator gyroscope which has attracted considerable attention and been rapidly promoted in recent years. We demonstrate a bidirectional pump and probe scheme, which directly measures the frequency beat caused by the Sagnac effect. We establish the linear response between the detected beat frequency and the rotation velocity. The clockwise and counterclockwise rotation can also be distinguished according to the value of the frequency beat. The experimental results verify the feasibility of developing gyroscope in WGM resonator system and pave the way for future development.

Optomechanically induced transparency and directional amplification in a non-Hermitian optomechanical lattice

Pengyu Wen(Speaker)¹ Min Wang² Gui-Lu Long^{1,2,3}

¹ Department of Physics and State Key Laboratory of Low-Dimensional Quantum Physics,
Tsinghua University, Beijing 100084, China

² Beijing Academy of Quantum Information Sciences, Beijing 100193, China

³ Frontier Science Center for Quantum Information, Beijing 100084, China

2wangmin@baqis.ac.cn
1,2,3gllong@tsinghua.edu.cn

Abstract. Cavity optomechanics is important in both quantum information processing and basic physics research. In this paper, we propose an optomechanical lattice which manifests physics. We first use the non-Bloch band theory to investigate the energy spectrum and property of an optomechanical lattice. The generalized Brillouin zone of the system is calculated the help of the resultant. And the periodical boundary condition (PBC) and open boundary energy spectrum are given, subsequently. By introducing probe laser on different sites we observed the directional amplification of the system. The direction of the amplification is analyzed combined with the non-Hermitian skin effect. The frequency that supports the amplification is analyzed by considering the PBC energy spectrum. By introducing probe laser on one site we investigate the onsite transmission property. Optomechanically induced transparency (OMIT) can be achieved in system. By varying the parameters and size of the system, the OMIT peak can be effectively modulated or even turned into optomechanically induced amplification. Our system shows its potential as the function of a single-way signal filter. And our model can be extended to other non-Hermitian Bosonic model which may possess topological features and bipolar non-Hermitian skin effect.

通过时域、频域复用产生大规模连续变量 cluster states

杜培林

山西大学物理电子工程学院，太原 030006

Email: 1578440935@QQ.com

基于测量量子计算（MBQC）的量子信息处理需要大规模的连续变量（CV）cluster state。时域多路复用的方法被证明更容易产生大规模的 CV cluster state，并且在实验中具有很强的可扩展性。我们提出了一种利用在时域和频域复用的方法平行产生一维大规模双轨 CV cluster state，进一步通过结合两个一维复用系统可以扩展产生二维、三维 CV cluster state。结果表明，平行产生的双轨 CV cluster state 的数量取决于相应的光学频率梳的频率数，并且每条双轨的纠缠数目可以非常大（百万）。该方案提供了一些特殊结构的 CV cluster states，对混合域的量子计算具有重要价值。

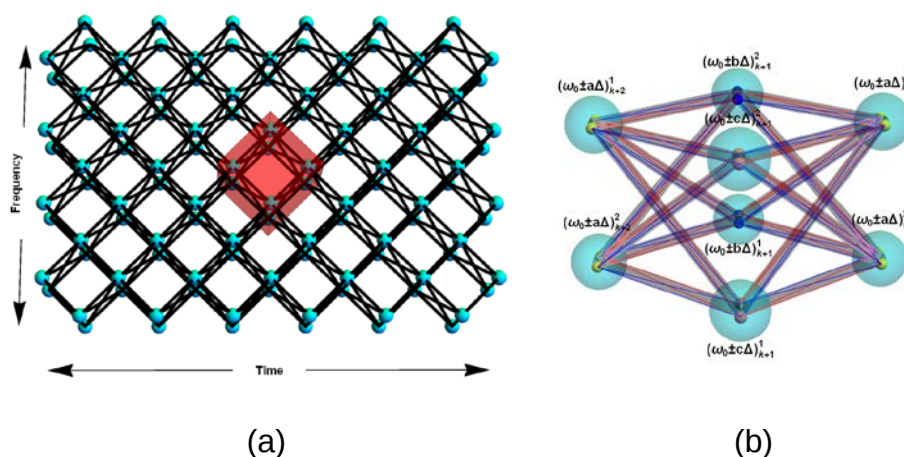


图1 生成的 3D cluster state 的整体结构 (a) 和详细结构 (b)。在图(b) 中，红/蓝线表示 $(1/2)/(-1/2)$ 的纠缠权重。

关键词：cluster state；频率梳；时域复用；频域复用

参考文献

- [1] C. H. Bennett and D. P. DiVincenzo, “Quantum information and computation,” nature 404, 247–255 (2000).
- [2] H. J. Briegel and R. Raussendorf, “Persistent entanglement in arrays of interacting particles,” Phys. Rev. Lett. 86, 910 (2001).
- [3] J. Zhang and S. L. Braunstein, “Continuous-variable gaussian analog of cluster states,” Phys. Rev. A 73, 032318 (2006).
- [4] M. Gu, C. Weedbrook, N. C. Menicucci, T. C. Ralph, and P. van Loock, “Quantum computing with continuous-variable clusters,” Phys. Rev. A 79, 062318 (2009).
- [5] N. C. Menicucci, P. Van Loock, M. Gu, C. Weedbrook, T. C. Ralph, and M. A. Nielsen, “Universal quantum computation with continuous-variable cluster states,” Phys. review letters 97, 110501 (2006).
- [6] P. van Loock, C. Weedbrook, and M. Gu, “Building gaussian cluster states by linear optics,” Phys. Rev. A 76, 032321 (2007).

- [7] M. Yukawa, R. Ukai, P. Van Loock, and A. Furusawa, “Experimental generation of four-mode continuous-variable cluster states,” *Phys. Rev. A* 78, 012301 (2008).
- [8] X. Su, S. Hao, X. Deng, L. Ma, M. Wang, X. Jia, C. Xie, and K. Peng, “Gate sequence for continuous variable one-way quantum computation,” *Nat. communications* 4, 2828 (2013).
- [9] X. Su, Y. Zhao, S. Hao, X. Jia, C. Xie, and K. Peng, “Experimental preparation of eight-partite cluster state for photonic qumodes,” *Opt. letters* 37, 5178–5180 (2012).
- [10] M. Pysher, Y. Miwa, R. Shahrokhshahi, R. Bloomer, and O. Pfister, “Parallel generation of quadripartite cluster entanglement in the optical frequency comb,” *Phys. review letters* 107, 030505 (2011).
- [11] M. Chen, N. C. Menicucci, and O. Pfister, “Experimental realization of multipartite entanglement of 60 modes of a quantum optical frequency comb,” *Phys. review letters* 112, 120505 (2014).
- [12] N. C. Menicucci, S. T. Flammia, H. Zaidi, and O. Pfister, “Ultracompact generation of continuous-variable cluster states,” *Phys. Rev. A* 76, 010302 (2007).
- [13] S. Yokoyama, R. Ukai, S. C. Armstrong, C. Sornphiphatphong, T. Kaji, S. Suzuki, J.-i. Yoshikawa, H. Yonezawa, N. C. Menicucci, and A. Furusawa, “Ultra-large-scale continuous-variable cluster states multiplexed in the time domain,” *Nat. Photonics* 7, 982–986 (2013).
- [14] J.-i. Yoshikawa, S. Yokoyama, T. Kaji, C. Sornphiphatphong, Y. Shiozawa, K. Makino, and A. Furusawa, “Invited article: Generation of one-million-mode continuous-variable cluster state by unlimited time-domain multiplexing,” *APL photonics* 1, 060801 (2016).
- [15] W. Asavanant, Y. Shiozawa, S. Yokoyama, B. Charoensombutamorn, H. Emura, R. N. Alexander, S. Takeda, J. Yoshikawa, N. C. Menicucci, H. Yonezawa et al., “Generation of time-domain-multiplexed two-dimensional cluster state,” *Science* 366, 373–376 (2019).
- [16] M. V. Larsen, X. Guo, C. R. Breum, J. S. Neergaard-Nielsen, and U. L. Andersen, “Deterministic generation of a two-dimensional cluster state,” *Science* 366, 369–372 (2019).
- [17] R. N. Alexander, P. Wang, N. Sridhar, M. Chen, O. Pfister, and N. C. Menicucci, “One-way quantum computing with arbitrarily large time-frequency continuous-variable cluster states from a single optical parametric oscillator,” *Phys. Rev. A* 94, 032327 (2016).
- [18] J. Zhang, J. Wang, R. Yang, K. Liu, and J. Gao, “Large-scale continuous-variable dual-rail cluster entangled state based on spatial mode comb,” *Opt. express* 25, 27172–27181 (2017).
- [19] R. Yang, J. Zhang, I. Klich, C. González-Arciniegas, and O. Pfister, “Spatiotemporal graph states from a single optical parametric oscillator,” *Phys. Rev. A* 101, 043832 (2020).
- [20] N. C. Menicucci, “Temporal-mode continuous-variable cluster states using linear optics,” *Phys. Rev. A* 83, 062314 (2011).
- [21] R. N. Alexander, S. C. Armstrong, R. Ukai, and N. C. Menicucci, “Noise analysis of single-mode gaussian operations using continuous-variable cluster states,” *Phys. Rev. A* 90, 062324 (2014).

基于 PPLN 波导器件的长波泵浦 852nm 至 1560nm 光子频率下转换

郭苗¹, 张云豪¹, 张孔¹, 何军^{1,2}, 王军民^{1,2,*}

1. 量子光学与光量子器件国家重点实验室(山西大学),

山西大学光电研究所, 太原 030006

2. 极端光学省部共建协同创新中心(山西大学), 太原 030006

*Email: wwjjmm@sxu.edu.cn

摘要: 量子网络构建的思想是在 2008 年提出的, 光子在量子节点之间传递是构成量子网络的基础。我们可以用铯原子系统(冷原子系综, 热原子系综, 或铯单原子)作为量子节点。将量子节点的光频转换到低损耗的光纤通信 C 波段作为量子信道, 用于连接量子节点使信息传递得以实现。铯原子节点处光波长为 852 nm, 光纤通信 C 波段光波长为 1560 nm 附近, 为了将 Cs 原子 D2 线与光纤通信 C 波段连接起来, 在我们的工作中通过将 852 nm 弱脉冲光和 1878 nm 强泵浦光同时注入 PPLN 波导中, 实现了 852 nm 弱脉冲光到 1560 nm 的转换, 并且进一步研究了由于 1878 nm 强泵浦光在波导与掺铈光纤放大器中发生的自发拉曼散射、自发参量下转换过程而引入的噪声, 由于产生的噪声是宽带的, 因此我们设法使用中心波长为 1560 nm 的窄带滤波器来滤除噪声, 提高信噪比。实验上比较了使用不同带宽的滤波器对信噪比的改善, 通过实验结果可知, 当泵浦光注入 300mW 时, 使用带宽为 0.257 nm 的 FBG 时, 信噪比为 83; 使用带宽为 0.195 nm 的 FBG 时, 信噪比为 92; 使用带宽为 0.130 nm 的 FBG 时, 信噪比为 104, 由此可见使用的滤波器的带宽越窄, 信噪比越高。

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(批准号: 11774210)

参考文献:

- [1] Kong ZHANG, Jun HE, and Junmin WANG, "Two-way single-photon-level frequency conversion between 852 nm and 1560 nm for connecting cesium D2 line with the telecom C-band", *Optics Express*, 28(19) : p.27785 (2020)
- [2] Miao GUO, Yunhao ZHANG, Kong ZHANG, Jun HE, and Junmin WANG, "Improving the signal-to-noise ratio of photonic frequency down-conversion based on a longwavelength laser pumped PPLN waveguide module" (submitted to *Optics Express*)

原子激发态超精细结构的自测量

纣芝玉¹, 赵韩帅¹, 周海涛^{1,2}, 杨保东^{1,2,*}

1. 山西大学物理电子工程学院, 太原 030006

2. 极端光学省部共建协同创新中心(山西大学), 太原 030006

* Email: ybd@sxu.edu.cn

摘 要: 在室温下的铯原子气室中, 基于铯 $6S_{1/2}$ - $6P_{3/2}$ - $6D_{5/2}$ (852 nm + 917 nm) 阶梯型能级系统, 采用光学双共振光谱(OODR)和饱和吸收光谱(SAS)技术, 不借助任何额外的频率校正工具, 测量了激发态 $6D_{5/2}$ 的超精细结构常数。具体方法为: 852 nm 激光在 $6S_{1/2}$ - $6P_{3/2}$ 之间频率扫描, 利用 SAS 技术获得激发态 $6P_{3/2}$ 超精细分裂的光谱信息; 同时 852 nm 激光作为泵浦光, 将原子由基态 $6S_{1/2}$ 激发布居到中间激发态 $6P_{3/2}$ 上, 然后将另一波长为 917 nm 激光的频率控制在激发态 $6P_{3/2}$ - $6D_{5/2}$ 之间(频率不扫描), 917 nm 激光作为探测光, 在双光子共振条件下, 利用 OODR 技术获得激发态 $6D_{5/2}$ 超精细分裂的光谱信息。因此, 实验上可同时获得 $6S_{1/2}$ - $6P_{3/2}$ 跃迁的 SAS 和 $6P_{3/2}$ - $6D_{5/2}$ 跃迁的 OODR 光谱, 利用 SAS 作为频率标尺, 通过 OODR 测量激发态 $6D_{5/2}$ 超精细分裂的频率间隔。进一步依据测量值理论计算得到激发态 $6D_{5/2}$ 的磁偶极超精细耦合常数为 $A_{hfs} = -4.60(5)$ MHz 和电四极超精细耦合常数 $B_{hfs} = 0.23(47)$ MHz, 与之前文献中报道的结果一致。总之, 我们演示了一种在没有借助其他额外频率校准工具的情况下, 利用原子自身已知的超精细结构光谱信息作为频率标尺, 测量了该原子激发态未知的超精细能级分裂结构的实验技术。

关键词: 光学双共振吸收光谱, 超精细结构, 激发态

基金项目: 国家自然科学基金(批准号: 61975102)、山西省自然科学基金(批准号: 20210302123437) 和山西省高等学校科技创新项目(批准号: 2019L0101) 资助的课题。

参考文献:

- [1] Y. N. Ren, B. D. Yang, J. Wang, G. Yang, and J. M. Wang, Measurement of the magnetic dipole hyperfine constant A_{hfs} of cesium $7S_{1/2}$ state, *Acta Phys. Sin.* **65**, 073103 (2016).
- [2] B. D. Yang, J. F. Zhang, and J. M. Wang, Narrow linewidth two-color polarization spectroscopy due to atomic coherence effect in a ladder-type atomic system, *Chin. Opt. Lett.* **17**, 093001 (2019).
- [3] B. D. Yang, Y. Liu, and J. M. Wang, Double resonance optical pumping-polarization spectroscopy of an excited state transition, *Opt. Commun.* **474**, 126102 (2020).

基于四波混频在铯原子气室中产生相干光的研究

黄文艺¹, 樊健¹, 周海涛^{1,2}, 杨保东^{1,2,*}

1. 山西大学物理电子工程学院, 太原 030006

2. 极端光学省部共建协同创新中心(山西大学), 太原 030006

* Email: ybd@sxu.edu.cn

摘 要 : 基 于 铯 原 子 菱 形 能 级 $6S_{1/2}(F=4) \rightarrow 6P_{3/2}(F'=5) \rightarrow 6D_{5/2}(F''=6) \rightarrow 7P_{3/2}(F'=5) \rightarrow 6S_{1/2}(F=4)$ 系 统, 在 波 长 为 852 nm ($6S_{1/2} \rightarrow 6P_{3/2}$) 和 917 nm ($6P_{3/2} \rightarrow 6D_{5/2}$) 两 泵 浦 激 光 共 同 激 励 下, 通 过 四 波 混 频 过 程 产 生 了 波 长 为 455 nm ($7P_{3/2} \rightarrow 6S_{1/2}$) 的 相 干、准 直 蓝 光。在 此 基 础 上, 通 过 增 加 了 一 束 波 长 为 894 nm ($6S_{1/2}(F=3) \rightarrow 6P_{1/2}(F'=3, 4)$) 的 反 抽 运 激 光, 将 更 多 的 原 子 抽 运 回 基 态 $6S_{1/2}(F=4)$ 超 精 细 能 级, 显 著 增 加 了 相 干 蓝 光 功 率 的 输 出, 实 验 上 详 细 研 究 了 泵 浦 光 偏 振 组 合、功 率、铯 原 子 气 室 温 度 等 对 455 nm 蓝 光 强 度 的 影 响, 在 水 下 自 由 空 间 光 通 信 等 领 域 有 一 定 的 应 用 价 值。另 外, 使 用 852 nm 和 795 nm 两 泵 浦 光 激 励 铯 原 子 三 个 菱 形 能 级 系 统 $6S_{1/2} \rightarrow 6P_{3/2} \rightarrow 8S_{1/2} \rightarrow 7P_{3/2}$ 、 $7P_{1/2}$ 、 $6P_{1/2} \rightarrow 6S_{1/2}$, 基 于 四 波 混 频 效 应, 处 于 $8S_{1/2}$ 的 铯 原 子 通 过 中 间 态 $7P_{3/2}$ 、 $7P_{1/2}$ 衰 减 到 基 态 $6S_{1/2}$ 产 生 了 455 nm、459 nm 双 色 相 干 激 光。但 由 于 在 $8S_{1/2} \rightarrow 6P_{1/2}$ 之 间 的 粒 子 数 反 转 不 能 有 效 建 立, 导 致 761 nm 和 894 nm 的 相 干 辐 射 不 能 产 生, 此 时 注 入 一 束 波 长 为 894 nm 种 子 光, 其 工 作 于 $6S_{1/2} \rightarrow 6P_{1/2}$ 的 跃 迁 线, 诱 导 产 生 了 761 nm 的 相 干 激 光, 同 时 伴 有 455 nm、459 nm 双 色 相 干 激 光, 实 验 上 初 步 探 究 了 三 个 四 波 混 频 过 程 的 竞 争 关 系。

关键词: 四波混频, 非线性光学, 频率转换, 反抽运光

基金 项 目 : 国 家 自 然 科 学 基 金(批 准 号: 61975102)、山 西 省 自 然 科 学 基 金(批 准 号: 20210302123437) 和 山 西 省 高 等 学 校 科 技 创 新 项 目(批 准 号: 2019L0101) 资 助 的 课 题。

参 考 文 献:

- [1] Schultz J T, Abend S, Döring D, Debs J E, Altin P A, White J D, Robins N P, Close J D, *Opt. Lett.* **34** 2321 (2009).
- [2] Wu J Z, Xu Y H, Dong R G, Zhang J X, *Opt. Lett.* **46** 3119 (2021).

多组份束缚纠缠态光场的制备

马晶旭¹, 秦悦¹, 闫智辉^{1,2}, 贾晓军^{1,2*}

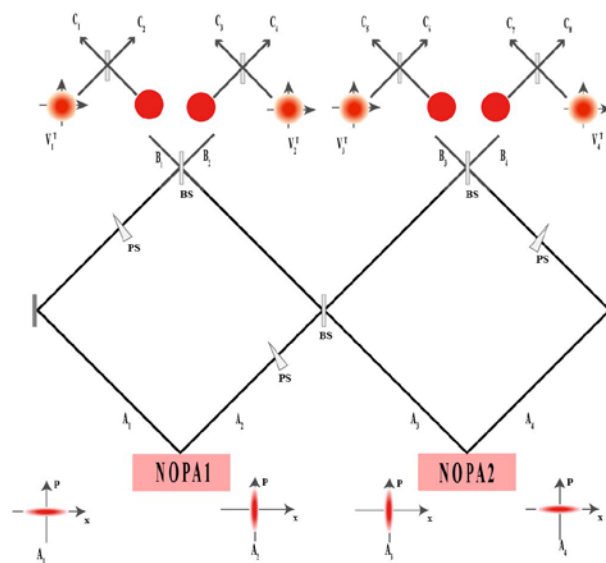
¹山西大学光电研究所, 量子光学与光量子器件国家重点实验室, 太原, 030006

²极端光学协同创新中心, 太原, 030006

*Email: Maxineccoo@outlook.com

jiaxj@sxu.edu.cn

随着技术的发展, 量子通信对纠缠源的要求越来越高, 多组份束缚纠缠态对量子通信网的复杂性和多样性有重要意义。纠缠态容易受到周围环境的影响而退相干, 利用LOCC(局部操作和经典反馈)的方法从混合的空间分离的纠缠态中无法最大程度的提纯出纠缠态, 就叫束缚纠缠态[1,2]。我们通过实验实现了八组份束缚纠缠态。通过两个II类型的NOPA腔产生正交压缩态光场, 然后通过50/50的分束器耦合形成四组份纠缠态光场。之后再利用四个高斯分布的热态光场和纠缠态光场耦合从而产生八组份束缚纠缠态光场。多组份束缚纠缠态光场不同于GHZ纠缠态和Cluster纠缠态光场[3], 它具有特殊的纠缠特性, 我们可以利用它来实现量子秘密共享[4,5], 远程信息采集[6]等。



连续变量多组份束缚纠缠态产生系统

关键词: 量子通信 压缩态 束缚纠缠态

参考文献

- [1] P. Horodecki, M. Horodecki, and R. Horodecki, Phys. Rev. Lett. 82, 1056 (1999).
- [2] X Jia, J Zhang, et al. Superactivation of Multipartite Unlockable Bound Entanglement[J]. Phys. Rev. Lett. 108,190501 (2012)
- [3] Weedbrook, C. , et al. "Gaussian quantum information." Review of Modern Physics 84.2(2011):621-669.
- [4] R. Augusiak and P. Horodecki, Generalized Smolin states and their properties, Phys.Rev.A 73, 012318 (2006)

- [5] Zhou Y , Yu J , Yan Z , et al. Quantum Secret Sharing Among Four Players Using Multipartite Bound Entanglement of an Optical Field[J]. Physical review letters, 2018, 121(15):150502.1-150502.6.
- [6] M. Murao and V. Vedral, Remote Information Concentration Using a Bound Entangled State, Phys .Rev.Lett.86, 352 (2001).

非均匀环境中轨道角动量复用纠缠态光场的退相干

马荣*, 曾理, 秦忠忠, 苏晓龙

山西大学物理电子工程学院, 山西省太原市小店区坞城路 92 号, 030006

*rongma@sxu.edu.cn

摘要正文:

连续变量量子体系具有确定性产生、高效率量子探测、与经典通信系统兼容性好等优势, 是实现量子计算、量子通信和量子精密测量的重要量子资源。轨道角动量(OAM)复用为各种量子通信协议提供了一种高效、高容量信息传输的有效方法。利用基于碱金属原子系综中双 Λ 能级结构的四波混频过程制备纠缠态光场具有自然匹配原子跃迁频率、空间多模等优势, 已经被广泛应用于制备光场量子态、制备纠缠图像、实现非线性干涉仪等领域。我们在热的铯原子汽室中利用四波混频三阶非线性过程产生了拓扑荷数 $l=2$ 的OAM复用连续变量Einstein-Podolsky-Rosen (EPR)纠缠态光场, 获得了-3.3 dB的纠缠度。在量子信道中传输OAM复用的量子资源是实现量子通信的前提。实验利用非均匀损耗介质模拟实际量子信道, 研究OAM复用连续变量量子纠缠在非均匀损耗介质中的退相干。实验结果表明, 轨道角动量复用的连续变量量子纠缠在非均匀介质中的退相干特性依赖于非均匀介质的特性。在轴向非均匀损耗中, 当两束光正关联部分被遮挡时, 量子纠缠具有鲁棒性; 当两束光非关联部分被遮挡时, 量子纠缠出现突然死亡。在径向非均匀损耗中, 量子纠缠具有鲁棒性。该研究为轨道角动量复用纠缠态光场在实际信道的传输提供了参考。

关键词: 轨道角动量复用, 纠缠态, 非均匀损耗

真空中光学悬浮纳米粒子的 6 GHz 超高速旋转

闫江伟

山西省太原市小店区坞城路 92 号山西大学，030000

Jwyan0130@163.com

摘要正文：近年来，在真空中悬浮的纳米粒子引起了广泛的关注，成为超灵敏力检测[1]、宏观量子现象研究[2]、非平衡热力学研究[3]等领域的重要平台。在过去的十年中，冷却被捕获的纳米粒子运动的实验实现取得了重大进展，已经达到了运动量子基态[4]。这种系统也被用于宏观尺度上非常规退相干理论的基本检验[5]。通常的运动自由度为质心运动[6]，然而悬浮纳米粒子的其他运动自由度，如扭转振动[7]、进动运动[8]和旋转[9]，也提供了丰富的物理学探索。最近的理论工作表明，旋转自由度可以提供相当大的优势，用于测试连续自发局部塌缩理论[10]。此外，超快旋转有许多重要的应用，如在极端条件下测试材料性能[11]和检测旋转摩擦的量子形式[12]。我们使用高数值孔径（NA）物镜在重力方向上纳米粒子进行光学捕获，在补偿散射力和光致电泳力对俘获的影响方面有显著优势。这使我们能够在不使用反馈冷却的情况下将纳米粒子从大气压降到低气压。我们测量了在没有反馈冷却的情况下捕获的纳米粒子的最高旋转频率约为 4.3 GHz，在反馈冷却的情况下测到了 6 GHz 的旋转，这是迄今为止报道的最快的机械旋转。我们的工作为有效观察光学悬浮系统中的超快旋转提供了指导，并可能在超灵敏扭矩检测、探测真空摩擦和测试非常规退相干理论等领域找到各种应用。

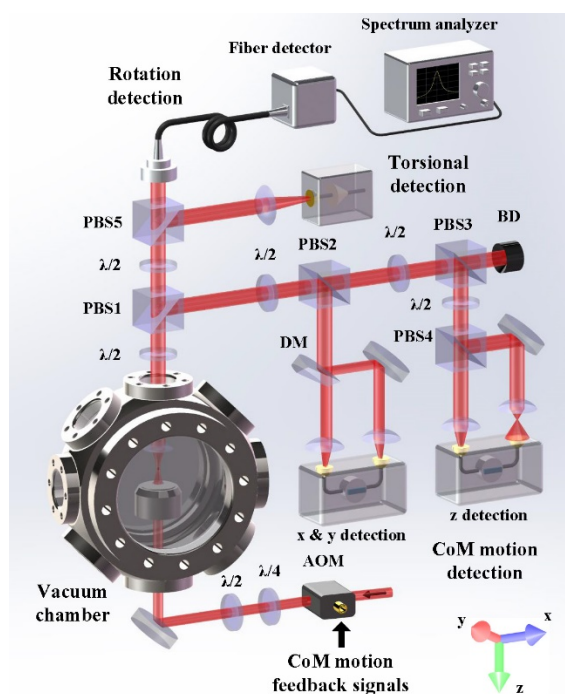


图 1 实验装置图

关键字：纳米粒子，反馈冷却，旋转

参考文献

- [1] Ranjit, Gambhir and Atherton, David P. and Stutz, Jordan H. and Cunningham, Mark and Geraci, Andrew A., Attonewton force detection using microspheres in a dual-beam optical trap in high vacuum, *Phys. Rev. A*, 91(5), 051805, 2015
- [2] Aspelmeyer, Markus and Kippenberg, Tobias J. and Marquardt, Florian, Cavity optomechanics, *Rev. Mod. Phys.*, 86(4), 1391, 2014
- [3] Hoang, Thai M. and Pan, Rui and Ahn, Jonghoon and Bang, Jaehoon and Quan, H. T. and Li, Tongcang, Experimental Test of the Differential Fluctuation Theorem and a Generalized Jarzynski Equality for Arbitrary Initial States, *Phys. Rev. Lett.*, 120(8), 080602, 2018
- [4] Uroš Delić and Manuel Reisenbauer and Kahan Dare and David Grass and Vladan Vuletić and Nikolai Kiesel and Markus Aspelmeyer, Cooling of a levitated nanoparticle to the motional quantum ground state, *Science*, 367(6480), 892, 2020
- [5] Bassi, Angelo and Lochan, Kinjalk and Satin, Seema and Singh, Tejinder P. and Ulbricht, Hendrik, Models of wave-function collapse, underlying theories, and experimental tests, *Rev. Mod. Phys.*, 85(2), 471, 2013
- [6] Romero-Isart, Oriol, Quantum superposition of massive objects and collapse models, *Phys. Rev. A*, 84(5), 052121, 2011
- [7] Hoang, Thai M. and Ma, Yue and Ahn, Jonghoon and Bang, Jaehoon and Robicheaux, F. and Yin, Zhang-Qi and Li, Tongcang, Torsional Optomechanics of a Levitated Nonspherical Nanoparticle, *Phys. Rev. Lett.*, 117(12), 123604, 2016
- [8] Rashid, Muddassar and Toroš Marko and Setter, Ashley and Ulbricht, Hendrik, Precession motion in levitated optomechanics, *Phys. Rev. Lett.*, 121(25), 253601, 2018
- [9] Monteiro, Fernando and Ghosh, Sumita and van Assendelft, Elizabeth C. and Moore, David C., Optical rotation of levitated spheres in high vacuum, *Phys. Rev. A*, 97(5), 051802, 2018
- [10] Matteo Carlesso and Mauro Paternostro and Hendrik Ulbricht and Andrea Vinante and Angelo Bassi, Non-interferometric test of the continuous spontaneous localization model based on rotational optomechanics, *New Journal of Physics*, 20(8), 083022, 2018
- [11] Marcel Schuck and Daniel Steinert and Thomas Nussbaumer and Johann W. Kolar, Ultrafast rotation of magnetically levitated macroscopic steel spheres, *Science Advances*, 4(1), e1701519, 2018
- [12] Zhao, Rongkuo and Manjavacas, Alejandro and García de Abajo, F. Javier and Pendry, J. B., Rotational Quantum Friction, *Phys. Rev. Lett.*, 109(12), 123604, 2012

基于光学非互易的双路多信道全光操控 *

李鑫¹⁾ 解舒云¹⁾ 李林帆¹⁾ 周海涛¹⁾²⁾□ 王丹¹⁾²⁾ 杨保东¹⁾²⁾

1) (山西大学物理工程学院, 太原 030006)

2) (极端光学协同创新中心, 山西大学, 太原 030006)

摘要正文: 本文基于原子热运动的极化率-动量锁定特性及腔引起的强耦合特征, 设计并实现了一套无磁的光学互易-非互易传输转换方案。理论和实验证实, 耦合场条件决定了系统的非互易性。在单束行波场作用下, 由于多普勒效应, 热原子中的非互易性取决于耦合场的传播方向。因此, 通过改变对向耦合场的开闭, 可控制基于内腔电磁诱导透明的双路单信道光学非互易传输。而在两束对向耦合场同时作用下, 腔透射由单暗态转变为双暗态极子峰, 其互易性输出依赖于两束耦合场之间的频率差。于是通过调谐频率差可实现基于双暗态极子峰的双路多信道互易-非互易传输调控。

关键词: 光学非互易, 双暗态, 多普勒频移, 全光开关

参考文献

- [1] Chang L. Jiang X S. Hua S Y. Yang C. Wen J M. Jiang L. Li G Y. Wang G Z. Xiao M., Parity-time symmetry and variable optical isolation in active-passive-coupled microresonators, *Nat. Photonics* 8, 524 (2014).
- [2] Buddhiraju S. Song A. Papadakis G T. Fan S H., Nonreciprocal Metamaterial Obeying Time-Reversal Symmetry, *Phys. Rev. Lett* 124, 257403 (2020).
- [3] Estep N A. Sounas D L. Soric J. Alù A., Magnetic-free non-reciprocity and isolation based on parametrically modulated coupled-resonator loops, *Nat. Phys* 10, 923 (2014).
- [4] Ruesink F. Mathew J P. Miri M A. Verhagen E. Alù A., Optical circulation in a multimode optomechanical resonator, *Nat. Commun* 9, 1798 (2018).
- [5] Shen Z. Zhang Y L. Chen Y. Zou C L. Xiao Y F. Zou X B. Sun F W. Guo G C. Dong C H., Experimental realization of optomechanically induced non-reciprocity, *Nat. Photonics* 10, 657 (2016).
- [6] Lépinay L M. Ockeloen-Korppi C F. Malz D. Sillanpää M A., Nonreciprocal Transport Based on Cavity Floquet Modes in Optomechanics, *Phys. Rev. Lett* 125, 023603 (2020).
- [7] Lodahl P. Mahmoodian S. Stobbe S. Rauschenbeutel A. Schneeweiss P. Volz J. Pichler H. Zoller P., Chiral quantum optics, *Nature* 541, 473 (2017).
- [8] Ramezani H. Jha P K. Wang Y. Zhang X., Nonreciprocal Localization of Photons, *Phys. Rev. Lett* 120, 043901 (2018).
- [9] Scheucher M. Hilico A. Will E. Volz J. Rauschenbeutel A., Quantum optical circulator controlled by a single chirallycoupled atom, *Science* 354, 1577 (2016).

*国家自然科学基金(批准号: 61975102, 11704235)、山西省自然科学基金(批准号:20210302123437)、山西省青年科技研究基金(批准号:201901D211166)、山西省高等学校科技创新项目(批准号:2020L0038)资助的课题。

†通信作者. E-mail: zht007@sxu.edu.cn

基于空间结构泵浦四波混频过程的六组份导引

梁芸芸

山西省太原市小店区山西大学 030000

996278816@qq.com

摘要正文：量子关联包含量子纠缠，量子导引，贝尔非定域。量子导引是位于量子纠缠和贝尔非定域之间的一种量子关联具有一种天然的不对称性。基于空间结构泵浦的四波混频过程产生的多模光束，具有实验装置简单空间多模的特性。我们研究了六个空间分离光束之间的 $(1+1)(1+2)(2+1)(1+3)(3+1)$ 模式之间的导引特性，发现六个光束之间既有双向导引又有单向导引存在，这可以满足不同的量子通信任务的需求。还证明了多模联合导引更强。我们还考虑损耗对导引特性的影响，发现通过引入损耗可以改变双向导引为单向导引。

关键词：四波混频 量子导引

- [1] He, Qiongyi. et al., Multipartite Gaussian steering: Monogamy constraints and quantum cryptography applications, *Physical Review A* 95, 010101(R) (2017).
- [2] Jing, Jietai. et al., Reconfigurable Hexapartite Entanglement by Spatially Multiplexed Four-Wave Mixing Processes, *Physical Review Lett* 124, 090501 (2020).
- [3] Jing, Jietai. et al., Experimental characterization of multiple quantum correlated beams in two-beam pumped cascaded four-wave mixing process, *Optics Express* 27, 26 (2019).

高阶模光学小位移测量系统中信号光功率对最小可测位移量的影响

赖永浪

山西大学太原市坞城路 92 号 030000

l734239349@126.com

摘 要 光学小位移的测量广泛应用于许多科技领域。实验上搭建了高阶模光学小位移测量系统，利用高阶模作为本底光的平衡零拍系统进行测量，分别开展了 600kHz-3MHz 频率段以 200 kHz 为间隔共计 13 个频率处的小位移测量，并给出相应的最小可测位移量。研究了在 2MHz 处不同信号光功率条件下，压电陶瓷驱动电压、噪声功率谱、信噪比以及最小可测位移量之间的关系，并利用 90 μ W 的信号光获得了 1.76 Å 的最小可测位移量，该结果为利用光束横向位移测量系统进一步减小测量范围的下限提供了理论与实验依据。

关键词 小位移测量；高阶横模；信号光功率；信噪比。

参考文献

- [1] 王洪伸,张超霞,李治,刘奎,杨荣国,郜江瑞.激光噪声对声频段横向小位移测量精度的影响[J].量子光学学报,27(01),15(2021).
- [2] Sun Hengxin, Liu Zunlong, Liu Kui, Yang Rongguo, Zhang Junxiang and GaoTiangrui. Experimental Demonstration of a Displacement Measurement of an Optical Beam beyond the Quantum Noise Limit. Chinese Phys. Lett, 31 ,084202(2014).
- [3] Martínez-Rincón, J. Mullarkey, C. A, Viza, G. I, Liu, W. T, & Howell, J. C. Ultrasensitive inverse weak-value tilt meter. ArXiv,42(13) : 2(2017).

泵浦光调制的单个 OPO 频域复用产生大规模连续变量 cluster states

王宇

山西大学物理电子工程学院, 太原 030000

Email: 1772169117@qq.com

我们提出一种简单的实验操作方案, 通过调制光学参量振荡器 (OPO) 入射光的频率构建大规模多体纠缠态。依据压缩强度的不同, 可以并行生成由双色图描述的多个 1D, 2D, 3D 二分 CV cluster state 纠缠结构, 并使用图态方法分析证明其纠缠性质。结果表明, 方案节约了量子资源, 在实验中具有很强的可操作性, 能提供一些特殊结构的 CV cluster states。该方案具有紧凑性, 为单向量子计算实用化铺平道路。

关键词: cluster state; 频率梳; 基于测量的量子计算

参考文献

- [1] R. Yang, J. Zhang, I. Klich, C. González-Arciniegas, and O. Pfister, “Spatiotemporal graph states from a single optical parametric oscillator,” *Phys. Rev. A* 101, 043832 (2020).
- [2] J. Zhang, J. Wang, R. Yang, K. Liu, and J. Gao, “Large-scale continuous-variable dual-rail cluster entangled state based on spatial mode comb,” *Opt. express* 25, 27172–27181 (2017).
- [3] M. Chen, N. C. Menicucci, and O. Pfister, “Experimental realization of multipartite entanglement of 60 modes of a quantum optical frequency comb,” *Phys. review letters* 112, 120505 (2014).
- [4] M. V. Larsen, X. Guo, C. R. Breum, J. S. Neergaard-Nielsen, and U. L. Andersen, “Deterministic generation of a two-dimensional cluster state,” *Science* 366, 369–372 (2019).

高分波磁 Feshbach 共振诱导的 ^{23}Na BEC 的集体激发

李子亮

太原市山西大学 030006

邮箱 liziliang9401@163.com

摘要正文：通过扫描磁场穿过高分波Feshbach共振点去改变原子的散射长度，我们实验观察到了 ^{23}Na 玻色爱因斯坦凝聚（BEC）的集体激发（称为表面模式激发）。我们测量了600G以下的三个d波和三个g波Feshbach共振点的 $|1,1\rangle$ 态表面模式的集体激发，发现只有两个d波共振呈现出强激发，另一个d波共振仅产生弱激发，而所有g波共振都没有激发。这个结论说明集体激发可以反映出这些磁Feshbach共振点的相互作用强度。扫描磁场改变原子的散射长度对应集体激发的宽频激发，光学偶极阱沿轴向和径向束缚频率不同使得激发的表面模式表现出不同的特征。我们还通过测量由退相效应和碰撞弛豫机制引起的振幅阻尼率的变化来研究集体振荡的寿命。我们的工作表明，在不改变势阱俘获频率的情况下，这种宽频激励的方法为研究强相互作用区中超冷量子气体的性质提供了一种新的工具。

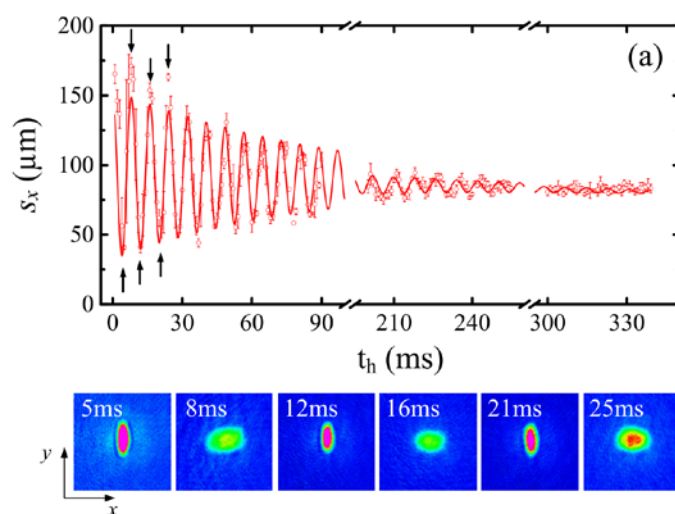


图1 表面模式激发后，BEC尺寸在x方向上的时间演化

关键词：集体激发，玻色爱因斯坦凝聚，Feshbach共振

参考文献

[1] L. Chen, H. Pu, Z.-Q. Yu, and Y. Zhang, Collective excitation of a trapped bose-einstein condensate with spinorbit coupling, Phys. Rev. A 95, 033616 (2017).

- [2] B. Huang, I. Fritsche, R. S. Lous, C. Baroni, J. T. M. Walraven, E. Kirilov, and R. Grimm, Breathing mode of a Bose-Einstein condensate repulsively interacting with a fermionic reservoir, *Phys. Rev. A* 99, 041602 (2019).
- [3] D. S. Jin, J. R. Ensher, M. R. Matthews, C. E. Wieman, and E. A. Cornell, Collective excitations of a BoseEinstein condensate in a dilute gas, *Phys. Rev. Lett.* 77, 420 (1996).
- [4] M.-O. Mewes, M. R. Andrews, N. J. van Druten, D. M. Kurn, D. S. Durfee, C. G. Townsend, and W. Ketterle, Collective excitations of a bose-einstein condensate in a magnetic trap, *Phys. Rev. Lett.* 77, 988 (1996).
- [5] S. E. Pollack, D. Dries, R. G. Hulet, K. M. F. Magalhães, E. A. L. Henn, E. R. F. Ramos, M. A. Caracanhas, and V. S. Bagnato, Collective excitation of a BoseEinstein condensate by modulation of the atomic scattering length, *Phys. Rev. A* 81, 053627 (2010).
- [6] X.-C. Yao, R. Qi, X.-P. Liu, X.-Q. Wang, Y.-X. Wang, Y.-P. Wu, H.-Z. Chen, P. Zhang, H. Zhai, Y.-A. Chen, and J.-W. Pan, Degenerate Bose gases near a d-wave shape resonance, *Nat. Phy.* 15, 570 (2019).
- [7] S. Knoop, T. Schuster, R. Scelle, A. Trautmann, J. Appmeier, M. K. Oberthaler, E. Tiesinga, and E. Tiemann, Feshbach spectroscopy and analysis of the interaction potentials of ultracold sodium, *Phys. Rev. A* 83, 042704 (2011).
- [8] S. Stringari, Collective excitations of a trapped bosecondensed gas, *Phys. Rev. Lett.* 77, 2360 (1996).

空间依赖 Feshbach 共振的操控

边国旗

山西省太原市坞城路 92 号山西大学，邮编：030006

邮箱：bgq5545@163.com

我们报告了在 ^{40}K 费米气体中通过光控窄磁场 P 波 Feshbach 共振[1-2]实现空间依赖相互作用的实验。利用调谐波长的空间变化光学场照射原子样品，从而驱动束缚分子跃迁以改变封闭通道分子状态的能量。在整个费米原子云中，由于激光强度分布的不同，导致原子相互作用的位置发生变化，从而观察到空间依赖的原子损失率。该方案为利用空间依赖原子 p 波 Feshbach 共振研究多体物理[3-6]提供了一种新的控制技术。

关键词：费米气体，p 波 Feshbach，光场空间依赖

- [1] Zhengkun Fu, Pengjun Wang, Lianghui Huang, Zengming Meng, Hui Hu, and Jing Zhang, Optical control of a magnetic Feshbach resonance in an ultracold Fermi gas, *Phys. Rev. A* 88, 041601(R) (2013).
- [2] P. Peng, R. Zhang, L. Huang, D. Li, Z. Meng, P. Wang, H. Zhai, P. Zhang, and J. Zhang, *Phys. Rev. A* 97, 012702 (2018).
- [3] Zhenhua Yu, Joseph H. Thywissen, and Shizhong Zhang, "Universal Relations for a Fermi Gas Close to a p-Wave Interaction Resonance," *Phys. Rev. Lett.* 115, 135304(2015).
- [4] Lijun Yang, Xiwen Guan, and Xiaoling Cui, "Engineering quantum magnetism in one-dimensional trapped Fermi gases with p-wave interactions," *Phys. Rev. A* 93, 051605 (2016).
- [5] X Y Yin, Tin-Lun Ho, and Xiaoling Cui, "Majorana edge state in a number-conserving Fermi gas with tunable pwave interaction," *21*, 013004 (2019).
- [6] Hiroyuki Tajima, Shoichiro Tsutsui, Takahiro M. Doi, and Kei Iida, "Unitary p-wave fermi gas in one dimension," *Phys. Rev. A* 104, 023319 (2021).

基于光电反馈激光强度噪声的抑制

张佳羽^{*} 常昊博 田壮壮 吕鑫 李刚[†] 张鹏飞 张天才

量子光学与光量子器件国家重点实验室, 山西大学光电研究所 太原 030006

^{*}zjy18035423561@163.com; [†]gangli@sxu.edu.cn

低噪声激光在量子光学和量子精密测量领域中具有广泛应用。在光学偶极阱俘获单原子的实验中, 低频强度噪声通常会对俘获的原子加热, 进而破坏其原子俘获时间和内态的相干性, 因此偶极阱俘获光场的强度噪声抑制是获得长寿命和长内态相干时间的关键技术。我们在实验上通过将激光的强度起伏负反馈到单个电光调制器件(EOM), 实现激光的强度调制, 实现了 1MHz 宽带强度噪声抑制, 在低频处可以获得大于 15dB 的噪声抑制效果。该装置的噪声抑制带宽主要受限于高压放大器的带宽。将此激光用于原子俘获的实验, 能够将原子寿命从 0.12s 提升至 13.9s, 提升了两个数量级。原子的内态退相干时间由 4.84ms 提升至 8.54ms, 提升了一倍。运用自旋回波技术(spin-echo)将非均匀退相干反转, 测得均匀退相干时间由 20.8ms 提升至 107.5ms。该装置结构简单, 具有较强的灵活性, 不需要额外的特殊定制器件, 针对特定频段的强度噪声抑制时可以展现出优良的工作效果。

关键词: 激光强度噪声 光电反馈 原子寿命 退相干时间

基于偏振压缩光实现量子增强的铷原子自旋噪声谱测量

杨永彪¹, 白乐乐¹, 张露露¹, 何军^{1, 2}, 王军民^{1, 2, *}

1. 量子光学与光量子器件国家重点实验室(山西大学), 山西大学光电研究所, 太原 030006

2. 极端光学省部共建协同创新中心(山西大学), 太原 030006

*Email: wwjjmm@sxu.edu.cn

摘要: 光与原子的相互作用对于基础物理的研究以及量子技术的发展具有非常重要的意义。原子的自旋噪声谱是使用一束大失谐的线偏振探测光, 在对原子系综不扰动的情况下, 利用法拉第磁致旋光效应探测在横向磁场作用下的原子系综的自旋自发涨落。自旋噪声谱对于揭示原子信息、测量原子系综自旋动力学性质、以及外加的横向磁场测量都具有重要意义。

我们分别使用内壁镀石蜡以及充 10 Torr 氖与 20 Torr 氩作为缓冲气体的天然丰度铷原子气室, 在良好的磁屏蔽条件下测量了铷原子系综的自旋噪声谱。我们分析了不同实验参数条件下的自旋噪声谱, 发现自旋噪声谱的信噪比和线宽受探测光强度和频率失谐量以及温度的影响, 通过优化实验参数, 可以提高自旋噪声谱的信噪比以及减小其线宽。此外, 我们分别用相干态光场以及偏振压缩态光场作为探测光, 分析比较了可突破散粒噪声极限的偏振压缩光对原子自旋噪声谱的量子增强效果, 结果表明偏振压缩光在不改变自旋噪声谱的线宽的情况下, 又提高其信噪比。

关键词: 自旋噪声谱, 偏振压缩态光场

基金项目: 国家自然科学基金(批准号: 11974226, 61905133)

参考文献:

- [1] 杨煜林, 白乐乐, 张露露, 何军, 温馨, 王军民, “铷原子系综自旋噪声谱实验研究”, *物理学报*, 69(23):233201(2020).
- [2] Lele Bai, Lulu Zhang, Yongbiao Yang, Rui Chang, Yao Qin, Jun He, Xin Wen, and Junmin Wang, “Enhancement of spin noise spectroscopy of rubidium atomic ensemble by using the polarization squeezed light”, *Optics Express*, 30 (2) : p.1925 (2022).
- [3] Yongbiao Yang, Lulu Zhang, Lele Bai, Jun He, Yanhua Wang, and Junmin Wang, “Employing spin noise spectroscopy of rubidium ensemble to calibrate Hall magnetometers when measuring weak magnetic fields”, *Optics Communications* (accepted for publication).

置于超高真空环境中的 ULE 超稳光学腔的零膨胀温度点研究

卢飞飞¹, 侯晓凯¹, 王欣¹, 白建东^{1,3}, 何军^{1,2}, 王军民^{1,2,*}

1. 量子光学与光量子器件国家重点实验室(山西大学),
山西大学光电研究所, 太原 030006
2. 极端光学省部共建协同创新中心(山西大学), 太原 030006
3. 中北大学理学院物理系, 太原 030006

*Email: wwjjmm@sxu.edu.cn

摘要: 高精度光学 Fabry-Pérot 腔可以提供高精度的频率标准和精细的频率分辨能力, 是现代原子分子与光物理领域的基本器件之一, 在超分辨光谱、量子精密测量、光频原子钟和量子信息等领域有重要的应用。而置于超高真空环境中, 由超低膨胀 (ULE) 系数光学微晶玻璃制成的超稳光学腔具有更高的稳定性和控制精度。ULE 材料在处于一个特殊温度点时, 其腔长变化对温度极不敏感, 热膨胀系数趋于零, 人们称其为零膨胀温度。对零膨胀温度点的测量在高精度光学腔的实际应用中尤为重要。实验中我们构建了一套由超低膨胀系数的微晶玻璃材料制作的球型平凹 F-P 腔, 镀有 1560.5 nm 和 637.2 nm 双波长高反多层介质膜, 放置于可以精确控温的超高真空系统中。利用射频调制边带法测量得到超稳光学腔的自由光谱区为 3.145 GHz, 腔线宽~100 kHz, 得到超稳光学腔在设定波长的精细度可高达 30000 以上。在此基础上通过将 1560.5 nm 激光倍频至 780.25 nm, 利用超稳光学腔共振频率和铷原子饱和吸收谱的对比, 获得超稳光学腔在不同温度下共振频率的变化, 从而测量超稳光学腔系统的热膨胀特性, 得到零膨胀温度为 $10.688 \pm 0.115^\circ\text{C}$ 。高精度光学腔提供了一个稳定的频率基准, 我们已将其优异的短期频率稳定性和极低的频率噪声应用于通过 1560.5 nm 和 1076.9 nm 激光单次穿过 PPMgO:LN 和频晶体产生高稳定度的 637.2 nm 红光, 利用腔增强倍频实现高稳定度的 318.6 nm 可调谐高功率窄线宽单频连续紫外激光, 并进一步用于铯原子单步里德堡直接激发和里德堡缀饰基态铯原子系综方面的研究。

关键词: F-P 腔、零膨胀温度点、ULE 超稳光学腔、热膨胀特性

基金项目: 国家重点研发计划课题 (2021YFA1402002), 国家自然科学基金项目 (11974226, 12104417)

参考文献:

- [1] Lu F F, Hou X K, Wang X, Guo M, Chang R, He J, and Wang J M, “Analysing and measuring the diode laser’s linewidth affected by the driving current’s white noise” (submitted to J. Opt. Soc. Am. B).
- [2] Bai J D, Wang J Y, He J, and Wang J M, “Electronic sideband locking of a broadly tunable 318.6 nm ultra-violet laser to an ultra-stable optical cavity”, J. Opt., 19(4) : 045501 (2017).
- [3] Bai J D, Liu S, Wang J Y, He J, and Wang J M, “Single-photon Rydberg excitation and trap-loss spectroscopy of cold cesium atoms in a magneto-optical trap by using of a 319-nm ultraviolet laser system”, IEEE J. Sel. Top. Quant. Electr., 26 : 1600106 (2020).

In-fiber Michelson interferometer fabricated by single CO2 laser pulse

Chunzheng Wang,¹ Quansen Wang,¹ Doudou Wang,¹
Qiang Zhang,^{1,2,a)} and Yongmin Li^{1,2,a)}

¹State Key Laboratory of Quantum Optics and Quantum Optics Devices,
Institute of Opto-Electronics, Shanxi University, Taiyuan 030006, China

²Collaborative Innovation Center of Extreme Optics, Shanxi
University, Taiyuan 030006, China

a) yongmin@sxu.edu.cn and qzhang@sxu.edu.cn.

An in-fiber Michelson interferometric sensor was presented by fabricating a concavity on the end face of a single mode fiber using single CO2 laser pulse. Reflected beams from the bottom and air-cladding boundary of the concavity are coupled into the fiber core, and superimpose to generate a two-beam in-fiber Michelson interferometer (MI). Compared with other laser-machining methods where multiple scanning cycles with precise manipulation are needed, the proposed method is more straightforward because only a single laser pulse is used to construct the sensor. The concavity constructed by CO2 laser is very smooth and its shape could be controlled flexibly by changing the position of the SMF and the parameters of the CO2 laser pulse, so the fringe visibilities of the proposed sensors could be more than 15dB, which is higher than that of most reported laser-machining in-fiber MIs. The proposed sensor was demonstrated by measuring the temperature with a sensitivity of 11.13nm/°C. Furthermore, the proposed device is compact (<100μm), economical, and robust. Those advantages make it a promising candidate in practical applications.

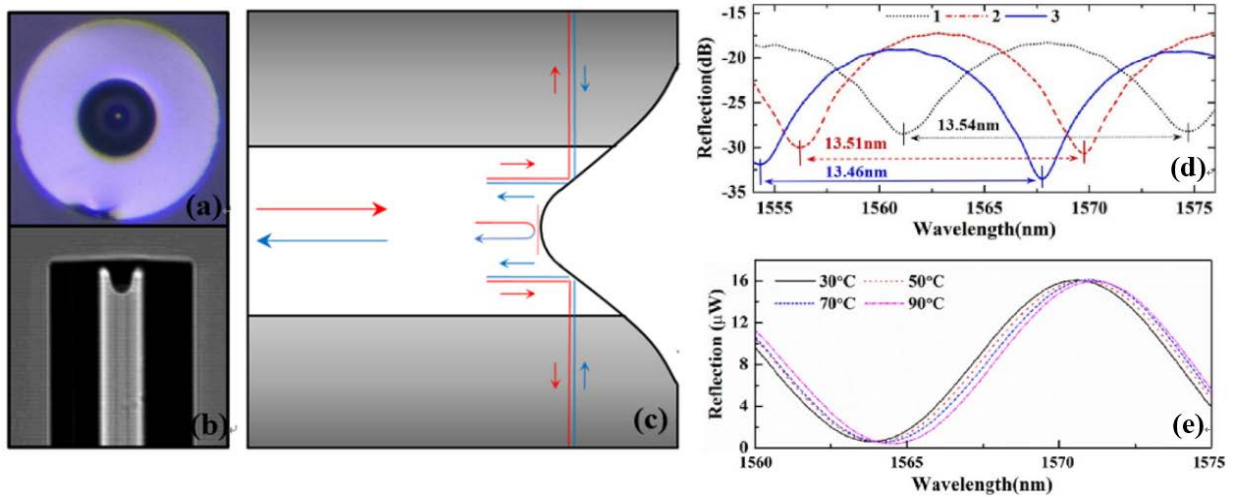


Fig. 1. (a) end face and (b) side view of the in-fiber MI; (c) operating principle and (d) measured reflection spectra of the in-fiber MIs; (e) reflection spectra of the in-fiber MI with different temperatures.

Keywords: CO2 laser; Michelson interferometer; optic fiber sensor

光泵铷原子磁强计及基于 795nm 偏振压缩光的量子增强测量

张露露¹, 杨永彪¹, 赵妮¹, 何军^{1,2}, 王军民^{1,2,*}

1. 量子光学与光量子器件国家重点实验室 (山西大学),
山西大学光电研究所, 太原 030006

2. 极端光学省部共建协同创新中心 (山西大学), 太原 030006

* Email: wwjjmm@sxu.edu.cn

摘要: 对极弱磁场的测量在军事、医药、地质等领域都有着极其重要的作用目前也有许多成熟的商用磁强计, 如磁通门磁强计、霍尔磁强计等, 但其灵敏度不高, 且存在零漂、准确度不高等问题。而原子的固有属性使其可以准确反映磁场的信息, 故利用光与原子相互作用的磁强计近几十年来被广泛关注。基于平台成熟的压缩光制备系统, 我们初步探究了压缩态光场与磁强计的兼容性。基于制备的斯托克斯算符 $\hat{S}_2$ 偏振压缩态光场 10 kHz 分析频率处 $\sim 3.7 \pm 0.3$ dB 的压缩度, 在法拉第旋光铷-87 原子磁强计中研究了偏振压缩光作用下, 偏振旋转角与频率失谐、温度等的依赖关系。在最优的参数条件下, 相对偏振相干态光场 ~ 28.3 pT/Hz^{1/2} 的灵敏度, 引入偏振压缩态光场后, 铷-87 原子磁强计灵敏度改善至 ~ 19.5 pT/Hz^{1/2}, 演示了压缩光对原子磁强计的量子增强作用。进一步我们实验上演示了 Mz 型单光束极化-探测的光泵磁强计。在镀石蜡的天然丰度铷原子气室里, 在最优参数下进一步研究了反抽运光对磁共振信号的影响, 经闭环锁定后磁强计的带宽为 1.2 kHz, 对比有无反抽运光存在情况下铷-85 原子磁强计的灵敏度提高了一个数量级, 为 26.4 pT/Hz^{1/2}。基于铷原子基态的旋磁比以及磁共振谱, 我们也对比分析了原子磁强计和商用磁通门磁强计的测磁精度。为了研究压缩光系统在磁强计中突破相干光散粒噪声极限的量子增强作用, 提高磁强计的测磁灵敏度, 目前我们将系统改造为原子自旋自由进动衰减型 (FID) 光泵铷原子磁强计, 初步演示了磁强计灵敏度 $\sim$ pT/Hz^{1/2} 量级, 未来继续优化系统的稳定性, 使系统灵敏度在相干光下达到光子散粒噪声极限, 以期引入压缩光突破散粒噪声极限, 进一步提高磁强计的灵敏度, 拓宽原子磁强计的实际应用范围。

关键词: 光泵铷原子磁强计, 灵敏度, 偏振压缩态光场

基金项目: 国家自然科学基金 (批准号: 11974226, 61905133, 61875111), 国家重点研发计划 (批准号: 2017YFA0304502)

参考文献:

- [1]张露露, 白乐乐, 杨煜林, 杨永彪, 王彦华, 温馨, 何军, 王军民. “采用反抽运光改善光泵铷原子磁强计的灵敏度”, 物理学报, 70(23): 230702 (2021).
- [2] Lele Bai, Xin Wen, Yuling Yang, Lulu Zhang, Jun He, Yanhua Wang, and Junmin Wang. “Quantum-enhanced rubidium atomic magnetometer based on Faraday rotation via 795-nm Stokes operator squeezed light”, J. Opt., 23(8): 085202 (2021).

基于相干态和压缩态的相位测量

李佳明, 刘奎, 孙恒信, 郜江瑞

太原市坞城路 92 号山西大学光电研究所, 030000

2862099517@qq.com

摘要正文:

相位测量是量子精密测量的核心研究内容之一, 被广泛应用于位移测量, 生物样本检测, 引力波探测等领域。然而当使用相干态作为探针态进行测量时, 最终的灵敏度受到电磁场真空起伏的限制, 无法突破散粒噪声极限[1]。而分辨率则受限于瑞利衍射极限[1], 无法进一步提高。通过对压缩光干涉仪进行单端零拍探测, 结合双结果的后处理方式能突破瑞利衍射极限和散粒噪声极限[2], 但是在0相位处, 其灵敏度是完全发散的。我们首先对相干光干涉仪进行单端零拍探测, 对输出的正交分量进行三结果的后处理[3], 获得了超分辨的相位测量, 0相位灵敏度的发散有了很大的改善。随后, 我们使用压缩光填补干涉仪的真空通道, 获得了超分辨和超灵敏的相位测量。由于我们的测量中使用的是高斯态和高斯测量, 能够确定性地进行相位测量, 与使用 $N00N$ 态相比具有更好的鲁棒性。

关键词: (相位测量, 相干态, 压缩态)

参考文献:

- [1] E. Distante. et al., Deterministic Superresolution with Coherent States at the Shot Noise Limit, Phys. Rev. Lett 111,3 (2013)
- [2] C. Schäfermeier. et al., Deterministic phase measurements exhibiting supersensitivity and super-resolution, Optica 5,1 (2018)
- [3] J. H. Xu. et al., Data processing over single-port homodyne detection to realize superresolution and supersensitivity, Phys. Rev. A 100,6 (2019)

连续变量高维纠缠态光场的制备及多路复用量子密集编码

刘娜, 郭辉, 孙恒信, 刘奎, 郜江瑞

山西大学光电研究所量子光学与光量子器件国家重点实验室极端光学协同创新中心,
山西 太原 030006
1272986618@qq.com

摘要: 高维纠缠在量子通信领域是一种很重要的量子资源, 例如量子密钥分发[1]、量子离物态[2]以及量子计算[3], 通过运用高维纠缠也可极大地提升信息传输过程中的信道容量。这里, 我们的工作主要集中于包含三个自由度(频率、偏振以及OAM)的连续变量高维纠缠态光场的制备及其在量子密集编码中的应用, 该纠缠态光场由单个二类OPO腔产生, 通过补偿由高阶横模以及不同频率模式之间引入的像散, 使得OPO腔能够实现成千上万对纠缠光束的同时共振并输出。我们通过对14对HG模式的关联测量, 在实验上制备了同时具有频率梳、自旋以及OAM纠缠的高维纠缠态光场。随后, 我们将其应用在量子密集编码协议中, 实现了包含空分复用及频分复用在内的多路复用量子密集编码, 这也展现了高维纠缠在高容量量子通信中的优势, 除了增加信道容量, 高维纠缠还有望在确定性高维量子协议、量子成像特别是量子计算等方面发挥更大的作用。

关键词: 高维纠缠, 光学参量振荡器, 多路复用量子密集编码

参考文献

- [1] Pirandola, Stefano, et al. "Advances in quantum cryptography." *Advances in optics and photonics* 12.4 (2020):1012-1236.
- [2] Hu, Xiao-Min, et al. "Experimental high-dimensional quantum teleportation." *Physical Review Letters* 125.23 (2020): 230501.
- [3] Slussarenko, Sergei, and Geoff J. Pryde. "Photonic quantum information processing: A concise review." *Applied Physics Reviews* 6.4 (2019): 041303.

非谐振势阱中单原子的退相干研究

常昊博^{*} 田壮壮 吕鑫 李刚[†] 张鹏飞 张天才

量子光学与光量子器件国家重点实验室，山西大学光电研究所，山西 太原 030006

^{*}cqedchb@163.com; [†]gangli@sxu.edu.cn

囚禁在光学偶极阱中的单个中性原子为量子模拟、量子计算及量子信息处理等相关领域提供了一个良好的研究平台，通常量子比特被编码在原子的两个基态超精细能级上，因而超精细能级间的相干时间成为量子计算的关键指标。偶极俘获光场的起伏和原子的运动导致的超精细能级间的差分光频移的不稳定会导致超精细能级间的退相干，而原子运动导致的超精细态的退相干可以通过自旋回波消除，剩余的光场起伏导致的差分光频移的不稳定成为限制原子相干时间的主要因素。然而，一般的光学偶极阱可以近似为谐振势阱，其对原子的参量加热过程也能够引起原子内态的退相干。我们发现非谐振的光学偶极阱，能够有效抑制原子的加热，从而延长原子的相干时间。我们在实验上通过LG01与LG02模式的光场构建了二次和四次谐振势阱，在相同阱深的情况下研究了阱中原子的寿命及相干时间。实验证实，四次谐振势阱能够有效抑制原子的加热，从而提高原子的寿命和相干时间。实验获得的最长的相干时间可达0.9s，基本和“魔幻”条件光学偶极阱中的原子相干时间持平。相较于“魔幻”条件的光学偶极阱，我们的方案简单高效且效果显著，可以很好的应用于各种基于光学偶极阱俘获粒子的实验中，实现偶极阱中高寿命、长相干时间的原子俘获。

关键词：量子计算、中性原子、单原子、光学偶极阱、非谐振势阱、退相干时间

强耦合腔 QED 系统中单原子的冷却与俘获

范青^{*} 闫玮植 杨鹏飞 李刚[†] 张鹏飞 张天才

量子光学与光量子器件国家重点实验室, 山西大学光电研究所, 太原 030006

^{*}fanqingsxu@163.com; [†]gangli@sxu.edu.cn

强耦合腔量子电动力学(Cavity QED)是研究光与物质相互作用的重要平台, 在量子信息处理和交互方面具有的独特优势, 能实现量子网络和分布式的量子计算。经过近三十年的发展, 人们在实验上相继实现微光学腔内单原子的冷却与俘获, 同时取得了一系列重要的进展, 例如确定性单光子源、单光子-单原子量子逻辑门等。目前国际上的研究小组主要采用在腔内构建三维驻波偶极阱的方式在腔内俘获单原子, 此方式在腔内实现可控的原子阵列方面存在诸多缺陷, 不利于确定性原子阵列的获取。我们小组基于腔长为 336 μm 高精度微光学腔系统, 通过在光学腔中建立单个光学偶极阱(或偶极阱阵列), 实现腔内单原子(单原子阵列)的俘获。实验中, 通过高数值孔径消色差透镜组($\text{NA}=0.4$)聚焦波长为 1080nm 的激光, 获得了腰斑半径为 2 μm 的单个红失谐光学偶极阱。在腔轴的垂直方向将此光学偶极阱和光学腔配合, 实现了单个 Cs 原子的俘获和与光学腔的可靠强耦合。单原子在腔中的寿命为 2.6 s, 通过利用腔增强的冷却机制有望进一步延长腔内单原子的寿命。实验为进一步利用单原子强耦合的腔 QED 系统开展单原子-单光子相互作用奠定了坚实的基础。

关键词: 腔 QED、单原子、强耦合、光学偶极阱

用于宽带压缩光探测的 300M 平衡零拍探测器

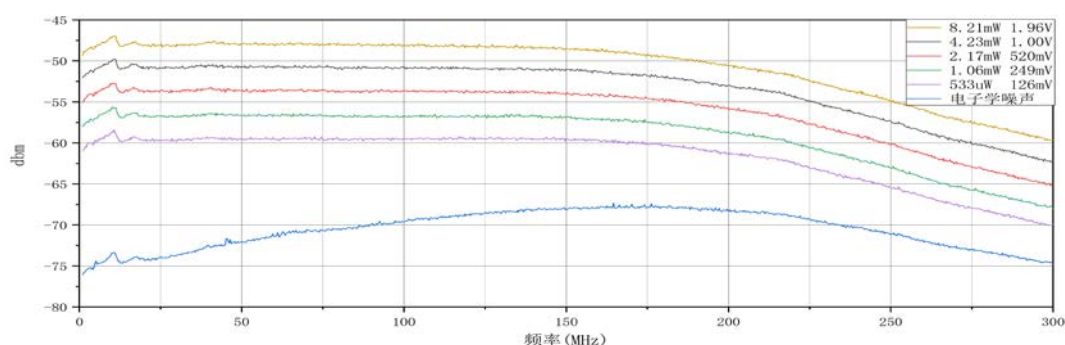
梁少聪¹, 成家霖¹, 秦际良^{1,2}, 李佳桐¹, 闫智辉^{1,2}, 贾晓军^{1,2*},

¹山西大学光电研究所, 量子光学与光量子器件国家重点实验室, 太原, 030006

²极端光学协同创新中心, 太原, 030006

*Email: jiaxj@sxu.edu.cn

宽带压缩态光场在连续变量量子光学和量子信息处理中有着重要应用, 平衡零拍探测是探测压缩态的重要手段。通常, 平衡零拍探测器的带宽受制于信噪比、增益等往往较窄。这极大地限制了压缩态光场在高速量子信息处理中的应用。在这里, 我们设计了一款用于宽带压缩态探测的平衡零拍探测器。这款探测器在DC-300M都有较好的线性响应, 每个光电二极管注入8mW相干光时, 在150 MHz之前信噪比高达20 dB。此外, 该探测器高达111 kV/A的增益意味着可以大大减小了数据采集对前置放大的需求。本探测器可用于线宽300 MHz以内的压缩态探测和高速量子信息处理过程中宽带非经典态的数据采集。



DC-300M的噪声功率谱

基于集成运算放大器的跨阻放大电路是实现宽带、高信噪比和高增益的平衡零拍探测器的有效方法。在此类技术中, 探测器的带宽大部分取决于跨阻放大器的输入电容和光电二极管的结电容。信噪比主要取决于放大芯片的噪声性能和跨阻增益。另外光电二极管的量子效率也是影响压缩态探测的重要因素。因此, 我们选择了两个性能接近的高量子效率的小结电容的光电二极管和低噪声、高增益带宽积的高性能运算放大器来实现本探测器的性能指标。

关键词: 宽带; 平衡零拍探测器; 宽带压缩光

参考文献

- [1] Zhang X, Zhang Y, Li Z, Yu S and Guo H. 1.2-GHz balanced homodyne detector for continuous-variable quantum information technology. *IEEE Photonics Journal*. **10**, 6803810(2018)
- [2] R. Kumar, E. Barrios, A. MacRae, E. Cairns, E. Huntington, and A. Lvovsky. Versatile wideband balanced detector for quantum optical homodyne tomography. *Optics Communications* **285**, 5259 (2012).
- [3] U. Leonhardt, *Measuring the Quantum State of Light*. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 1997, vol. 22.

基于 FPGA 的半导体激光器稳频系统

张沛*, 王晨曦, 宋丽军, 张鹏飞**, 李刚, 张天才

量子光学与光量子器件国家重点实验室, 山西大学, 太原 030000

极端光学省部协同创新中心, 山西大学, 太原 030000

* zhp1995@hotmail.com

** zhangpengfei@sxu.edu.cn

摘要: 量子光学实验中激光器的频率及其锁定是一项至关重要的技术, 其对原子俘获、原子内态操控具有重要的影响。未经稳频的半导体激光器通常具有较大的频率起伏, 一般高达数十甚至上百兆赫兹, 这远超通常为兆赫兹量级的原子线宽, 因此自由运转的半导体激光器不能够满足量子光学实验的需求。这需要引入主动稳频系统来控制激光器的频率起伏和压窄激光器的线宽。我们基于 Zynq-7010 型号 FPGA 芯片的 STEMLab125-14 开发板及开源程序包 pyrpl 开发了一套半导体激光稳频系统。这套系统使用铯原子的饱和跃迁谱线作为参考频率, 通过对半导体激光器的电流反馈实现了激光器的频率稳定。FPGA 在稳频中的作用包括提供压电陶瓷 (PZT) 的扫描信号、调制解调产生鉴频信号、监控饱和吸收光谱信号和鉴频信号以及作反馈功能的 PI 信号控制器。实验装置图如图 (a) 所示。图 (b) 为 C_{45} 峰锁定前后饱和吸收光谱对比。图 (c) 为 C_{45} 峰锁定前后鉴频信号对比。光器稳频前半导体激光器的短期起伏能达到 20MHz 以上, 而在对半导体激光器施加电流反馈后, 频率起伏约为 3MHz。本实验基础上, 后续可以添加对 PZT 的反馈信号进一步缩小频率起伏和压窄线宽。该系统相对于传统的半导体激光器稳频系统集成化高, 更小巧易用, 同时能够节约资金; 整个过程中产生、处理的数据都可以很方便地使用计算机监测。

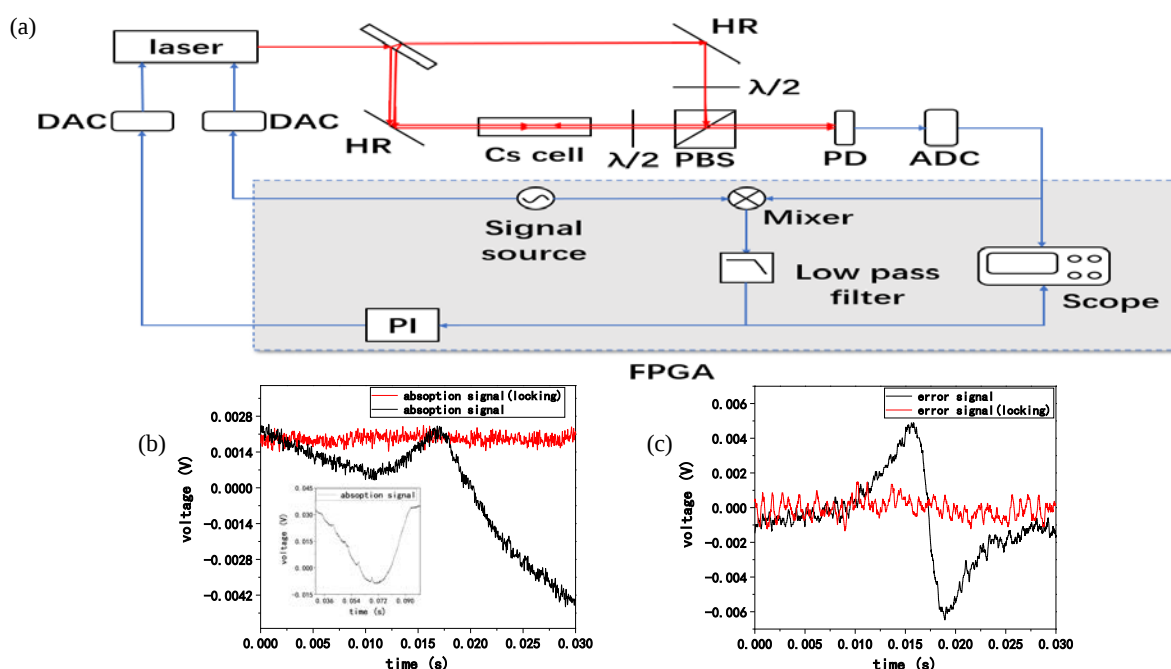


图1 (a)实验中的光路图。(b)锁定前后的饱和谱信号对比。(c)锁定前后的鉴频信号对比。

关键词: FPGA, 半导体激光器稳频, STEMLab125-14

一维原子阵列与高精度微型光学腔之间强耦合的实验实现

刘岩鑫^{*} 王志辉 杨鹏飞 李刚[†] 张鹏飞 张天才

量子光学与光量子器件国家重点实验室, 山西大学光电研究所, 太原 030006

^{*}yanxin.liu@foxmail.com; [†]gangli@sxu.edu.cn

强耦合腔量子电动力学(QED)是研究光与物质相互作用[1]的基本物理系统, 不仅能够研究基础物理, 也能够为量子信息提供丰富的量子资源。光频区腔QED被认为是实现量子网络的重要系统[2], 一直倍受人们的关注。目前, 强耦合的腔QED系统的研究主要集中在单原子与单光子之间的相互作用[3], 实现了多种量子操控及量子器件, 如: 单光子源、量子接口、量子逻辑门、量子测量、量子路由器等。对物理基础研究和量子应用来说, 多原子腔QED系统的物理现象更加丰富有趣、应用也更加广泛[4,5]。然而, 建立多原子腔QED系统非常困难, 需要精确控制每个原子的位置, 使其均匀稳定地强耦合于微腔模式。到目前为止, 文献报道的能够与法布里-珀罗(F-P)腔或纳米光子腔耦合的最大的中性原子仅为两个 [6,7]。我们在实验实现了一维单原子阵列与高精度微腔之间的强耦合。通过制备 1×11 的一维光镊阵列, 并在冷原子团中装载单个原子获得单原子阵列, 俘获的单原子数目通过CCD荧光成像精确确定。将此单原子阵列放置于高精度的F-P腔中, 通过精确控制原子阵列的位置和间距, 实现了原子阵列与腔的强耦合。我们在实验上确定性观测到原子数从1到8的真空拉比分裂光谱, 从而在单个原子水平上确定性地验证了光与原子相互作用集体增强与原子数的关系。确定性原子数和微腔强耦合的实验系统在量子模拟、量子通讯、量子精密测量、多体物理等方向有重要意义。

关键词: 强耦合 腔量子电动力学 微腔 量子网络 原子阵列

参考文献

- [1] Wehner S. et al., Quantum internet: A vision for the road ahead, *Science* 362, 303 (2018).
- [1] S. Dutra, *Cavity quantum electrodynamics*, John Wiley and Sons, Inc. (2005).
- [2] H. J. Kimble, The quantum internet, *Nature* 453, 1023 (2008).
- [3] A. Reiserer. et al., Cavity-based quantum networks with single atoms and optical photons, *Rev. Mod. Phys.* 87,1379 (2015).
- [4] J. Muniz. et al., Thompson, Exploring dynamical phase transitions with cold atoms in an optical cavity, *Nature* 580, 602 (2020).
- [5] A. Periwal. et al., Programmable interactions and emergent geometry in an array of atom clouds, *Nature* 600, 630 (2021).
- [6] T. Dordević. et al., Entanglement transport and a nanophotonic interface for atoms in optical tweezers, *Science* 373, 1511 (2021).
- [7] S. Welte. et al., Cavity carving of atomic bell states, *Phys. Rev. Lett.* 118, 210503 (2017).

基于纳米光纤的光学 F-P 谐振腔腔内模场的表征

胡裕栋（报告人）*，王晨曦，宋丽军，张鹏飞**，李刚，张天才

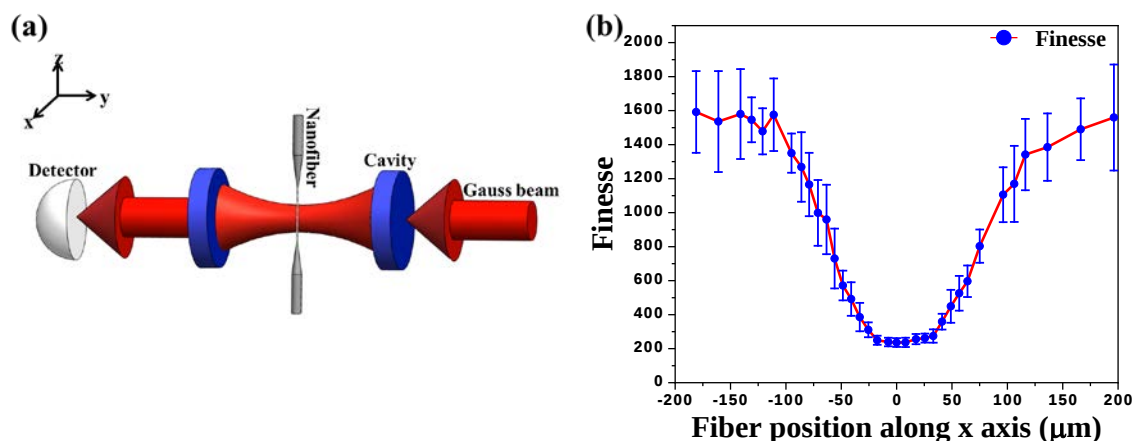
量子光学与光量子器件国家重点实验室，山西大学，太原，030006

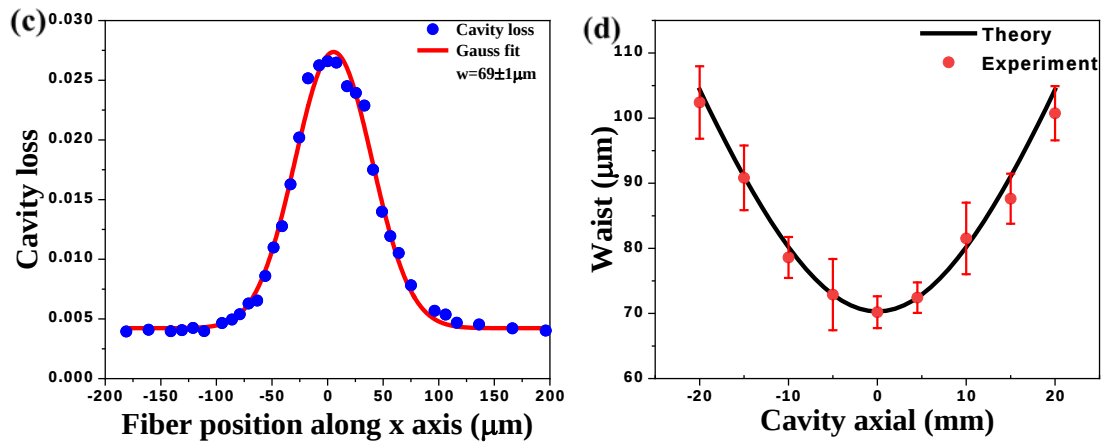
极端光学省部共建协同创新中心，山西大学，太原，030006

*18643406630@163.com

**zhangpengfei@sxu.edu.cn

摘 要：微纳机械振子、F-P 谐振腔、固体粒子三者结合的复合腔光力学系统在基本物理问题、量子信息、精密测量等方面的研究和应用中越来越引起大家的重视。实验中我们将纳米光纤置于光学 F-P 谐振腔的腔模中，探究了纳米光纤对光学谐振腔内腔损耗和精细度的影响。实验装置示意图如图(a)所示。纳米光纤与腔轴垂直放置。当纳米光纤沿着垂直于腔轴方向移动（x 轴），纳米光纤穿过谐振腔腔模光斑不同位置，谐振腔精细度受到纳米光纤的影响而降低。纳米光纤处于腔模光强越大处，其精细度越小。实验结果如图（b）所示。纳米光纤引起的谐振腔内腔损耗随纳米光纤位置的变化通过高斯拟合可以得到光斑的半径。图(c)为纳米光纤处于腔模腰斑处，内腔损耗随纳米光纤位置（x 轴）的变化关系图，拟合得到的腰斑为 $69 \pm 1 \mu\text{m}$ 。将纳米光纤置于谐振腔轴向的不同位置时，可以测量谐振腔中的腔模分布，如图（d）所示。这与理论预测（黑色实线）符合得很好，从而实现了光学谐振腔腔模分布的测量。该方法可以用于确定装载有固体粒子纳米光纤与谐振腔腔模耦合的最佳位置，为后续采用 F-P 腔与 N-V 色心相互作用的研究奠定了坚实的基础，同时也为纳米光纤机械振子、F-P 腔、固体粒子三者结合的复合腔光力学研究提供良好的平台。





图(a)：实验装置示意图；图 (b)：谐振腔的精细度随纳米光纤在 x 轴方向位置的变化关系；图 (c)：纳米光纤处于腔模腰斑处，谐振腔内腔损耗随纳米光纤在 x 轴位置的变化关系，图中蓝色圆点是实验数据，红色实线为高斯拟合曲线；图 (d)：光学谐振腔中腔模分布，

图中红色圆点为实验结果，黑色实线为理论预测。

关键词：F-P 谐振腔，腰斑，精细度，纳米光纤

参考文献

[1] Nanofiber-Induced Losses Inside an Optical Cavity. Phys.Rev.Applied 16.064021(2021)

模式清洁剂中激光相位噪声的抑制及其测量

焦南婧¹, 李瑞鑫¹, 王雅君^{1,2,*}, 张文慧¹, 张超群¹, 田龙^{1,2}, 郑耀辉^{1,2,*}

1) (山西大学光电研究所, 量子光学与光量子器件国家重点实验室, 太原 030006)

2) (山西大学, 极端光学协同创新中心, 太原 030006)

jiaonanjing@126.com

连续波(CW)单频激光器具有窄线宽、低幅相噪声和稳定性好等优点, 在量子态制备^[1]、光钟^[2]、引力波探测^[3,4]等领域得到了广泛的应用。然而, 它的工作频率并非绝对单频, 总是伴随着相位噪声。相位对时间的导数与瞬时频率成正比, 因此相位噪声将导致激光光束在频域中的瞬时抖动。相位噪声可以评估激光器的短期稳定性、线宽和相干长度。在压缩态制备中, 位相噪声相当于将反压缩噪声耦合到压缩正交场中, 严重地降低了压缩水平。在引力波探测中, 较大的相位噪声通过在腔臂中引入频率噪声将激光干涉仪的灵敏度限制在了较低的水平^[5]。此外, 相位噪声使光学原子钟的频率标准不稳定, 从而降低其精度^[2]。因此, 抑制相位噪声在实际应用中具有重要的现实意义。

相位噪声代表激光随时间的随机相位起伏, 这是激光过程自发发射的结果^[6]。为了抑制激光器的相位噪声, 通常会选择具有较窄线宽和较低透过率的超稳定腔与电反馈控制环路相结合来抑制位相噪声^[7], 但反馈环路的带宽将相位噪声抑制带宽限制在了kHz范围。滤光腔被广泛应用于激光的光谱和空间清洁, 即作为模式清洁剂。参考文献[8]提出了光反馈与滤光腔相结合的方法可以抑制半导体激光器在MHz频段的相位噪声, 但需要对反馈光功率进行仔细优化^[8]。然而由于腔的色散光学特性, 相位噪声可能会转化为幅度噪声, 在实际应用中是有害的。对称的法布里-珀罗腔在理论上被证明是振幅和相位噪声的低通滤波器, 也可以用来将相位噪声转换为振幅噪声^[9]。因此, 第二个空腔实现用近散粒噪声极限的振幅噪声对半导体激光器相位噪声的表征。然而, 该表征方法仅限于在分离的频率(1 MHz和0.5 MHz)下测量相位噪声, 并且该测量仅在没有额外振幅噪声的情况下有效。在这些研究中, 抑制相位噪声的实验证明并不能消除用高精度腔窄激光线宽的影响^[8]。

我们利用模式清洁剂来抑制射频区域的激光相位噪声, 验证了尽管模式清洁剂(MC)的线宽比激光器的线宽大 10^3 倍, 但它对振幅噪声和相位噪声都起到了抑制的作用。同时, 我们还首次证明了一个正交的噪声抑制不仅仅是相位噪声转化为振幅噪声的过程, 而是由输入场的两个正交场共同决定的。此外, 利用旋转噪声椭圆技术表征了宽带噪声谱中的相位噪声, 其结果与理论结果吻合良好。我们的论证为在相敏传感应用中具有比激光更大线宽的模式清洁剂的相位噪声抑制提供了新且深入的解释。

关键词: (正交噪声相互耦合, 模式清洁剂, 相位噪声表征)

参考文献:

- [1] E. Oelker. et al., "Ultra-low phase noise squeezed vacuum source for gravitational wave detectors," *Optica* 3, 682 (2016).
- [2] Boulder Atomic Clock Optical Network (BACON) Collaboration*, "Frequency ratio measurements at 18-digit accuracy using an optical clock network," *Nature* 591, 564–569 (2021).
- [3] M. Steinke. et al., "Single-Frequency Fiber Amplifiers for Next-Generation Gravitational Wave Detectors," *IEEE J. Select. Topics Quantum Electron.* 24, 1–13 (2018).
- [4] F. Wellmann. et al., "High power, single-frequency, monolithic fiber amplifier for the next generation of gravitational wave detectors," *Opt. Express* 27, 28523 (2019).
- [5] C. Cahillane. et al., "Laser frequency noise in next generation gravitational-wave detectors," *Opt. Express* 29, 42144 (2021)

- [6] V. Lovic.et al., "Characterizing Phase Noise in a Gain-Switched Laser Diode for Quantum Random-Number Generation," Phys. Rev. Applied 16, 054012 (2021).
- [7] J. Hald.et al., Efficient suppression of diode-laser phase noise by optical filtering, JOSA B 22 (11) 2338 (2005).
- [8] Y. Zhang.et al., Efficient phase noise suppression of an external-cavity diode-laser by optical filtering and resonant optical feedback, Appl. Phys. B 108 (1) 39-42(2012).
- [9] A.S. Villar, The conversion of phase to amplitude fluctuations of a light beam by an optical cavity, Am. J. Phys. 76 (10) 922–929 (2008).

基于光学参量放大和相干反馈的正规模式劈裂和振子冷却

李悦[†], 孙恒信

山西大学光电研究所, 量子光学与光量子器件国家重点实验室, 极端光学协同创新中心,
山西 太原 030006

[†]: 2209042285@qq.com

宏观机械振子和腔场之间的强耦合是腔光力学系统中观察许多量子现象(如纠缠, 压缩等)的基本条件, 而正规模式劈裂(normal-mode splitting)是强耦合状态下重要的特征现象之一。多年来人们一直在致力于制造越来越强的耦合, 这样就能产生更明显的正规模式劈裂。Kippenberg 等人提出了利用光机械振子在可分辨边带进行正规模式劈裂的可能性^[1]。Groblacher 等人首次在悬镜系统上观察到了强耦合现象^[2], 在此之后强耦合状态下的光力系统成为了腔光力学系统的研究热点内容之一。2009 年 Sumei Huang 研究了光机系统中的简并光学参量放大器(OPA)能使腔场与可动镜之间产生更强的耦合, 从而观测到更明显的正规模式劈裂^[3]。此外, Liu Yong-Chun 等人还发现在一个机械模式和两个光学模式的组成的光机系统中, 两种间接耦合的机械模式和光学模式之间可以实现强耦合^[4]。2019 年 Sumei Huang 利用相干反馈方案表明, 当可动镜与腔场的初始耦合较弱时, 反馈引起系统的有效腔衰减率降低, 导致可动镜位置谱和输出场功率谱出现正规模式劈裂^[5]。

我们在相干反馈模型的基础上, 在腔中放置一非线性晶体(如图 1 所示), 通过调节分束器 (BS) 的反射率来控制反射回腔的光场强度。发现当固定参量增益不变时, 随着 BS 反射率增大, 两个模式之间间隔变大, 峰变高变窄, 模式劈裂越明显。且当参量增益 G 取零时, 只加入相干反馈也会产生很明显的模式劈裂, OPA 参量增益、BS 反射率、注入光功率等参量都会影响正规模式劈裂。结合 OPA 和相干反馈分别来增强光机耦合强度和降低有效腔衰减率, 与之前单独使用相干反馈或 OPA 相比, 多了一个可灵活调节的自由度用于控制光机耦合强度等参量。即使在弱耦合系统下, 也可通过调节注入光功率、BS 反射率等参量使腔场和可动镜之间产生更强的耦合从而产生更明显的正规模式劈裂。此外, 我们还基于此方案研究了振子的冷却, 与腔内只加 OPA 相比, 加入相干反馈后, 振子能达到更低的有效温度, 从而提高了振子的冷却性能。

关键词: 正规模式劈裂, 光学参量放大, 相干反馈, 强耦合

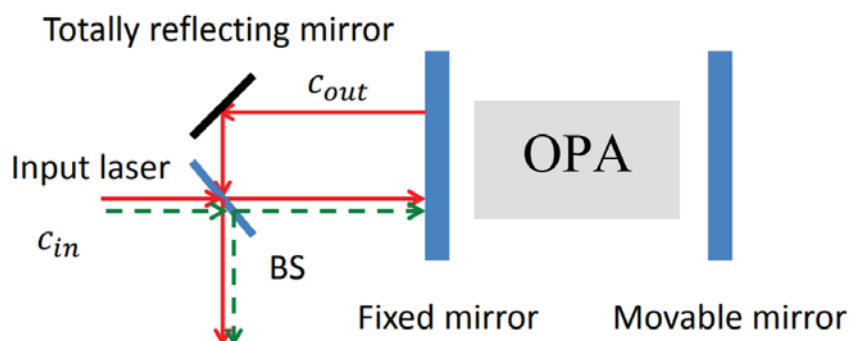


图1 结合OPA和相干反馈的光机系统原理图

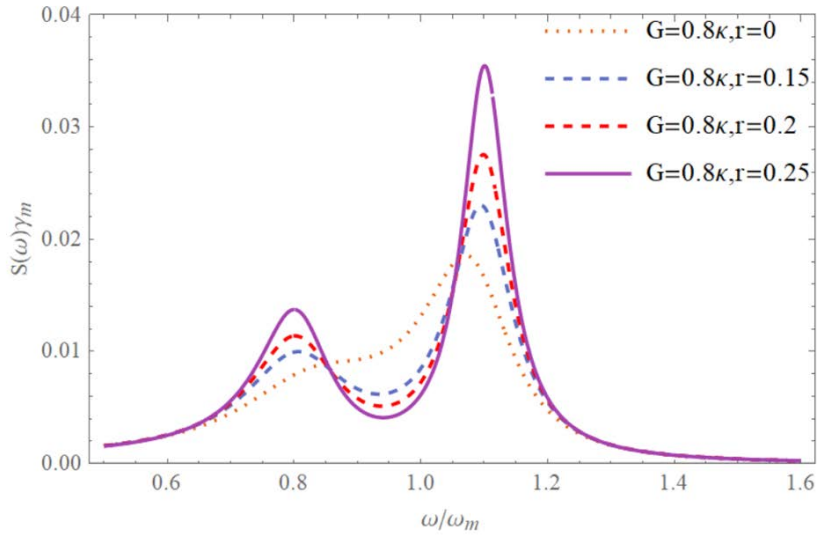


图2 注入光功率、OPA增益相同时，不同相干反馈下
可动镜位置谱的模式劈裂

参考文献

- [1] J. M. Dobrindt, I. Wilson-Rae, and T. J. Kippenberg, Parametric Normal-Mode Splitting in Cavity Optomechanics:Phys. Rev. Lett. 101, 263602(2008).
- [2] Simon Groblacher, Klemens Hammerer, Michael R Vanner, Markus Aspelmeyer, Observation of strong coupling between a micromechanical resonator and an optical cavity field:Nature, 460, 724-727 (2009).
- [3] Huang, S.; Agarwal, G.S. Normal-mode splitting in a coupled system of a nanomechanical oscillator and a parametric amplifier cavity. Phys. Rev. A 80, 033807 (2009).
- [4] Liu, Y.C.; Xiao, Y.F.; Luan, X.S.; Gong, Q.H.; Wong, C.W. Coupled cavities for motional ground-state cooling and strong optomechanical coupling. Phys. Rev. A 91, 033818 (2015).
- [5] Huang, S., Chen, A.: Cooling of a mechanical oscillator and normal mode splitting in optomechanical systems with coherent feedback. Appl. Sci. 9, 3402 (2019).

非经典时空多模光场

刘宏波、解燕翔、孙恒信、刘奎、郜江瑞

山西大学光电研究所，太原 032300

Email: 2891851869@qq.com

多模光场（包括时间多模和空间多模）相比单模光场包含更多的信息量，在量子信息传输^[1]和量子精密测量方面有着潜在应用价值。例如可实现多通道的量子传输，提高信息传递的安全性和高效性。目前的工作集中在对空间模式、偏振态等维度的研究亦或者单独对时间（频率）模式的研究，对于将时域模式和空间模式相结合^[2]的研究相对较少。

我们提出了一种同时具有频谱多组份关联和轨道角动量纠缠特性的非经典时空多模光场。该工作基于锁模飞秒脉冲激光器和同步泵浦光学参量振荡器获得了非经典时域多模光场，并通过特殊的非平面环形腔的构造在不引入色散的前提下实现了两个厄米高斯模的同时共振，借此产生了具有轨道角动量纠缠特性的时空多模纠缠态光场。这种时空多模的非经典光场能同时实现波分复用和空分复用，将极大提高量子网络的信道容量。此外，这种时空多模的非经典光场也可以同时实现物理量的三维时空量子测量，并且或将有望应用于未来量子网络的构建和复杂量子计算的开发。

关键词：非经典光学频率梳，轨道角动量纠缠，同步泵浦光学参量振荡器，时空多模光场

参考文献：

[1] Jonathan Roslund, Wavelength-multiplexed quantum networks with ultrafast frequency combs, Nature Photonics | 15 December 2013 | 340

[2] LUCA LA VOLPE, Multimode single-pass spatio-temporal squeezing, Optics Express Vol.28 No.8/13

基于宽带压缩光的半设备无关量子随机数发生器

成家霖，梁少聪，秦际良，李佳桐，闫智辉，贾晓军*，

谢常德，彭堃堃

山西大学光电研究所，量子光学与光量子器件国家重点实验室，太原，030006

*Email: jiaxj@sxu.edu.cn

随机数是模拟算法和密码学的基本组成部分，在计算机模拟和信息处理中发挥着重要作用。量子随机数的随机性源于量子现象内禀的不确定性，所以量子随机数相比于伪随机数而言具有无可比拟的优势。在实际应用中，量子随机数的生成率和安全性是随机数发生器的两个重要指标。基于连续变量量子态测量可能是产生快速和高安全性的量子随机数最经济和常用的方法。压缩光的一个显著特点是两个正交分量其中一个波动较小而另一个随机性较大，因此它不仅在量子信息处理和量子精密测量中具有重要的应用，而且还是产生量子随机数的极佳熵源。这里我们报告了一种基于宽带压缩光的高效的半设备无关量子随机数发生器，其不需要可信的熵源，并且允许使用不完美的平衡零拍探测器以及带有额外噪声的本地光进行测量以产生量子随机数。我们使用了一束200 MHz带宽的压缩光作为熵源，最终在分析带宽受限在200 MHz时将安全量子随机数的生成速率提高到了580.7 Mbit/s。这种基于宽带压缩光的半设备无关量子随机数协议是源无关且部分测量设备可信的。

我们的协议在原来真空态的源无关量子随机数协议的基础上，引入了宽带压缩光作为熵源，以提高单位分析频率带宽的量子随机性，同时具有可观的速率。我们根据热态，真空态和压缩态测量噪声的不同高斯分布，根据熵不确定性原理理论上计算了对应的随机数的产生速率。此外，我们理论上分析和刻画了存在不完美的测量设备和带经典噪声的本地振荡光对私有随机数产生的影响，因为这可能为窃取随机数的窃听方提供估计这些量子随机比特的辅助信息。最后，我们的半设备无关的量子随机数发生器的安全性和速率可以满足一些普通的短距离量子密钥分发系统和量子安全直接通信系统的要求，同时便于片上集成。此外，1.3 μm 压缩光的使用使其有可能实现随机源的长距离传输和与设备无关的量子随机数的生成。

关键词：量子随机数发生器；半设备无关；宽带压缩光。

参考文献

- [1] Marangon, D. G. et al., Source-device independent ultra-fast quantum random number generation, Phys. Rev. Lett. 118, 060503 (2017).
- [2] Michel, T. et al., Real-time source independent quantum random number generator with squeezed states. Phys. Rev. Appl. 12, 034017 (2019).
- [3] Huang, W. et al., Practical security analysis of a continuous-variable quantum random-number generator with a noisy local oscillator. Phys. Rev. A 102, 012422 (2020).

时域平衡零拍探测器散粒噪声极限的精确校准

郭旭波^{1,2}, 王旭阳^{1,2,*}, 贾雁翔^{1,2}, 李永民^{1,2,*}

¹山西大学光电研究所, 量子光学与光量子器件国家重点实验室, 太原 030006

²山西大学, 极端光学协同创新中心, 太原 030006

*wangxuyang@sxu.edu.cn

*yongmin@sxu.edu.cn

时域平衡零拍探测器(TBHD)是连续变量量子密钥分发(CVQKD)的重要组成部分^[1-4], 相比于只关注部分频段的频域平衡零差探测器而言, TBHD 的散粒噪声极限特性取决于探测器的整个响应频谱范围^[4]。我们提出了一种通过比较 TBHD 的增益直线和积分型光电探测器增益直线的重合程度来精确校准时域平衡零拍探测器散粒噪声极限的方法并在实验上进行了验证。该方法中两条增益直线的高度重合表明 TBHD 处于散粒噪声极限, 这对 CVQKD 的安全性而言至关重要^[5-10]。在实验中, 我们将散粒噪声的测量误差降低到 $\pm 1\%$ 。理论分析表明 CVQKD 的性能和安全性对散粒噪声的校准误差非常敏感, 我们提出通过适当降低增益斜率的方法来解决这一问题。本文所提出的相关技术和理论对于 CVQKD 的安全性和 TBHD 器件的标准化具有重要的意义。

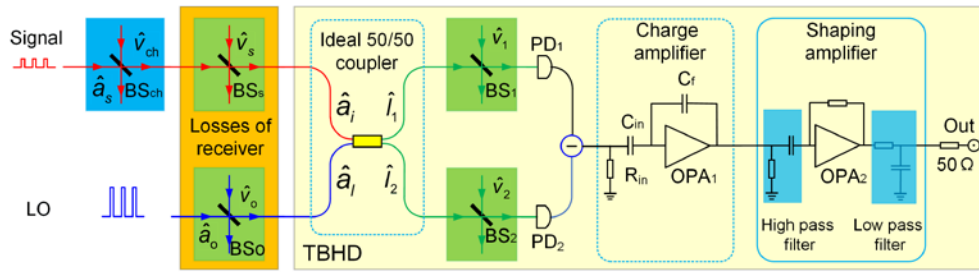


图 1. 精确的 TBHD 模型

关键词：连续变量量子密钥分发, 时域平衡零差探测, 散粒噪声极限

参考文献:

- [1] Yuen, H. P. & Chan, V. W. S. Noise in homodyne and heterodyne detection. Opt. Lett. 8, 177 (1983).
- [2] Smithy, D. T., Beck, M., Raymer, M. G. & Faridani, A. Measurement of the Wigner Distribution and the Density Matrix of a Light Mode Using Optical Homodyne Tomography: Application to Squeezed States and the Vacuum. Phys. Rev. Lett. 70, 1244 (1993).
- [3] Breitenbach, G., Schiller, S. & Mlynek, J. Measurement of the quantum states of squeezed light. Nature 387, 471 (1997).
- [4] Hansen, H. et al. Ultrasensitive pulsed, balanced homodyne detector: application to time-domain quantum measurements. Opt. Lett. 8, 177 (1983).
- [5] Gisin, N., Ribordy, G., Tittel, W. & Zbinden, H. Quantum cryptography. Rev. Mod. Phys. 74, 145-195 (2002).
- [6] Braunstein, S. L. & Loock, P. V. Quantum information with continuous variables. Rev. Mod. Phys. 77, 513-577 (2005).

- [7] Jouguet, P., Jacques, S. K., Diamanti, Eleni, Preventing calibration attacks on the local oscillator in continuous variable quantum key distribution. *Phys. Rev. A* 87, 062313 (2013).
- [8] Scarani, V. et al. The security of practical quantum key distribution. *Rev. Mod. Phys.* 81, 1301 (2009).
- [9] Lo, H. K., Curty, M., & Tamaki, K. Secure quantum key distribution. *Nat. Photonics* 8, 595–604 (2014).
- [10] Pirandola, S. Advances in quantum cryptography. *Adv. Opt. Photon.* 12, 1012–1236 (2020).

基于压缩光增强的磁场梯度计

吴书贺 包谷之 郭进先 陈俊 杜威 杨培玉 陈丽清 张卫平

上海市闵行区上海交通大学物理与天文学院, 200240

shuhe_wu@sjtu.edu.cn

光学磁力计[1-3]是灵敏度最高的磁力计种类之一, 被广泛应用于各个领域[4-8]。目前来看, 量子涨落以及环境的磁场噪声是限制光学磁力计灵敏度进一步提升的两大主要因素。基于此, 我们利用四波混频过程在热铷蒸气中产生的相位和强度相关联的双模压缩光场, 设计了一种可同时降低光场的量子噪声和消除共模磁场噪声从而实现量子增强的磁场梯度计的方案。通过调节光学泵浦的光强、频率, 以及四波混频过程的相关实验参数, 最终我们实现了频率范围从 7Hz-6MHz 的量子增强, 可将磁力计的噪声功率谱降低 5.5dB, 磁场梯度计的灵敏度在 20Hz 处达到 $18\text{ft}/\text{cm}\sqrt{\text{Hz}}$ 。我们的研究为量子增强磁测量技术在地球磁场和嘈杂的背景磁场等具有挑战性的实际应用领域奠定了基础。

关键词: 光学磁力计, 四波混频, 量子涨落, 环境磁场噪声, 灵敏度

参考文献

- [1] Budker, D., Gawlik, W., Kimball, D, F. et al. Resonant nonlinear magneto-optical effects in atoms. *Rev. Mod. Phys.* 74, 1153 (2002).
- [2] Kominis, I, K., Kornack, T, W., Allred, J, C. et al. A sub- femtotesla multichannel atomic magnetometer. *Nature.* 422, 596 (2003).
- [3] Budker, D., Romalis, M. Optical magnetometry. *Nat. Phys.* 3, 227 (2007).
- [4] Jiang, M., Su, H., Garcon, A., Peng, X., Budker, D. Search for axion-like dark matter with spin-based amplifiers. *Nature Phys.* 17 (12), 1402-1407 (2021).
- [5] Altarev, I., Baker, C, A., Ban, G. et al. Test of Lorentz in-variance with spin precession of ultracold neutrons. *Phys. Rev. Lett.* 103, 081602 (2009).
- [6] Boto, E., Holmes, N., Leggett, J. et al. Moving magnetoencephalography towards real-world applications with a wearable system. *Nature.* 555 (7698): 657-661, 657 (2018).
- [7] Bao, G., Wickenbrock, A., Rochester, S. et al. Suppression of the nonlinear Zeeman effect and heading error in Earth-field-range alkali-vapor magnetometers. *Phys. Rev. Lett.* 120.033202 (2018).
- [8] Wolfgramm, F., Cere, A., Beduini, F, A. et al. Squeezed-light optical magnetometry. *Phys. Rev. Lett.* 105 (5), 053601 (2010).

连续变量量子密钥分发下基于弱相干态的高效帧同步方案

董婧¹, 王涛^{1, 2, 3}, 李琅¹, 黄鹏^{1, 2}, 曾贵华^{1, 2, 4}

1.上海交通大学量子感知与信息处理研究所, 上海 200240

2.上海量子科学中心, 上海 201315

3. tonystar@sjtu.edu.cn

4. ghzeng@sjtu.edu.cn

摘要正文:

帧同步是量子密钥分发 (QKD) 中的一个关键步骤, 是密钥提取的前提。由于连续变量 QKD 系统中存在极低信噪比 (SNR) 与快速相位漂移, 因此对于高效帧同步有着较大的需求。在本文中, 我们提出了一个基于弱相干态的帧同步方案。该方案将一串 Zadoff-Chu 序列编码到一系列相干态脉冲上实现帧同步。其同步性能分别在不同传输距离、发射功率、频率偏移、相位漂移下通过 Monte Carlo 仿真进行分析。其性能也与其他同步序列进行了对比, 证明了该方案具有更好的噪声容忍能力。我们设置了光学实验证明该方案可在低 SNR (大约 -20 dB) 的环境下运行, 且适用的 SNR 下限可通过增加同步序列长度来降低。由于具有较高的效率与噪声容忍能力, 该方案可对基于弱相干态的 QKD 与构建未来量子网络提供技术支持。

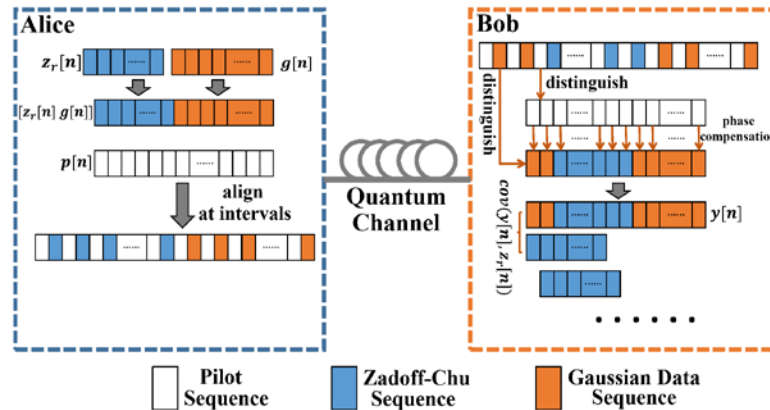


图 1 基于弱相干态的高效帧同步方案原理示意图

关键词: 连续变量量子密钥分发, 帧同步, Zadoff-Chu 序列

参考文献:

- [1] F. Grosshans and P. Grangier, Continuous Variable Quantum Cryptography Using Coherent States, Phys. Rev. Lett. 88, 057902(2002).
- [2] C. Weedbrook, A. M. Lance, W. P. Bowen, T. Symul, T. C. Ralph, and P. K. Lam, Quantum Cryptography without Switching, Phys. Rev. Lett. 93, 170504(2004).
- [3] F. Grosshans and N. J. Cerf, Continuous-Variable Quantum Cryptography Is Secure Against Non-Gaussian Attacks, Phys. Rev. Lett. 92, 047905(2004).
- [4] J. Lodewyck and P. Grangier, Tight bound on the coherent-state quantum key distribution with heterodyne detection, Phys. Rev. A 76, 022332(2007).

- [5] J. Sudjana, L. Magnin, R. García-Patrón, and N. J. Cerf, Tight bounds on the eavesdropping of a continuous-variable quantum cryptographic protocol with no basis switching, *Phys. Rev. A* 76, 052301(2007).
- [6] M. Navascués, F. Grosshans, and A. Acín, Optimality of Gaussian Attacks in Continuous-Variable Quantum Cryptography, *Phys. Rev. Lett.* 97, 190502(2006).
- [7] R. García-Patrón and N. J. Cerf, Unconditional Optimality of Gaussian Attacks Against Continuous-Variable Quantum Key Distribution, *Phys. Rev. Lett.* 97, 190503(2006).
- [8] A. Leverrier and P. Grangier, Simple proof that Gaussian attacks are optimal among collective attacks against continuous-variable quantum key distribution with a Gaussian modulation, *Phys. Rev. A* 81, 062314(2010).
- [9] R. Renner and J. I. Cirac, de Finetti Representation Theorem for Infinite-Dimensional Quantum Systems and Applications to Quantum Cryptography, *Phys. Rev. Lett.* 102, 110504(2009).
- [10] A. Leverrier, F. Grosshans, and P. Grangier, Finite-size analysis of a continuous-variable quantum key distribution, *Phys. Rev. A* 81, 062343(2010).
- [11] M. Christandl, R. König, and R. Renner, Postselection Technique for Quantum Channels with Applications to Quantum Cryptography, *Phys. Rev. Lett.* 102, 020504(2009).
- [12] A. Leverrier, R. García-Patrón, R. Renner, and N. J. Cerf, Security of Continuous-Variable Quantum Key Distribution against General Attacks, *Phys. Rev. Lett.* 110, 030502(2013).
- [13] A. Leverrier, Security of Continuous-Variable Quantum Key Distribution via a Gaussian de Finetti Reduction, *Phys. Rev. Lett.* 118, 200501(2017).
- [14] D. Huang, P. Huang, D. Lin, and G. Zeng, Long-distance continuous-variable quantum key distribution by controlling excess noise, *Sci. Rep.* 6, 19201(2016).
- [15] Y. C. Zhang, Z. Chen, S. Pirandola, X. Wang, C. Zhou, B. Chu, Y. Zhao, B. Xu, S. Yu, and H. Guo, Long-Distance Continuous-Variable Quantum Key Distribution over 202.81 km of Fiber, *Phys. Rev. Lett.* 125, 010502(2020).
- [16] T. Wang, P. Huang, Y. Zhou, W. Liu, H. Ma, S. Wang, and G. Zeng, High key rate continuous-variable quantum key distribution with a real local oscillator, *Opt. Express* 26, 2794(2018).
- [17] G. Zhang, J. Y. Haw, H. Cai, F. Xu, S. M. Assad, J. F. Fitzsimons, X. Zhou, Y. Zhang, S. Yu, J. Wu, W. Ser, L. C. Kwek, and A. Q. Liu, An integrated silicon photonic chip platform for continuous-variable quantum key distribution, *Nat. Photonics* 13, 839(2019).
- [18] S. K. Liao et al., Satellite-to-ground quantum key distribution, *Nature(London)* 549, 43(2017).
- [19] Y. -A. Chen et al., An integrated space-to-ground quantum communication network over 4,600 kilometres, *Nature(London)* 589, 214(2021).
- [20] H. Liu et al., Field Test of Twin-Field Quantum Key Distribution through Sending-or-Not-Sending over 428 km, *Phys. Rev. Lett.* 126, 250502(2021).
- [21] X. Wan, K. Cui, Y. Gao, H. F. Zhang, C. L. Luo, and J. Wang, Design of high-precision synchronization in quantum key distribution system, *Chin. J. Quantum Electron.* 28, 324(2011).
- [22] Z. Y. Shen, J. Fang, G. Q. He, and G. H. Zeng, Synchronization scheme and experimental realization in continuous variable quantum key distribution system, *Chin. J. Lasers* 40, 0305004(2013).
- [23] Y. M. Liu, C. Wang, D. Huang, P. Huang, X. Y. Feng, J. Y. Peng, Z. W. Cao, and G. H. Zeng, Study of synchronous technology in high-speed continuous variable quantum key distribution system, *Acta Optica Sinica* 35, 0106006(2015).
- [24] D. K. Lin, P. Huang, D. Huang, C. Wang, J. Y. Peng, and G. H. Zeng, High performance frame synchronization for continuous variable quantum key distribution systems, *Opt. Express* 23, 22190(2015).
- [25] R. Chen, P. Huang, D. W. Li, Y. Q. Zhu, and G. H. Zeng, Robust frame synchronization scheme for continuous-variable quantum key distribution with simple process, *Entropy* 21, 1146(2019).

- [26] P. Wang, P. Huang, R. Chen, and G. Zeng, Robust frame synchronization for free-space continuous-variable quantum key distribution, *Opt. Express* 29, 25048(2021).
- [27] D. B. S. Soh, C. Brif, P. J. Coles, N. Lütkenhaus, R. M. Camacho, J. Urayama, and M. Sarovar, Self-Referenced Continuous-Variable Quantum Key Distribution Protocol, *Phys. Rev. X* 5, 041010(2015).
- [28] B. Qi, P. Lougovski, R. Pooser, W. Grice, and M. Bobrek, Generating the Local Oscillator “Locally” in Continuous-Variable Quantum Key Distribution Based on Coherent Detection, *Phys. Rev. X* 5, 041009(2015).
- [29] D. Huang, P. Huang, D. K. Lin, C. Wang, and G. H. Zeng, High-speed continuous-variable quantum key distribution without sending a local oscillator, *Opt. Lett.* 40, 3695(2015).
- [30] A. Marie and R. Alléaume, Self-coherent phase reference sharing for continuous-variable quantum key distribution, *Phys. Rev. A* 95, 012316(2017).
- [31] T. Wang, P. Huang, Y. M. Zhou, W. Q. Liu, and G. H. Zeng, Pilot-multiplexed continuous-variable quantum key distribution with a real local oscillator, *Phys. Rev. A* 97, 012310(2018).
- [32] F. Laudenbach, B. Schrenk, C. Pacher, M. Hentschel, C. H. F. Fung, F. Karinou, A. Poppe, M. Peev, and H. Hubel, Pilot-assisted intradyne reception for high-speed continuous-variable quantum key distribution with true local oscillator, *Quantum* 3, 193(2019).
- [33] S. Kleis, M. Rueckmann, and C. G. Schaeffer, Continuous variable quantum key distribution with a real local oscillator using simultaneous pilot signals, *Opt. Lett.* 42, 1588(2017).
- [34] B. Qi and C. C. W. Lim, Noise Analysis of Simultaneous Quantum Key Distribution and Classical Communication Scheme Using a True Local Oscillator, *Phys. Rev. Appl.* 9, 054008(2018).
- [35] H. Wang, Y. D. Pi, W. Huang, Y. Li, Y. Shao, J. Yang, J. L. Liu, C. L. Zhang, Y. C. Zhang, and B. J. Xu, High-speed Gaussian-modulated continuous-variable quantum key distribution with a local local oscillator based on pilot-tone-assisted phase compensation, *Opt. Express* 28, 32882(2020).
- [36] D. C. Chu, Polyphase codes with good periodic correlation properties, *IEEE Trans. Inf. Theory* 18, 531(1972).
- [37] S. Jiang, Doppler scale estimation for underwater acoustic communications using Zadoff-Chu sequences, Master’s thesis, Shanghai Jiaotong University, 2020.
- [38] L. Li, Research on reducing uplink peak-to-average power ratio in LTE systems, Master’s thesis, Beijing University of Technology, 2011.
- [39] M. Lassen, L. S. Madsen, M. Sabuncu, R. Filip, and U. L. Andersen, Experimental demonstration of squeezed-state quantum averaging, *Phys. Rev. A* 82, 021801(2010).
- [40] S. Fossier, E. Diamanti, T. Debuisschert, R. Tualle-Broui, and P. Grangier, Improvement of continuous-variable quantum key distribution systems by using optical preamplifiers, *J. Phys. B* 42, 114014(2009).

Forced carrier perturbation opens a loophole for chip-based continuous variable quantum key distribution system

Lang Li, Tao Wang, Peng Huang, Jing Dong, Zhiyue Zuo, Guihua Zeng

State Key Laboratory of Advanced Optical Communication Systems and Networks,
Center for Quantum Sensing and Information Processing, Shanghai Jiao Tong University,
Shanghai 200240, People's Republic of China and Shanghai Research Center for
Quantum Sciences, Shanghai 201315, People's Republic of China
NingJingZhiYuan_SJTU@sjtu.edu.cn

摘要正文：连续变量量子密钥分发（Continuous-Variable Quantum Key Distribution,简称CVQKD）系统的集成化对于构建高性能、低成本的CVQKD系统具备极大价值和潜力。在之前所有的CVQKD系统研究中，探测器的量子效率可以被提前校准并且被认为不变。但是当系统的尺寸缩小至片上级别，尤其是波导非均匀、重掺杂或其他非完美物理因素的情况下，自由载流子吸收和散射损耗将会凸显出来，这将直接导致载流子因本振光微小抖动而作剧烈扰动，从而进一步导致片上探测器的量子效率动态变化。本文中，我们提出了一个实际的基于芯片的探测模型，基于该模型的大量数值仿真结果表明实际系统将会因动态变化的量子效率而面临潜在的安全性威胁^[1]。此外我们提出两种防御策略来解决基于芯片的CVQKD系统中可能普遍面临的实际安全性问题。该工作为构建具有更严格的实际安全性的 CVQKD 芯片系统提供了理论参考及建设性实际解决方案。

关键词：连续变量量子密钥分发芯片、实际安全性问题、片上量子探测效率

参考文献

- [1] Li, L., Huang, P., Wang, T., and Zeng, G., Forced carrier perturbation opens a loophole for chip-based continuous variable quantum key distribution system. Physical Review Applied, 2021 (submitted).

基于厄米高斯指针的高精度旋转测量

夏彬珂, 黄靖正, 李洪婧, 肖太龙, 曾贵华

上海交通大学区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室, 上海, 200240

mogician@sjtu.edu.cn

近年来, 光束的轴向旋转在光科学与应用中展现出了巨大的潜力, 例如干涉陀螺仪^[1]、光镊^[2], 旋转多普勒效应^[3-5]以及磁场测量^[6]。因此, 探寻对光束旋转更精确的测量方式成为了目前光科学与应用领域的—个重要课题。传统上, 通过在携带轨道角动量 (orbital angular momentum, OAM) 的光束中, 比如拉盖尔高斯光束, 引入量子纠缠^[7]、N00N 态^[8,9]等量子资源, 破坏光束的旋转对称性, 以实现—对光束旋转的精密测量。最近, Vincenzo 等学者还提出了一种基于轨道角动量与偏振的经典纠缠态的光束旋转测量方案, 实验上能够达到接近 μrad 级别的精度^[10]。但是, 这些方案均需要加载非常大的 OAM, 例如 Vincenzo 等提出的方案需要调制高达 100 的 OAM 数。并且这些方案均只能在单光子级别下探测信号, 甚至需要调制量子资源, 这在实验实现上非常复杂, 同时也限制了精度提升的稳定性。为了寻找更简便的光束旋转测量方案, Omar 等学者将角向高斯分布指针引入到弱值放大方案中, 实现了精度为 7 mrad 的旋转测量^[11]。

尽管—以前的工作基本都关注于如何通过增加光束携带 OAM 的值来提升旋转测量精度, 但是我们发现旋转测量的理论精度极限是由测量指针的 OAM 分布方差决定的, 而不是其 OAM 的值。因此, 我们在这个工作中引入厄米高斯 (Hermite-Gaussian, HG) 指针进行旋转测量, 因为其 OAM 方差会随着空间模式数的提升而不断增大。具体来说, 我们将 mn 阶的厄米高斯态 (HG_{mn}) 作为初始指针引入到一个旋转耦合的弱测量方案中。经过后选择以后, 旋转参数被完全加载到一个与初始指针态正交的 HG 态上, 该参数承载态是一个 HG_{mn} 态邻模 $\text{HG}_{m-1,n+1}$ 与 $\text{HG}_{m+1,n-1}$ 的叠加态。最后, 将指针投影到承载参数的 HG 态上, 旋转参数可以通过投影光强直接解调出来, 并且其测量精度的量子极限通过因子 $2mn+m+n$ 增强。

为验证这一理论, 我们通过在光学系统中引入 mn 阶 HG 光束, 实验实现了对光束旋转的增强测量。由于旋转参数由单一 HG 态承载, 我们通过一次投影测量即可解调出旋转参数, 而不需要像 Omar 等的工作一样对指针末态的 OAM 进行层析投影测量^[11]。特别是, 我们实验中仅用 5×5 阶的 HG 光束便实现了精度为 $0.89\ \mu\text{rad}$ 的旋转测量。因此, 我们提出了一种实现更简单且精度更高的旋转测量方案, 这一结果在光学测量、遥感、生物成像和导航等系统^[12,13]中具有巨大的应用潜力。

关键词: 旋转测量, 弱测量, 厄米高斯, 轨道角动量

参考文献:

- [1] J. K. Stockton, K. Takase, and M. A. Kasevich, Absolute geodetic rotation measurement using atom interferometry, *Phys. Rev. Lett.* 107, 133001 (2011).
- [2] M. Padgett and R. Bowman, Tweezers with a twist, *Nature Photonics* 5, 343 (2011).
- [3] J. Courtial, D. A. Robertson, K. Dholakia, L. Allen, and M. J. Padgett, Rotational frequency shift of a light beam, *Phys. Rev. Lett.* 81, 4828 (1998).

- [4] M. P. J. Lavery, F. C. Speirits, S. M. Barnett, and M. J. Padgett, Detection of a spinning object using light's orbital angular momentum, *Science* 341, 537 (2013).
- [5] Z. Zhang, L. Cen, J. Zhang, J. Hu, F. Wang, and Y. Zhao, Rotation velocity detection with orbital angular momentum light spot completely deviated out of the rotation center, *Opt. Express* 28, 6859 (2020).
- [6] S. Shi, D.-S. Ding, Z.-Y. Zhou, Y. Li, W. Zhang, and B.-S. Shi, Magnetic-field-induced rotation of light with orbital angular momentum, *Applied Physics Letters* 106, 261110 (2015).
- [7] R. Fickler, R. Lapkiewicz, W. N. Plick, M. Krenn, C. Schae, S. Ramelow, and A. Zeilinger, Quantum entanglement of high angular momenta, *Science* 338, 640 (2012).
- [8] A. K. Jha, G. S. Agarwal, and R. W. Boyd, Supersensitive measurement of angular displacements using entangled photons, *Phys. Rev. A* 83, 053829 (2011).
- [9] F. Bouchard, P. de la Hoz, G. Bjork, R. W. Boyd, M. Grassl, Z. Hradil, E. Karimi, A. B. Klimov, G. Leuchs, J. Rehacek, and L. L. Sanchez-Soto, Quantum metrology at the limit with extremal majorana constellations, *Optica* 4, 1429 (2017).
- [10] V. D'Ambrosio, N. Spagnolo, L. Del Re, S. Slussarenko, Y. Li, L. C. Kwek, L. Marrucci, S. P. Walborn, L. Aolita, and F. Sciarrino, Photonic polarization gears for ultrasensitive angular measurements, *Nature Communications* 4, 2432 (2013).
- [11] O. S. Magana Loaiza, M. Mirhosseini, B. Rodenburg, and R. W. Boyd, Amplification of angular rotations using weak measurements, *Phys. Rev. Lett.* 112, 200401 (2014).
- [12] C. Rosales-Guzman, N. Hermosa, A. Belmonte, and J. P. Torres, Experimental detection of transverse particle movement with structured light, *Scientific Reports* 3, 2815 (2013).
- [13] N. Uribe-Patarroyo, A. Fraine, D. S. Simon, O. Minaeva, and A. V. Sergienko, Object identification using correlated orbital angular momentum states, *Phys. Rev. Lett.* 110, 043601 (2013).

基于弱测量方法的自适应时变参量实时估计

宋琦 李洪婧 黄靖正 肖太龙 谭潇睿 夏彬珂 曾贵华

区域光纤网与新型光通信系统国家重点实验室，量子信息与信号处理研究所，

上海市闵行区东川路 800 号上海交通大学，200240

songqi1996@sjtu.edu.cn

量子传感通过使用量子系统或者量子资源实现以更高的灵敏度和精度对物理量进行测量，其最重要的两个特征是对感兴趣的信号的强烈响应和使不需要的噪声的干扰最小化^[1,2]。通常情况下，量子传感可以分为制备指针态、感兴趣的信号的参数化、读取最终状态和经典统计处理四个过程^[2,3]。对于许多实际应用，如量子导航、量子雷达等，感兴趣的信号通常是未知、随机且随时间变化的^[4,5]。因此，时变参量估计是量子传感中的一个富有潜力且具有挑战性的任务。

考虑到时变参量估计对探测器的探测范围和响应频率的要求，本文提出了一种基于弱测量方法的自适应时变参量实时估计的方法。本文的研究内容可以分为理论模型建立、精度分析和实用性分析三个部分。理论模型建立部分通过在有弱测量方法中插入参考相位并进行光强分束探测^[6-11]，能够实现未知时变参量的实时探测，并具有可调节的探测灵敏度和线性动态范围。在此基础上，采用费舍信息矩阵对该方法进行了精度分析，分析结果表明该方法的精度极限可以通过使用非经典资源进行增强。当采用最优高斯态的压缩光作为光源时，该方法的精度极限可以超越标准量子极限，达到海森堡标度^[12-14]。在实用性分析部分，理论分析和仿真数值仿真进一步验证了方法的实际应用价值，结果表明，该方法对光源存在相对强度噪声以及探测器存在最小探测强度和探测误差等非理想测量条件具有鲁棒性。

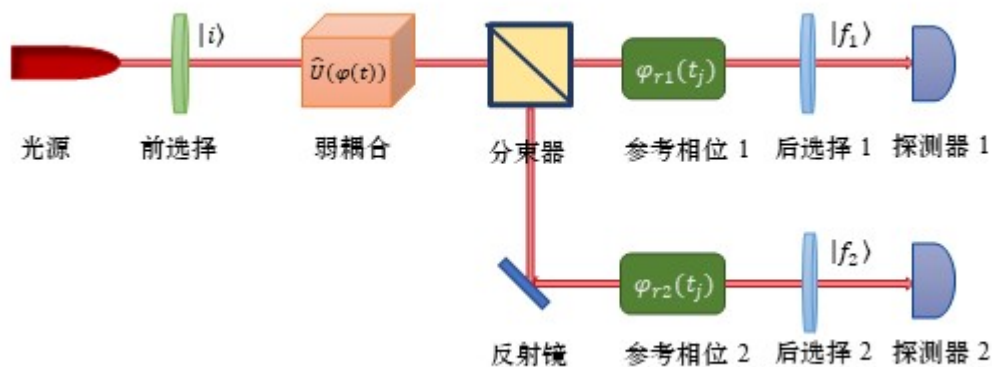


图1 基于弱测量方法的自适应时变参量估计的原理框图

关键词：量子传感，时变参量估计，弱测量，参考相位

参考文献

- [1] Giovannetti V. et al., Quantum Metrology, Physical Review Letters, 91, 010401 (2006).
- [2] Degen C. L. et al., Quantum Sensing, Reviews Modern of Physics, 89, 035002 (2017).
- [3] Liu J. et al., Quantum Fisher Information Matrix and Multiparameter Estimation, Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical, 53, 023001 (2020).

- [4] OSA Industry Development Associates 2020, OIDA Quantum Photonics Roadmap: Every Photon Counts, Optica Industry Report (2020).
- [5] Zheng K. et al., Quantum-enhanced Stochastic Phase Estimation with the SU (1,1) Interferometer, Photonics Research, 8, 10, 1653-1661 (2020).
- [6] Aharonov Y. et al., How the Result of a Measurement of a Component of the Spin of a Spin -1/2 Particle can Turn Out to be 100, Physical Review Letters, 60, 1351-1354 (1988).
- [7] Ritchie N. W. M. et al., Realization of a Measurement of a "Weak Value", Physical Review Letters, 66, 1107-1110 (1991).
- [8] Dressel J. et al., Colloquium: Understanding Quantum Weak Values: Basics and Applications, Reviews Modern of Physics, 86, 307-316 (2014).
- [9] Li H. et al., High Precision Phase Estimation with Controllable Sensitivity and Dynamic Range, Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics, 54, 215503 (2021).
- [10] Huang J. et al., Weak-value Amplification Metrology without Spectral Analysis, Physical Review A, 97, 063853 (2018).
- [11] Qiu X. et al., Precision Phase Estimation based on Weak-value Amplification, Applied Physics Letters, 110, 071105 (2017).
- [12] Monras A., Optimal Phase Measurements with Pure Gaussian States, Physics Review A, 73, 033821 (2006).
- [13] Berni A. A. et al., Ab Initio Quantum-enhanced Optical Phase Estimation Using Real Time Feedback Control, Nature Photonics, 9, 9, 577-581 (2015).
- [14] Yu J. et al., Quantum Enhanced Optical Phase Estimation with a Squeezed Thermal State, Physical Review Applied, 13, 024037(2020).

可调灵敏度和动态范围的高精度相位估计

谭潇睿 李洪婧 宋琦 曾贵华

区域光纤网与新型光通信系统国家重点实验室，量子信息与信号处理研究所，

上海市闵行区东川路 800 号上海交通大学，200240

Xiaorui_Tan@sjtu.edu.cn

高精度的相位估计对于许多重要的物理量探测起着至关重要的作用，是现代物理及实际应用中的核心问题之一[1-3]。弱值放大弱测量和改进的弱测量可用于测量一些高灵敏度、高精度的微小物理效应[4-9]，如光的自旋霍尔效应[7]、小光束偏转等[10]，速度测量[11]，频移[12]，温度测量[13]和离子浓度检测[14]。需要指出的是，上述改进方法的最终灵敏度线性动态范围仅为阿托秒量级。但是，实际应用中需要估计的相位是一个随机的、未知的参数，测量结果对被测系统有很强的交互作用，很难实现基于弱测量的高精度估计。根据实际的测量条件和检测设备，实现大动态范围的高精度相位估计是十分重要的，这可能是导致弱测量走向广泛而复杂的实际应用的关键障碍。

本文提出了一种可调灵敏度和动态范围的高精度相位估计方法。本文首先对参考相位弱测量的原理进行了介绍，然后进行了原理性实验验证，结果表明通过在弱测量中插入参考态，能够实现高精度的相位估计，使弱测量技术能够在更大的动态范围内使用。理论分析部分在弱测量中插入参考态，并根据不同的参考态将演化过程分为几个部分。对于较大的相位测量，通过在前选择和后选择之间引入一个参考相位，可以抵消前选择态和参考态之间的相位。通过调整基准相位，可以方便地控制测量相位的灵敏度和线性动态范围。原理性实验验证结果表明，当测量相位超出了标准弱测量和改进弱测量的窄的动态范围时，通过插入参考相位，参考相位弱测量技术能够在灵敏度较低、线性动态范围较宽的区域进行测量。事实上，该方法同样适用于任意的后置选择。该方法可以根据参考相位控制后选择角度。我们可以在实验中方便地旋转任意的后选角，然后通过测量前或测量后向系统中引入参考相位来选择合适的测量灵敏度和被测相位的线性动态范围。

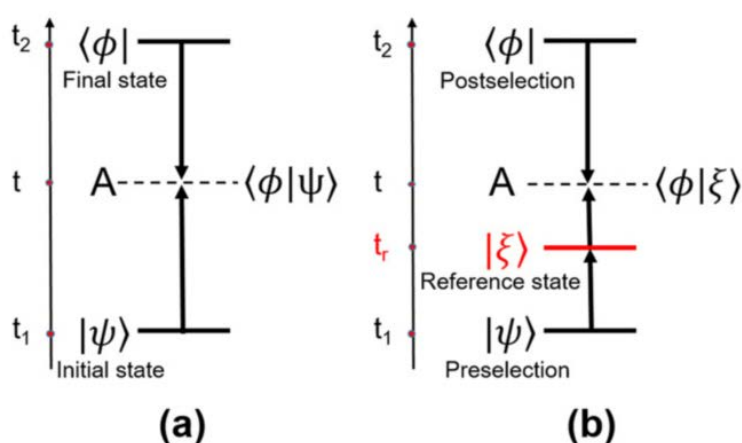


图1 弱测量与参考相位弱测量中状态迁移过程示意图

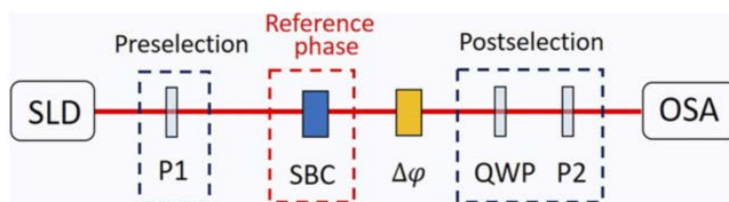


图2 参考相位弱测量原理示意图

关键词：相位估计，动态范围，参考相位，弱测量

参考文献

- [1] Abbott B. P. et al., Tests of general relativity with GW150914, *Physical Review Letters*, **116** 221101 (2016).
- [2] Monnier J. D., Optical interferometry in astronomy, *Reports On Progress In Physics*, **66** 789 (2003).
- [3] Huang D. et al., Optical coherence tomography, *Science*, **254** 1178 (1991).
- [4] Zhang Z. H. et al., Ultrasensitive biased weak measurement for longitudinal phase estimation, *Physical Review A*, **94** 053843 (2016).
- [5] Brunner N. et al., Measuring small longitudinal phase shifts: weak measurements or standard interferometry?, *Physical Review Letters*, **105** 010405 (2010).
- [6] Aharonov Y. et al., How the result of a measurement of a component of the spin of a spin-1/2 particle can turn out to be 100, *Physical Review Letters*, **60** 351 (1988).
- [7] Onur H. et al., Observation of the spin hall effect of light via weak measurements, *Science*, **319** 787–90 (2008).
- [8] Strubi G et al., Measuring ultrasmall time delays of light by joint weak measurements, *Physical Review Letters*, **110** 083605 (2013).
- [9] Huang J. et al., Toward ultrahigh sensitivity in weak-value amplification, *Physical Review A*, **100** 012109 (2019).
- [10] Ben Dixon P. et al., Ultrasensitive beam deflection measurement via interferometric weak value amplification, *Physical Review Letters*, **102** 173601 (2009).
- [11] Viza G. I. et al., Weak-values technique for velocity measurements, *Optics Letters*, **38** 2949–52 (2013).
- [12] Starling D. J. et al., Precision frequency measurements with interferometric weak values, *Physical Review A*, **82** 063822 (2010).
- [13] Li H. et al., Ultra-sensitive measurement of third-order optical nonlinearity via weak value amplification, *Applied Physics Letters*, **114** 161906 (2019).
- [14] Liu J. et al., Ultrasensitive detection of ion concentration based on photonic spin Hall effect, *Applied Physics Letters*, **115** 251102 (2019).

周期驱动系统中的可调量子干涉效应及全脉冲光开关

韩 婴 婴

广东省深圳市深圳技术大学 518118

Yingyinghan@whu.edu.cn

近年来, 周期驱动的量子调控手段因其可以诱导出新奇的量子特性, 被广泛应用在各种自然和人造量子系统中, 并引发了 Floquet engineering 这一科学前沿热点。当周期驱动被应用在开放量子系统时, 量子系统与耗散环境相互作用的动力学稳态为包含微运动的非平衡稳态。在该报告中, 我们将重点关注周期驱动开放三能级系统的动力学稳态特性。一方面关注周期驱动系统的稳态特性, 并系统研究了周期驱动开放两能级和三能级系统中的可调量子干涉效应, 如 coherent destruction tunneling, electromagnetically induced transparency (EIT) and Autler-Townes splitting (ATS) [1]。另一方面关注周期驱动开放三能级系统的非平衡稳态, 并首次提出了全脉冲的全光开关[2]。

参考文献:

1. Yingying Han, Minchen Qiao, Xiao-Qing Luo, Tie-Fu Li, Wenxian Zhang, Xiu-Hao Deng, J.Q. You, Dapeng Yu. "Tunable quantum interference effects in Floquet two- and three-level systems", Physical Review A (Accepted, 2022).
2. Yingying Han, Wenxian Zhang, Weidong Li. "All-optical pulse switching with a periodically driven dissipative quantum system", Optics Express 30, 7987 (2022).

四脉冲原子干涉仪中原子运动轨迹优化研究

刘简, 路想想, 裴闯, 张俊峰, 刘为任, 赵小明

天津航海仪器研究所, 天津 300130

liujianxyz@foxmail.com

随着相干原子操控与冷却技术取得突破性进展, 基于原子干涉的量子惯性传感器得到迅速发展, 其中原子干涉陀螺仪因其超高灵敏度和无长期漂移等优点在惯性导航领域受到广泛关注。原子波包在拉曼光作用下分别沿两条路径运动并最终形成具有一定面积的干涉环路, 通过萨格奈克效应实现对转动角速度的测量。基于原子喷泉的四脉冲原子干涉陀螺仪可以有效扩展原子干涉环路面积, 且原子沿重力方向上抛与下落过程构成的差分测量有利于抑制共模噪声的影响。然而当原子抛射方向与重力方向存在夹角时, 会降低原子探测数目和拉曼跃迁效率, 影响原子干涉条纹信噪比和对比度, 并导致重力加速度耦合到转动相移中。另一方面, 若上下两束拉曼光有效波矢的平行度存在偏差, 由于动量守恒两条干涉路径无法完全闭合, 而根据德布罗意假设只有当两条干涉路径交会时的距离小于波源的相干长度时, 该物质波干涉仪才能够发生干涉。因此, 原子抛射与干涉运动轨迹的精确修调对于四脉冲原子干涉陀螺仪的性能提升至关重要。

首先, 从理论和实验两个方面研究了原子抛射垂直度对原子探测数目, 拉曼作用效率和干涉条纹对比度的影响, 在拉曼光方向存在抛射垂直度偏差时, 会降低探测到的原子数目; 在探测光方向存在抛射垂直度偏差时, 会降低拉曼作用效率。其次, 基于四脉冲原子干涉仪提出一种通过分振幅法产生双光束光学干涉现象, 从而对两束拉曼光平行度进行调节的方法。研究了光学干涉图样与拉曼光平行度偏差的关系, 并与双拉曼光构造的拉姆塞伯德原子干涉条纹对比度进行了对比。实验结果表明光学干涉条纹的分布走向能够体现拉曼光平行度的偏离方向, 光学干涉条纹的宽度能够反映拉曼光平行度的偏差大小。在优化原子抛射与干涉运动轨迹的基础上, 构建了总干涉时间为234ms的四脉冲原子干涉仪, 干涉条纹对比度为20.6%。

关键词: 原子干涉, 原子轨迹, 四脉冲

参考文献

- [1] M. Altorio, L. A. Sidorenkov, R. Gautier, D. Savoie, A. Landragin, and R. Geiger, Accurate trajectory alignment in cold-atom interferometers with separated laser beams, *Phys. Rev. A* 101, 033606 (2020).
- [2] G Tackmann, P Berg, C Schubert, S Abend, M Gilowski, W Ertmer, and E M Rasel, Self-alignment of a compact large-area atomic Sagnac interferometer, *New J. Phys.* 14, 015002 (2012).
- [3] Z.-W. Yao, S.-B. Lu, R.-B. Li, J. Luo, J. Wang, and M.-S. Zhan, Calibration of atomic trajectories in a large-area dual-atom-interferometer gyroscope, *Phys. Rev. A* 97, 013620 (2018).

利用域排列算法设计铌酸锂晶体实现 $3\mu\text{m}$ 中红外 波段频域纯态单光子源

张晨涛 石小涛 朱文新 朱金龙 郝向英* 金锐博**

武汉工程大学, 光学信息与模式识别湖北省重点实验室, 湖北武汉 430205

Email: * xyhao.321@163.com; ** jrbqyj@foxmail.com

中红外波段的单光子源对于下一代的量子传感、量子通信和量子成像的研究非常重要[1]。目前常用的产生中红外单光子源的方法是基于周期极化铌酸锂 (Periodically Poled Lithium Niobate, 简称PPLN) 自发参量下转换过程。但是, 基于普通PPLN制备的单光子源频域纯度不高, 最高值只有0.82左右[2,3], 会影响量子信息处理方案的保真度。本文利用域设计理论[4,5]对30 mm长LN晶体的4000个域进行了定制化排列, 消除了相位匹配函数中的旁瓣, 获得了高斯型的分布。计算得到的单光子源的频域纯度可达0.99, 其可调谐范围为 $2.7\sim 3.3\mu\text{m}$ [6]。该定制极化铌酸锂 (Customized Poled Lithium Niobate, 简称CPLN) 有望为中红外波段量子信息研究提供性能优异的单光子光源。

关键词: 铌酸锂晶体, 极化周期设计, 中红外波段, 量子光源

参考文献

- [1] 金锐博 and 田颖. 中红外波段量子光源的研究进展. 安徽大学学报: 自然科学版 45, 10 (2021).
- [2] Wei, B. et al. Mid-infrared spectrally-uncorrelated biphotons generation from doped PPLN: a theoretical investigation, Optics Express 29, 256 (2020).
- [3] Chang-Wei Sun 孙昌伟等. Widely tunable single-photon source with high spectral-purity from telecom wavelength to mid-infrared wavelength based on MgO: PPLN. Chinese Physics B 30, 100312 (2021).
- [4] Graffitti F. et al. Pure down-conversion photons through sub-coherence-length domain engineering. Quantum Science & Technology 2, 035001 (2017).
- [5] Graffitti, F. et al. Direct generation of tailored pulsed-mode entanglement, Physical Review Letters 124, 053603 (2020).
- [6] Chen-Tao Zhang 张晨涛等. Preparation of spectrally pure single-photon source at $3\mu\text{m}$ MIR band from lithium niobate crystal using domain sequence algorithm. Acta Physica Sinica. Accepted, (2022).

化学分子纠缠双光子吸收的实验研究

曾梓琦¹, 杨子祥¹, 金锐博^{1*}

1. 武汉工程大学 光学信息与模式识别湖北省重点实验室, 武汉, 430205

*Email: jin@wit.edu.cn

摘要:量子纠缠是现代量子光谱学的核心^[1-2]。与经典的光谱技术相比,纠缠光子(EPs)可以以独特的方式与原子或分子相互作用并提取信息,纠缠双光子吸收(ETPA)是研究分子电子态的新光谱技术的前沿^[3-4]。在双光子吸收(TPA)光谱研究中使用纠缠双光子受到了人们的极大关注,与经典的双光子吸收(CTPA)相比,ETPA可以选择性地激发原子或分子中的电子态,并且由于它与输入强度呈线性比例关系,因此需要的输入通量要小几个数量级^[5]。在本工作中,我们对基于罗丹明B(RhB)分子的纠缠双光子吸收(ETPA)进行了研究。我们在实验中利用10mm长O型PPKT晶体的自发参量下转换(SPDC)过程^[6],产生810nm纠缠双光子。将双光子打入罗丹明B样品中发生纠缠双光子吸收。通过测量放入样品前后的光谱图样,我们直观得到了纠缠双光子的吸收和荧光光谱图像。此外,作为ETPA过程的证据,我们发现ETPA诱导的荧光计数率与输入纠缠光子的计数率之间存在明显的线性依赖关系。本工作对光与物质相互作用的纠缠状态的研究提供了一个新的角度,对于生物化学分子的光谱研究具有重要意义。

关键词: 纠缠双光子吸收; 自发参量下转换; 荧光光谱

参考文献

- [1] B.E.A. Saleh, B.M. Jost, H.-B. Fei, M.C. Teich, Entangled-photon virtual-state spectroscopy, *Phys. Rev. Lett.* 1998, 80 (16):3483.
- [2] R.J. León-Montiel, J. Svozilik, L.J. Salazar-Serrano, J.P. Torres, Role of the spectral shape of quantum correlations in two-photon virtual-state spectroscopy, *New. J. Phys.* 2013, 15 (5): 053023.
- [3] Svozilik J, Peřina Jr J, León-Montiel R J. Two-photon absorption spectroscopy using intense phase-chirped entangled beams[J]. *Chemical Physics*, 2018, 510: 54-59.
- [4] Corona-Aquino S, Calderón-Losada O, Li-Gómez M Y, et al. Experimental Study of the Validity of Entangled Two-Photon Absorption Measurements in Organic Compounds[J]. *The Journal of Physical Chemistry A*, 2022, 126(14): 2185-2195.
- [5] Villabona-Monsalve J P, Burdick R K, Goodson III T. Measurements of entangled two-photon absorption in organic molecules with cw-pumped type-I spontaneous parametric down-conversion[J]. *The Journal of Physical Chemistry C*, 2020, 124(44): 24526-24532.
- [6] Jin R B, Shimizu R. Extended Wiener-Khinchin theorem for quantum spectral analysis[J]. *Optica*, 2018, 5(2): 93-98.

基于深度学习的不同传输距离的分数阶涡旋光束轨道角动量识别

郭焱 吕恒 郑帅君 金锐博 *

武汉工程大学, 光学信息与模式识别湖北省重点实验室, 湖北武汉 430205

*Email: jin@wit.edu.cn

分数阶涡旋光束作为整数阶涡旋光束不可缺少的补充, 具有径向缺口强度分布、更复杂的轨道角动量调制维数等独特的物理特性[1]。由于其分数阶轨道角动量(FOAM)模式, 理论上可以无限增加传输容量, 因此在光通信领域有着巨大的应用前景。但分数阶涡旋光束的螺旋相位不连续特性使得其在湍流环境中更容易受到干扰, 而对扭曲的FOAM模式的精确识别对于基于FOAM的实际通信应用至关重要[2-3]。我们提出了一种基于残差网络的深度学习(DL)方法来精确识别不同传输距离的分数阶拓扑荷的OAM模式。实验结果表明, 在湍流下该方法能够识别传输距离间隔为5cm, 模式间隔为0.1的FOAM模式, 准确率为98.69%。该识别技术将在FOAM的实际应用中打破湍流环境下精度测量的限制[4-7]。

关键词: 分数阶涡旋光束, 湍流, 传输距离, 深度学习, 残差网络

参考文献

- [1] Kotlyar V V, Kovalev A A, Nalimov A G, et al. Evolution of an optical vortex with an initial fractional topological charge[J]. Physical Review A, 102(2): 023516(2020).
- [2] Wang J, Shao Z, Wen Y, et al. All-dielectric metasurface grating for on-chip multi-channel orbital angular momentum generation and detection[J]. Optics Express, 27(13): 18794-18802 (2019).
- [3] Zhang H, Zeng J, Lu X, et al. Review on fractional vortex beam[J]. Nanophotonics, 11(2): 241-273 (2022).
- [4] Heng Lv, Yan Guo, Zi-Xiang Yang, Chunling Ding, Wu-Hao Cai, Chenglong You, Rui-Bo Jin .Identification of diffracted vortex beams at different propagation distances using deep learning[J]. Frontiers in Physics 10, 843932 (2022).
- [5] Zhou ZY, Zhu ZH, Liu SL, Liu SK, Wang K, Shi S, et al. Generation and reverse transformation of twisted light by spatial light modulator. arXiv:1612.04482 (2016).
- [6] Liu Z, Yan S, Liu H, et al. Superhigh-resolution recognition of optical vortex modes assisted by a deep-learning method[J]. Physical review letters, 123(18):183902 (2019).
- [7] Jing G, Chen L, Wang P, et al. Recognizing fractional orbital angular momentum using feed forward neural network[J]. Results in Physics, 28:104619 (2021).

对生物样本的量子光学相干层析成像

王宏伟, 郝向英*, 金锐博**

武汉工程大学光学信息与模式识别湖北省重点实验室, 武汉 430205

Email: *xyhao.321@163.com; **jin@wit.edu.cn

量子光学相干层析成像 (Quantum Optical Coherence Tomography, 简称 QOCT) 是光学相干层析成像 (Optical Coherence Tomography, 简称 OCT) 的量子版本, 是一种性能优于 OCT 的高分辨率三维成像技术[1-4]。在经典的 OCT 过程中, 分辨率是随着光源带宽的增加而增加的, 但同时随着光源带宽的增加, 介质的群速度色散会越来越严重, 从而导致 OCT 轴向分辨率的下降。而 QOCT 则是利用了纠缠光源的纠缠特性突破了 OCT 的这一局限性, 轴向分辨率不仅会固有地提高, 而且还不受群速度色散的影响。在本研究中, 我们基于自发参量下转换过程和 Hong-Ou-Mandel (简称 HOM) 干涉仪提出了一种对生物细胞进行成像的 QOCT 实验方案。我们期待该实验能够促进量子成像技术在生物医学领域的实际应用。

关键词: QOCT; 自发参量下转换; HOM 干涉

参考文献

- [1] Nasr M B. et al., Demonstration of dispersion-canceled quantum-optical coherence tomography, Physical Review Letters 91, 083601(2003).
- [2] Kolenderska S M. et al., Fourier domain quantum optical coherence tomography, Optics Express 28, 29576 (2020).
- [3] Pablo Yepiz-Graciano. et al., Spectrally resolved Hong–Ou–Mandel interferometry for quantum-optical coherence tomography, Photonics Research 8, 1023 (2020).
- [4] Sukhareenko V. et al., Birefringence and scattering characterization using polarization sensitive quantum optical coherence tomography, Optics Letters 46, 2799 (2021).

利用 BBO 晶体空间编码制备频域高维纠缠态

杨子祥¹, 曾梓琦¹, 田颖¹, 金锐博^{1, *}

¹武汉工程大学 光学信息与模式识别湖北省重点实验室, 武汉, 430205

*Email: jin@wit.edu.cn 实验室主页: www.qubob.com

频域高维纠缠态 (Qudits) 可以提高通信的信道容量和抗噪能力, 因而成为基于光纤网络的量子信息处理的重要资源。目前已经有几种方案可以制备频域高维纠缠态, 但是这些方案使用到的实验装置比较复杂。本文提出一个简单的实验方案, 即使用一个掩模板 (Mask) 在空间中对泵浦光进行分割并通过透镜聚焦以不同的入射角度通过BBO晶体, 利用不同入射角对应不同的相位匹配条件来制备高维纠缠态。本技术的关键在于: 1, 泵浦光入射面的入射角只与垂直坐标有关, 而与水平坐标无关。2, 在BBO晶体中心, 不同入射角对应不同的联合频谱分布, 并且不同分布之间的频谱间隔很大, 因而可制备出不同维度的纠缠态。本工作有望为量子信息处理技术的发展提供高质量的频域高维量子纠缠光源。

关键词: 频域高维纠缠态; BBO晶体; 空间编码; 频谱分布

参考文献

- [1]田颖, 蔡吾豪, 杨子祥, 陈峰, 金锐博, 周强, “强聚焦泵浦产生纠缠光子的Hong-Ou-Mandel干涉” 物理学报, 第71卷, 第5期, 054201 (2022)
- [2] Rui-Bo Jin, Ryosuke Shimizu, Mikio Fujiwara, Masahiro Takeoka, Ryota Wakabayashi, Taro Yamashita, Shigehito Miki, Hirotaka Terai, Thomas Gerrits, Masahide Sasaki “Simple method of generating and distributing frequency-entangled qudits” Quantum Science and Technology,1(1), 015004(2016)
- [3] Cozzolino D, Da Lio B, Bacco D, et al. High - dimensional quantum communication: benefits, progress, and future challenges[J]. Advanced Quantum Technologies, 2(12),1900038(2019)
- [4] Chen Y, Ecker S, Bavaresco J, et al. Verification of high-dimensional entanglement generated in quantum interference[J]. Physical Review A, 101(3),032302(2020)

利用元启发式算法设计铌酸锂晶体制备中红外波段纯态单光子源

蔡吾豪¹, 田颖¹, 王顺¹, 由成龙^{2*}, 周强^{3*}, 金锐博^{1,*}

¹武汉工程大学 光学信息与模式识别湖北省重点实验室, 武汉 430205

²路易斯安那州立大学 物理与天文系, 巴吞鲁日 LA 70803

³电子科技大学 基础与前沿研究院, 成都 610054

*邮箱: cyou2@lsu.edu; zhouqiang@uestc.edu.cn; jin@wit.edu.cn

摘要: 中红外波段的量子光源在量子传感、量子成像和量子通信等许多应用中发挥着重要作用。然而, 中红外波段仍然缺乏高质量的量子光源, 例如频域纯态单光子源。在本工作中, 我们提出了使用元启发式算法优化极化铌酸锂晶体产生频域纯态。具体地, 我们采用了粒子群优化算法来优化铌酸锂晶体极化周期的占空比。采用该方法制备的单光子源的频域纯度可以从0.820提高到0.998, 波长可调范围可以覆盖3.0-4.0 μm 。该算法是一种通用技术, 也可以用来设计各种波段的其他准相位匹配晶体。本工作设计的纯态单光子源有望促进中红外波段的量子信息技术的发展^[1-5]。

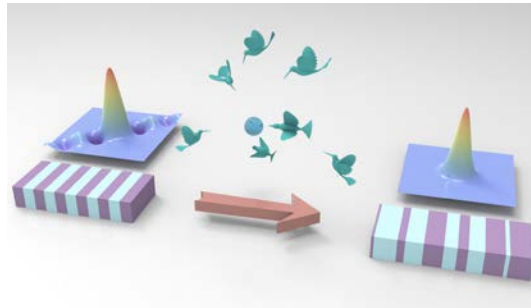


图1: 利用粒子群优化算法优化铌酸锂晶体的概念图。左边是周期极化LN晶体, 其对应的联合频谱分布存在旁瓣, 因而纯度较低。经过粒子群算法优化之后, 得到优化后的LN晶体, 其对应的联合频谱分布不存在旁瓣, 纯度很高。

关键词: 铌酸锂晶体, 粒子群算法, 中红外, 量子光源

参考文献

- [1] Wu-Hao Cai, Ying Tian, Shun Wang, Qiang Zhou, Chenglong You*, and Rui-Bo Jin*, “Optimized Design of the Lithium Niobate for Spectrally-Pure-State Generation at MIR Wavelengths Using Metaheuristic Algorithm”, *Advanced Quantum Technologies* 5(7), 2200028 (2022) **Selected as the front cover of the journal for the July issue**
- [2] 金锐博, 田颖, 中红外波段量子光源的研究进展, *安徽大学学报(自然科学版)* 45, 10 (2021).
- [3] B. Wei, W.-H. Cai, C. Ding, G.-W. Deng, R. Shimizu, Q. Zhou, R.-B. Jin, Mid-infrared spectrally-uncorrelated biphotons generation from doped PPLN: a theoretical investigation, *Opt. Express* 29, 256 (2021).
- [4] P. B. Dixon, J. H. Shapiro, F. N. C. Wong, Spectral engineering by Gaussian phase-matching for quantum photonics, *Opt. Express* 21, 5879 (2013).
- [5] C. Cui, R. Arian, S. Guha, N. Peyghambarian, Q. Zhuang, Z. Zhang, Wave-function engineering for spectrally uncorrelated biphotons in the telecommunication band based on a machine-learning framework, *Phys. Rev. Appl.* 12, 034059 (2019)

Enhancing spin-photon coupling with a micromagnet

Xin-Lei Hei, Xing-Liang Dong, Jia-Qiang Chen, Cai-Peng Shen, Yi-Fan Qiao

and Peng-Bo Li*

Shaanxi Province Key Laboratory of Quantum Information and Quantum Optoelectronic

Devices, School of Physics, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China

*Email: lipengbo@mail.xjtu.edu.cn

Email: 2324018001@qq.com

Abstract : Hybrid quantum systems involving solid-state spins and superconducting microwave cavities play a crucial role in quantum science and technology, but improving the spin-photon coupling at the single quantum level remains challenging in such systems. Here, we propose a simple technique to strongly couple a single solid-state spin to the microwave photons in a superconducting coplanar waveguide cavity via a magnetic microsphere. We show that strong coupling at the single spin level can be realized by virtual magnonic excitations of a nearby micromagnet. The spin-photon coupling strength can be enhanced up to typically 4 orders of magnitude larger than that without the use of the micromagnet. This work can find applications in quantum information processing with strongly coupled solid-state spin-photonic systems.

References:

- [1] Z.-L. Xiang et al., Hybrid quantum circuits: Superconducting circuits interacting with other quantum systems, *Rev. Mod. Phys.* 85, 623 (2013)
- [2] P.-B. Li et al., Hybrid Quantum Device Based on NV Centers in Diamond Nanomechanical Resonators Plus Superconducting Waveguide Cavities, *Phys. Rev. Appl.* 4, 044003 (2015)
- [3] P.-B. Li et al., Enhancing Spin-Phonon and Spin-Spin Interactions Using Linear Resources in a Hybrid Quantum System, *Phys. Rev. Lett.* 125, 153602 (2020)
- [4] C. Gonzalez-Ballester et al., Quantum Acoustomechanics with a Micromagnet, *Phys. Rev. Lett.* 124, 093602 (2020)
- [5] X.-L. Hei et al., Enhancing spin-photon coupling with a micromagnet, *Phys. Rev. A*, 103, 043706 (2021)

利用广义条纹法的旋转多普勒测量

郭振宇

西安交通大学, 710049

gzy_phy@163.com

摘要正文: 旋转多普勒效应(RDE)由于为角速度测量提供了新的思路而引起了广泛关注。RDE测量的核心问题之一是物体螺旋谱的利用。本文提出了一种使用同阶空间模的广义条纹方法,该方法利用了同阶拉盖尔-高斯光束在传播过程中可以积累相同的Gouy相位和具有相同的光束发散角的特性。该方法增加了单次探测的可用探测光束,通过任意叠加同阶空间模,降低了对目标螺旋谱对称性的要求。从而大大提高了目标螺旋频谱的利用率,增强了期望的频移信号。我们在一个原理证明实验中证明了这些优点。我们的工作可以促进遥感在现实环境中的应用,并对光学计量和天文测量具有重要的意义。

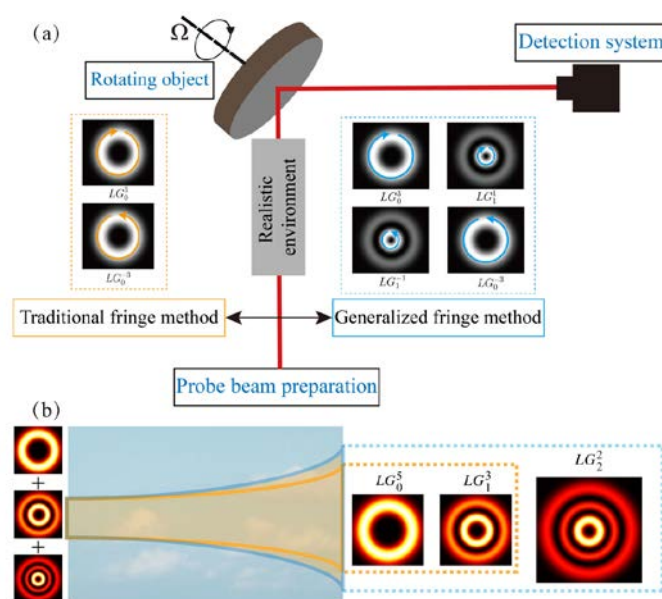


图1 广义条纹法示意图

关键词: 旋转多普勒效应; 拉盖尔高斯光束; 遥感测量转速;

参考文献

[1] Zhenyu Guo. et al., Rotational Doppler measurements by the 2 generalized fringe method, Submitted to Optics Express.

在噪声环境下评估相位估计的量子 Ziv–Zakai bound

常守康

陕西省西安市碑林区咸宁西路 28 号, 710049

a2195662480@163.com

在测量次数有限的情况下, 量子 Ziv–Zakai bound (QZZB) 给出了可获得的精度下限, 现已证实在许多情形下相比于量子 Cramér-Rao bound, QZZB 展现了更好的评估性能^[1]。然而, 在不使用 Tsang^[1] 提出的近似条件下研究噪声环境对 QZZB 的影响仍然是一个难题。在本文中, 利用变分法^[2,3]和有序算符内的积分技术^[4]分别导出了光子损耗环境和相位扩散环境下渐近严格的 QZZB。通过使用一些高斯资源例如相干态、压缩真空态以及双模压缩真空态研究了在这两种噪声环境下 QZZB 的估计性能。结果表明在光子损耗环境下相比于单模压缩真空态和双模压缩真空态, 相干态的 QZZB 展现了更好的性能。更为有趣的是在相位扩散环境下, 在相位扩散强度比较大的范围内 QZZB 对双模压缩真空态的估计性能优于相干态。

参考文献

- [1] M. Tsang, Ziv-Zakai Error Bounds for Quantum Parameter Estimation, *Phys. Rev. Lett.* 108, 230401 (2012).
- [2] B. M. Escher, R. L. de Matos Filho, and L. Davidovich, General framework for estimating the ultimate precision limit in noisy quantum-enhanced metrology, *Nat. Phys.* 7, 406 (2011).
- [3] B. M. Escher, L. Davidovich, N. Zagury, and R. L. de Matos Filho, Quantum Metrological Limits via a Variational Approach, *Phys. Rev. Lett.* 109, 190404 (2012).
- [4] H. Y. Fan and H. R. Zaidi, Application of IWOP technique to the generalized Weyl correspondence, *Phys. Lett. A* 124, 303 (1987).

基于里德堡原子气体中的静止光和暗态极化子

马荣

陕西省西安市碑林区咸宁西路 28 号, 710049

mrong0411@stu.xjtu.edu.cn

当原子系综与相干光场相互作用时,总是能观察到许多有趣的效应。特别是,相干光场的群速度是可控的。Electromagnetically induced transparency(EIT)是最典型的例子,我们得到了慢光。在本文中,提出利用双 Λ 能级结构来研究里德伯态与静止光极化子(SLP)的耦合。我们研究静止里德伯极化子的形成过程及其性质,得到了与在双 Λ 能级结构中的静止光极化子类似的二次色散关系。进一步考虑到系统掺杂里德伯态的情况,探测光场存在由于强的相互作用所导致的吸收。该机制下产生的静止里德伯极化子有望应用于实际,进而使得极化子间相互作用的时间大大增加。同时这种静止光还可以应用于量子信息技术中的全光学相位门。

关键词: 里德伯原子, 暗态极化子, 静止光

参考文献

- [1] A. Arias, G. Lochead, T. M. Wintermantel, S. Helmrich, and S. Whitlock, Phys. Rev. Lett. 122, 053601 (2019).
- [2] H. Pimenta, A. Z. Goldberg, J. Sinclair, and K. Bonsma-Fisher, “Simulating one-dimensional systems with stationary Rydberg dark polaritons,” (2018), arXiv:1803.07565
- [3] C. R. Murray and T. Pohl, Phys. Rev. X 7, 031007 (2017)
- [4] N. Stiesdal, J. Kumlin, K. Kleinbeck, P. Lunt, C. Braun, A. Paris-Mandoki, C. Tresp, H. P. Büchler, and S. Hofferberth, Phys. Rev. Lett. 121, 103601 (2018)

光子自旋霍尔效应

陈改青

陕西省西安市碑林区咸宁西路 28 号, 710049

Cgaiqing@stu.xjtu.edu.cn

平面波在介质表面的折射和反射现象可以由 Snell 定律和 Fresnel 公式来描述,但对于有限宽的光束,其在界面发生反射和折射时,并不完全遵循几何光学的变化规律,出射光束会表现出垂直于入射面的位移,即光子自旋霍尔效应^[1]。光子自旋霍尔效应已经得到了很广泛的应用。但是,由于光子自旋霍尔效应非常微弱,并且直接观测是非常困难的。因此如何使光子自旋霍尔效应更便于观测是非常重要的。Lou 等人在理论和实验上均表明在布儒斯特角附近可以增强光子自旋霍尔效应^[2], Zhou 等人通过考虑由玻璃、金属和空气组成的三层结构中的表面等离子体共振效应,从理论上研究了如何增强光子自旋霍尔效应^[3]。本文中,主要利用二维超材料的特性,来增强光子自旋霍尔效应,进而在实验中便于观察。

参考文献

- [1] Bliokh K Y, Aiello A. Goos-H"anchen and Imbert-Fedorov beam shifts: An overview[J]. Journal of Optics, 2013, 15(1):4001.
- [2] H. Luo, X. Zhou, W. Shu, S. Wen, and D. Fan, "Enhanced and switchable spin Hall effect of light near the Brewster angle on reflection," Phys. Rev. A 84, 043806 (2011).
- [3] W. Zhu and W. She, "Enhanced spin Hall effect of transmitted light through a thin epsilon-near-zero slab," Opt. Lett. 40, 2961–2964 (2015).

基于多测量设置的高维量子导引

瞿睿

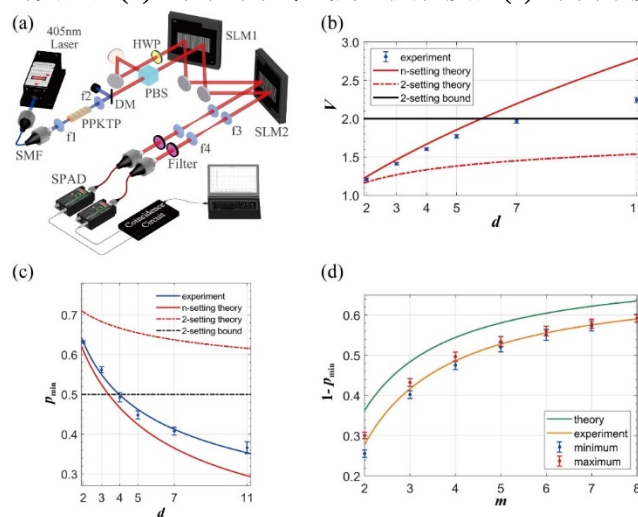
陕西省西安市咸宁西路 28 号西安交通大学物理学院，710049

qr950925@stu.xjtu.edu.cn

摘要正文：高维量子系统最常提及的好处之一是导致更强的相关性，具有对噪声更强的鲁棒性。在该工作中，我们实验证明了 N 测量设置的线性高维量子转向判据。实验结果表明，与两测量设置对比，基于多测量设置的方法可以揭示更高的量子导引强度。而这也使得高维量子导引可以从更高噪声的环境中被提取出来。我们在实验中证明了具有63.4%噪声比例的11维各向同性态的导引特性，并且在5维和7维的可容忍噪声阈值均超过了50%，超越了两测量设置判据最高容忍50%噪声的限制。我们的工作提供了实际的单边设备独立的量子信息处理的潜力，容忍噪声环境，有损检测，并超越目前的传输距离限制。

同时，真正的高维量子导引最近被提出用于验证单方设备无关条件下的高维纠缠，用施密特数量化[Phys. Rev. Lett. 126, 200404(2021)]。由于导引测试的核心挑战之一是容忍的噪声阈值，这里我们开了一种更鲁棒的方法，以在嘈杂环境中验证真正的高维量子导引。在理论上，我们提出了基于多测量设置的真正高维量子导引判据，超越了之前只有两个测量设置的限制。虽然目前的多设定准则不是紧的，但我们从理论上证明了它比紧的二测量设定判据对噪声有更强的鲁棒性。为了测试我们方法在实际条件下的实用性，我们报告了一个实验演示，使用光子轨道角动量纠缠态在维度 $D=3,4,5$ 。我们的工作提供了一个更可靠的方法来见证实际的单方设备无关量子信息处理中的量子纠缠维度。

图1: (a) 双光子高维导引实验; (b) 对导引不等式的违反程度; (c) 不同维度的噪声阈值; (d) 不同



测量设置的噪声阈值

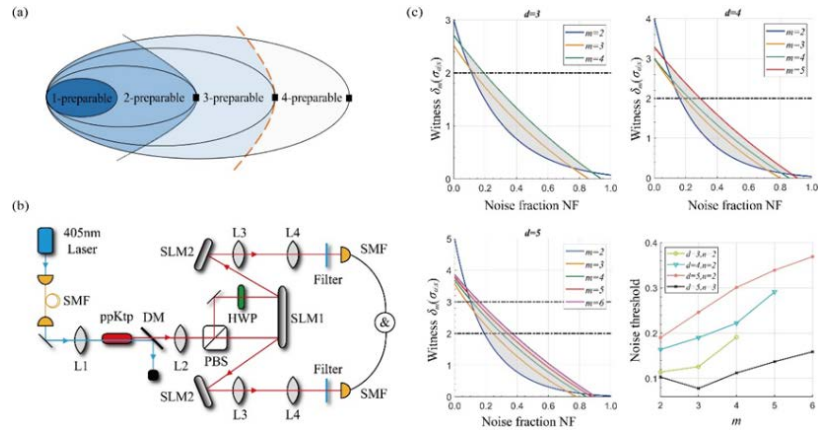


图2: (a) 真正高维导引嵌套结构; (b) 双光子高维导引实验; (c) 理论结果

关键词：量子导引；高维量子信息；轨道角动量纠缠

参考文献

- [1] Rui Qu, Yunlong Wang, Min An, Feiran Wang, Quan Quan, Hongrong Li, Hong Gao, Fuli Li, and Pei Zhang, "Retrieving High-Dimensional Quantum Steering from a Noisy Environment with N Measurement Settings." *Physical Review Letters* 128,240402. (2022)
- [1] Rui Qu, Yunlong Wang, Xiaolin Zhang, Shihao Ru, Feiran Wang, Hong Gao, Fuli Li, and Pei Zhang, "Robust method for certifying genuine high-dimensional quantum steering with multimeasurement settings," *Optica* 9, 473-478 (2022)

由磁涡旋与纳米机械振子组成的强磁耦合的混合量子系统

王伯隆 黑鑫磊 董星亮 姚晓宇 乔一凡 陈家强 李福利 李蓬勃

西安交通大学 710049

lipengbo@mail.xjtu.edu.cn

我们提出了一种由磁涡旋和纳米机械谐振器组成的混合量子系统。我们表明，涡旋的回旋模式可以通过磁相互作用与谐振器的量子化的机械运动实现相干耦合。得益于拓扑保护的特性和涡旋的低阻尼，以及纳米机械谐振器的良好相干特性，该系统可以在适当的参数选择下实现强耦合，甚至是超强耦合或深强耦合。通过与其他量子系统相结合，如氮-空位(NV)色心等，可以实现涡旋激发和自旋之间的相干态转移。该装置为量子信息处理提供了一个潜在的平台，也能应用于研究超强耦合机制和宏观量子物理。

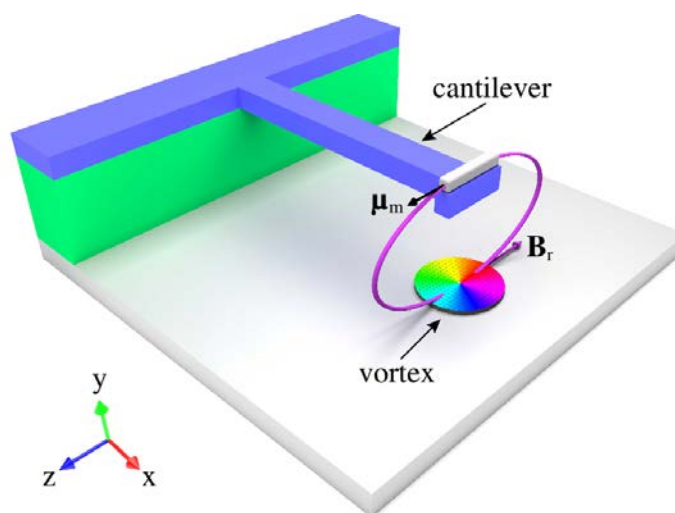


图1 提出的混合系统的方案图。一个铁磁纳米盘位于悬臂梁的下方。在悬臂梁的自由端附着了一个棒状的单畴铁磁体，它能够在纳米圆盘的中心位置产生了一个具有强梯度的振荡磁场。

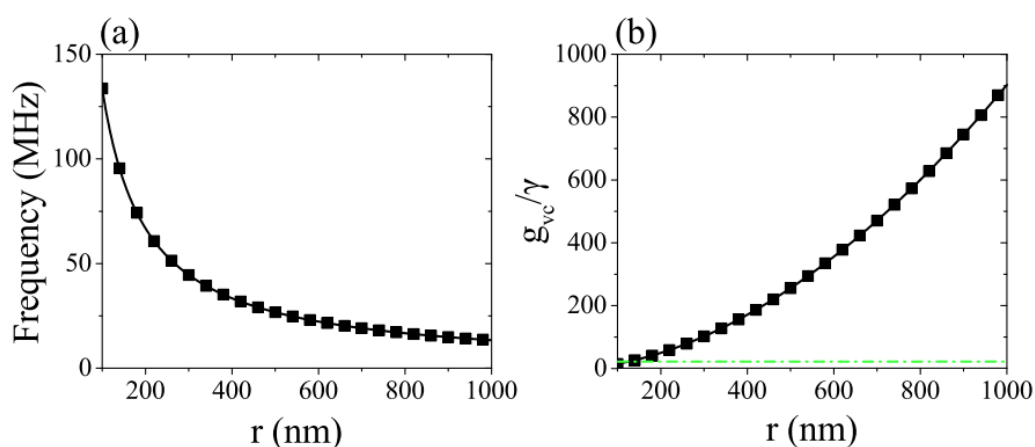


图2 (a)由YIG制作的圆盘回旋模式的特征频率作为半径 r 的函数。(b)耦合强度 g_{vc} 与涡旋阻尼率的比值

与圆盘半径的关系。绿色点划线表示值为1。

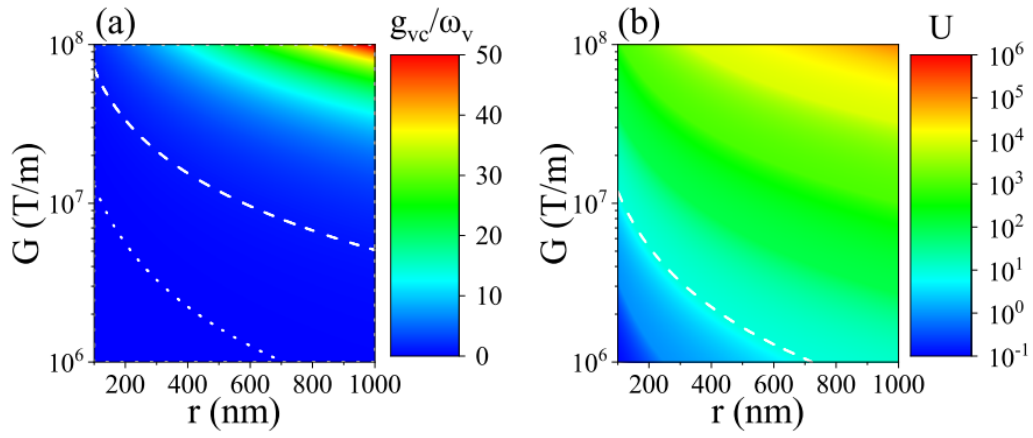


图3 耦合强度 g_{vc} 与共振频率 ω_v 比值(a)和USC度量 U (b)关于圆盘半径 r 和梯度 G 的依赖关系的等高线图。在图(a)中，虚线分别代表值0.1和1，而图(b)中的虚线是10。

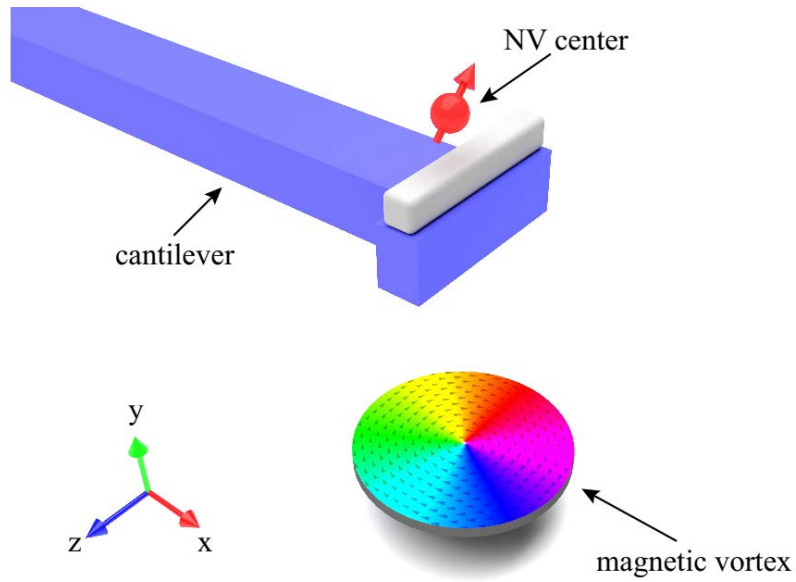


图4 三体混合系统的示意图，其中一个额外的NV色心位于之前提出系统的磁体上方。

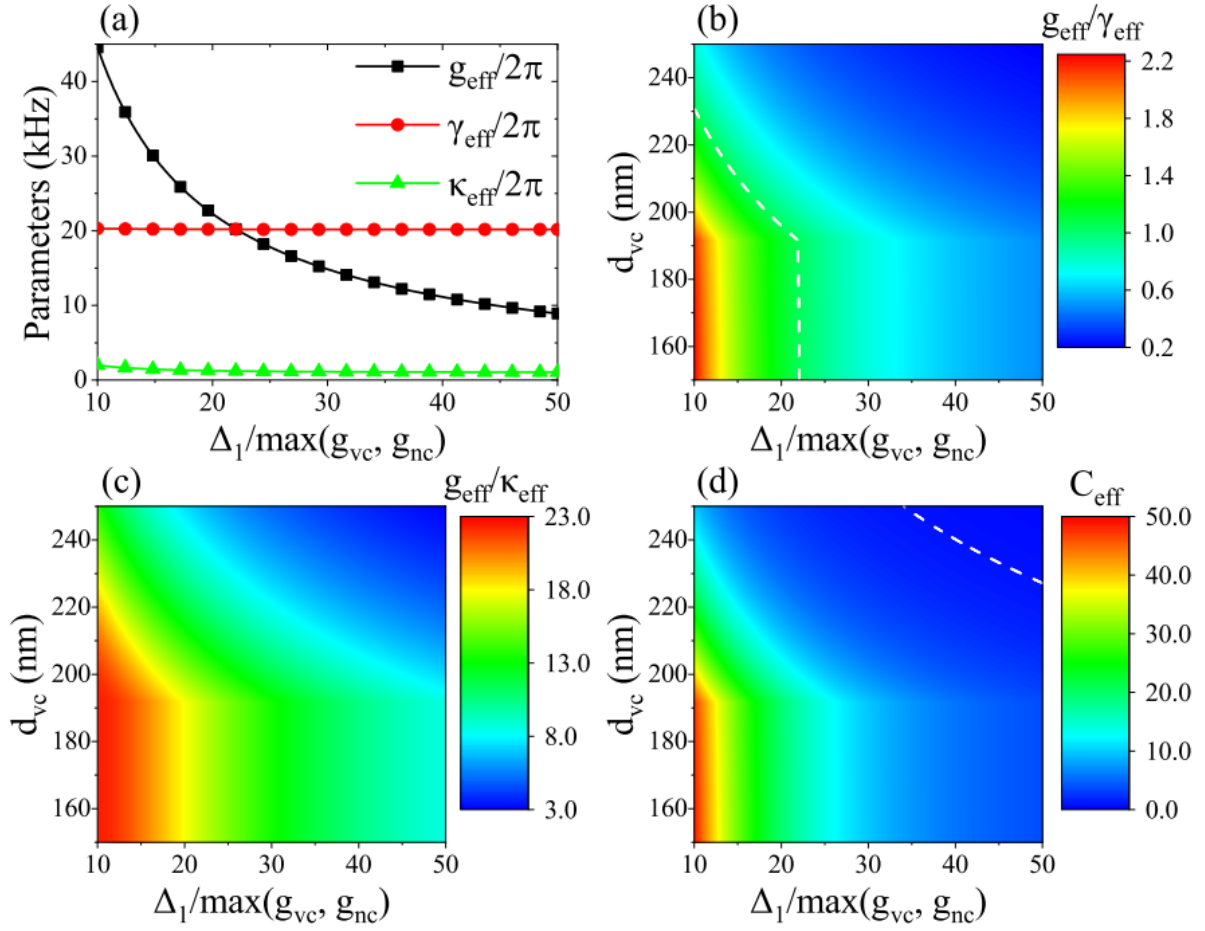


图5 (a)参数 $g_{\text{eff}}/2\pi$, $\gamma_{\text{eff}}/2\pi$ 和 $\kappa_{\text{eff}}/2\pi$ 作为失谐的函数。(b)-(d)比值 $g_{\text{eff}}/\gamma_{\text{eff}}$, $g_{\text{eff}}/\kappa_{\text{eff}}$ 和协同度 C_{eff} 作为失谐和距离 d_{vc} 函数的等值线图。

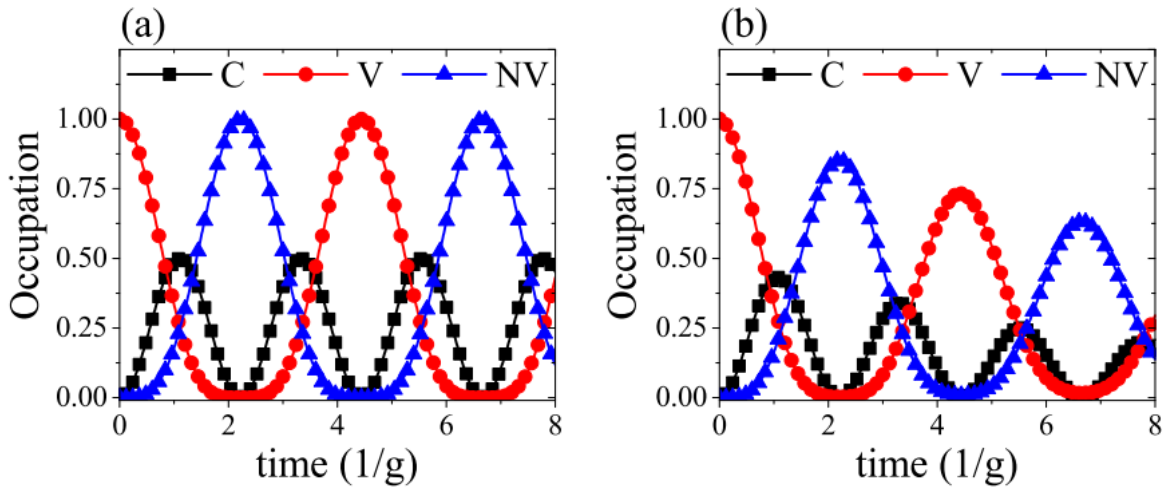


图6 混合系统中每个部分占有数随时间的演化，包含(a)和不包含(b)耗散。

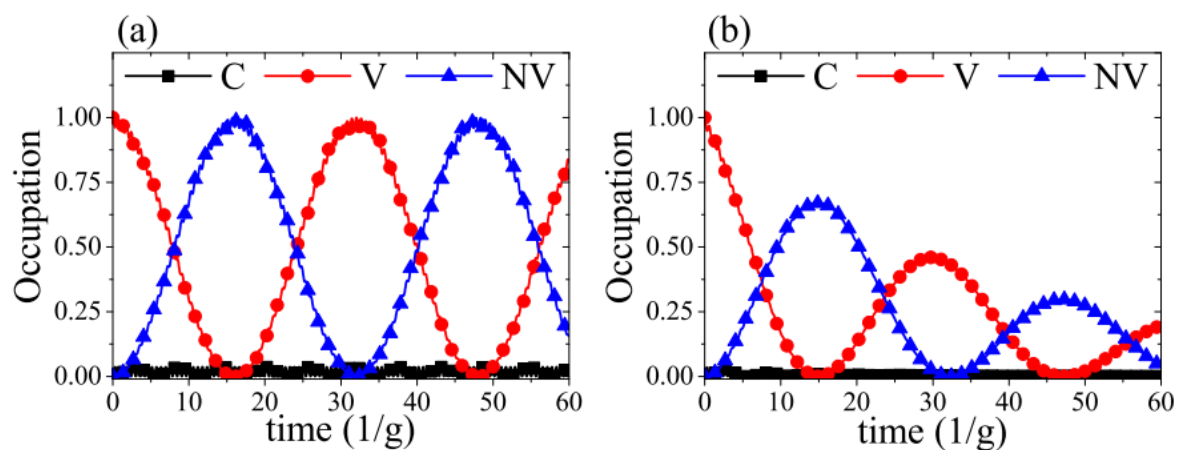


图7 混合系统等效后中每个部分占有数随时间的演化，包含(a)和不包含(b)耗散。

关键词：混合量子系统、磁涡旋、纳米机械振子、超强耦合、深度耦合、态传递

参考文献

- [1] M. J. Martínez-Pérez and D. Zueco, Strong coupling of a single photon to a magnetic vortex, *ACS Photonics* 6, 360 (2019).
- [2] P. Rabl, P. Cappellaro, M. V. G. Dutt, L. Jiang, J. R. Maze, and M. D. Lukin, Strong magnetic coupling between an electronic spin qubit and a mechanical resonator, *Phys. Rev. B* 79, 041302(R) (2009).
- [3] P. Forn-Díaz, L. Lamata, E. Rico, J. Kono, and E. Solano, Ultrastrong coupling regimes of light-matter interaction, *Rev. Mod. Phys.* **91**, 025005 (2019).
- [4] K. Y. Guslienko, Magnetic vortex state stability, reversal and dynamics in restricted geometries, *J. of Nanosci. And Nanotechno.* 8, 2745 (2008).

基于原子介质实现矢量光场多维调控

潘楚荣

陕西省 西安市 碑林区 咸宁西路 28 号 西安交通大学

pcr2018@stu.xjtu.edu.cn

摘要正文：矢量光场具有自旋角动量与轨道角动量耦合的内在结构以及独特的焦场属性，在经典与量子通讯、光学操控和显微成像等领域具有重要的研究价值与广泛的应用前景。原子介质具有较强的原子相干特性、高效的非线性过程、可操控的吸收和色散特性，为矢量光场的产生、传输和操控提供了理想平台。本课题组基于原子参量自发四波混频效应，利用非线性 Sagnac 干涉仪的手段，提出了一种矢量光场跨光谱的频率转换方案[1]。该方案在实现矢量光场从近红外到蓝光的转换同时能保持光场偏振态不发生改变，平均保真度高达 98.5%，对实现以矢量光场为信息载体的量子与经典通讯接口提供了实验基础。

此外，本课题组基于克尔效应实现了矢量光场的空间模式及偏振自由度的调控[2]。在实验上观察到矢量光场在非线性传输过程中由于光场正交分量之间的交叉相位调制引起的光场空间模式分裂现象，并掌握了矢量光场的偏振态随传输距离的演化关系。该工作对于研究空间光孤子以及利用光纤进行激光加工等具有重要的意义。

关键词：矢量光场；原子介质；四波混频；克尔效应

参考文献

- [1] Pan, Churong. et al., Trans-spectral vector beam nonlinear conversion via parametric four-wave mixing in alkali vapor, *Optics Letters* 46(22), 5579-5582 (2021).
- [2] Hu, Huajie. et al., Collapse of hybrid vector beam in Rb atomic vapor, *Optics Letters* 46(11), 2614-2617 (2021).

超越偶极近似的巨原子波导 QED 系统中相干单光子散射

蔡邱远, 贾文志

西南交通大学物理科学与技术学院, 中国成都 610031

wenzjia@swjtu.edu.cn

本工作^[1]研究了巨原子波导QED系统在超越偶极近似的区域的单光子输运问题。我们利用全量子方法, 得到了马尔科夫区域和非马尔科夫区域的单光子散射系数的解析表达式, 总结了巨原子的非偶极效应和光子在耦合点之间传播的时间延迟效应对散射谱的影响。我们发现, 当参数处在马尔科夫区域的情况下, 耦合点之间的相位延迟与原子与波导中传播的光子的失谐无关, 从而产生以兰姆位移和有效衰减为特征参数的洛伦兹线型。当参数处在非马尔科夫区域, 耦合点之间的相位延迟变得与原子失谐有关, 进而产生非洛伦兹谱线, 其特征为多个边缘的峰和多个完全透射点。非马尔科夫区域的另一个有趣的现象是由单个巨原子产生较宽的光子禁带。我们进一步将原子波导耦合点离散分布的情形推广到连续耦合区域的极限, 并分析了一些典型的耦合分布情况下的散射谱。

关键词: 波导量子电动力学、巨原子、单光子散射

参考文献

- [1] Q. Y. Cai and W. Z. Jia, Coherent single-photon scattering spectra for a giant-atom waveguide-QED system beyond the dipole approximation, Phys. Rev. A 104, 033710 (2021).

连续变量三光子态的量子导引

陈天豪

浙江理工大学 310000

850314674@qq.com

最近，爱因斯坦-波多尔斯基-罗森（EPR）导引在量子信息处理中有着重要的应用，并因其独特性受到了相当多的关注。但到目前为止，尚未研究自发参量下转换中的三光子态 EPR 量子导引相关性。因此，在本次工作中，我们在连续变量领域开发了三光子态的完整量子导引，并讨论了自发、单、双和三个注入信号的情况。结果，可以发现在自发发射状态下导引不明显。但更重要的是，在三种注入信号的情况中预测了四组份 EPR 导引。

关键词：自发参量下转换，三光子，四组份 EPR 导引

非线性随机介质中多重散射光场量子噪声的调制研究

李栋, 姚尧

中国工程物理研究院微系统与太赫兹研究中心, 四川成都, 610200

中国工程物理研究院电子工程研究所, 四川绵阳, 621999

yaoyao_mtrc@caep.ac.cn

近年来三维无序介质中非经典光散射特性呈现出广阔的应用前景, 比如量子成像[1,2]和量子认证[3,4]等应用领域。此前关于非经典光与非线性随机介质相互作用的研究工作表明, 当输入光场为压缩态时, 多重散射光场的平均量子噪声高于散粒噪声极限。然而高量子噪声不利于实际应用中高精度测量。为了实现散射光场量子噪声的降低, 提出了利用波前整形技术调制散射光场噪声的方案[5], 并利用随机散射矩阵理论模拟了光场在非线性随机无序介质中输运过程, 给出了两种不同情形下的多重散射光场量子噪声: (1) 不考虑和 (2) 考虑基于空间光调制器的波前整形技术。通过对比发现波前整形技术可以有效实现平均量子噪声的降低, 甚至低于散粒噪声极限, 同时明确了实现低于散粒噪声极限的物理条件[6]。该研究工作得到了国家自然科学基金项目(61875178、12104423和12175204)的支持。

关键词: 压缩态光场, 量子噪声, 非线性随机介质, 多重散射, 波前整形技术

参考文献

- [1] Van Putten, E. G. et al., Scattering lens resolves sub-100 nm structures with visible light, *Phys. Rev. Lett.* 106, 193905 (2011).
- [2] Li, D. et al., Scattering-lens based quantum imaging beyond shot noise, *Scientific Reports* 11, 7785 (2021).
- [3] Goorden, S. A. et al., Quantum-secure authentication of a physical unclonable key, *Optica* 1, 421 (2014).
- [4] Wang, P. et al., Authentication of Optical Physical Unclonable Functions Based on Single-Pixel Detection, *Phys. Rev. Appl.* 16, 054025 (2021)
- [5] Li, D. et al., Modulating quantum fluctuations of scattered light in disordered media via wavefront shaping, *JOSAB* 36, 3290 (2019)
- [6] Li, D. et al., Excess-noise suppression for a squeezed state propagating through random amplifying media via wave-front shaping, *Phys. Rev. A* 103, 023712 (2021)

基于微波辅助光谱技术的碳化硅色心研究

尚震

中国海洋大学物理与光电工程学院，山东 青岛 266100

shangzhen@ouc.edu.cn

摘要正文：以硅空位色心和双空位色心为代表的碳化硅自旋色心，具备较长的自旋相干时间，稳定的红外波段的单光子输出以及成熟的样品制备和加工工艺等优点，在量子计算、量子通信、量子传感等量子技术领域有重要的研究价值。由于传统荧光光谱技术所获得的碳化硅色心光谱存在不同种类色心光谱相互叠加问题，造成了碳化硅色心光学性质研究的困难。碳化硅色心局域声子特性以及色心电子能级精细结构等问题难以解决。本工作引入微波辅助光谱技术，利用不同色心的零场分裂能微波共振频率的不同，实现不同种类碳化硅色心以及相同种类不同对称性色心的光谱分离。从分离光谱中，研究色心的局域声子结构以及色心辐射光子的偏振性能，探索零声子线占比与色心浓度之间的关系。这些研究对实现高品质色心量子单光子源和基于色心的量子海洋探测有重要意义。

关键词：色心，碳化硅，微波辅助光谱，局域声子模

参考文献

- [1] Shang Z. et al., Local vibrational modes of Si vacancy spin qubits in SiC, Phys. Rev. B 101, 144109 (2020).
- [2] Shang Z. et al., Microwave assisted spectroscopy of vacancy related spin centers in hexagonal SiC, Phys. Rev. Appl, 15, 034059 (2021).

里德堡微波频率梳谱仪

张力华

安徽省合肥市金寨路 96 号 030006

zlhphys@mail.ustc.edu.cn

摘要正文：在宇宙学、气象学和微波测量的广泛领域，发展频率梳频谱技术具有潜在的应用和前景。在此，我们演示了一个通过多微波场修饰的里德堡微波频率梳谱仪，提供精确的微波测量。里德堡微波频率梳频谱实现了125 MHz 范围内的实时和绝对频率测量，并可以探测相对相位。该实验有助于里德堡原子实时地感知未知的大范围微波信号，这对于基于里德堡原子的微波计量至关重要。

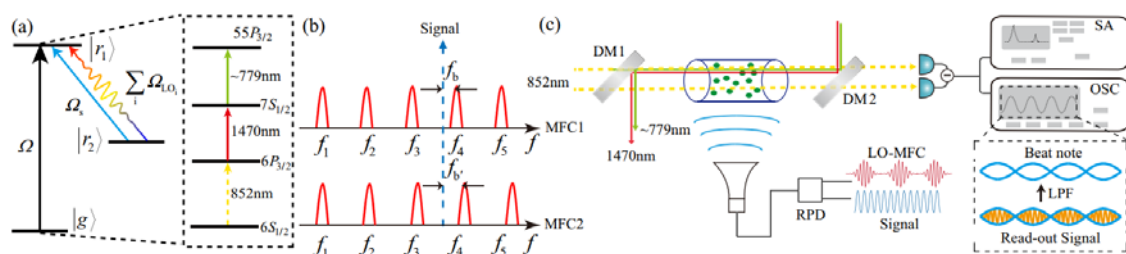


图1 实验能级图，原理和装置图

关键词：里德堡原子，微波，频率梳

参考文献

- [1] Zhang, Li-Hua, et al. "Rydberg microwave frequency comb spectrometer." arXiv preprint arXiv:2206.06572 (2022).

Optical spin-orbit interaction in spontaneous parametric down conversion

Yunkun Wu,^{1□*} Yutao Tang,^{2□} , Xifeng Ren,¹ Guixin Li²

¹CAS Key Laboratory of Quantum Information, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China

²Department of Materials Science and Engineering, Southern University of Science and Technology, 518055, Shenzhen, China

†These authors contributed equally to this work.

*wuyk123@mail.ustc.edu.cn

Abstract: The spin and orbital angular momentum of photons represent two important degrees of freedom for optical information processing [1]. The spin angular momentum (SAM) is associated with the left and right circular polarization (LCP and RCP) states of light, while the orbital angular momentum (OAM) is related to the helical wavefront of light. The spin-orbit interaction (SOI) represents an important route for controlling both the SAM and the deflection of light [2,3]. In linear and nonlinear optics, spin-orbit interaction of light has been extensively explored in either artificial structures or conventional optical crystals and showed great potential in applications[4]. For instance, it has been used to demonstrate the optical spin Hall effects [5], develop advanced OAM generators [6] and so on.

However, the previous work on the optical SOI effect in the harmonic generation process is still within the framework of classical nonlinear process, and the SOI in a quantum nonlinear optical process yet remains unexplored. Here, we the first time experimentally demonstrate that optical spin-orbit interaction in the spontaneous parametric down conversion process, one of the most versatile techniques for the generation of entangled photons, can be realized through a nonlinear crystal with three-fold rotational symmetry. The two-photon quantum states with specific angular momentum can be generated through the symmetry selection rules in nonlinear optics and the spin-orbit interaction of the fundamental wave. The proposed methodology may open new avenues for generating and controlling the spin and orbital angular momentum of entangled photons.

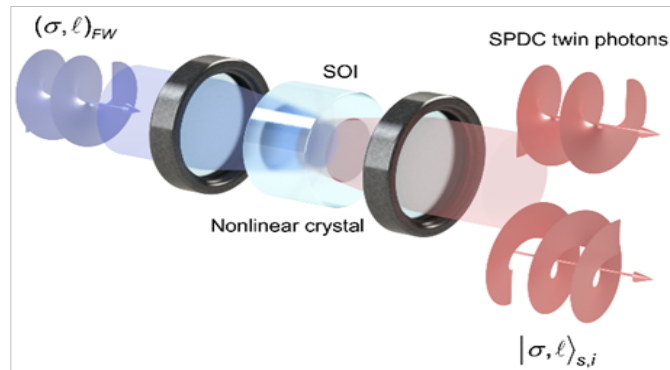


Fig. 1. Schematic diagram of the optical spin-orbit interaction (SOI) in the SPDC process in a nonlinear crystal with three-fold rotational symmetry.

Keywords: Spin-orbit interaction, Spontaneous parametric down conversion, Angular momentum, Entangled twin photons, Bulk nonlinear crystal

Reference

- [1] J. H. Poynting, The wave motion of a revolving shaft, and a suggestion as to the angular momentum in a beam of circularly polarised light. *Proc. R. Soc. Lond. A* 82, 560–567 (1909).
- [2] N. Shitrit, I. Yulevich, E. Maguid, D. Ozeri, D. Veksler, V. Kleiner, E. Hasman, Spin-optical metamaterial route to spin-controlled photonics. *Science* 340, 724 – 726 (2013).
- [3] K. Y. Bliokh, F. J. Rodríguez-Fortuño, F. Nori, A. V. Zayats, Spin – orbit interactions of light. *Nat. Photon.* 9, 796 – 808 (2015).
- [4] Y. Tang, K. Li, X. Zhang, J. Deng, G. Li, E. Brasselet, Harmonic spin – orbit angular momentum cascade in nonlinear optical crystals. *Nat. Photon.* 14, 658 – 662 (2020).
- [5] K. Y. Bliokh, Y. P. Bliokh, Conservation of Angular Momentum, Transverse Shift, and Spin Hall Effect in Reflection and Refraction of an Electromagnetic Wave Packet. *Phys. Rev. Lett.* 96, 073903 (2006).
- [6] L. Marrucci, C. Manzo, D. Paparo, Optical Spin-to-Orbital Angular Momentum Conversion in Inhomogeneous Anisotropic Media. *Phys. Rev. Lett.* 96, 163905 (2006).

Bounding the key rate of device-independent quantum key distribution via nonlinear optimization

Yi-Zheng Zhen, Yingqiu Mao, Yu-Zhe Zhang, Feihu Xu, and Barry C. Sanders

Hefei National Research Center for Physical Sciences at the Microscale and School of Physical Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China

CAS Center for Excellence in Quantum Information and Quantum Physics,

University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China

Hefei National Laboratory,

University of Science and Technology of China, Hefei 230088, China

Institute for Quantum Science and Technology,

University of Calgary, Alberta T2N 1N4, Canada

邮箱 yizheng@ustc.edu.cn

摘要正文: Achieving tighter bounds of key rate is an essential step towards the experimental realizations of device-independent quantum key distribution. Here, we focus on protocols where the parameter estimation involves binary measurement settings per site and binary outputs per setting. We employ the Jordan lemma and transform the unknown quantum state to an ensemble of two-qubit states, based on which we derive new bounds to restrict the key rate, from below and above [1]. Our bounds can be numerically solved via nonlinear global optimization. We show that the lower bound is tighter than existing approaches relying on specific Bell inequalities [2] and relaxed semidefinite programmings [3]. Furthermore, both bounds are particularly tight for noiseless cases.

关键词: device-independence, quantum key distribution, nonlinear optimization

参考文献

- [1] Zhen, Mao, Zhang, Xu, and Sanders, in preparation.
- [2] Pironio, Acin, Brunner, Gisin, Massar, and Scarani, New J. Phys. 11, 045021 (2009).
- [3] Brown, Fawzi, and Fawzi, arXiv:2106.13692 [quant-ph] (2021).

集成磁光隔离器的单光子非互易性

任尚宇

安徽 合肥 中国科学技术大学 230026

caprsy@mail.ustc.edu.cn

摘要正文：非互易光子器件是经典光学信息处理的重要组成部分。研究它们在量子世界中的可行性是有趣且重要的。在这项工作中，我们使用基于片上氮化硅的磁光隔离器进行了单光子非互易传输实验。实测单光子隔离度为12.33 dB，与经典测试结果一致，证明了片上隔离器的功能性。另外又使用高可见度量子干涉验证了通过隔离器的单光子的量子相干性。这项工作将促进片上非互易光子器件在集成量子芯片中的应用，并有助于在量子信息处理过程中引入新现象。

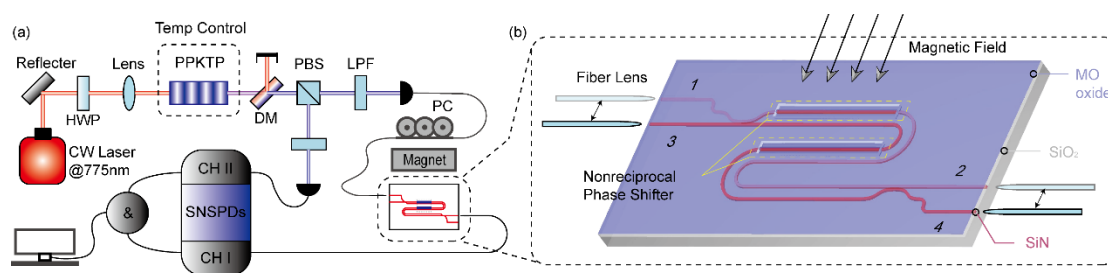


图1 实验装置与芯片结构示意图

关键词：集成光学，磁光，非互易，量子光学

Towards high-fidelity ion-photon entanglement

Yabin Zhou^{1,2,3}, Yang Fu^{1,2,3}, Shuo Wei^{1,2,3}, Shan Xu^{1,2,3}, Yong Wan^{1,2,3} and

Jian-Wei Pan^{1,2,3}

1. Hefei National Research Center for Physical Sciences at the Microscale and School of Physical Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China

2. CAS Center for Excellence in Quantum Information and Quantum Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China

3. Hefei National Laboratory, University of Science and Technology of China, Hefei 230088, China

ybzou@mail.ustc.edu.cn

摘要正文: In a quantum network, flying qubits can transmit information between stationary nodes. Photons that travels at the speed of light are ideal information transmitters. Repeater-based communication schemes therefore require entanglement between storage medium and communication photons. We employ trapped Ca^+ ions as storage medium in the repeater protocol. Compared with other quantum systems, repeater nodes implemented with trapped ions have in particular the advantage of realizing high-fidelity and deterministic logical operations on multiple qubits in a single node. In order to generate entanglement between trapped ions and single photons, the ion trap is spatially overlaid with a low-loss, high finesse Fabry-Perot cavity. The presence of the cavity can significantly improve the collection efficiency of single photons due to the Purcell effect, thereby improving the performance of quantum repeaters. Using bichromatic cavity-mediated Raman transition, calcium ions in the electronic ground state are excited to two different Zeeman levels, and these two paths generate photons with different polarization states, respectively. This way, entanglement between the internal state of the ion and the polarization state of the photon can be established with high fidelity and high efficiency. The main factor limiting our entanglement distance is the photon propagation loss in the fiber, where optimal wavelengths of photon propagation lie between 1300 nm and 1600 nm. The 854 nm photons emitted by our Ca^+ ion can be converted to the communication band 1550 nm with high efficiency and low noise. Duplicating the protocol above to multiple repeater nodes will potentially extend the communication distance to more than 1000 km.

关键词: Ca^+ ion, quantum repeater,

参考文献

- [1] Yuan, Z.-S. et al. Experimental demonstration of a BDCZ quantum repeater node. *Nature* 454, 1098–1101 (2008).
- [2] Chou, C.-W. et al. Functional Quantum Nodes for Entanglement Distribution over Scalable Quantum Networks. *Science* 316, 1316–1320 (2007).
- [3] Ritter, S. et al. An Elementary Quantum Network of Single Atoms in Optical Cavities. *Nature* 484,

195–200 (2012).

[4] Humphreys, P. C. et al. Deterministic delivery of remote entanglement on a quantum network. *Nature* 558, 268–273 (2018).

[5] Stephenson, L. J. et al. High-Rate, High-Fidelity Entanglement of Qubits Across an Elementary Quantum Network. *Phys. Rev. Lett.* 124, 110501 (2020).

[6] Moehring, D. L. et al. Entanglement of single-atom quantum bits at a distance. *Nature* 449, 68–71 (2007).

[7] Zhong, T. et al. Nanophotonic rare-earth quantum memory with optically controlled retrieval. *Science* 357, 1392–1395 (2017).

[8] Zhong, T. et al. Nanophotonic rare-earth quantum memory with optically controlled retrieval. *Science* 357, 1392–1395 (2017).

[9] Schupp, J. et al. Interface between Trapped-Ion Qubits and Traveling Photons with Close-to-Optimal Efficiency. *PRX Quantum* 2, 020331 (2021).

[10] Stute, A. et al. Tunable Ion-Photon Entanglement in an Optical Cavity. 11 (2015).

基于受激四波混频的红外光探测

张伟航

安徽省合肥市金寨路 96 号中国科学技术大学（东校区），邮编：230026

weihangz@mail.ustc.edu.cn

摘要正文：红外光探测在工业和科学领域有着广泛的应用，但由于红外光探测器制造成本高并且性能不如低价位的可见光探测器，导致其在实际应用中有着诸多局限。四波混频过程可以通过检测产生的可见光间接地测量输入的红外光。如图1所示，我们在 ^{85}Rb 原子蒸气池中实验研究了受激四波混频过程，其中波长为 1530 nm 的微弱红外激光通过诱导 Rb 原子四波混频而被放大并转化为 780 nm 的强四波混频光，后者可以更有效地被可见光探测器检测到。在实验过程中，我们通过研究输入激光的频率对产生的四波混频光的影响找到最佳的实验光的单光子和双光子失谐。更重要的是，我们发现随着输入信号光强度的降低，其功率增益（功率增益定义为产生 780 nm 光的光强和输入 1530 nm 光的光强之比）迅速增加，这也与我们的理论分析一致。当信号激光功率为 $0.1\text{ }\mu\text{W}$ 时，该系统的功率增益可高达500倍。最后，我们通过探索该受激四波混频过程的响应率，实验上证明我们的放大过程可以在宽带的频域中实现。

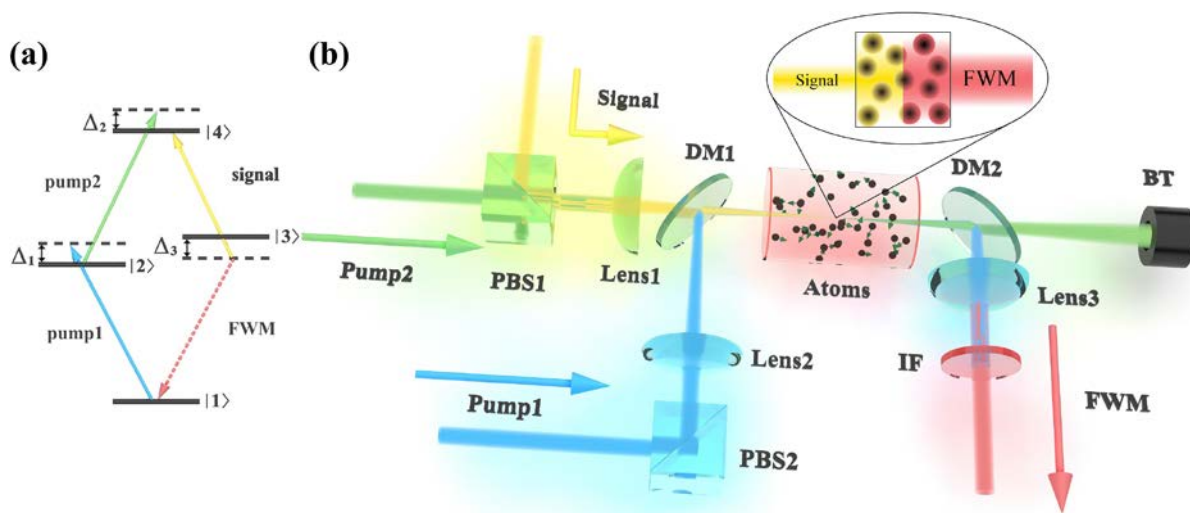


图1 (a) 实验能级图，其中 $|1\rangle$ 、 $|2\rangle$ 、 $|3\rangle$ 和 $|4\rangle$ 分别表示Rb原子的能级 $5S_{1/2}$ 、 $5P_{1/2}$ 、 $5P_{3/2}$ 和 $4D_{3/2}$ 。
(b) 实验装置图。

关键词： 放大，红外探测，频率转换，受激，四波混频。

基于里德堡原子传感器对兆赫兹射频电场进行高灵敏度测量

刘邦

中国科学技术大学量子信息重点实验室,安徽合肥 230026

lb2016wu@mail.ustc.edu.cn

摘要正文：里德堡原子在电场测量方面具有巨大的潜力，并且具有从 kHz 到 THz 的大频率带宽的优势。然而，由于弱电场仅引起里德堡能级布居和能级偏移的小扰动，测量弱 MHz 电场信号的灵敏度会受到光谱分辨率的限制。在这里，我们报告了在热原子系统中使用电磁感应透明技术实现基于里德堡原子对弱 MHz 电场进行高灵敏度的测量。在 30 MHz 电场上使用外差法，我们成功测量的最小电场强度为 $37.3 \mu\text{V}/\text{cm}$ ，灵敏度高达 $-65 \text{ dBm}/\text{Hz}$ ，线性动态范围超过 65 dB。此外，我们测量调幅信号并以超过 98% 的保真度解调信号。这项工作扩展了用于测量 MHz 电场的原子传感器的灵敏度，从而推动了原子电场传感技术的应用。

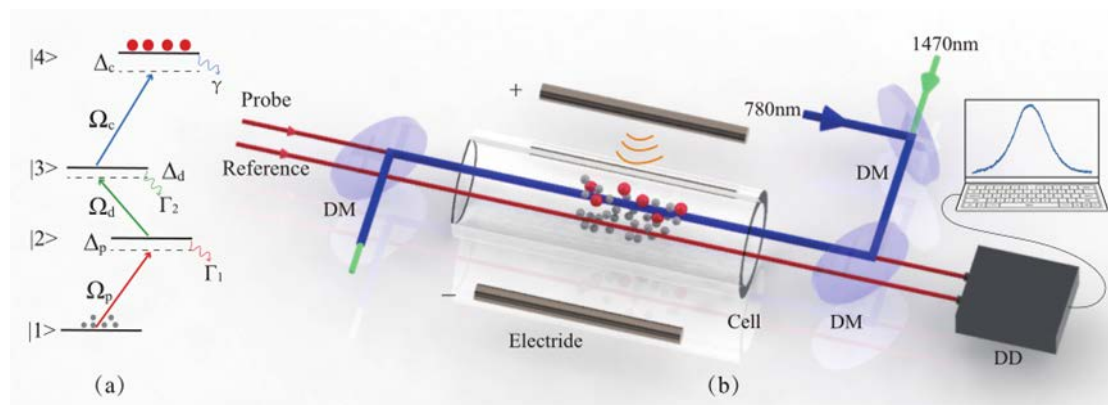


图1 (a) 原子能级图 (b) 实验装置图

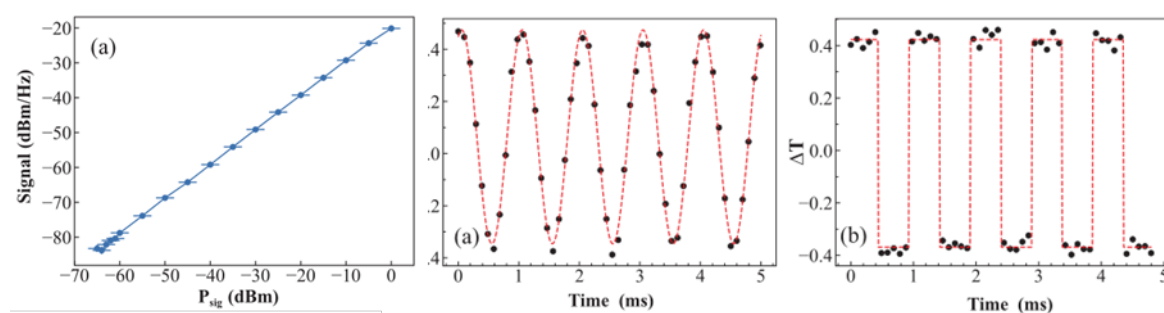


图 2 系统灵敏度和AM解调信号演示

关键词：里德堡原子，射频电场传感，原子电场测量

参考文献

- [1] Liu, Bang, et al., Highly sensitive measurement of a MHz RF electric field with a Rydberg atom sensor, arXiv preprint arXiv:2206.06576 (2022).

直接测量粒子的统计相位信息

王焱^{1,2,3}, 孙凯^{1,2,3}, 许金时^{1,2,3}, 李传锋^{1,2,3}, 郭光灿^{1,2,3}

1, 中国科学技术大学中国科学院量子信息重点实验室, 合肥, 中国, 230026

2, 中国科学技术大学中国科学院量子信息与量子科技创新研究院, 合肥, 中国, 230026

3, 合肥国家实验室, 中国科学技术大学, 合肥, 中国, 230026

wangy365@mail.ustc.edu.cn;

摘要正文: 量子力学中的对称性假设主要体现在全同粒子交换后产生的交换相位信息上。目前已有的研究中, 一些间接测量交换相位信息的工作已经得以验证。与此同时, 一种直接测量光子作为玻色子的交换相位的工作也已经实现。这里, 我们进一步提出了一种通用的直接测量交换相位的方法, 适用于任意类型的全同粒子(玻色子、费米子以及任意子), 并且在光学系统中加以实现。在此基础上, 我们进一步地模拟了两中不同性质全同粒子混合的情形, 从而将直接测量方法应用到更广阔的物理场景中。下面是具体的介绍。

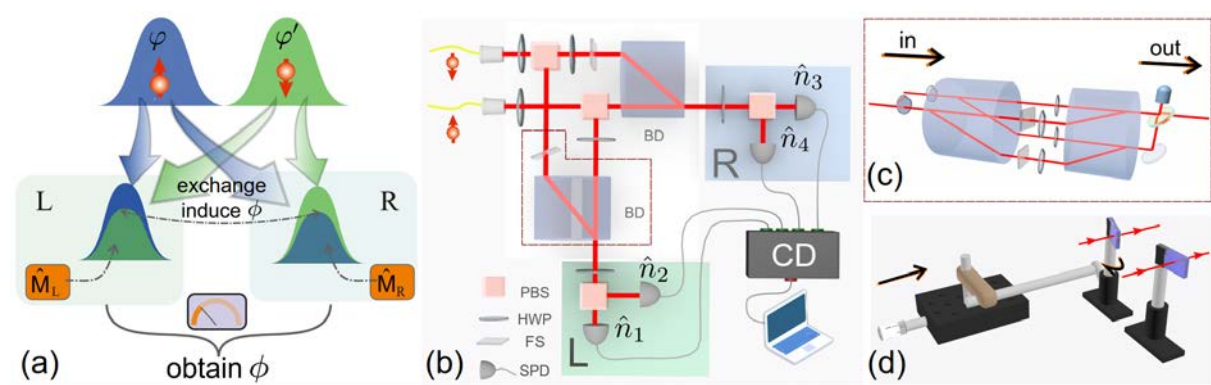


图1 理论示意图和实验装置图

关键词: 对称性假设, 交换相位, 直接测量, 全同粒子。

参考文献

- [1] K. Tschernig, et al., “Direct observation of the particle exchange phase of photons,” Nat. Photon. **15**, 671–675 (2021).
- [2] R. Lo Franco, “Directly proving the bosonic nature of photons,” Nat. Photon. **15**, 638–639 (2021).
- [3] R. Lo Franco and G. Compagno, “Indistinguishability of elementary systems as a resource for quantum information processing,” Phys. Rev. Lett. **120**, 240403 (2018).
- [4] K. Sun, Y. Wang, Z.-H. Liu, X.-Y. Xu, J.-S. Xu, C.-F. Li, G.-C. Guo, A. Castellini, F. Nosrati, G. Compagno, and R. Lo Franco, “Experimental quantum entanglement and teleportation by tuning remote spatial indistinguishability of independent photons,” Opt. Lett. **45**, 6410–6413 (2020).

Proposal for stable atom trapping on a GaN-on-Sapphire chip

Aiping Liu,^{1, 4} Lei Xu,^{2, 5} Xin-Biao Xu,^{2, 5} Guang-Jie Chen,^{2, 5} Pengfei Zhang,³
Guo-Yong Xiang,^{2, 5} Guang-Can Guo,^{2, 5} Qin Wang,^{1, 4}, and Chang-Ling Zou,^{2,5,3}

¹Institute of quantum information and technology, Nanjing University of Posts and
Telecommunications, Nanjing 210003, China

²CAS Key Laboratory of Quantum Information, University of Science and Technology of
China, Hefei 230026, China

³State Key Laboratory of Quantum Optics and Quantum Optics Devices,
and Institute of Opto-Electronics, Shanxi University, Taiyuan 030006, China

⁴Broadband wireless communication and sensor network technology, key lab of Ministry of
Education,

Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China

⁵CAS Center for Excellence in Quantum Information and Quantum Physics,
University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China

xl0810@mail.ustc.edu.cn

The hybrid photon-atom integrated circuits, which include photonic microcavities and trapped single neutral atom in their evanescent field, are of great potential for quantum information processing. In this platform, the atoms provide the single-photon nonlinearity and long-lived memory, which are complementary to the excellent passive photonics devices in conventional quantum photonic circuits. In this work, we propose a stable platform for realizing the hybrid photon-atom circuits based on an unsuspended photonic chip. By introducing high order modes in the microring, a feasible evanescent-field trap potential well with trap depth about 0.3mK could be obtained by only 10mW-level power in the cavity, compared with 100mW-level power required in the scheme based on fundamental modes. Based on our scheme, single atom trapping with relatively low laser power is feasible for future studies on high-fidelity quantum gates, single-photon sources, as well as many-body quantum physics based on a controllable atom array in a microcavity

关键词： Single Atom Trapping, Microring Resonator, Photonic Integrated Circuit

参考文献

[1] LIU A, XU L, XU X, et al. Proposal for stable atom trapping on a GaN-on-Sapphire chip[J]. arXiv preprint arXiv:2022.2205.12153

[2] Chang, T.-H., Fields, B. M., Kim, M. E., & Hung, C.-L. (2019). Microring resonators on a suspended membrane circuit for atom–light interactions. *Optica*, 6(9), 1203

- [3] Kim, M. E., Chang, T. H., Fields, B. M., Chen, C. A., & Hung, C. L. (2019). Trapping single atoms on a nanophotonic circuit with configurable tweezer lattices. *Nature Communications*, 10(1), 1–10.
- [4] ZHOU X, TAMURA H, CHANG T H, et al. Subwavelength precision optical guiding for trapped atoms coupled to a nanophotonic resonator [J]. arXiv preprint arXiv,2021,2111,01119

通过 G 并发和负性测量高维纠缠

邢文博，胡晓敏，柳必恒，李传锋，郭光灿

安徽省合肥市金寨路 96 号中国科学技术大学，230026

xingwb@mail.ustc.edu.cn

摘要正文：在许多量子信息过程中，量子纠缠扮演了极为重要的角色。这些量子过程的一个重要前提是可靠的对纠缠进行检测。在高维系统中，人们此前的研究都集中在对于纯态的纠缠量化，或者混态的纠缠判定。这是因为已知的一些方法（如：并发性）具有很高的计算成本，往往这些方法还需要大量的实验测量（量子态层析）。我们发现最近的一些研究中给出了一种方法，仅需要极少数的投影测量，并通过一些“旋转”，可以给出任意量子态的“Concurrence”与“Negativity”的下界。我们实验上引入了一些以精准控制的相位噪音和白噪音，制备了所需的目标态（4维混态），成功在实验上印证了这一方法可行性。即便在噪音大于75%的时候，方法依然有效。这是第一次针对高维任意量子混态的纠缠量化，这我们更深的理解纠缠的本质有了很大帮助，也是在量子信息进程中迈出了重要的一步。

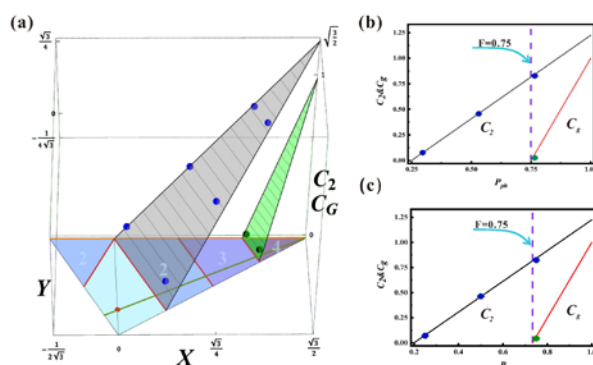


图1 Concurrence的实验结果

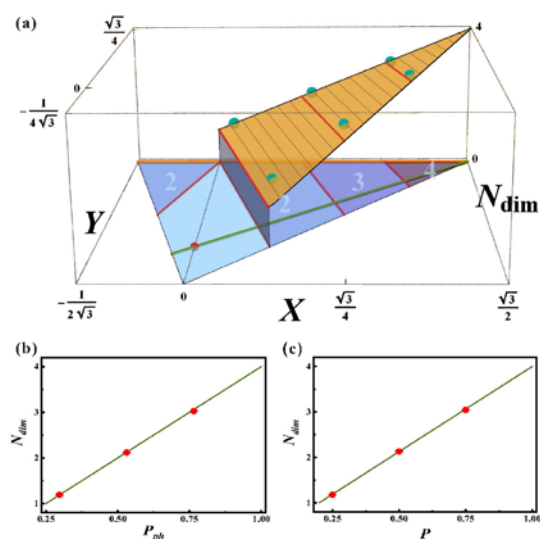


图2 Negativity的实验结果

关键词： 量化； 纠缠； 混态； Concurrence； Negativity；

参考文献

- [1] Hu, Xiao-Min, Xing Wen-Bo, et al. Efficient generation of high-dimensional entanglement through multipath down-conversion. *Physical Review Letters* 125.9 (2020): 090503.
- [2] Hu, Xiao-Min, Xing Wen-Bo, et al. Optimized detection of high-dimensional entanglement. *Physical Review Letters* 127.22 (2021): 220501.
- [3] Doherty, Andrew C., Pablo A. Parrilo, and Federico M. Spedalieri. Distinguishing separable and entangled states. *Physical Review Letters* 88.18 (2002): 187904.
- [4] Sentís, Gael, et al. Quantifying entanglement of maximal dimension in bipartite mixed states. *Physical Review Letters* 117.19 (2016): 190502.
- [5] Eltschka, Christopher, and Jens Siewert. Negativity as an estimator of entanglement dimension. *Physical Review Letters* 111.10 (2013): 100503.

基于对称联合测量的纠缠交换和量子关联实验研究

黄岑潇, 胡晓敏, 柳必恒, 李传锋, 郭光灿

安徽省合肥市金寨路 96 号, 230026

cxhuang@mail.ustc.edu.cn

摘要正文: 我们在实验中利用混合纠缠确定性实现了基于量子优雅联合测量 (Elegant Joint Measurements) 的纠缠交换。这种测量是作用在两个量子比特上高度对称且等纠缠的联合投影。我们在实验中以不低于97.4%的保真度实现了这种测量, 展示了它在纠缠交换场景下的应用, 并在原理上证明了双域贝尔不等式 (bilocal Bell inequality) 的违背和更加严格的全网络非局域性 (full network nonlocality)。我们的结果是对纠缠测量和非局域性的一次尝试, 超越了标准的贝尔态测量, 它们展示了纠缠交换场景中更一般的测量的相关性。

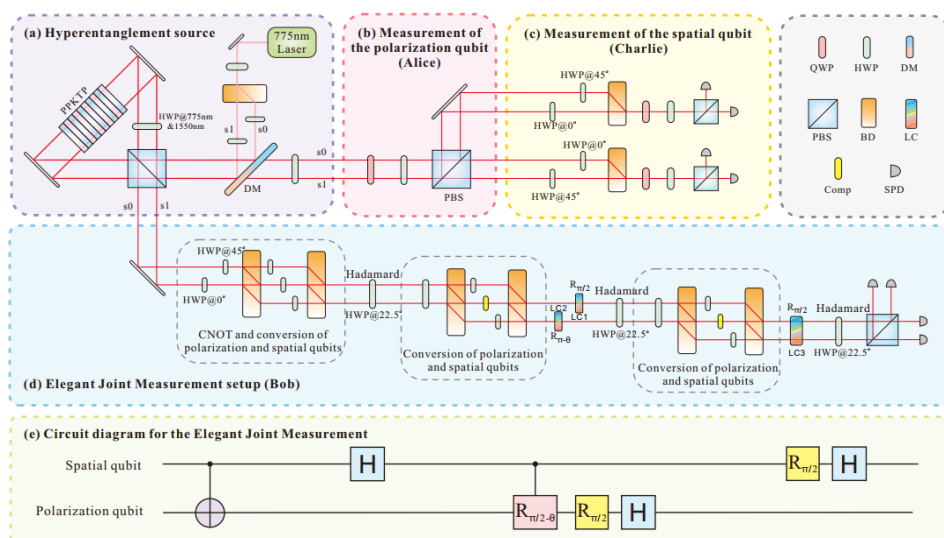


图1 实验装置图

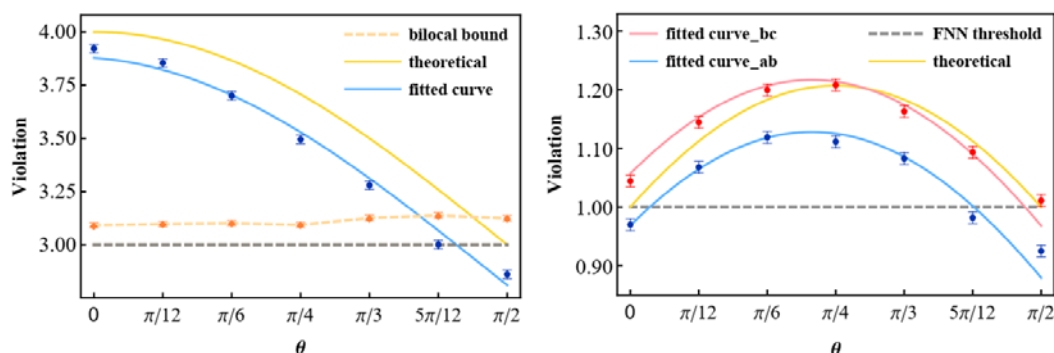


图2 实验结果图

关键词: 纠缠交换; 对称联合测量; 量子关联; 量子网络;

参考文献

- [1] C.-X. Huang, X.-M. Hu, et al. Entanglement swapping and quantum correlations via Elegant Joint Measurements, arXiv:2203.16207, (2022).
- [2] C.-X. Huang, X.-M. Hu, et al. Experimental one-step deterministic polarization entanglement purification, Sci. Bull. 67,593 (2022).
- [3] A. Tavakoli, et al. Bilocal bell inequalities violated by the quantum elegant joint measurement, Phys. Rev. Lett. 126, 220401 (2021).
- [4] A. Pozas-Kerstjens, et al. Full network nonlocality, Phys. Rev. Lett. 128, 010403 (2022).
- [5] C. Branciard, et al. Characterizing the nonlocal correlations created via entanglement swapping, Phys. Rev. Lett. 104, 170401 (2010).

微波场中里德堡原子电磁感应透明峰的 Autler - Townes 分裂间隔

多普勒效应与中间态线宽的普适关系

周晋羽，梁玮辰，王飞，王千一，殷伟博，贾凤东，钟志萍

中国科学院大学，物理科学学院，北京，100049

zpzhang@ucas.ac.cn

当微波共振耦合临近两个里德堡能级时造成里德堡能级 Autler-Townes (AT) 分裂，利用里德堡原子的电磁感应透明(EIT)效应实现微波电场强度的精密测量是目前精密测量研究的热点问题 [1]。扫描探测光时候，里德堡的 EIT-AT 分裂间距与微波电磁 Rabi 频率关系要考虑到多普勒效应，两者比值就是所谓的多普勒失配因子。基于室温系综的研究，往往近似认为多普勒失配因子为相关两个光波的波长比值[1]。但这一定是有适用条件，因为当温度足够低，多普勒效应可以忽略时，里德堡的 EIT-AT 分裂间距等于微波电磁 Rabi 频率，多普勒失配因子为 1。最近文献[2]以铷原子为例，系统计算了气体温度、探测激光和耦合激光的 Rabi 频率等对 AT 分裂间隔和射频电场强度之间的关系，发现温度在 $10\text{ K} > T > 10\text{ }\mu\text{K}$ 时候，多普勒失配因子急剧变化。本文研究决定这个温度的因素。我们计算表明，随着温度的变化，里德堡的 EIT-AT 分裂间距与中间态线宽的比值几乎落在同一曲线。多普勒失配因子急剧变化的温度近似为探测光跃迁的多普勒线宽等于中间态的自然线宽时对应的温度。

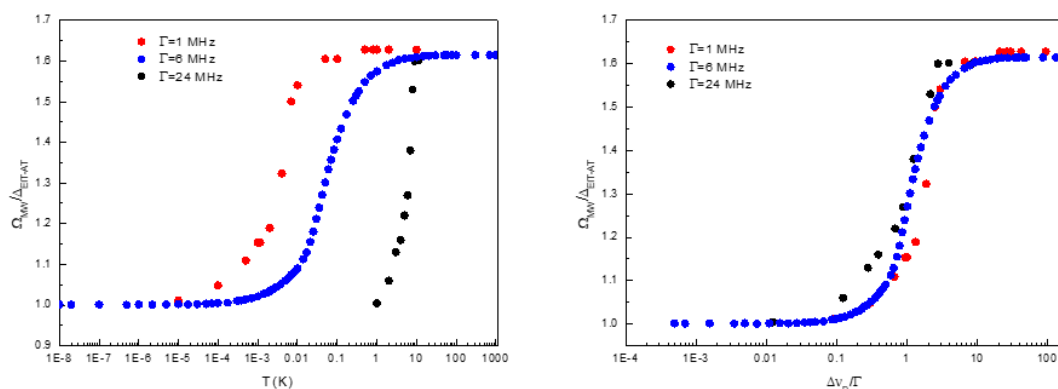


图1.微波场中里德堡原子电磁感应透明峰的AT分裂间隔多普勒效应与中间态线宽 Γ 关系

关键词：（电磁感应透明； Autler - Townes分裂； 多普勒失配因子）

参考文献

- [1] J.A.Sedlacek et al., Microwave electrometry with Rydberg atoms in a vapour cell using bright atomic resonances, Nat. Phys. 8, 819(2012).
- [2] Fei Zhou et al., The effect of the Doppler mismatch in microwave electrometry using Rydberg electromagnetically induced transparency and Autler-Townes splitting, J. Phys. B55, 075501(2022).

Highly-Efficient entanglement mapping between light and cold atomic ensemble

Mingtao Cao¹, Félix Hoffet², Julien Laurat², Hong Gao³, and Shougang Zhang¹

¹Key Laboratory of Time and Frequency Primary Standards, National Time Service Center, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710600, China

²Laboratoire Kastler Brossel, Sorbonne Université, CNRS, ENS-Université PSL, Collège de France, 4 Place Jussieu, 75005 Paris, France

³Shaanxi Province Key Laboratory of Quantum Information and Quantum Optoelectronic Devices, School of Science, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China

mingtaocao@ntsc.ac.cn

Reversible entanglement transfer between light and matter is a crucial requisite for the ongoing developments of quantum information technologies. Quantum networks and their envisioned applications, e.g., secure communications beyond direct transmission, distributed quantum computing, or enhanced sensing, rely on entanglement distribution between nodes. Although entanglement transfer has been demonstrated, a current roadblock is the limited efficiency of this process that can compromise the scalability of multi-step architectures. Here we demonstrate the efficient transfer of heralded single-photon entanglement into and out of two quantum memories based on large ensembles of cold cesium atoms. We achieve an overall storage-and-retrieval efficiency of 85% together with a preserved suppression of the two-photon component of about 10% of the value for a coherent state. Our work constitutes an important capability that is needed toward large scale networks and increased functionality [1].

In recent years, we also demonstrated for instance the implementation of a quantum memory for quantum bits encoded in the orbital angular momentum (OAM) degree of freedom, which provides an essential capability for future networks with multimode capability [2]. We also realized multiple-degree-of-freedom memory, which can find applications in classical data processing but also in quantum network scenarios where states structured in phase and polarization have been shown to provide promising attributes [3]. Furthermore, we also report the storage and retrieval of photonic qubits encoded with OAM state in an elongated cold rubidium atomic ensemble, achieving a storage efficiency around 65% with an average conditional fidelity above 98%. Our work constitutes an efficient node that is needed towards high dimensional and large scale quantum networks [4].

参考文献

- [1] M. Cao, F. Hoffet, S. Qiu, A. S. Sheremet, and J. Laurat, "Efficient reversible entanglement transfer between light and quantum memories" *Optica* 7(10) 1440-1444 (2020).
- [2] A. Nicolas, L. Veissier, L. Giner, E. Giacobino, D. Maxein and J. Laurat, "A quantum memory for orbital angular momentum photonic qubits," *Nat. Photon.* 8, 234 (2014).
- [3] V. Parigi, V. D'Ambrosio, C. Arnold, L. Marrucci, F. Sciarrino & J. Laurat, "Storage and retrieval of vector beams of light in a multiple-degree-of-freedom quantum memory," *Nat. Comm.* 6 7706 (2015).
- [4] C. Wang, Y. Yu, Y. Chen, M. Cao*, J. Wang, X. Yang, S. Qiu, D. Wei, H. Gao, F. li, "Efficient quantum memory of orbital angular momentum qubits in cold atoms" *Quantum Sci. Technol.* 6 045008 (2021).

基于 HOM 干涉的长距离分段光纤量子时间同步

刘好婷, 权润爱, 项晓, 洪辉博, 曹明涛, 刘涛, 董瑞芳, 张首刚

中国科学院国家授时中心 710600

邮箱: liuyuting@ntsc.ac.cn

摘要正文:

基于频率正关联纠缠源和Hong-Ou-Mandel(HOM)干涉的量子时间同步精度已经达到飞秒量级,在众多领域具有广阔的应用前景。纠缠光子经过长距离光纤传输后难以获得稳定的干涉条纹,限制了该同步方案在远距离实地链路中的应用。本文提出采用分段光纤代替单根长光纤,实验中采用宽带频率正关联光子经过20公里长的光纤传输后实现了稳定的双光子干涉,该方法可有效减少光纤的路径漂移,且不需要额外的辅助参考光。在此基础上,采用主动反馈的方式实现了两臂的平衡锁定,长期稳定度达到20fs。进一步实现了两地钟差测量,同步稳定度在48 000秒达到了74fs。该结果不仅为远程量子通信系统中光纤的双光子干涉仪的稳定提供了一种简单的方法,而且为基于量子干涉的同步方案迈向实地应用奠定了技术基础。

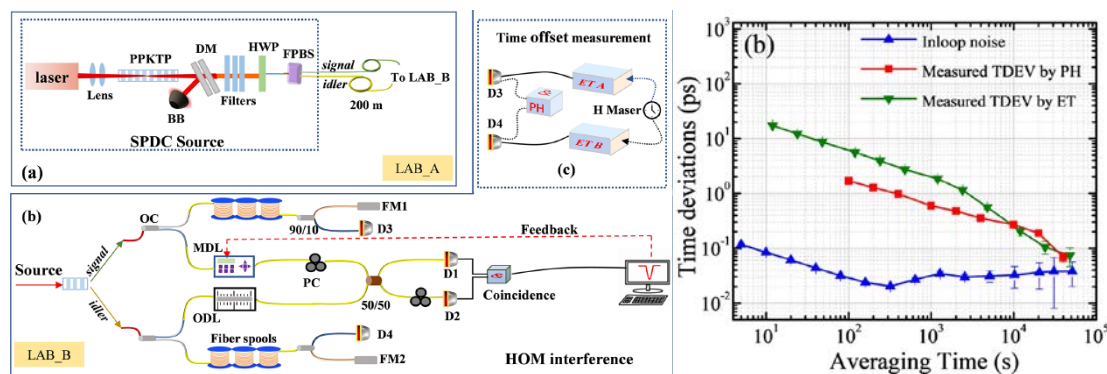


图1 实验装置及结果

关键词: 量子时间同步、 Hong-Ou-Mandel干涉、频率正关联、拼接光纤

参考文献

- [1] R. Quan, R. Dong et al., "Demonstration of quantum synchronization based on second-order quantum coherence of entangled photons," Sci. Rep. 6, 30453 (2016).
- [2] R. Quan, R. Dong et al., "Simulation and realization of a second-order quantum interference-based quantum clock synchronization at the femtosecond level," Opt. Lett. 44, 614–617 (2019).
- [3] Y. Liu, R. Dong et al., "Quantum clock synchronization over 20-km multiple segmented fibers with frequency-correlated photon pairs and HOM interference," Appl. Phys. Lett. 119, 144003 (2021).

实地 7km 光纤的量子时间同步实验研究

权润爱, 洪辉博, 薛文祥, 全鸿雷, 赵文宇, 项晓, 刘好婷, 曹明涛, 刘

涛, 张首刚, 董瑞芳 *

1. 中国科学院国家授时中心, 西安 710600;

2. 中国科学院时间频率基准重点实验室, 西安 710600

(dongruifang@ntsc.ac.cn; quanrunai@ntsc.ac.cn)

摘要正文: 双向量子时间同步协议已被证明具有达到飞秒级时间同步精度的能力, 且面对对称延时攻击时具有天然的安全性, 被认为是同步远距离时钟的重要前瞻性方法之一^[1,2]。本文采用一对具有时间能量纠缠特性的光子对源作为双向量子时间同步系统的光源, 在国家授时中心本部和骊山天文台两地之间开展了实地光纤的量子时间同步实验研究, 两台原子钟(氢钟和铷钟)通过实地7km光纤连接^[3]。受Rb时钟固有频率稳定性的限制, 在30 s处实现的时间稳定性测量为32 ps。同时研究将光纤微波频率传输技术应用于时间同步系统, 克服了Rb钟固有频率稳定度的限制, 在30 s时时间同步稳定度提高一个量级, 达到1.9 ps。该结果主要受符合测量系统的不完美色散补偿及较低的双光子采样率限制。本论文的研究结果表明了双向量子时间同步方法在实地时间同步应用中的巨大潜力。

关键词: 量子时间同步; 时间能量纠缠源; 非定域色散补偿; 频率传递

参考文献

- [1] F. Hou, R. Quan, R. Dong, X. Xiang, B. Li, T. Liu, X. Yang, H. Li, L. You, Z. Wang, and S. Zhang, Fiber-optic two-way quantum time transfer with frequency-entangled pulses, *Phys. Rev. A* 100, 023849 (2019).
- [2] J. Lee, L. Shen, A. Cere, J. Troupe, A. Lamas-Linares, and C. Kurtsiefer, Asymmetric delay attack on an entanglement-based bidirectional clock synchronization protocol, *Appl. Phys. Lett.* 115, 141101 (2019).
- [3] R. Quan, H. Hong, W. Xue, H. Quan, W. Zhao, X. Xiang, Y. Liu, M. Cao, T. Liu, S. Zhang, and R. Dong*, *Optics Express*, 30(7): 10269-10279 (2022).

基于偏振依赖吸收效应的矢量光束空间模式分析仪

常虹^{1,2}, 杨欣³, 王金文³, 马燕^{1,2}, 杨鑫琪^{1,2}, 曹明涛^{1,2}, 高宏³, 董瑞芳^{1,2}, 张首刚^{1,2}

¹Key Laboratory of Time and Frequency Primary Standards, National Time Service Center, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710600, China

²School of Astronomy and Space Science, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

³Ministry of Education Key Laboratory for Nonequilibrium Synthesis and Modulation of Condensed Matter, Shaanxi Province Key Laboratory of Quantum Information and Quantum Optoelectronic Devices, School of Physics, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China

E-mail: changhong1851@ntsc.ac.cn

摘要: 具有螺旋相位和空间偏振分布的矢量光束广泛应用于光学显微操作、光学捕获等诸多领域[1-3]。基于原子介质对光场的偏振依赖吸收效应,我们提出了一种矢量光束的空间模式分析方案。当偏振空间分布的探测光场通过原子介质时,其强度会因控制光场的光泵浦效应而出现部分偏振选择吸收或透射。本方案采用线偏振光作为控制光,研究发现部分投射的弱探测光传播过程中仍保持其原始的偏振和螺旋相位。当探测光为混合柱矢量光束时,通过改变控制光的偏振态,可以有效分离出探测光中相应的空间模式信息,且不破坏其拓扑态。同时利用光场干涉方法对透射光的空间拓扑荷进行了识别和测量。该工作在光场空间模态识别方面具有较大的潜在应用价值,且对研究基于原子系综的高维量子信息也具有很重要的意义。

关键词: 矢量光束、偏振依赖吸收效应、光泵浦效应

参考文献

- [1] Epstein M. S. et al., Application of laser-excited atomic fluorescence spectrometry to the determination of iron, *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy* 35, 233 (1980).
- [2] Barreiro J. T. et al., Remote preparation of single-photon "hybrid" entangled and vector- polarization states, *Physical Review Letters* 105(3), 030427 (2010).
- [3] Wang X. L., et al., Optical orbital angular momentum from the curl of polarization, *Physical Review Letters* 105(25), 253602 (2010).

艾里双光子的制备及能量转移过程研究

李杏花, 董瑞芳, 项晓, 权润爱, 刘好婷, 曹明涛, 刘涛

地址: 陕西省西安市临潼区书院东路 3 号 邮编: 710600

邮箱 (lixinghua@ntsc.ac.cn)

摘要正文: 艾里光子由于其具有无衍射和自愈性特性, 在自由空间量子通信领域具有重要的作用[1]。本文基于经典艾里光自发参量下转换过程制备了空间纠缠的艾里双光子。通过双光子符合测量, 验证了艾里双光子的波包轮廓。对泵浦光不同区域进行挡光操作, 研究了泵浦艾里光的空间结构对艾里双光子产生率的影响。结果表明, 泵浦艾里光的不同子瓣区域对双光子的贡献占比不同, 主瓣区域对双光子产生的贡献率可以达到75%。挡光过程会引起艾里光内部发生能量转移, 导致艾里双光子的产生率发生变化。此工作为自由空间量子通信的发展奠定了重要的研究基础。

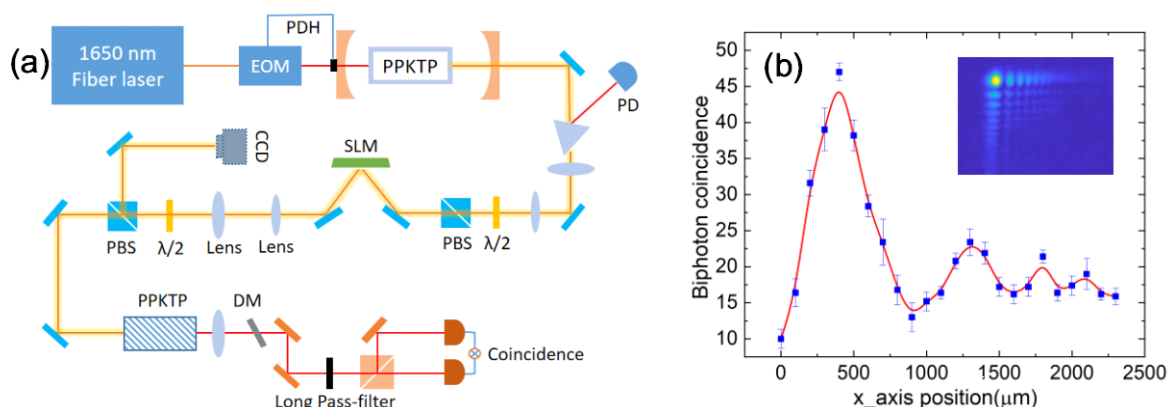


图1 (a)艾里双光子的制备装置示意图; (b)艾里双光子的波包轮廓, 插图为经典艾里的光斑图。

关键词: 艾里双光子、能量转移, 量子通信

参考文献

[1] Lib O., Bromberg Y., Spatially entangled Airy photons. Optics Letters, 45(6), 1399 (2020).

基于原子介质的完美矢量光场相干调控

马燕^{1,2}, 杨欣³, 王金文³, 常虹^{1,2}, 杨鑫琪^{1,2}, 曹明涛^{1,2}, 高宏³,
董瑞芳^{1,2}, 张首刚^{1,2}

¹Key Laboratory of Time and Frequency Primary Standards, National Time Service Center, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710600, China

²School of Astronomy and Space Science, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

³Ministry of Education Key Laboratory for Nonequilibrium Synthesis and Modulation of Condensed Matter, Shaanxi Province Key Laboratory of Quantum Information and Quantum Optoelectronic Devices, School of Physics, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China

地址: 陕西省西安市临潼区书院东路 3 号 邮编: 710600

邮箱: mayan20@mailsucas.ac.cn

摘要正文: 矢量光场具有丰富的偏振信息及焦场特性, 在光场调控及量子光学领域具有重要的应用前景。完美矢量光场作为一种新型矢量结构光场, 其腰斑尺寸不随光子拓扑荷数的增加而扩大, 可广泛应用于光场高维特性的研究。原子介质不仅具有良好的量子相干性, 更具有较高的调控自由度, 极易受光场或磁场极化, 为完美矢量光的调控提供了一种新的物理平台。偏振空间分布的矢量光场可以诱导出空间结构性的原子极化, 进而调控光场在原子介质中的传输特性^[1-3]。该工作研究了基于原子介质的完美矢量光场的相干调控。实验利用锥透镜与涡旋半波片组合制备了不同阶的完美矢量光场, 经原子介质调控后, 其透射强度分布呈类花瓣状, 通过调节磁场可以实现透射光的特异性强度分布。此外, 我们研究了透射光谱宽度与完美矢量光束参数之间的依赖关系。研究发现, 在原子介质中的透射光谱宽度不随光场拓扑荷数和光场腰斑尺寸变化, 其空间相干性可以得到良好保持。利用原子介质与矢量结构光场相互作用展示出的奇特量子相干效应, 有望在新型光场调控、量子相干调控以及磁场精密测量等领域展示出新的应用前景。

关键词: 完美矢量光场; 轨道角动量; 量子相干; 磁场测量

参考文献

- [1]. Chen Y, Wang J, Wang C, et al. Phase gradient protection of stored spatially multimode perfect optical vortex beams in a diffused rubidium vapor[J]. Optics Express, 2021, 29(20): 31582-31593.
- [2]. Yang X, Chen Y, Wang J, et al. Observing quantum coherence induced transparency of hybrid vector beams in atomic vapor[J]. Optics Letters, 2019, 44(11): 2911-2914.
- [3]. Wang J, Yang X, Li Y, et al. Optically spatial information selection with hybridly polarized beam in atomic vapor[J]. Photonics Research, 2018, 6(5): 451-456.

多体系统中量子导引的关系结构的实验展示

郝泽琰 1, 孙凯 1*, 王焱 1, 刘正昊 1, 杨木 1, 许金时 1*, 李传锋 1*,
郭光灿 1

1 中国科学院量子信息重点实验室, 合肥 230026

hzy0526@mail.ustc.edu.cn

摘要正文:

量子导引作为量子非局域性的一种, 拥有独特的非对称性质。研究多体系统中的量子导引时, 单配性关系会限制量子导引在个体之间的分享能力, 使得 Alice 不能同时被 Bob 和 Charlie 导引。然而, 有研究表明在增加测量方向的情况下, 更多的超越单配性的关系结构可以被看到。我们在光学系统中展示了这种更加丰富的量子导引的关系结构, 观测到 Alice 可以被 Bob 和 Charlie 同时导引。这项工作加深了我们对于多体量子导引的认识, 在构建多体量子网络, 多体纠缠检测中都有潜在的重要应用。

关键词: 量子信息; 量子纠缠; 量子导引

参考文献

- [1] Hao Z Y, Sun K, Wang Y, et al. Demonstrating shareability of multipartite Einstein-Podolsky-Rosen steering[J]. Physical Review Letters, 2022, 128(12): 120402.

高维多输入量子随机存取编码与相互无偏基

High-Dimensional Multi-input Quantum Random Access Codes and Mutually Unbiased Bases

苗瑞恒 Rui-Heng Miao, 刘墨地 Zhao-Di Liu, 孙永南 Yong-Nan Sun,

宁晨曦 Chen-Xi Ning, 李传锋 Chuan-Feng Li, 郭光灿 Guang-Can Guo

安徽省合肥市包河区中国科学技术大学东校区中国科学院量子信息重点实验室, 230026

CAS Key Laboratory of Quantum Information, University of Science and Technology of

China, Hefei 230026, China

mrh1602@mail.ustc.edu.cn

摘要正文:

Quantum random access codes (QRACs) provide a basic tool for demonstrating the advantages of quantum resources and protocols, which have found a wide range of applications in quantum information processing tasks. However, the investigation and application of high-dimensional multi-input ($n^{(d)} \rightarrow 1$) QRACs are still lacking. Here, we present a general method to find the maximum success probability of $n^{(d)} \rightarrow 1$ QRACs. In particular, we give the analytical solution for maximum success probability of $3^{(d)} \rightarrow 1$ QRACs when measurement bases are mutually unbiased bases (MUBs). Based on the analytical solution, we show the relationship between MUBs and $n^{(d)} \rightarrow 1$ QRACs. First, we provide a systematic method of searching for the operational inequivalence of MUBs (OI-MUBs) when the dimension d is a prime power. Second and shockingly, we theoretically prove that the commonly used Galois MUBs are not the optimal measurement bases to obtain the maximum success probability of $n^{(d)} \rightarrow 1$ QRACs, which indicates a breakthrough according to the traditional conjecture regarding the optimal measurement bases. Furthermore, based on high-fidelity high-dimensional quantum states of orbital angular momentum, we experimentally achieve 2-input and 3-input QRACs up to dimension 11. Finally, for the first time, we experimentally confirm the OI-MUBs when $d = 5$. Our results open new avenues for investigating the foundational properties of quantum mechanics and quantum network coding.

关键词:

量子随机存取编码 QRAC, 相互无偏基 MUBs, 高维量子系统 High-dimensional quantum system, 轨道角动量 OAM, 空间光调制器 SLM

参考文献

- [1] C. H. Bennett and S. J. Wiesner, Phys. Rev. Lett. 69, 2881 (1992).
- [2] A. S. Holevo, Probl. Peredachi Inf. 9, 3 (1973).
- [3] J. S. Bell, Physics Physique Fizika 1, 195 (1964).

- [4] M. Pawłowski, T. Paterek, D. Kaszlikowski, V. Scarani, A. Winter, and M. Żukowski, *Nature* **461**, 1101 (2009).
- [5] A. Ambainis, A. Nayak, A. Ta-Shma, and U. Vazirani, in *Proceedings of the thirty-first annual ACM symposium on Theory of computing* (1999) pp. 376–383.
- [6] A. Ambainis, A. Nayak, A. Ta-Shma, and U. Vazirani, *Journal of the ACM (JACM)* **49**, 496 (2002).
- [7] H. Klauck, in *Proceedings 42nd IEEE Symposium on Foundations of Computer Science* (2001) pp. 288–297.
- [8] S. Aaronson, in *Proceedings. 19th IEEE Annual Conference on Computational Complexity*, 2004. (2004) pp. 320–332.
- [9] I. Kerenidis and R. de Wolf, *Journal of Computer and System Sciences* **69**, 395 (2004), special Issue on STOC2003.
- [10] M. Hayashi, K. Iwama, H. Nishimura, R. Raymond, and S. Yamashita, in *STACS 2007*, edited by W. Thomas and P. Weil (Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2007) pp. 610–621.
- [11] H.-W. Li, Z.-Q. Yin, Y.-C. Wu, X.-B. Zou, S. Wang, W. Chen, G.-C. Guo, and Z.-F. Han, *Phys. Rev. A* **84**, 034301 (2011).
- [12] T. Lunghi, J. B. Brask, C. C. W. Lim, Q. Lavigne, J. Bowles, A. Martin, H. Zbinden, and N. Brunner, *Phys. Rev. Lett.* **114**, 150501 (2015).
- [13] D.-D. Li, Q.-Y. Wen, Y.-K. Wang, Y.-Q. Zhou, and F. Gao, *Scientific Reports* **5**, 15543 (2015).
- [14] M. Pawłowski and N. Brunner, *Phys. Rev. A* **84**, 010302 (2011).
- [15] A. Tavakoli, A. Hameedi, B. Marques, and M. Bourennane, *Phys. Rev. Lett.* **114**, 170502 (2015).
- [16] A. Ambainis, D. Kravchenko, and A. Rai, *arXiv*, 1510.03045 (2015).
- [17] M. Farkas and J. M. K. Kaniewski, *Phys. Rev. A* **99**, 032316 (2019).
- [18] H. Anwer, S. Muhammad, W. Cherifi, N. Miklin, A. Tavakoli, and M. Bourennane, *Phys. Rev. Lett.* **125**, 080403 (2020).
- [19] C. Carmeli, T. Heinosaari, and A. Toigo, *EPL (Europhysics Letters)* **130**, 50001 (2020).
- [20] X.-R. Wang, L.-Y. Wu, C.-X. Liu, T.-J. Liu, J. Li, and Q. Wang, *Phys. Rev. A* **99**, 052313 (2019).
- [21] E. A. Aguilar, J. J. Borkała, P. Mironowicz, and M. Pawłowski, *Phys. Rev. Lett.* **121**, 050501 (2018).
- [22] B. C. Hiesmayr, D. McNulty, S. Baek, S. S. Roy, J. Bae, and D. Chruściński, *New Journal of Physics* **23**, 093018 (2021).
- [23] W. K. Wootters and B. D. Fields, *Annals of Physics* **191**, 363 (1989).
- [24] T. DURT, B. -G. ENGLERT, I. BENGTSOON, and K. ŻYCZKOWSKI, *International Journal of Quantum Information* **08**, 535 (2010), <https://doi.org/10.1142/S0219749910006502>.
- [25] See supplementary material of this paper (2022).
- [26] S. Designolle, P. Skrzypczyk, F. Fröwis, and N. Brunner, *Phys. Rev. Lett.* **122**, 050402 (2019).
- [27] Z.-D. Liu, Y.-N. Sun, Z.-D. Cheng, X.-Y. Xu, Z.-Q. Zhou, G. Chen, C.-F. Li, and G.-C. Guo, *Phys. Rev. A* **95**, 022341 (2017).
- [28] Y.-N. Sun, Z.-D. Liu, J. Bowles, G. Chen, X.-Y. Xu, J.-S. Tang, C.-F. Li, and G.-C. Guo, *Optica* **7**, 1073 (2020).
- [29] J. T. Barreiro, T.-C. Wei, and P. G. Kwiat, *Nature Physics* **4**, 282 (2008).
- [30] J. Wang, J.-Y. Yang, I. M. Fazal, N. Ahmed, Y. Yan, H. Huang, Y. Ren, Y. Yue, S. Dolinar, M. Tur, and A. E. Willner, *Nature Photonics* **6**, 488 (2012).
- [31] M. Padgett and R. Bowman, *Nature Photonics* **5**, 343 (2011).
- [32] M. P. Givens, *American Journal of Physics* **35**, 1056 (1967), <https://doi.org/10.1119/1.1973727>.
- [33] J. A. Davis, D. M. Cottrell, J. Campos, M. J. Yzuel, and I. Moreno, *Appl. Opt.* **38**, 5004 (1999).

- [34] E. Bolduc, N. Bent, E. Santamato, E. Karimi, and R. W. Boyd, *Opt. Lett.* **38**, 3546 (2013).
- [35] F. Bouchard, N. H. Valencia, F. Brandt, R. Fickler, M. Huber, and M. Malik, *Opt. Express* **26**, 31925 (2018).

基于相干布居数囚禁的时域类法布珀罗谐振器

方瑞环^{1,2}; 韩成银¹; 江迅达^{1,2}; 邱宇翔^{1,2}; 郭媛媛^{1,2}; 赵敏华^{1,2}; 黄嘉豪^{1,*};

鹿博^{1,#}; 李朝红^{1, §}

¹广东省量子精密测量与传感重点实验室&中山大学物理与天文学院

²中山大学光电材料与技术国家重点实验室

*hjiahao@mail2.sysu.edu.cn

#Lubo3@mail.sysu.edu.cn

§lichao2@mail.sysu.edu.cn

摘要正文：基于相干布居数囚禁（CPT）的拉姆齐光谱（Ramsey Spectroscopy）在精密测量领域具有重要的作用。常规的CPT-Ramsey条纹包含许多几乎一模一样的振荡，导致难以识别出中心条纹。我们利用激光冷却的铷-87原子的双- Λ 构型CPT在实验上实现了时域类法布里-珀罗谐振器干涉。通过在两个CPT-Ramsey脉冲中间插入周期CPT脉冲序列，由于干涉相长，能获得频域等间距的透射光谱梳，从而提高中心条纹的识别度。基于双 Λ 构型的五能级Bloch方程，我们证明了时域多脉冲CPT-Ramsey干涉可映射到空间法布里-珀罗谐振器干涉[1]。由于两组基态朗德g因子的微小幅度差，当外部磁场不太弱时，每个峰劈裂成两个。该劈裂和磁场强度呈完全线性关系，因此可以应用于精密磁场测量[2]。

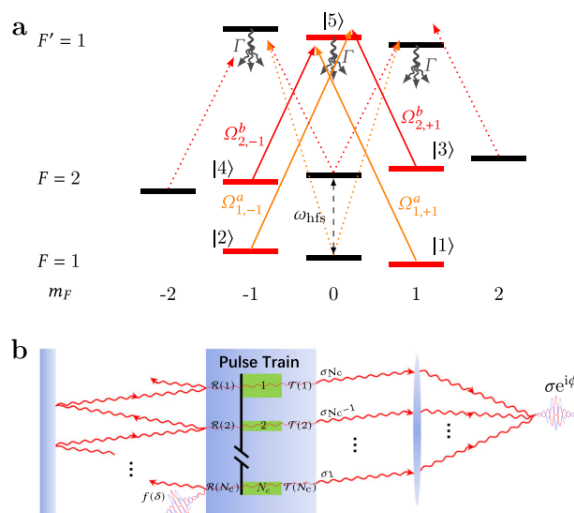


图1 铷-87原子 Λ 双- Λ 构型CPT跃迁示意图。(a)红色和黑色能级分别代表两个独立的五能级和朗德g因子系统。(b)时域类法布珀罗谐振器，CPT 脉冲逆序映射到法布珀罗的反射中。

关键词：相干布居数囚禁，量子干涉，精密磁场测量，原子钟。

参考文献

- [1] Fang, R. et al, Temporal analog of Fabry-Pérot resonator via coherent population trapping, npj Quantum Inf 7, 143 (2021)
- [2] Chengyin H. et al, Adaptive Bayesian algorithm for achieving a desired magneto-sensitive transition, Opt. Express 29, 21031-21043 (2021)

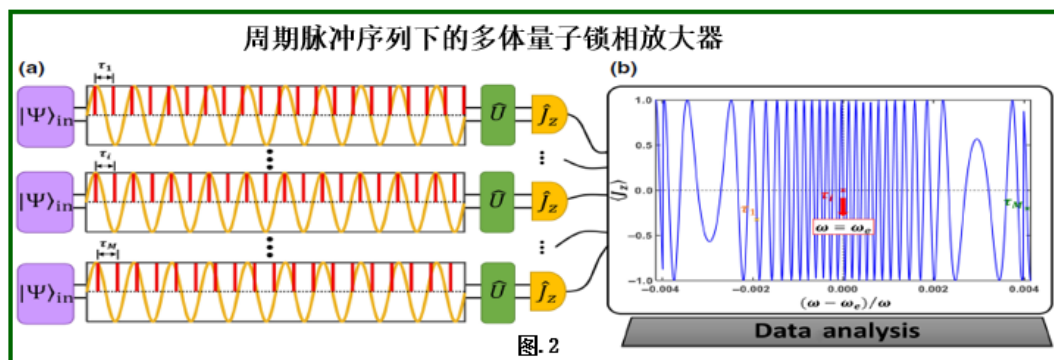
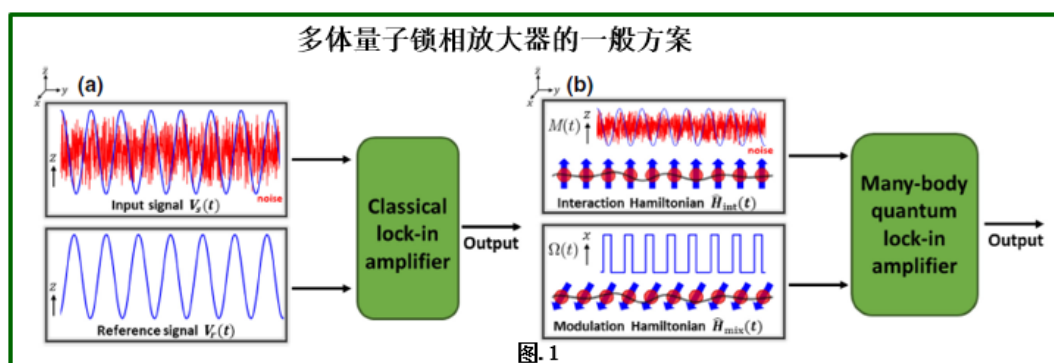
多体量子锁相放大器

庄敏、黄嘉豪、李朝红

中山大学物理与天文学院 519000

zhuangm3@mail2.sysu.edu.cn

如何从强噪声中提取时间周期信号是精密测量领域中的一个非常重要的科学问题，我们发展了多体量子锁相放大器的一般方案，可对弱周期信号实现突破标准量子极限的精密测量，如图.1所示。基于量子多体系统，我们提出了利用周期脉冲序列下的量子干涉来实现多体量子锁相放大器来实现强噪声中射频磁场的精密测量,如图.2所示。进一步，我们将量子多体纠缠态用于多体量子锁相放大器中，实现了量子增强的多体量子锁相器和接近海森堡极限的射频磁场测量。此研究不仅为强噪声中时间周期信号的精密测量提供了新方法，而且在实际的量子传感器件（如原子钟、磁力仪和弱力探测器等）中有广泛的潜在应用。



关键词：量子精密测量、量子锁相放大、量子多体纠缠。

参考文献

- [1] Kotler S. et al., Single-ion quantum lock-in amplifier, Nature 473, 61 (2011).
- [2] Shaniv R. et al. Quantum lock-in force sensing using optical clock doppler velocimetry, Nat Commun. 8, 14157 (2017).
- [3] Schmitt S. et al, Submillihertz magnetic spectroscopy performed with a nanoscale quantum sensor, Science 356, 832 (2017).

在非对称交叉光阱中铷 87 玻色-爱因斯坦凝聚的制备

马翥^{1,2*}, 韩成银¹, 江迅达^{1,2}, 方瑞环^{1,2}, 邱宇翔^{1,2}, 赵敏华^{1,2}, 黄嘉豪¹, 鹿博^{1**},

李朝红^{1,2†}

¹广东省量子精密测量与传感重点实验室&中山大学物理与天文学院, 珠海 519082

²中山大学光电材料与技术国家重点实验室, 广州 510275

*mazh26@mail2.sysu.edu.cn; **lubo3@mail.sysu.edu.cn; †lichao2@mail.sysu.edu.cn

摘要正文：我们报道了在非对称交叉光偶极阱中产生铷87玻色-爱因斯坦凝聚体，而不需要额外的激光束^[1]。在我们的实验中，非对称交叉光偶极阱由两束不同半径的激光束形成，以实现激光冷却原子的高效捕获和快速蒸发。与磁阱中的冷却过程相比，原子首先被激光冷却，然后直接加载到非对称交叉光偶极阱中，无需预蒸发冷却过程^[2]。为了确定蒸发冷却的最佳参数，我们优化了两束光的功率比和蒸发时间，以最大化非对称交叉光偶极阱中剩余的最终原子数。通过非对称交叉光偶极阱中加载约 6×10^5 个激光冷却原子，我们在19秒蒸发后获得了约 1.4×10^4 个原子的纯BEC。此外，我们证明了通过主元分析可以减少光密度分布中的条纹型噪声，从而相应地提高了温度测量的可靠性^[3]。最后，我们展望下一步工作，铷87玻色-爱因斯坦凝聚体相变动力学中Kibble-Zurek机制^[4]。

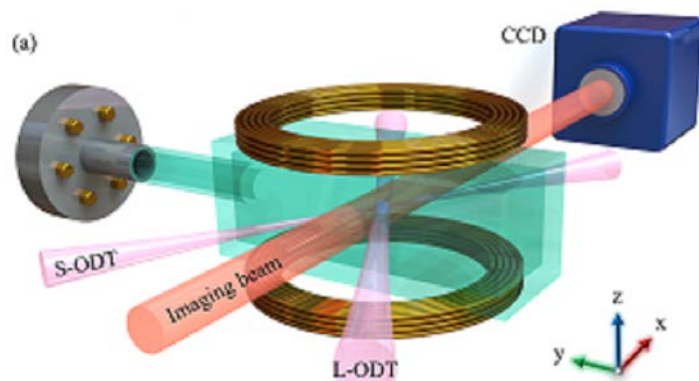


图1 非对称交叉光偶极阱示意图

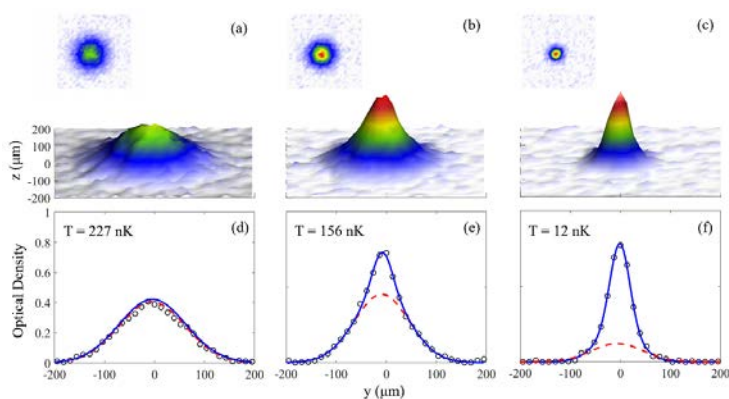


图2 不同蒸发过程吸收成像

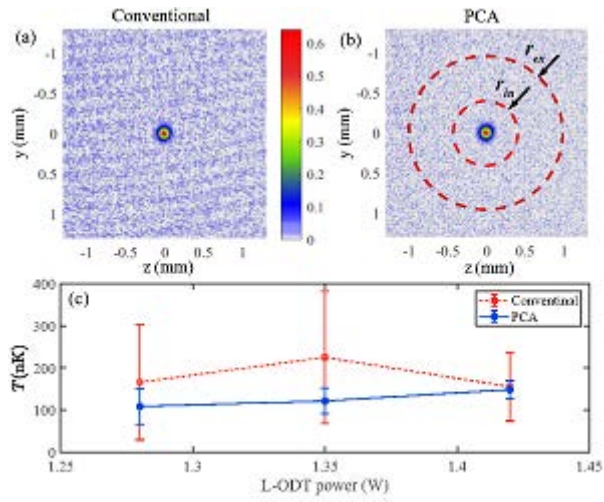


图3 主元分析后吸收成像和温度

关键词：玻色-爱因斯坦凝聚体，蒸发冷却，Kibble-Zurek 机制

参考文献

- [1] Ma Z. et al., Production of ^{87}Rb Bose-Einstein Condensate in an Asymmetric Crossed Optical Dipole Trap, Chin. Phys. Lett. 38 (10), 103701 (2021).
- [2] Lin Y. J. et al., Rapid production of ^{87}Rb Bose-Einstein condensates in a combined magnetic and optical potential, Physical Review A 79 (6), 063631 (2009).
- [3] Niu L. et al., Optimized fringe removal algorithm for absorption images, Appl. Phys. Lett. 113 (14), 144103 (2018).
- [4] Goo J. et al., Defect Saturation in a Rapidly Quenched Bose Gas, Physical Review Letters 127 (11), 115701 (2021).

三光子非对称最大纠缠态的实验制备及其在量子隐形传态中的应用

周林祥，徐桥，冯田峰，周晓祺

广东省广州市新港西路 135 号中山大学，邮政编码 510275

zhoulx6@mail2.sysu.edu.cn

摘要正文：量子纠缠是量子信息的核心资源，它的一个重要应用是作为量子隐形传态[1]的资源，能够实现不同量子客体间的信息传递。相同维度量子客体间的量子隐形传态[2,3]已经在很多实验中实现了，然而，在未来的量子网络中，需要实现不同维度量子客体间的量子隐形传态。为了实现不同维度量子客体之间的量子隐形传态，需要用到一种包含不同维度粒子的特殊量子纠缠态。我们实验制备了一个三光子非对称最大纠缠态[4]，(2,2,4)态，包含有两个 qubit 和一个 ququart。利用这个非对称最大纠缠态作为资源，我们实现了一个量子隐形传态实验，实现了将 two qubit 的量子信息传递到一个 ququart 中。量子隐形传态的保真度范围为 0.79~0.86，远高于最优单次拷贝 ququart 态估计极限 [5] 0.4 和 qutrit-ququart 的最大叠加 0.75，因此证实了我们实现了一个真正并且非经典的 4 维隐形传态[3]。

关键词：量子纠缠，量子隐形传态，非对称最大纠缠态

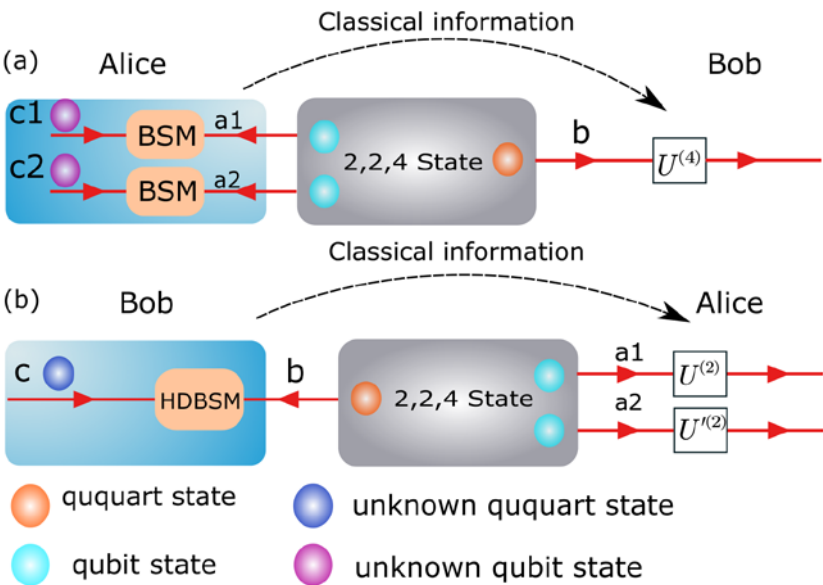


图 1 two qubit 与 ququart 之间量子隐形传态

参考文献

[1] Bennett C H, Brassard G, Crépeau C, et al. Teleporting an unknown quantum state via dual classical and Einstein-Podolsky-Rosen channels. Physical review letters, 70,1895, (1993).
[2] Hu X M, Zhang C, Liu B H, et al. Experimental high-dimensional quantum teleportation. Physical Review Letters, 125,230501, (2020).
[3] Luo Y H, Zhong H S, Erhard M, et al. Quantum teleportation in high dimensions. Physical review letters, 123,070505,

(2019).

[4] Huber M, De Vicente J I. Structure of multidimensional entanglement in multipartite systems. Physical review letters, 110,030501, (2013).

[5] Hayashi A, Hashimoto T, Horibe M. Reexamination of optimal quantum state estimation of pure states. Physical review A, 72,032325, (2005).

基于量子点的间接电泵浦单光子源

李学诗

中山大学物理学院光电材料与技术国家重点实验室，广东省广州市番禺区外环东路 132 号，510275

Email: lixsh8@mail2.sysu.edu.cn

异构集成技术可以将不同的纳米级光学结构结合在一起，这可以克服不同的制备工艺的限制[1]。目前，高性能的垂直腔面发射激光器(VCSEL)和单光子源(SPSs，例如化合物半导体量子点(QDs))[2]已经可以独立地制备。如何将这两种不同的微纳光学器件集成在一起，是我们工作的重点。

在本工作中，我们提出了一种结合垂直腔面发射激光器(VCSEL)和含有量子点的环形布拉格光栅(CBG)的异质结集成器件。其中，通过成熟的量子点定位技术，我们就可以精准地将InAs量子点嵌入到浅刻蚀的环形布拉格光栅[3]中，浅刻蚀的环形布拉格光栅可以用来提高InAs量子点发光的收集效率，增强量子点内自发辐射速率，以及减小激发寿命等作用。之后，利用转移微纳结构的技术[1]，我们将耦合在浅刻蚀环形布拉格光栅上的量子点转移到垂直腔面发射激光器的上表面，并利用垂直腔面发射激光器发出的激光激发量子点，从而获得量子光源的信号。图1中显示了嵌有量子点的环形布拉格光栅与垂直腔面发射激光器的集成的基本设计。

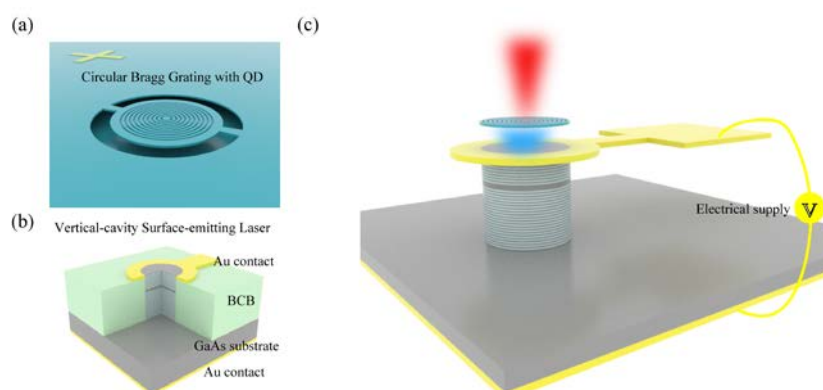


图1 集成结构设计示意图：(a)含有量子点的浅刻蚀悬浮牛眼腔(CBG)；(b)垂直腔面发射激光器(VCSEL)；(c)集成结构。

关键词：单光子源；环形布拉格光栅；垂直腔面发射激光器；异构集成

参考文献

- [1] M. Davanco*, J. Liu* et al., Heterogeneous integration for on-chip quantum photonic circuits with single quantum dot devices. Nature communications 8.1 (2017): 1-12.
- [2] J. Liu* et al., Single self-assembled InAs/GaAs quantum dots in photonic nanostructures: The role of nanofabrication. Physical review applied 9.6 (2018): 064019.
- [3] Y. M. He, J. Liu et al., Deterministic implementation of a bright, on-demand single-photon source with near-unity indistinguishability via quantum dot imaging. Optica 4.7 (2017): 802-808.

基于非悬浮式环形布拉格腔的高亮度量子点单光子源

马剑涛

中山大学物理学院光电材料与技术国家重点实验室，广东省广州市番禺区外环东路 132 号，510275

Email :majt6@mail2.sysu.edu.cn

摘要正文：高亮度的量子点单光子源的实现是量子光学技术的一大挑战[1]。目前研究提出了多种微纳结构以调控量子点的自发辐射速率和收集效率，其中基于环形布拉格腔(CBG)的结构设计在收集效率上具有显著的优势。但由于环形布拉格腔悬浮于低折射率衬底的结构要求，往往需要利用湿法刻蚀技术[2]或薄膜转移技术[3]，在工艺上提高了器件制备的难度，降低器件生产效率。应对此挑战，本工作结合分布式布拉格反射镜(DBR)设计了一种无需将环形布拉格腔悬浮的光学微腔结构(图1(a))，环形布拉格腔可直接制备于分布式布拉格反射镜上。该结构理论上可以在920nm波长下实现收集效率为78.7%以及Purcell因子为5的量子点单光子源，同时降低了器件的制备难度，在实验上提升高亮度量子点单光子源的制备效率。

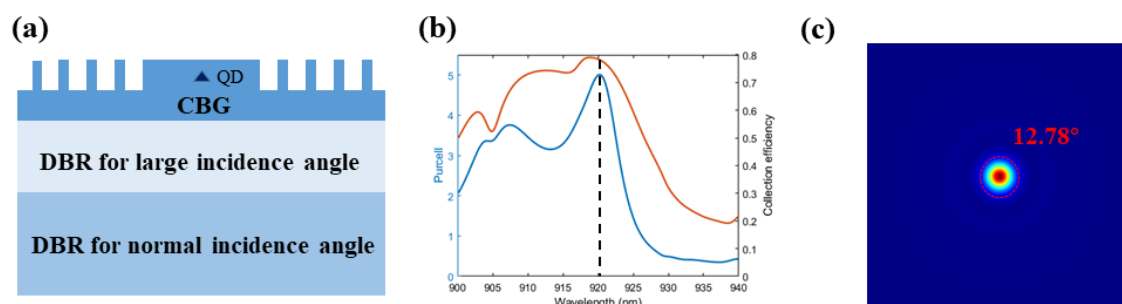


图1 非悬浮环形布拉格腔量子点单光子源；(a)非悬浮环形布拉格腔结构示意图；(b)非悬浮环形布拉格腔在不同波长下的Purcell因子及收集效率；(c)920nm波长下的腔模远场分布。

关键词：量子点，单光子源，环形布拉格腔，分布式布拉格反射镜

参考文献

- [1] J. Liu*, et al., Single Self-Assembled InAs/GaAs Quantum Dots in Photonic Nanostructures: The Role of Nanofabrication. *Phys. Rev. Appl.* 9, 064019 (2018)
- [2] S. Ateş. et al., Bright Single-Photon Emission From a Quantum Dot in a Circular Bragg Grating Microcavity, *IEEE J. Select. Topics Quantum Electron.* 18, 1711 (2012).
- [3] J. Liu, et al. “A solid-state source of strongly entangled photon pairs with high brightness and indistinguishability”, *Nat. Nanotechnol.* 14, 586 (2019).

一维手征对称拓扑绝缘体卷绕数的实空间形式

林凌¹, 柯勇贯², 李朝红³

深圳大学物理与光电工程学院

中山大学物理与天文学院

1. LINL25@mail3.sysu.edu.cn

2. keyg@mail2.sysu.edu.cn

3. chleecn@gmail.com

摘要正文：我们研究了具有手征对称性的一维拓扑绝缘体中的卷绕数的实空间形式。我们提出的实空间卷绕数是与动量空间的卷绕数形式是等价的。当无序不破坏手征对称性时，我们提出的实空间卷绕数仍能很好地刻画体系的拓扑性质。我们还证明了我们提出的公式与之前提出的实空间形式以及使用扭曲边界条件定义的卷绕数是等价的，并且我们进一步证明了其体边对应性。我们也对我们的公式进行了数值验证。

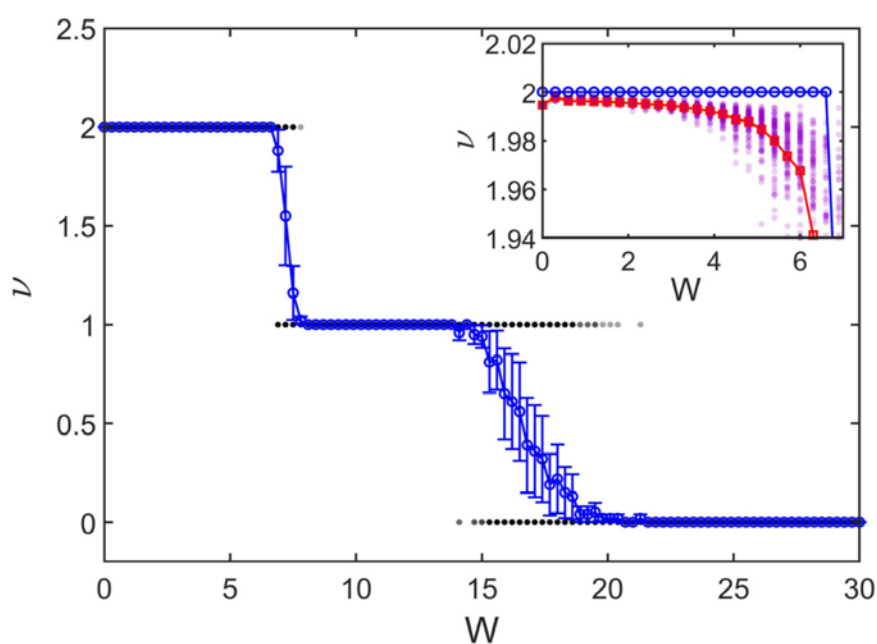


图1 卷绕数随无序强度的变化

关键词：拓扑绝缘体，卷绕数，实空间形式，无序，扭曲边界条件

参考文献

[1] Ling Lin, Yongguan Ke, and Chaohong Lee, Physical Review B 103, 224208 (2021)

自适应贝叶斯算法探测磁敏感相干布居数囚禁

韩成银, 黄嘉豪, 江迅达, 方瑞环, 邱宇翔, 鹿博, 李朝红

中山大学, 广东省量子精密测量与传感重点实验室&物理与天文学院, 519082

邮箱: hanchy3@mail.sysu.edu.cn

摘要正文: 贝叶斯方法根据贝叶斯推论, 在每次测量后, 由先验概率分布和似然函数更新后验概率分布, 实现物理量的估计, 广泛应用于量子相位估计、量子态甄别、哈密顿量学习等量子信息技术。在量子精密测量与传感中, 高效和准确地确定量子跃迁频率至关重要。我们提出了一种通过自适应贝叶斯算法搜索磁敏感跃迁对应的实验条件的方案, 并在冷原子相干布居数囚禁实验中得到验证。相干布居数囚禁 (Coherent Population Trapping, CPT) 是一种不同跃迁路径之间破坏性干涉引起的量子现象, 具有全光性, 广泛应用于原子钟和原子磁力计。由于磁敏感跃迁频率和外加磁场成正比, 实验上通过压控电流源控制线圈电流能实时控制磁场。实验上, 利用自适应贝叶斯算法, 磁场控制电压能在有限迭代次数下 ($N > 10$), 自动收敛到目标跃迁频率对应值, 随着迭代次数的增加, 后验概率分布不断压窄, 继而提高光谱的分辨率和减小测量误差。通过增加CPT光谱噪声、电压白噪声以及将控制电压与跃迁频率成二次关系, 我们实验证明了自适应贝叶斯算法不仅对噪声具有鲁棒性, 还能应用到非线性关系中。我们的工作提供了一种简单、高效地确定跃迁频率的方法, 可以广泛应用到原子钟、原子磁力计和核磁共振等领域。

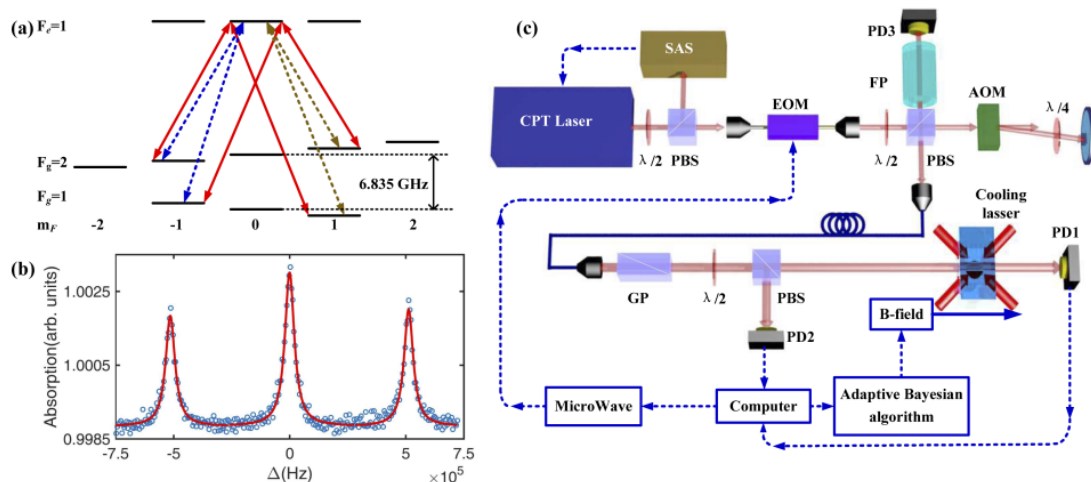


图1 实验示意图 (a) lin||lin构型CPT涉及的铷-87原子能级结构; (b) lin||lin构型的CPT光谱, 包含两个磁敏感跃迁和一个磁非敏感跃迁; (c) 实验装置图。

关键词: 量子精密测量, 自适应贝叶斯算法, 磁敏感跃迁, 相干布居数囚禁

参考文献

- [1] Chengyin Han et al., Adaptive Bayesian algorithm for achieving a desired magneto-sensitive transition, Optics Express 29, 21031-21043(2021).

斯塔克多体局域相变中的迁移率边

张莉, 柯勇贯, 柳文洁, 李朝红*

广东省珠海市香洲区唐家湾大学路 2 号中山大学, 519082

zhli35@mail2.sysu.edu.cn

摘要正文: 多体局域是指相互作用的孤立量子系统中热化破缺的现象, 即子系统的约化密度矩阵不能用平衡态量子统计系综描述[1]。迁移率边是能谱中区分热化相和多体局域相的边界, 广泛存在于由无序诱导的局域相变中[1]。对热化-多体局域相变的理解不仅是量子统计物理中的基本问题, 而且是量子信息存储等技术的理论基础。最近, 由倾斜势诱导的斯塔克多体局域被提出[2,3]。斯塔克多体局域具有和多体局域类似的性质, 然而, 在热化-斯塔克多体局域相变中是否存在迁移率边是未知的。在本报告中, 我们将给出一维倾斜光晶格中相互作用的无自旋费米子 (见图1) 的能谱统计特性随能量密度的变化。通过对能谱统计特性做有限尺寸标度, 我们将揭示在由倾斜势诱导的热化-斯塔克多体局域相变中存在一个清楚的迁移率边[4], 见图2。另外, 通过分析本征态, 我们发现处于斯塔克多体局域相的本征态的纠缠熵满足面积率标度, 并且纠缠熵的涨落的峰值对应着热化-斯塔克多体局域相变点, 进一步佐证了迁移率边的存在。

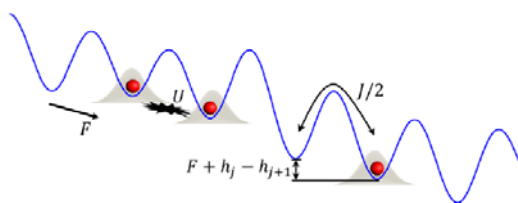


图1: 一维倾斜光晶格中相互作用的无自旋费米子。

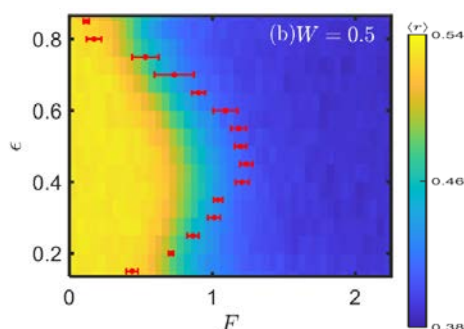


图2: 热化-斯塔克多体局域相变中的迁移率边。

关键词: 热化、各态历经、多体局域、斯塔克多体局域、迁移率边

参考文献

- [1] Abanin D.A. et al., Colloquium: Many-body localization, thermalization, and entanglement, Rev. Mod. Phys. 91, 021001 (2019).
- [2] Schulz M. et al., Stark Many-body Localization, Phys. Rev. Lett. 122, 040606 (2019).

- [3] Nieuwenbrug E. van, et al., From Bloch oscillations to many-body localization in clean interacting systems, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 116, 9269 (2019).
- [4] Zhang L., et al., Mobility edge of Stark many-body localization, Phys. Rev. A, 103, 023323 (2021).

通讯波段与环形布拉格光栅确定性耦合的高亮单光子源

许释文¹, 韦玉明¹, 苏榕彬¹, 李学诗¹, 黄培年¹, 刘顺发¹,

黄晓莹², 喻颖², 刘进¹, 王雪华¹

¹中山大学物理学院, 光电材料与技术国家重点实验室, 广东广州, 510275

²中山大学电子与信息工程学院, 光电材料与技术国家重点实验室, 广东广州, 510275

weiyim8@mail.sysu.edu.cn

通信波段的高品质固态系统单光子源在光纤中传输损耗小, 模式色散低, 在远距离量子通信和量子网络构建等方面具有重要应用价值。外延生长的半导体量子点具有优异的光学特性, 且易于与现有半导体加工工艺兼容, 是实现高品质单光子源的重要候选者之一。然而, 由于生长工艺较为复杂, 缺乏与光学微腔确定性耦合的有效手段以及通信波段单光子探测成本较高等问题, 目前国际上还没有同时具备高亮度、高单光子纯度和高不可分辨性的通信波段固态系统单光子源的报道。在本工作中, 我们通过引入InGaAs应力减少层^[1]来将量子点波长红移到通信O-波段; 同时, 将宽视场荧光成像定位技术扩展到通信波段, 确定性的将量子点耦合到环形布拉格光栅结构中, 最终实现了高亮度的通信波段单光子源^[2]。

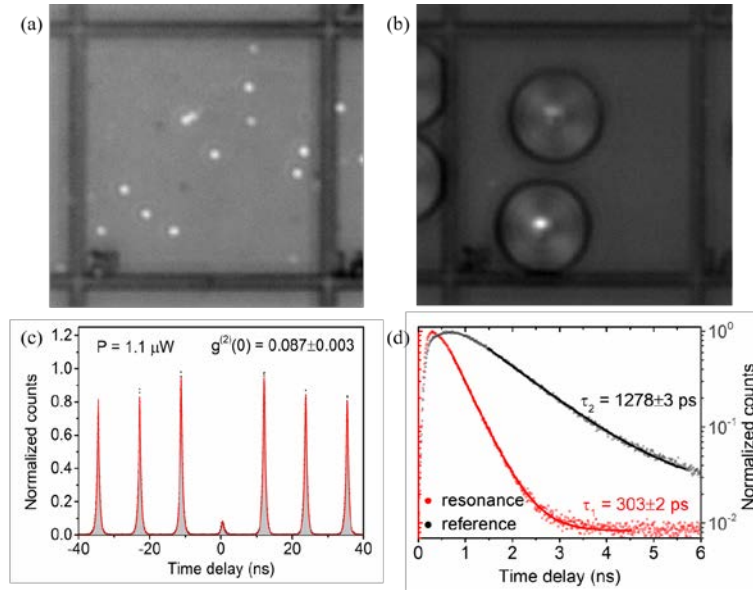


图1 (a)和(b)定位前后的量子点荧光成像结果; (c)低功率激发下的量子点荧光单光子纯度测量结果; (d)环形布拉格光栅结构耦合(黑色)和失谐(红色)的量子点的寿命测量结果。

关键词: 量子点; 通讯波段; 宽视场成像定位; 环形布拉格光栅

参考文献

- [1] M. Paul et al., Metal-organic vapor-phase epitaxy-grown ultra-low density InGaAs/GaAs quantum dots exhibiting cascaded single-photon emission at 1.3 μm , Appl. Phys. Lett. 106, 122105 (2015).
- [2] Shiwen Xu et al., Bright single-photon sources in the telecom band by deterministically coupling single quantum dots to a hybrid circular Bragg resonator, Photonics Reserach. (2022, in press).

自旋链上拓扑磁振子激发的反常体边对应性

柳文洁

广东省珠海市中山大学 519000

liuwj39@mail2.sysu.edu.cn

摘要正文：体边对应性将体拓扑和鲁棒边缘态联系起来，是拓扑物态的重要特征之一。在本该为拓扑平庸的参数下，我们发现了二聚化海森堡 XXZ 链中磁振子激发的反常拓扑边缘态和缺陷边缘态。通过重新定义一个实空间的绕数，我们将绕数与拓扑边缘态的对应关系称为反常体边对应性。值得注意的是，即使对于单磁子激发，纵向相互作用在反常拓扑边缘态的出现中仍然起着至关重要的作用。对于多磁子激发，偶数磁振子束缚态总是拓扑平庸的，但在横向二聚化和纵向相互作用的作用下，奇数磁振子束缚态可能是拓扑非平庸的。我们的工作与拓扑能带理论相辅相成，开辟了探索拓扑磁振子激发的新途径。

关键词：拓扑磁振子激发；体边对应性；拓扑边缘态；缺陷边缘态

参考文献

- [1] Wenjie Liu, Zhoutao Lei, Yongguan Ke, and Chaohong Lee, Anomalous bulk-boundary correspondence of topological magnon excitations in a spin chain, arXiv:2202.13780.