

第四届 全国光量子科学与技术学术会议

2025 × 中国·西安
7月4日-7日

主办单位

中国光学学会光量子科学与技术专业委员会

承办单位

西安交通大学、陕西省物理学会

协办单位

合肥知冷低温科技有限公司

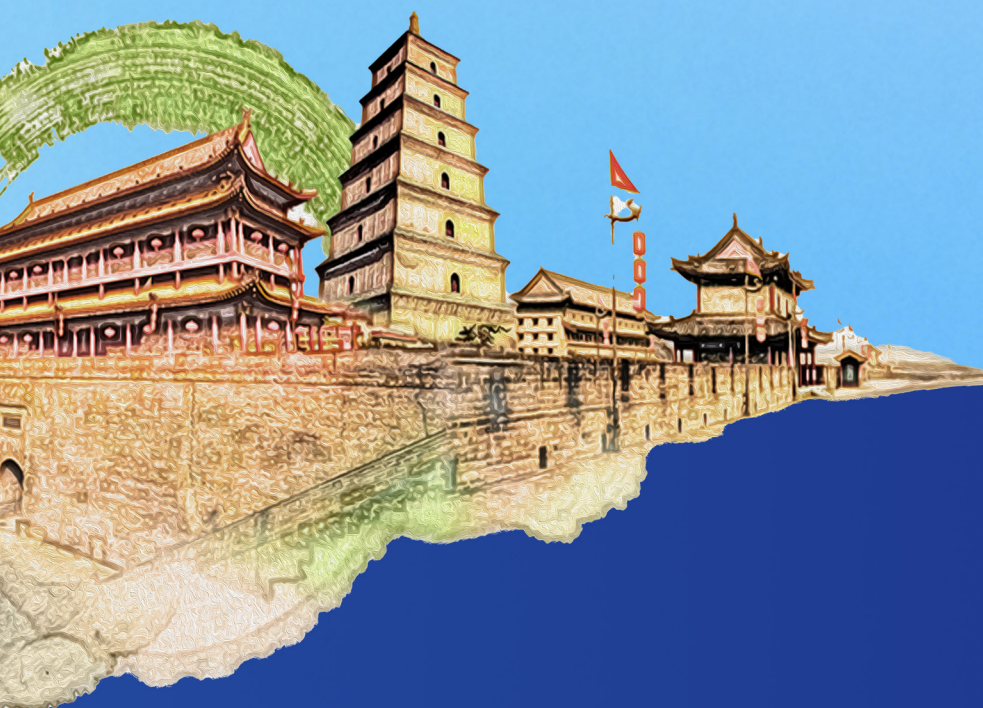
支持期刊

《中国科学：信息科学》(SCIENCE CHINA Information Sciences)

XI'AN · CHINA

西安

会议官方网站
www.opt-quantum.com



分会场 A

Microscopic Theory of Heat Transfer across a Vacuum

廖洁桥
湖南师范大学

Abstract: Heat transfer is a fundamental concept in physics, and how to characterize the physical mechanism of heat transfer is a significant topic. Recently, a new mechanism for heat transfer, phonon heat transfer across a vacuum through quantum fluctuations, has been experimentally demonstrated in a two-vibrating-membrane system. However, the microscopic theory behind this phenomenon remains unexplored. In this talk, we will introduce the microscopic theory of phonon heat transfer across a vacuum confined by two movable end mirrors of a one-dimensional optomechanical cavity. Under the multimode cavity field framework, we obtain a second-order effective Hamiltonian describing the phonon-exchange interaction between the two mirrors, which governs the heat transfer effect. By examining the mode temperatures and heat flux, we confirm the dependence of the heat transfer on the system parameters. Our work initiates the study of thermodynamics in optomechanical cavity platform from the microscopic framework, and will have profound implications for both thermal management in nanoscale devices and cavity optomechanics.

复杂量子纠缠的检测及应用

项玉

西安交通大学 物理学院物质非平衡合成与调控教育部重点实验室

摘要：量子纠缠作为区别于经典物理的显著特征，在量子通信、量子计算与量子精密测量等诸多领域都发挥着至关重要的作用。想要充分利用这种资源，一个首要的问题就是能否准确地区分出具有纠缠特性的量子态。然而，在连续变量编码的量子体系中，特别是针对复杂多样的非高斯量子态，该问题则显得尤为棘手。由于这些量子态在数学上由无限维的希尔伯特空间描述，传统的依赖量子态层析技术重构密度矩阵的方法难度极大。近年来，机器学习领域的迅速发展为解决该类问题提供了新的工具。在近期工作中，我们提出了基于神经网络的连续变量纠缠检测新方案，基于神经网络强大的图像识别与数据分析能力，巧妙地利用了实验上易于获取的关联图像，实现对连续变量纠缠的高效且精准的识别。然后，我们将该思想扩展到对任意多模非高斯态的纠缠结构进行分类的任务中。为了解决模拟多模连续变量系统的困难，我们提出了一种量子数据增强方法，可以无成本的扩大训练数据集的规模，显著提高了纠缠结构的分辨精度。受量子资源理论中自由操作的启发，可以设计更广泛的标签保持变换作为数据增强操作，有效地增加训练数据集的大小和多样性。在纠缠的应用方面，我们还提出了多用户量子网络中半器件无关的随机数制备方案，展示了量子网络可以产生比已有两体系统中更高、更安全的随机性。通过与实验组的合作，分别在基于光纤连接的远距离量子节点间、光子多路径编码的高维纠缠态中实现了半器件无关和完全器件无关的随机数高效制备。

冷原子系综的光量子存储及传感 (G/E)

董亮¹, 王兴昌¹, 梁馨云¹, 左瀛², 陈洁菲¹¹南方科技大学, ²深圳国际量子研究院

摘要: 光量子比特在传输信息方面具有不可比拟的优势, 原因在于它在室温下也能拥有极低的退相干率。光量子纠缠态的存储是光量子信息技术的重要技术之一。原子系综具有丰富且易于调控的能级结构和位置、动量等外态, 能与光子进行高效信息交换。通过激光冷却与囚禁技术制备的冷原子系综能处理低光强光子信息, 如实现非经典光的艾里操控。冷原子系综的电磁诱导透明方案在光存储中保持着最高记录~92%。

冷原子系综光量子存储的存储效率和存储寿命的同时优化需要多方面参数的优化。我们采用二维磁光阱延长原子系综的有效作用长度从而实现高光学厚度的存储介质。然而, 厘米以上的原子系综长度需要更精密的磁场平衡。我们最近使用一种新的调控方法以精确消除剩余磁场。利用一束能覆盖原子团的强激光作用在原子系综上, 通过空间光调控的方式对强激光的空间相位和强度作精确控制。远失谐强激光对原子能级起到 AC-stark shift 的作用, 其矢量项等效于磁场的作用。这是光诱导的磁子能级劈裂, 可用于抵消空间不均匀磁场引起的退相干。通过这个方法, 我们演示了高速并空间高精度的磁场控制, 在拉曼存储方案中实现了存储时间五倍的提升。

存储的原子自旋波在外加磁场的作用下累积相位。在被读出为光信号时其相位若与原来的入射光场形成一定相位差即可以通过两者的干涉条纹测量外加磁场的大小。被读出的光信号与原入射信号之间有一定的时间延迟, 存储时间越长, 延迟越长, 则入射光则需要更长的光纤延迟线实现两个光脉冲的时空重叠而发生干涉。这就限制了光和原子混合干涉仪在量子传感中的应用。基于非平衡干涉仪方案 [4], 我们利用一个频率稳定的本征光对读取的光场进行平衡零拍探测, 即把光场的幅度信号转化为光电流信号从而获得入射与读取光场之间的相位差。实验结果表明, 此方案可有效用于探测磁场, 且结合存储的方案可用于分布式的量子传感的实现。

Photonic Chiral State Transfer near the Liouvillian Exceptional Point

高慧霞

东南大学

Abstract: As branch-point singularities of non-Hermitian matrices, the exceptional points (EPs) exhibit unique spectral topology and criticality, with intriguing dynamic consequences in non-Hermitian settings. In quantum open systems, EPs also emerge in the Liouvillian spectrum, but their dynamic impact often pertains to the transient dynamics and is challenging to demonstrate. Here, using the flexible control afforded by single-photon interferometry, we study the chiral state transfer when the Liouvillian EP is parametrically encircled. Reconstructing the density-matrix evolution by experimentally simulating the quantum Langevin equation, we show that the chirality of the dynamics is only present within an intermediate encircling timescale and dictated by the landscape of the Liouvillian spectrum near the EP. However, the chirality disappears at long times as the system always relaxes to the steady state. We then demonstrate the power-law decay of the chirality in regard to the encircling time with a parameter-dependent exponent. Our experiment confirms the transient nature of chiral state transfer near a Liouvillian EP in quantum open systems, while our scheme paves the way for simulating general open-system dynamics using single photons.

量子不定因果序的设备无关认证 (A)

郭钰, 唐昊, 柳必恒

中国科学技术大学

Abstract: Quantum processes featuring indefinite causal orders have demonstrated the capability to generate correlations beyond the reach of fixed causal order, thereby enhancing the performance of various quantum information protocols. Similar to Bell nonlocality in entanglement characterization, extreme causal correlations offer promising pathways for device-independent certification of indefinite causal orders. However, the quantum SWITCH—currently the only experimentally realizable indefinite causal order process—fails to violate canonical causal inequalities. To address this limitation, recent theoretical advances combine Bell nonlocality with causal modeling, proposing a novel class of causal inequalities that admit (maximal) violation through quantum SWITCH implementations. Here we report the first experimental violation of such causal inequalities using an entanglement-assisted photonic quantum SWITCH. Our proof-of-principle demonstration overcomes critical technical challenges including high-speed quantum operations in photonic time-bin encoding, nanosecond synchronization of active optical and electron elements, and active temperature stabilization of a Mach-Zehnder interferometer. Our experimental data suggests a statistically significant violation of the causal inequality, thus representing a significant step toward certifying indefinite causal orders without characterizations on the quantum devices.

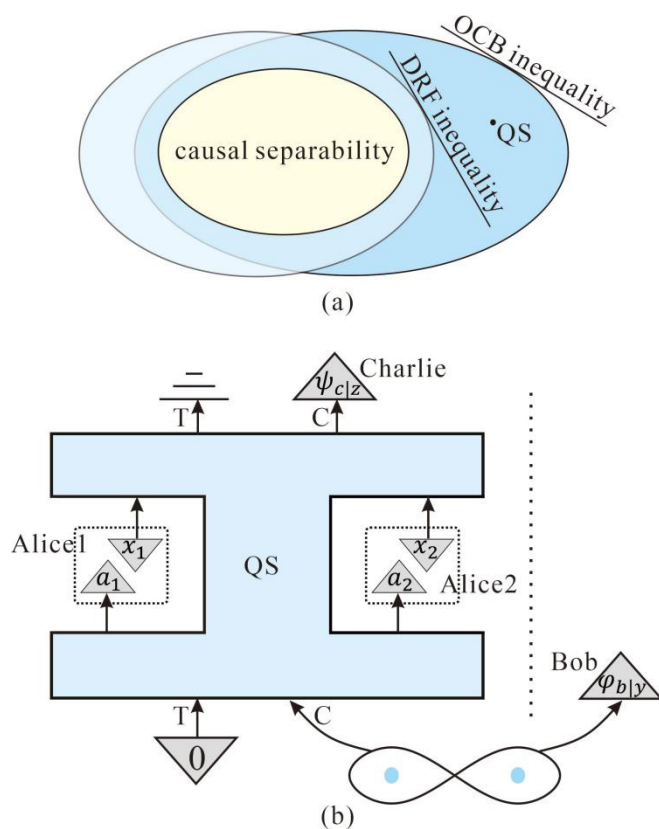


图 1. 量子因果关联的几何关系 (a) 和设备无关不定因果序认证 (b)

基于可编程集成光子学高维对称信息完全测量 (F)

胡晓敏¹, 冯兰天¹, 张明², 戴道铎², 任希锋¹, 柳必恒¹

¹ 中国科学技术大学量子信息实验室, ² 极端光学技术与仪器全国重点实验, 浙江省传感技术重点实验室, 浙江大学

摘要: 对称信息完全测量是许多量子信息协议的重要组成部分, 也是广义非正交量子测量的重要例子。在高维系统中, 这些测量变得越来越有趣, 而且实现起来也越来越复杂。我们工作报道了一种基于可编程光子集成光学技术的高维对称信息完备测量 (SIC-POVM) 的实现方法, 重点展示了对三维量子系统 (qutrit) 的高质量测量。我们通过硅量子光子处理器, 设计了一种具有 3 个输入和 9 个输出的集成光路, 成功实现了 qutrit 的 SIC 测量。该设备通过分解高维酉变换为多个三维子空间操作, 显著降低了实验复杂度, 同时保持了高保真度 (平均保真度为 0.9648)。实验验证了该测量设备的非经典特性, 包括超越投影测量极限的量子态区分能力和量子随机数生成中的优越性。此外, 该设备具有可编程性, 可灵活切换为其他量子测量方案 (如互无偏基测量)。研究还通过半定规划方法量化了测量设备的非投影性, 并展示了其在量子信息协议中的实际应用潜力, 如量子态层析和随机数生成。这项作为高维量子测量的实现提供了可扩展且高性能的平台, 为未来复杂量子信息任务的发展奠定了基础。

Revisiting optical rotation in helically-coiled fibers (A)

Chun-Fang Li¹, Zhi-Juan Hu²

¹Department of Physics, Shanghai University, ²Department of Physics, Shanghai Normal University

Abstract: The interpretation of optical rotation in optically active media as circular birefringence has persisted for over two centuries, yet the inherent fallacy in this phenomenological theory remains unnoticed. Recently, we employed logical reasoning to demonstrate that isotropic chiral media, a kind of optically active media, do not exhibit circular birefringence. This finding implies that the Jones vector is not able to completely describe the polarization state of a plane light wave. To further explore the reason, here we revisit the phenomenon of optical rotation in helically-coiled optical fibers.

Firstly, we use similar logical reasoning to prove that helically coiled fibers do not exhibit circular birefringence, either. Secondly, based on the experimental observations of Papp and Harms, we argue that the Jones vector is mathematically an entity in the local reference frame associated with the propagation direction. It cannot completely describe the state of polarization relative to the laboratory reference frame. Meanwhile, we also demonstrate that the rotation observed by Papp and Harms reflects the rotation of the Tang frame relative to the Serret-Frenet frame.

量子网络纠缠进展

许振朋

安徽大学

摘要：量子网络如今备受关注，量子互联网的设想也由来已久。网络纠缠将纠缠的概念应用于网络场景，网络纠缠态被认为是克服特定网络结构局限性的资源。在本次报告中，我将简要总结我们在该领域的进展：1. 判别量子网络态和网络纠缠态的工具；2. 在具有两体纠缠源的网络中生成真实多体纠缠态的协议；3. 量子网络精密测量中网络态的局限性及其突破；4. 量子网络纠缠的度量及其估计。

量子耗散的压制：基于量子压缩与量子测量的协同效应（B）

李海超¹，熊伟²

¹ 湖北师范大学, ² 温州大学

Abstract: Jaynes-Cummings 模型描述了量子场与两能级系统的基本相互作用，它的提出不仅标志着现代量子光学的正式诞生，而且极大推动了量子信息技术的发展。然而，Jaynes - Cummings 模型考察的是封闭量子系统，但原则上任何量子系统都会不可避免与它的环境产生耦合，从而应该被视作开系统。遗憾的是，环境在很多时候会带来不利影响，一个长期存在的开放的科学问题是如何有效地将环境隔离开或压制环境诱导的效应？基于一个开放的参量驱动的 Jaynes - Cummings 模型，我们理论上提出了一个压制环境诱导的量子耗散的可行方案。我们的物理思想是一方面通过量子测量来阻断系统与环境的长时演化，另一方面通过量子压缩来提高光与系统的相互作用强度，构建起相干耦合增强与量子测量相协同的机制。研究表明，利用这个协同机制，开放系统的动力学可以完全由相干相互作用主导，环境的耗散效应能够被完美压制。此外，我们发现 Jaynes - Cummings 模型导出的缀饰态能够极大降低与环境的耦合强度，可用于开展高相干性的缀饰态量子光学现象。考虑到 Jaynes - Cummings 模型的普遍性，我们的研究适用于许多物理体系，如自然原子、超导电路和混合量子系统等。

基于动力学调控的量子态制备 (E)

刘永椿

清华大学物理系

摘要: 量子态制备是量子信息处理与量子精密测量的关键步骤。我们提出基于动力学调控实现等效相互作用的方法, 利用专门设计的耦合脉冲序列实现人工构造相互作用, 从而对演化动力学过程进行有效调控, 基于此给出了制备大粒子数薛定谔猫态、自旋压缩态等多种量子态的方案。我们等效合成产生了全新的具有三体相互作用的集体自旋 XYZ 模型, 能快速地制备包含大量粒子的类 Greenberger-Horne-Zeilinger (GHZ) 态, 所需时间近似反比于粒子数, 从而在粒子数较大时能有效克服退相干和粒子损耗的影响。该类 GHZ 态的量子 Fisher 信息接近粒子数的平方, 因此在精密测量方面具有海森堡极限的标度律, 与完美 GHZ 态类似。完美 GHZ 态存在的一个缺点是对粒子数损耗特别敏感, 只损耗一个粒子就会导致纠缠消失, 而我们方法制备的类 GHZ 态在 Dicke 基下具有更宽的分布, 在损失多个粒子的情况下仍能较好保留纠缠特性。此外, 该方案不仅适用于全连接集体自旋模型, 而且也能适用于相互作用随着距离衰减的格点自旋模型, 因此该方案有望在离子阱、中性原子阵列等系统中实现。

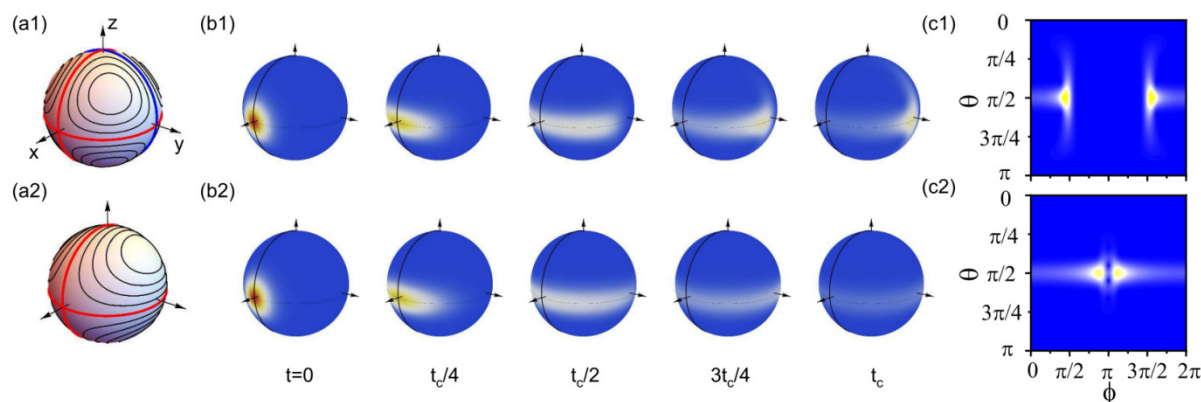


图 1. 集体自旋 XYZ 模型 (上) 与双轴扭曲模型 (下) 在量子态演化方面的对比。

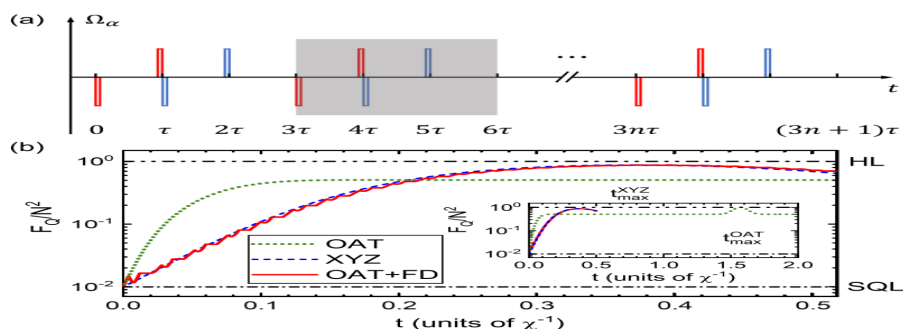


图 2. 产生等效集体自旋 XYZ 模型的调控脉冲方案。

基于分子光力学与分子开关效应的量子自动热机（B）

朱百强¹, Pierre Meystre², 张卫平³, 张可烨¹

¹ 华东师范大学物理与电子科学学院, ² 美国亚利桑那大学物理系, ³ 上海交通大学物理与天文学院

摘要: 人工分子机器是一种通过自下而上方式设计的纳米机器, 旨在模拟生命系统中分子蛋白的行为, 能够高效地将多种形式的能量转化为机械功以驱动关键生物过程。纳米制造技术的显著进步推动了人工分子机器的研究从传统化学向物理学的跨越。电能、磁能与光能已成为化学能之外驱动人工分子机器的有效替代能源。特别值得关注的是, 在微型等离子体腔中可实现分子与光的强耦合作用, 由此催生了分子光力学这一新兴领域——其光机械耦合强度可比当前最先进的微加工器件高出数个数量级, 为实现室温下运行的量子人工分子机器提供了极具前景的研究平台。传统光力学领域的大量能量转化研究聚焦于经典往复式热机的量子版本。然而, 由于周期性外部控制消耗的能量超过产出能量, 学界对可自动运行的量子热机的兴趣与日俱增。通过将分子光力学体系与分子开关相结合, 我们提出了一种无需外部驱动或调制的分子自动量子热机方案, 其运行机制依赖于分子的迟滞开关效应。基于半经典与全量子理论的对比研究, 我们揭示了自主控制元件中量子特性对这一先进分子机器运行效率与性能的影响规律。

量子电池无线充电方案 (A)

胡明亮¹, 高婷¹, 范桁²¹ 西安邮电大学理学院, ² 中国科学院物理研究所

摘要: 量子电池是用来储存和释放能量的小型量子器件。我们研究了通过多个充电单元对量子电池进行无线充电的模型, 其中充电器和电池耦合到一个具有洛伦兹型能谱结构的共同热库。我们考虑了初始时刻充电器处于非最大能量态、量子电池完全放电以及充电器处于最大能量态、量子电池有剩余可提取功两种情形。研究发现电池的充电性能随着充电器-电池系统与共同热库耦合强度的增加而提高。在强耦合状态下, 充电时间对充电器初始能量、充电单元数量和电池的剩余可提取功不敏感; 电池中充入的可提取功强烈依赖于充电器的初始能量, 而电池的剩余可提取功不会显著改变充电结束时电池中总的可提取功。此外, 充电器-电池系统与热库处于弱耦合或中等耦合时, 多个充电单元有助于提高充电性能, 而在强耦合状态下多充电单元的充电性能则较低。我们还研究了两个原子组成的量子电池模型, 其中充电器和电池耦合到同一个多模真空场。结果表明原子的跃迁偶极矩与原子之间位置矢量的夹角在一定范围内时, 量子电池可以被高效充电, 当跃迁偶极矩垂直或平行于原子之间的位置矢量时, 充电性能最佳。充电性能还随着原子间距离的减小而提高。

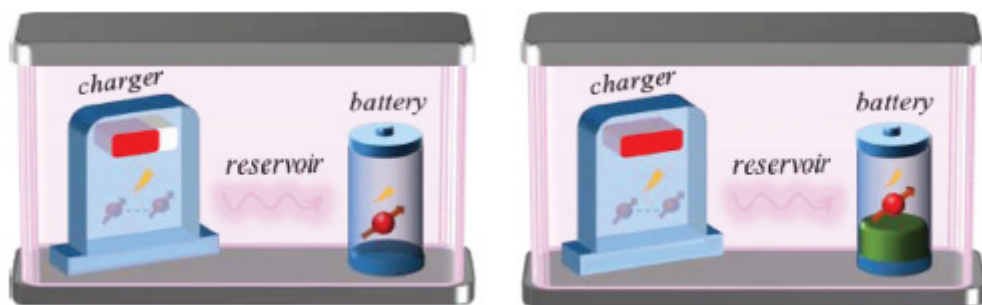


图 1. 量子电池无线充电示意图。(左) 初始时刻充电器处于基态和激发态的叠加, 量子电池处于基态;
(右) 初始时刻充电器处于最大能量态, 量子电池处于部分放电态。

飞行光子介导相互作用的相位 (B)

李畅

华南师范大学 物理学院

摘要：作为长距离相互作用的媒介，飞行光子的相位对于其本身的集体效应如超辐射、非平衡拓扑相有重要的影响。这次汇报介绍在考虑飞行光子介导相互作用时，光子累计传播相位带来的影响，包含两个部分：在与环形腔耦合的自旋阵列系统，我们理论中发现在特殊排列结构下自旋会发生分组，组间自旋保持相干性并可被用于保护纠缠态的长距离传递；在人工结构材料系统，我们在实验中通过对飞行光子延时相位的调节，实现了体系从宇称-时间平衡与反平衡之间的转换，并观察到各自奇异点的对称性破缺。

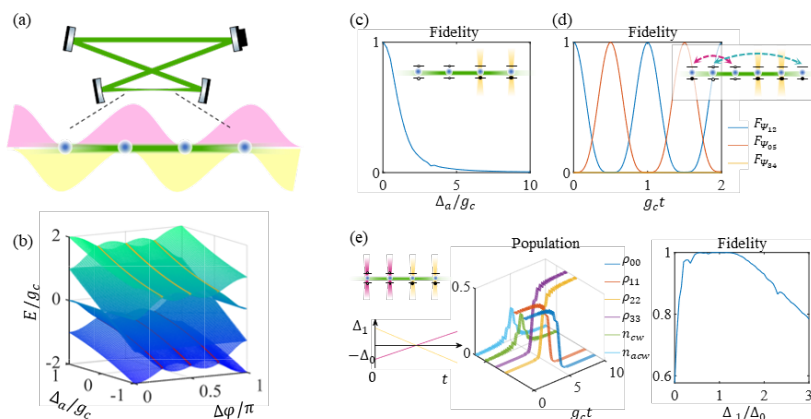


图 1. 光学腔中的自选分组。

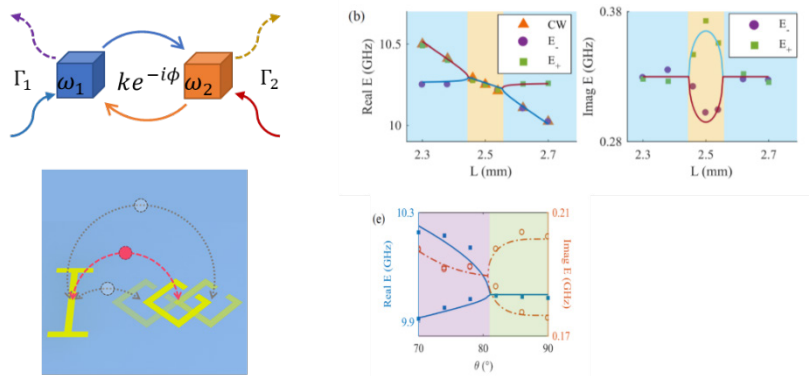


图 2. 飞行光子相位调节的对称性转换。

单原子阵列的量子调控及其与光场的强耦合（B）

李刚

山西大学

摘要：光学腔与原子的强耦合系统，即光频区腔量子电动力学（腔 QED）系统是量子光学乃至量子物理的一个基本系统。该系统主要研究原子与场相互作用的基本现象，作为量子光学的基石之一，不仅在基础科学研究中具有重要意义，也在量子信息、量子计算和量子精密测量等量子技术的实际应用中发挥着关键作用。随着单原子阵列量子操控技术的进步，可控的单原子阵列与光学微腔及纳米微结构的耦合系统逐渐成为光频区腔量子电动力学（腔 QED）研究、多体量子物理和量子信息研究的重要平台。我们将汇报山西大学腔 QED 研究团队在此方面的实验进展，包括单原子阵列的量子调控和原子与光学腔相互作用两方面的研究。在单原子阵列的量子调控方面主要关注单原子退相干研究：我们在光场噪声和磁场噪声导致的原子能级不稳定引起的退相干基础上，进一步引入光场噪声导致的原子振动声子态的随机跃迁，对原子量子态退相干机制进行了新的阐释。我们发现并实验验证了一种新的退相干机制，即“声子跳跃诱导的退相干”（Phonon-Jumping-Induced Decoherence, PJID）。实验上采用蓝失谐瓶子阱（Blue-detuned Bottle Trap）技术俘获单个原子，并利用边带拉曼冷却技术，将原子成功地冷却到三维运动基态，实现了铯原子内态能级起伏和声子跳跃诱导退相干的同时抑制，最终将单个铯原子量子态的相干寿命提高到 20 秒。在原子与光学腔相互作用方面主要介绍单原子阵列与光学腔的强耦合的实验进展：我们将单原子阵列与高精度的光学微腔系统结合，通过在光学腔中精确控制原子阵列的位置和间距，实现了原子阵列与光学腔的强耦合，在实验上观测到原子数从 1 到 8 的真空拉比分裂，从而在单原子水平上确定性地验证了由量子光学家 Girish S Agarwal 预言的光与原子相互作用过程中著名的根号 N 关系（N 为原子个数）。确定性多原子与光学腔强耦合的实现，为研究强耦合多体相互作用、Tavis-Cummings 模型下的多原子多光子动力学行为、基于多原子量子比特的量子网络以及由光子诱导的相互作用下的多体物理等奠定了物理基础。

超冷原子气体中光场反馈效应诱导的长程非互易三体相互作用

张永昌

西安交通大学物理学院

摘要：粒子之间的相互作用是导致丰富量子多体物理现象的关键因素之一，在大多数多体系统中，一般是两体相互作用起主导作用（例如，两体散射、库仑力、偶极-偶极相互作用等等），而高阶多体相互作用（例如，三体作用、四体作用等等）相较于两体作用往往弱很多，其物理效应难以显现出来。超冷原子系统由于其灵活可控性，为研究高阶多体作用提供了一个理想平台。我们将超冷原子气体放置在平面镜前，令驱动光场穿过冷原子气体经平面镜反射后再次与原子作用，借助光场在原子气体中引入的反馈效应，诱导原子之间产生了有效的三体相互作用。该方案中两体效应可以通过光场严格消除，为探索仅与三体作用相关的物理现象提供了新途径；另外，此三体相互作用具有长程与非互易特性，在超冷原子气体中引起了奇异对称性破缺与违反牛顿运动定律的自加速现象。

基于百万光子路径验证费曼路径积分基本假设

温永立^{1,2}, 田礼漫^{1,2}, 王恩科^{1,4}, 颜辉^{1,2}, 朱诗亮^{1,2,3}

¹原子亚原子结构与量子调控教育部重点实验室, 华南师范大学, ²广东省量子调控工程与材料重点实验室, 华南师范大学物理学院, ³粤港澳大湾区量子科学中心, ⁴核物理与核技术全国重点实验室, 华南师范大学量子物质研究院

摘要: 量子力学基础思想实验的验证极大地推动了量子科学与技术的发展, 同时深化了我们对量子力学的理解。然而作为量子物理基石之一的路径积分表述, 其实验研究仍十分匮乏——尤其是费曼于 1948 年提出的两项基本假设至今尚未得到直接验证。本研究通过传播子测量方法, 首次为这两项假设提供了直接实验验证方案, 实验结果证实了两项核心假设: (i) 量子概率源于所有可能路径的相干叠加; (ii) 所有路径的概率幅具有相同幅值, 而每条路径的相位则由经典作用量决定。本研究的核心理念在于测量单条路径的概率幅——根据原始路径积分表述, 这些概率幅可分解为传播子的乘积。这种基于传播子的研究方法首次实现了大规模、高精度的假设验证。基于前期研究的基础, 我们在实验测量精度方面取得了关键进展。在传播子测量方面, 我们将单光子实验的保真度从 87.64% 提升至 98.48%。通过完整表征 1,419,857 条可能路径的概率幅, 我们获得了三项成果: (1) 验证了末态概率的相干叠加假设; (2) 实验证实了路径的等概率假设; (3) 直接证明了每条路径的相位由经典作用量决定。这些发现为费曼原始路径积分表述提供了首个直接实验证据, 弥合了理论基础与实证研究之间长期存在的鸿沟。

噪声增强的非线性微波传感

吴康达

中国科学技术大学

摘要：在实际传感任务中，噪声通常被视为降低灵敏度的干扰因素。然而，随机共振现象能够反直觉地利用噪声，显著提升非线性系统的输出信噪比。尽管随机共振已在多学科领域得到广泛研究，其在实际传感应用中的潜力仍待深入探索。本研究创新性地提出并验证了一种基于里德堡原子热系综相互作用的噪声增强型微波传感器。通过利用里德堡原子系综固有的强非线性特性及系统随机噪声，我们成功实现了弱微波信号驱动的随机共振效应。该传感器检测性能获得显著提升，灵敏度较外差式原子传感器提高 6.6 dB。本成果为探索实际传感场景中的随机共振效应提供了创新平台。

基于超导波导 QED 集体相互作用的单光子调控 (B)

林志荣^{1,2}, 包大强¹, 牛铮琦¹¹ 中国科学院上海微系统与信息技术研究所, ² 中国科学院大学

摘要: 在波导 QED 中, 波导模式诱导的集体相互作用决定了光子的散射特性。我们分别探究了调节发射体的频率和消除相干耦合对集体相互作用的调控, 进而实现了对单光子传输行为的操控。通过调节超导量子比特的共振频率, 我们在一个八比特的一维波导 QED 器件中, 分别构建了间距为二分之一波长的 Bragg 人工原子阵列, 以及间距为四分之一波长的 anti-Bragg 阵列。在此条件下, 通过进一步控制紧邻比特之间的频率差, 我们在实验上分别观察到了微波光子集体诱导透明现象和宽带的高反射窗口。通过消除集体相互作用的相干耦合, 我们在理论上证明了无相干耦合的波导 QED 存在一个普适的量子干涉效应。这种干涉行为会导致共振光子完全透射。在一个两比特的器件中, 通过调节它们之间耦合器, 我们消除了相干耦合, 并观测到了单光子完全透射窗口。因为共振光子在普通波导 QED 中总是全反射, 因此, 通过调节耦合器可以操控单光子的传输方向。我们在实验上实现了开关比 $\sim 99.97\%$ 的单光子路由。在进一步的理论研究中, 我们发现消除相干耦合可以实现单光子在两个波导之间的完美转移, 而且光子在输出波导中总是沿着单一方向传播。我们进一步证明了这种高效的定向转移是无相干耦合波导 QED 的普遍特性。由于集体相互作用包含了相干耦合和耗散耦合, 当消除了相干耦合, 耗散耦合依然会导致单光子集体态的辐射行为关联。我们发现, 进一步消除与波导中左传光子和右传光子耦合的两个单光子集体态的耗散耦合, 是实现定向辐射的充分条件。我们的研究结果不仅在量子通信和量子网络领域具有重要的应用价值, 而且对于加深理解波导 QED 中集体相互作用的物理特性也有具有重要意义。

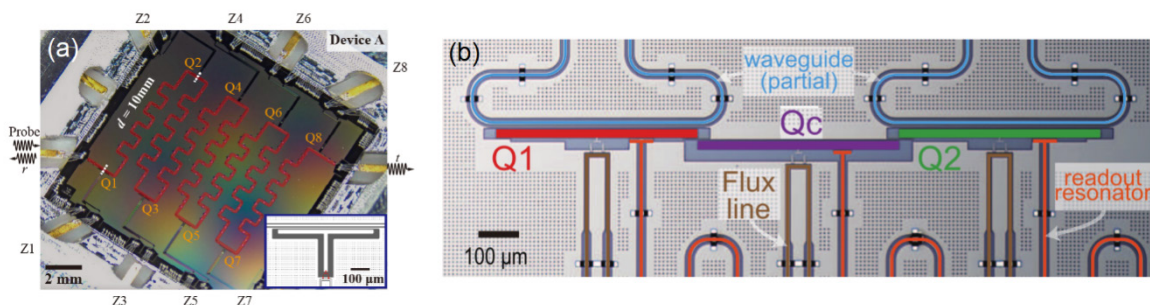


图 1. 实验样品光镜图。(a) 八比特器件光镜图。Q1-Q8 为量子比特, 红色的蜿蜒线为波导。(b) 两比特器件光镜图。比特 Q1 和 Q2 与波导耦合, Qc 为耦合器, 与 Q1 和 Q2 直接耦合。

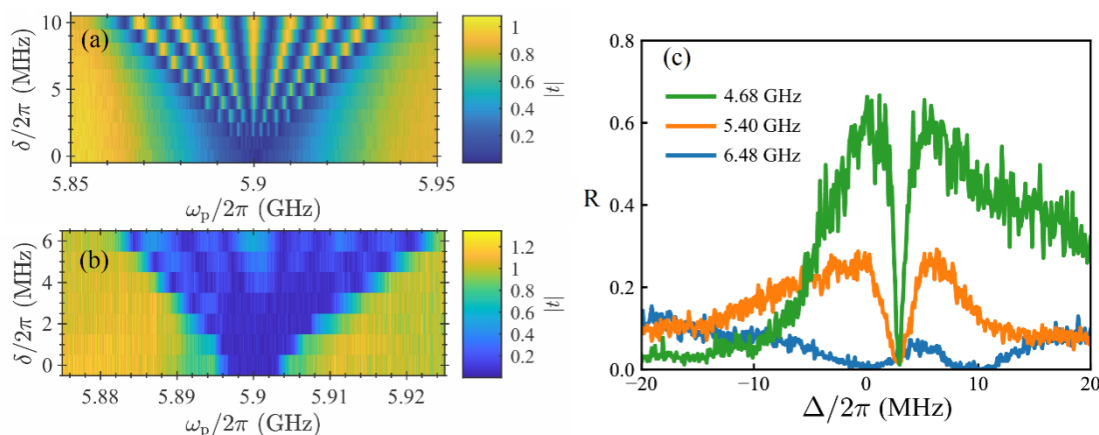


图 2. 实验测量的传输系数。(a) Bragg 条件下透射系数随测量频率和紧邻比特频率差的变化。(b) anti-Bragg 条件下透射系数随测量频率和紧邻比特频率差的变化。(c) 两个比特之间的相干耦合消除时, 反射率随测量频率的变化。不同颜色的线对应不同的共振频率。

压缩猫态和混合纠缠态的制备和操控 (G)

王美红, 苏晓龙

山西大学光电研究所, 光量子技术与器件全国重点实验室

摘要: 混合量子信息处理结合离散变量和连续变量量子信息处理的优势, 是一种新型的量子信息处理方式。结合离散变量和连续变量的混合纠缠态是实现混合量子信息处理的一种量子资源。因此, 面向混合量子信息处理, 我们开展了光学薛定谔猫态、压缩猫态和混合纠缠态的制备、表征和操控实验研究。我们通过对压缩真空中减光子实现了光学薛定谔猫态的实验制备, 通过将实验制备的光学猫态直接耦合进无需光电转换的全光在线压缩器, 实现了压缩猫态的高效制备, 为光学压缩猫态的制备和操控提供了一种新方法。随后, 我们实验实现了离散变量偏振编码和连续变量猫态编码的混合纠缠态制备, 根据重构的双模密度矩阵, 结合对数负性和 L1-norm, 表征了混合纠缠态纠缠度和量子相干性。为了增加混合纠缠态携带量子信息的能力, 我们将轨道角动量引入混合纠缠, 实验制备了涉及偏振、猫态和轨道角动量三个自由度的携带轨道角动量混合纠缠态, 为混合量子信息处理提供了重要量子资源。

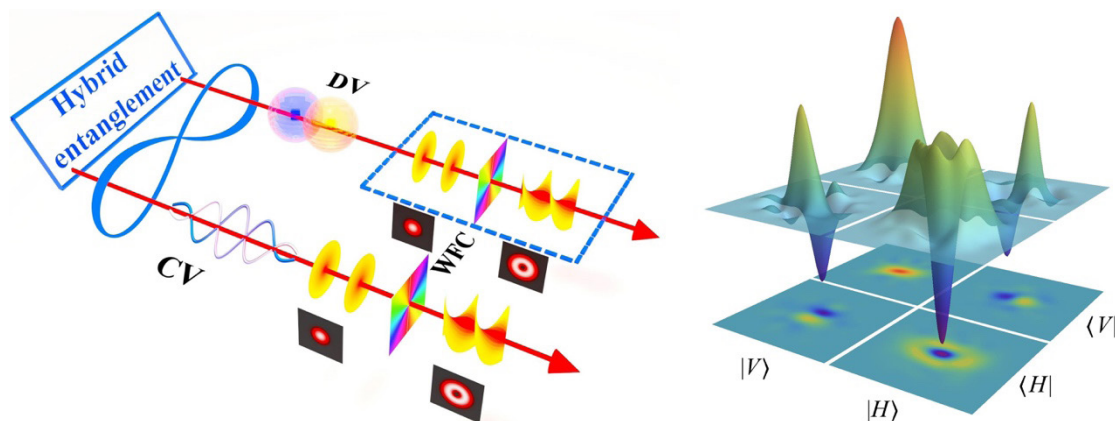


图 1. 携带轨道角动量混合纠缠的实验原理和结果

波粒相干量子行走

张融¹, 祁儒生¹, 陈天豪¹, 徐平²

¹ 电子与光学工程学院, 柔性电子学院, 南京邮电大学, ² 量子信息和高性能计算研究院, 国防科技大学

摘要: 量子行走的基本性质区别于经典随机行走起源于微观粒子的基本属性与宏观物体完全不同。我们将波动和粒子的概念引入到量子行走模型中, 通过将辅助比特与硬币-行走者相互作用产生关联, 对辅助比特的不同操作使得硬币-行走者处于波、粒子、波粒混和、以及波粒相干叠加态。用组合方法得到演化后波函数的解析表达式, 在此基础上给出不同类型行走的概率分布、位置方差, 定量描述了波粒混和与波粒相干叠加的区别, 并分析其性质差异来源于量子干。基于量子计算机实现波粒量子行走, 观测到量子行走到经典随机行走的连续调控。本工作为基于量子行走的量子计算、量子模拟等领域奠定基础。

Non-Hermitian theory of valley excitons in two-dimensional semiconductors

童庆军

湖南大学物理与微电子科学学院

Abstract: Electron-hole exchange interaction in two-dimensional transition metal dichalcogenides is extremely strong due to the dimension reduction, which promises valley-superposed excitonic states with linearly polarized optical emissions. However, strong circular polarization reflecting valley-polarized excitonic states is commonly observed in helicity-resolved optical experiments. Here we present a non-Hermitian theory of valley excitons by incorporating optical pumping and intrinsic decay, which unveils an anomalous valley-polarized excitonic state with elliptically polarized optical emission. This novel state arises from the non-Hermiticity induced parity-time (PT)-symmetry breaking, which impedes the experimental observation of intervalley excitonic coherence effect. At large excitonic center-of-mass momenta, the PT-symmetry is restored and the excitonic states recover their valley coherence. Interestingly, the linear polarization directions in optical emissions from these valley-superposed excitonic states are non-orthogonal and even become parallel at exceptional points. Our non-Hermitian theory also predicts a non-zero Berry curvature for valley excitons, which admits a topological excitonic Hall transport beyond the Hermitian predictions.

腔磁混合系统中的隐藏态

毕梦侠, 车俊岭, 樊华伟, 胡明亮

西安邮电大学

摘要: 双稳态和磁滞回线在非线性物理、化学和生物等系统中无处不在。研究双稳态应用时, 通常默认系统仅存在两个稳态, 并以此为基础进行实验设计和观测。然而, 如果在双稳态中存在着第三个“隐藏”的稳态, 真实场景中的噪声干扰可能会“诱导”系统陷入隐藏稳态, 导致设备性能受到严重影响, 甚至产生错误。那么, 自然界中的系统是否也存在类似的情况? 如果答案是肯定的, 如何通过实验测试全面评估隐藏态存在的可能性, 进而确保系统的稳定性和可靠性意义重大。为此, 本研究设计了一个非线性二元微波腔—磁振子混合系统, 该系统在双稳态的磁滞回线中存在隐藏态, 且无法通过常规的参数扫描模拟实验来显现。为了能够揭示隐藏态, 本文提出了一种可行的基于矩形脉冲控制信号的实验检测方案。通过对非线性三元微波腔—磁振子混合系统和基因调控网络的研究, 发现隐藏多稳态并不罕见, 而是广泛存在于各种非线性动力学系统中。更重要的是, 隐藏态在磁滞回线内部的产生可能是一个连续变化的过程, 但该过程在常规的模拟实验观测中并不显露出任何预兆。因此, 不可避免的会将系统误认为双稳态。该研究对于识别逃避直接实验检测的非线性物理系统中的隐藏状态至关重要。此外, 由于隐藏态的不可见性, 该研究成果在信息加密中存在着巨大的潜在应用价值。

量子电光学

邱柳

浙江大学

摘要：量子电光学研究量子电光器件中光与微波的量子相互作用，对实现激光对超导微波量子信号的量子测量以及调控有着重要意义，是构建混合量子系统和超导微波电路的量子光学网络的基础。本报告中，本人将首先介绍量子电光学领域在过去十年内的研究进展。重点介绍光与微波的量子调控，包括相干调控和量子纠缠。最后介绍相关的量子应用，如微波光量子转换和超导比特的光学读取等。

腔磁混合系统的量子关联效应研究

孔德一, 王飞

湖北工业大学

摘要: 近年来, 我们围绕腔磁混合系统开展了系统性的理论研究, 重点探讨量子纠缠与量子导引等量子关联效应的产生机制及其调控方法。首先, 基于色散微波腔的媒介作用, 构建了磁子与缀饰原子之间的有效耦合模型, 并引入原子相干诱导的库耗散机制, 产生了双模磁子的压缩、纠缠、以及单向量子导引。在此基础上, 进一步拓展至多个磁子与单个原子耦合的系统, 通过不同频率匹配条件下的耗散调控机制, 揭示了磁子间的多体纠缠与集合量子导引现象。此外, 我们还提出了一系列基于磁子克尔非线性的非互易量子关联产生方案。具体研究包括: 基于磁子克尔非线性对偏置磁场方向的响应特性, 在腔介导的磁子 -NV 色心耦合模型中, 分析了非互易两体与三体纠缠的形成条件; 在腔光磁混合系统中, 进一步研究了微波 - 光波非互易单向量子导引的产生机制。最后, 提出了将两个克尔磁子同时耦合至一维波导与微波腔的方案, 通过耗散设计诱导的磁子间极端手性耦合机制, 实现了远程非互易纠缠与单向量子导引。这些研究为宏观尺度下量子关联的产生与调控提供了新的理论路径, 也为探索非互易量子效应提供了新的思路。

光与原子耦合系统中的超辐射相变研究 (B)

孙风潇

北京大学

摘要：光与原子耦合系统为人们研究光与物质相互作用提供了重要的理论和实验平台，其中对于量子相变的研究推动了量子多体物理和非平衡动力学的发展，并且在量子精密测量、量子模拟等领域具有潜在的应用价值。本次报告将介绍我们最近在光与原子耦合系统中关于超辐射相变的研究工作。光学腔与原子系综的耦合可用 Dicke 模型进行描述，当考虑两个 Dicke 模型的光学腔之间存在耦合时，我们发现该耦合可使得系统更容易发生超辐射相变，且超辐射相内存在双稳态，其相图如图 1(a) 所示。我们对系统的量子相图进行了充分的研究，解析给出了量子相变的条件，并且分析了非线性相互作用对于系统非稳定区域的影响。我们将该模型进一步推广至四个腔相互耦合的情形，此时仅考虑单原子腔即 Rabi 模型，其构成的方形晶格同时考虑近邻与次近邻耦合。我们发现，该模型可与自旋体系 J1-J2 模型相等价，经研究发现此时不仅存在平庸相与反铁磁相，还会由于近邻 - 次近邻耦合之间的竞争出现阻挫相，其相图如图 1(b) 所示，为进一步研究自旋液体带来启发。

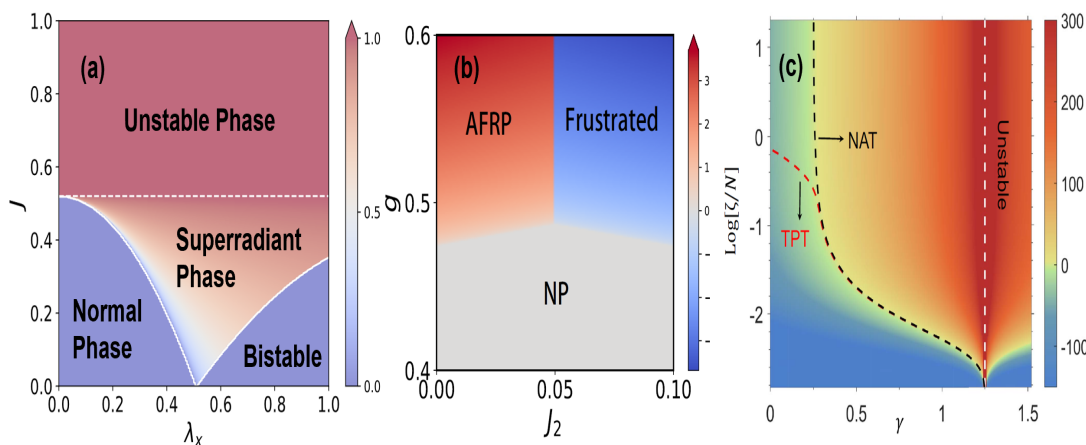


图 1. (a) 两个 Dicke 腔通过 XX 型耦合相连接的系统的完整相图，除了正常相与超辐射相之间的相变现象外，系统还可能存在双稳态区域；(b) 四个 Rabi 腔构成方形晶格并引入近邻与次近邻耦合时的相图，该模型与 J1-J2 模型等价，由于近邻 - 次近邻耦合的竞争可出现量子阻挫现象。

量子比特与光场超强耦合系统的 N 光子暗态解

彭杰

湘潭大学

摘要：量子比特与光场的超强耦合能够加快量子计算和态制备的速度，但其动力学非常复杂，系统包含无穷多光子，无法实现态的确定性制备。我们通过解析求解描述该系统的多比特多模 Rabi 模型，发现存在光子数上限 N 的特殊暗态解。我们在超导量子电路中设计实验方案，实现了快速确定性制备任意单光子多模 W 态、比特 Bell 态，高品质单光子源及双光子 C-Z 量子门。该工作为既利用超强耦合反应速度快的优势，又避免其动力学复杂性提供了一种新思路。

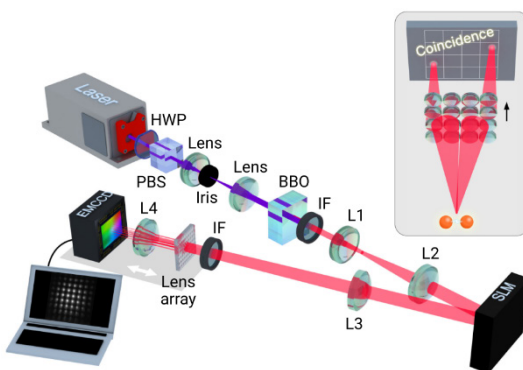


图1. The experimental setup. A 405-nm, horizontally polarized laser beam is shaped by two lenses and an iris. Then, it pumps a BBO crystal to produce collinear type-I SPDC photon pairs and is filtered out by a long-pass interference filter (IF). Two Fourier lenses (L1 and L2) project the photons from the BBO to the SLM. Then another Fourier lens (L3) projects the photons to the microlens array. A bandpass IF at 810 nm selects degenerate SPDC photon pairs. An imaging lens (L4) images the photons from the focal plane of the microlens array to the EMCCD sensor. The microlens array, L4, and EMCCD can be displaced by a distance. The inset shows the basic idea of quantum Shack-Hartmann wavefront sensing.

量子 Shack-Hartmann 波前传感器 (G)

刘翌地, 李传锋

中国科学技术大学量子信息实验室

摘要: 纠缠光子的空间自由度具有极高的维度, 是量子基础和应用量子技术的关键工具。为了充分利用这一特性, 关键任务是通过实验表征多光子空间波函数, 包括不同演化阶段的纠缠振幅和相位信息。然而, 目前尚无有效的测量方法。量子态层析成像技术成本高昂, 而量子全息技术则需要额外的参考。本报告, 我们将介绍量子 Shack-Hartmann 波前传感技术, 对双光子空间波函数进行高效、无参考的测量。测量微透镜阵列后焦平面处光子对的联合概率分布, 并利用该分布进行振幅提取和相位重构。实验中, 我们观察到在自由空间传播过程中, 双光子振幅相关性变弱, 而相位相关性增强。我们的工作为量子物理和自适应光学领域的关键一步, 结合我们发展的多光子纠缠实验平台, 有望为实现基于多光子纠缠的海森堡极限超分辨率成像做出重要贡献。

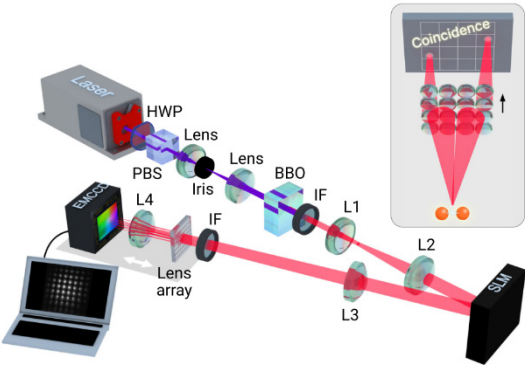


图1. The experimental setup. A 405-nm, horizontally polarized laser beam is shaped by two lenses and an iris. Then, it pumps a BBO crystal to produce collinear type-I SPDC photon pairs and is filtered out by a long-pass interference filter (IF). Two Fourier lenses (L1 and L2) project the photons from the BBO to the SLM. Then another Fourier lens (L3) projects the photons to the microlens array. A bandpass IF at 810 nm selects degenerate SPDC photon pairs. An imaging lens (L4) images the photons from the focal plane of the microlens array to the EMCCD sensor. The microlens array, L4, and EMCCD can be displaced by a distance. The inset shows the basic idea of quantum Shack-Hartmann wavefront sensing.

Quantum Interface for Strong Spin-Spin Coupling

Wei Xiong (熊伟)

Department of Physics, Wenzhou University

Abstract: The long coherence time of a single nitrogen-vacancy (NV) center spin in diamond is a crucial advantage for quantum information science. However, achieving strong coupling between remote single NV spins is challenging. Here we propose methods to greatly enhance the interaction between two single NV spins in diamond via diverse interfaces including cavity optomechanics, magnons with Kerr effect, cavity magnon-polariton. By taking advantage of quantum squeezing or critical effects, strong coupling between two remote spins can be achieved by adiabatically eliminating the quantum interface. This effective strong coupling can ensure coherent quantum-information exchange between two spin qubits in weakly coupled hybrid systems.

周期极化晶体的设计与应用（F）

金锐博
湖南师范大学

摘要：周期极化晶体在量子光学与非线性光学实验领域发挥着关键作用，是制备量子纠缠态的关键材料。通过精确调控非线性光学晶体的极化周期，能够实现对量子光源的有效控制。本报告聚焦于周期极化晶体设计与量子光学应用的前沿成果：

其一，在理论上，基于啁啾 PPLN 晶体，成功设计出波长覆盖 420nm - 5200nm 的 4780nm 超带宽纠缠双光子源，其 HOM 干涉半高全宽为 965 阿秒，可见度达 99.44%；

其二，在实验上，在同一块 PPKTP 晶体中实现一阶 II 型、五阶 I 型和三阶 0 型等多种 SPDC 过程相位匹配条件的可控转变。

分会场 B

基于冷原子体系的量子网络节点进展

张伟

合肥国家实验室

摘要：长距离的纠缠分布是量子网络中的核心任务之一，它使得安全通信、分布式量子计算等应用成为可能。报告将介绍基于 ^{87}Rb 单原子体系和冷原子系综体系的量子网络节点进展，介绍偏振比特与原子自旋比特纠缠的直接产生、偏振无关频率变换器对光子进行波长变换后长距离传输，以及原子内态的高效率读出等内容。另外，报告人也会总结单原子体系和原子系综体系在量子网络应用中的优势、劣势以及待攻克的难点。

量子光的数态晶格 (D)

蔡晗, 邓金凤, 袁嘉乐, 王大伟
浙江大学

摘要: 拓扑光子学为探索超越传统电子材料的拓扑物理提供了一个重要的平台, 并在光传输和激光领域展现了广阔的应用前景。经典自由度通常用于在真实或合成维度中构建拓扑光模式。超越经典拓扑, 光的固有量子特性揭示了一系列根本上不同的拓扑态。在此, 我们理论发展并实验实现了量子化光的拓扑态, 相继构建了一维、二维、三维的数态晶格。我们实现了丰富的拓扑物理现象, 包括 Su-Schrieffer-Heeger 模型的拓扑零能态、应变诱导的赝朗道能级、谷霍尔效应、Haldane 手性边缘电流、二维全平带光子晶体以及三维 SU(3) 朗道能级。我们的研究在经典和量子起源的拓扑态之间架起了桥梁, 将凝聚态物理的拓扑物态与量子电动力学连接起来, 并为传统方法难以实现的新奇物态提供的全新的设计和模拟方案。

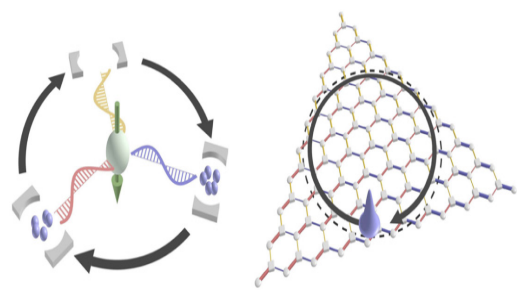


图 1. 数态晶格中的 Haldane 手性流。

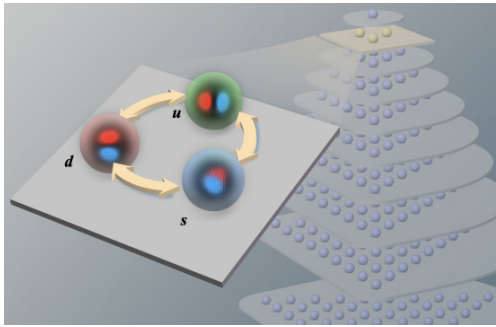


图 2. 具有 SU(3) 对称性的三维朗道能级。

非厄米开放系统动力学性质及其应用的实验研究

肖磊¹, 薛鹏²

¹ 东南大学物理学院, ² 北京计算科学研究中心

摘要: 非厄米系统是指可用非厄米哈密顿量描述的开放系统, 因其展现诸多新奇的物理性质而备受关注。例如宇称-时间对称性、能谱的点能隙结构、趋肤效应等特征, 这些性质对深入理解开放系统动力学、发展新型物态调控技术具有重要意义。本报告将基于非厄米系统的动力学过程, 系统介绍相关研究进展: 首先阐述非厄米系统的独特物理性质, 并说明在实验上通过引入可控耗散实现非厄米动力学过程的具体方法。在此基础上, 重点探讨非厄米动力学性质的两类重要应用: 首先, 在无奇点的非厄米系统中, 通过非厄米增强机制提升量子传感灵敏度 (图 1), 构建噪声抑制模型, 在背景噪声干扰下显著提高测量精度。此外, 本报告将揭示非厄米边缘爆发效应及其物理本质 (图 2), 该效应表现为耗散系统的耗散概率在远离初始位置的边界处呈现指数级增长, 这作为非厄米系统特有的动力学现象, 为理解开放系统演化提供了新视角。

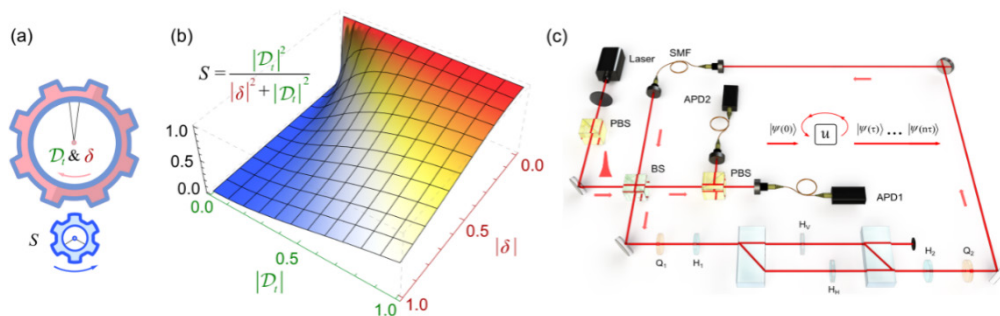


图 1. 非厄米增强量子传感。(a) 增强传感示意图。(b) 物理机制示意图。(c) 实验装置图。

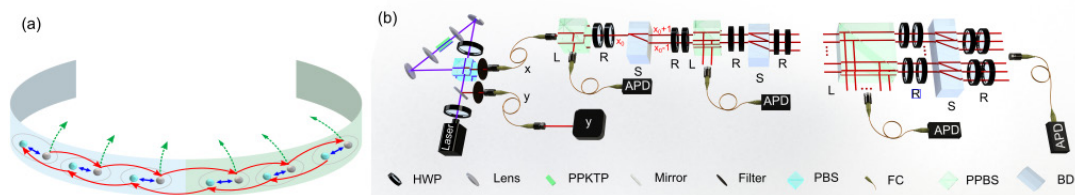


图 2. 非厄米边缘爆发效应。(a) 耗散模型示意图。(b) 实验装置图。

基于非厄米奇异点的纠缠调控 (A)

黄馨瑶

北京航空航天大学物理学院

摘要：作为非厄米系统的独有特性，奇异点是系统本征值和本征态的同时简并点，可以引发许多新奇的物理现象和功能应用，一直以来都是非厄米物理领域的研究热点。然而，目前的研究主要聚焦在奇异点对经典效应的影响，奇异点对量子效应的影响目前还处于亟待探索的阶段。本工作通过探究非厄米奇异点处的纠缠性质，提出了利用奇异点调控多体量子纠缠的有效方案。我们通过将玻色模式链的动力学矩阵映射到非厄米 Bogoliubov - de Gennes (BdG) 模型，发现了系统存在不同阶数的多类奇异点，建立了由二阶奇异点划分的三种能谱相（纯实数、纯虚数、实数虚数混合）与纠缠动力学行为（振荡、指数增长、两类混合）的严格解析对应；进一步调控系统参数实现高阶奇异点，我们展示了高阶奇异点相比二阶奇异点可显著提高多模纠缠强度，且纠缠增益随奇异点阶数指数增长。

类似地，通过构造由两个非厄米量子比特相互耦合的理论模型，我们发现奇异点可以诱导两比特的纠缠动力学行为变化。在弱耦合区域，能够同时观测到四阶奇异点与二阶奇异点两侧对应不同类型的纠缠动力学行为。随着耦合强度增加，四阶奇异点会被额外产生的二阶奇异点替代，使得在强耦合区域中，由四阶奇异点诱导的纠缠动力学变化消失。此外，我们也发现了奇异点同样可以诱导本征态的纠缠程度突变。

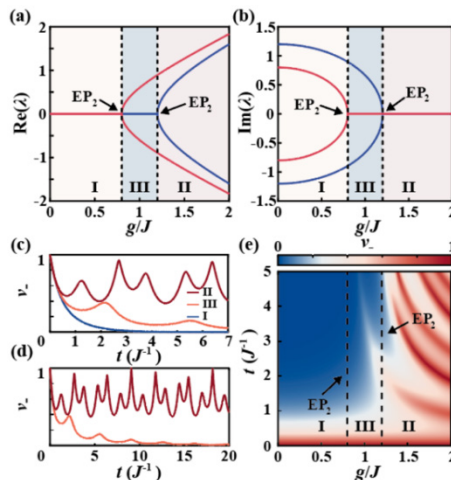


Fig. 1 Exceptional points and entanglement dynamics for the two-mode system. The real part (a) and imaginary part (b) of four eigenvalues of the dynamical matrix and the spectrum is divided into three regions by two EP_2 s. (c-d) Three distinct types of the entanglement dynamics, i.e. exponential behavior in region I (blue), oscillatory behavior in region II (red) and mixed behavior in region III (orange).

我们的研究结果为基于非厄米奇异点的量子纠缠调控和提供了新的思路，也展示了非厄米物理在量子技术如灵敏度提升、含噪纠缠检测中的潜在应用。

Experimental implementation of quantum-walk-based portfolio optimization

Dengke Qu, Peng Xue

Beijing Computational Science Research Center

Abstract: The application of quantum algorithms has attracted much attention as it holds the promise of solving practical problems that are intractable to classical algorithms. One such application is the recent development of a quantum-walk-based optimisation algorithm approach to portfolio optimization under the modern portfolio theory framework. In this presentation, we demonstrate an experimental realisation of the alternating phase-shift and continuous-time quantum walk unitaries that underpin this quantum algorithm using optical networks and single photons. The experimental analysis confirms that the probability of states corresponding to high-quality solutions is efficiently amplified by increasing the number of phase-shift and quantum walk iterations. This work provides strong evidence for practical applications of quantum-walk-based algorithms such as financial portfolio optimization.

Observation of non-Hermitian topology in non-chiral non-unitary quantum dynamics of single photons

刘博

西安交通大学

Abstract: The non-Hermitian topology leads to the emergence of various counter-intuitive phenomena under the open boundary condition, which can not find a counterpart in Hermitian systems. In the non-Hermitian system without chiral symmetry, being ubiquitous in nature, exploring its non-Bloch topology has so far eluded experimental effort. In this talk, we will theoretically predict and experimentally demonstrate various non-Bloch topological phenomena of a one-dimensional non-Hermitian system without chiral symmetry in discrete-time non-unitary quantum walks of single photons. Our work would provide a useful platform to study the interplay among topology, symmetries and the non-Hermiticity.

Toward High-Fidelity Rydberg quantum gates with active noise mitigation (D)

Jing Qian¹, Qingling Hou¹, Rui Li², Weiping Zhang²

¹ Department of Physics, School of Physics and Electronic Science, East China Normal University, ²School of Physics and Astronomy, Shanghai Jiao Tong University

Abstract: Errors restrict the fidelity of Rydberg quantum gates in neutral-atom quantum computing and must be made sufficiently low with versatile error-tolerant techniques. Recent works based on time-optimal control have demonstrated the remarkable advantages of using single-modulated pulses which can realize high-fidelity two-qubit gates in neutral-atom arrays. However, in reality the typical time-optimal method only minimizes the average gate infidelity in the absence of any error, which allows the gate to be passively influenced by all error sources and to be an exponential increase of the insensitivity when errors become larger.

In this talk, I will discuss two ways to realize high-fidelity Rydberg gates with active robustness against type of errors. In the first work we adopt a modified cost function in numerical optimization for shaping gate pulses that can minimize the fluctuations of gate infidelities over a wide error range. We present a family of blockade CZ gates with active robustness towards the impact of various noises related to the two-photon detuning. In the second work we propose a new error-erasing mechanism that utilizes a pair of off-resonant fields to continuously dress the protected Rydberg state with an auxiliary state, which can induce an opposite but enhanced sensitivity to the same source of Doppler dephasing error. Combining with the optimal control of laser pulses, we realize Rydberg two-qubit CNOT gates in Rb and Cs atoms that are fully immune to the Doppler dephasing error. Our results benefit from a more relaxed requirement of colder atomic temperatures or more stable laser frequencies for current experimental technology providing fundamental guidance to practical error-tolerant quantum computing with neutral atoms.

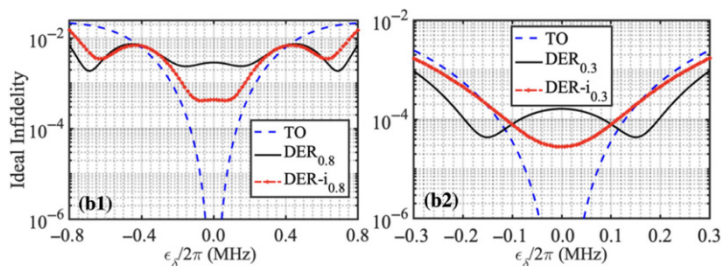


Figure 1. Active robustness to the two-photon detuning error

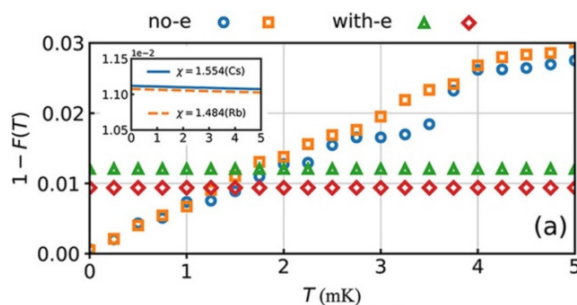


Figure 2. The Doppler-error erasing scheme

Unconventional Topological Phases and Non-Hermitian Quantum Dynamics in Nonlocal Systems (D)

Kaiye Shi^{1,2}, Mingsheng Tian¹, Fengxiao Sun¹, Wei Zhang²

¹Peking University, ²Renmin University of China

Abstract: In condensed matter, the physical systems are generally considered local, which only have short-range interactions since the long-range interactions is suppressed by Coulomb screening. However, artificial simulators, such as synthetic-dimension systems, mechanical oscillators, and circuits, offer unique advantages in emulating complex lattice systems through their programmable control of arbitrary-range couplings. In the past decade, these experimental systems have simulated almost all models with short-range couplings, but rarely simulate physics beyond short-range models due to a lack of theoretical research. In particular, there is widespread interest in how long-range coupling affects the topological states. Here, our work finds a new class of topological states in nonlocal systems and opens up a new research field for these experimental platforms.

The bulk-boundary correspondence (BBC), a principle that establishes a direct relationship between topological edge modes (EMs) and the bulk topology of Bloch bands, serves as a foundational framework for understanding topological quantum states. But, recent studies have demonstrated that the conventional BBC is violated in non-Hermitian systems, whose essence is that the hidden assumption of the conventional BBC, i.e., the bulk characteristics of a Hamiltonian under open boundary condition can be well approximated by a Bloch Hamiltonian under periodic boundary condition, no longer holds due to the non-Hermitian skin effect. However, the breakdown of the assumption does not necessarily require non-Hermiticity. Indeed, since the assumption requires an almost translational symmetric bulk, it can also break in Hermitian systems with long-range coupling. In such nonlocal Hermitian systems, it is natural to raise the following questions. Are there any topologically protected EMs? How can we formulate the topological invariants? To what extent can the BBC about to be revised establish a connection between the EMs and topological invariants?

We address the above three questions by studying a Hermitian system with nonlocal long-range hopping and showing a topology different from the traditional Bloch topological phases, referred to as the Hermitian non-Bloch topological (HNBT) phase. We propose a topological invariant to characterize the HNBT phase based on the wave function in real space, which can successfully capture the information of EMs [Fig. 1]. Unlike the conventional Bloch topological theory or the non-Hermitian topological theory, the topological invariant of the HNBT phase is not solely determined by the bulk, but also significantly affected by the boundaries. Furthermore, we find that in addition to the topologically protected edge modes, the HNBT phase also possesses a large number of localized bulk modes (LBMs) [Fig. 2], which are spatially distributed in specific locations depending on the ratio $\alpha = (R + 1)/N$ between the maximum hopping distance R and the system size N . The localized bulk modes are caused by the long-range nature of hopping and can only be observed under open boundary condition.

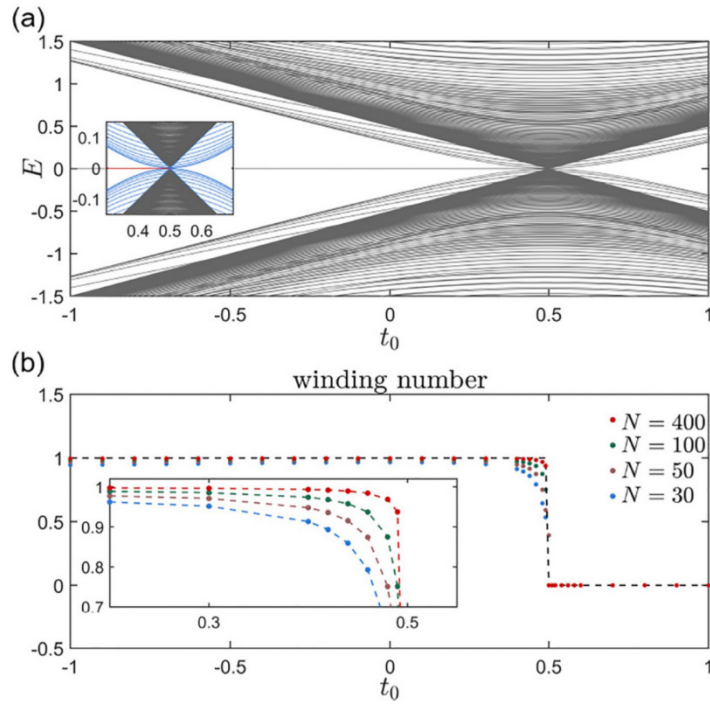


Fig 1. (a) The energy spectrum for systems under open boundary condition with varied t_0 and fixed size $N = 200$. The inset shows a zoom-in near the phase transition with $N = 600$, showing the EMs (red line) and the LBMs (blue lines). (b) The real-space winding number (solid dots). With increasing N , the results approach the quantized values and exhibit a sharp topological transition at $t_0 \approx 0.5$. Other parameters used are $t_m = 1$ for $m > 0$, and $\alpha = 0.95$.

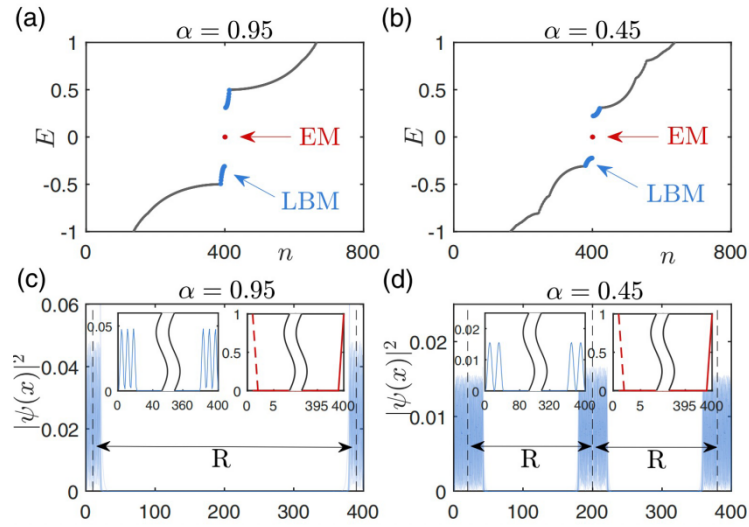


Fig 2. The spectra for cases of (a) $\alpha = 0.95$ and (b) $\alpha = 0.45$. The red dots indicate the EMs and the blue dots represent the LBMs. (c) and (d) Corresponding density profiles (modulus square) in real space of all LBMs. The left insets (blue) show the spatial distribution of an example LBM, and the right inset (red) present results for the EMs.

集成光量子芯片的全局校准

王琴琴，许小冶，李传锋

中国科学技术大学，中国科学院量子信息重点实验室

摘要：随着光子集成电路制造技术的日益成熟，越来越多的光学器件可以高度集成于单个芯片之上。伴随着芯片集成度的显著提升，大规模集成光子芯片中有源移相等器件的快速且精确的校准成为一个关键挑战。传统的逐位校准方法不仅需要对所有器件进行解耦以逐一校准，还存在校准误差的累积传播等问题。为此，我们提出了一种基于全局优化的校准方法。该方法以芯片的具体结构作为先验信息，对线路中所有片上器件进行整体校准，有效克服了传统逐位校准方法中的误差累积和器件解耦问题。具体地，该全局校准方法通过最小化测量数据集的负似然函数，同时学习所有热光移相器的非线性相位 - 电流关系以及分光器件的分束比等参数。基于此，我们在尺寸仅为 6.8mm*3.4mm 的光子芯片上实现了线路深度为 12 的可编程集成光量子行走系统，并对其输出的末态进行了完整刻画。

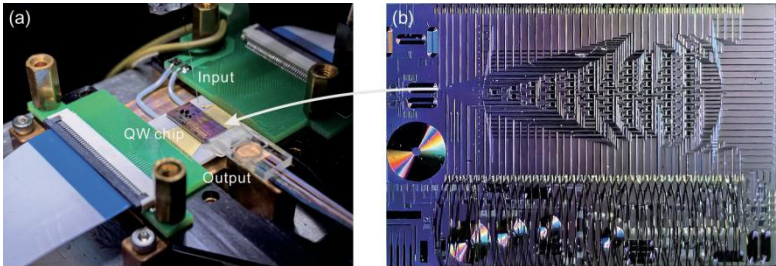


图 1. 集成光量子行走芯片。

超精密光学产品：多领域的精准光学解决方案

崔杰

西安超纳精密光学有限公司

摘要：待定

基于非可信节点的多协议兼容量子密钥分发网络 (C)

刘靖阳¹, 徐乐辰¹, 周星宇¹, Pavel V. Morozov², 王琴¹

¹ 南京邮电大学量子信息与技术研究所, ² 俄罗斯莫斯科国立师范大学

摘要: 目前基于可信中继节点的量子密钥分发 (QKD) 网络已实现了实验验证或实地部署, 但是其安全性受到中继节点可能被攻克带来的威胁。因此, 构建可扩展的基于不可信节点的 QKD 网络成为目前亟待解决的问题之一。测量设备无关 QKD (MDI-QKD) 与双场 QKD (TF-QKD) 协议能够免疫任何针对测量节点的黑客攻击, 并显著提升密钥的安全传输距离, 因而受到广泛关注。不过这两种协议各有优缺点, 有着不同的适用场景, 例如, TF-QKD 对环境中的噪声非常敏感, 而 MDI-QKD 的密钥生成率相对较低。因此, 如何在 TF-QKD 和 MDI-QKD 等高安全性协议之间实现兼容性、互操作性和高效率, 对于搭建全球量子通信基础设施来说至关重要。在本工作中, 我们首次提出了一种可兼容多种高安全性 QKD 协议的方法, 能够在非可信节点架构下将多种 QKD 协议进行融合和自由切换, 并且以 TF-QKD 与 MDI-QKD 协议为例进行了构建和性能展示。在该复合系统中, 通过使用非对称干涉仪的高效相位估计方法, 我们将 TF-QKD 信道链路的高速全局相位跟踪需求转化为低速相对相位校准需求, 从而大幅减少了校准时间开销, 进而保证系统的高效连续运行。

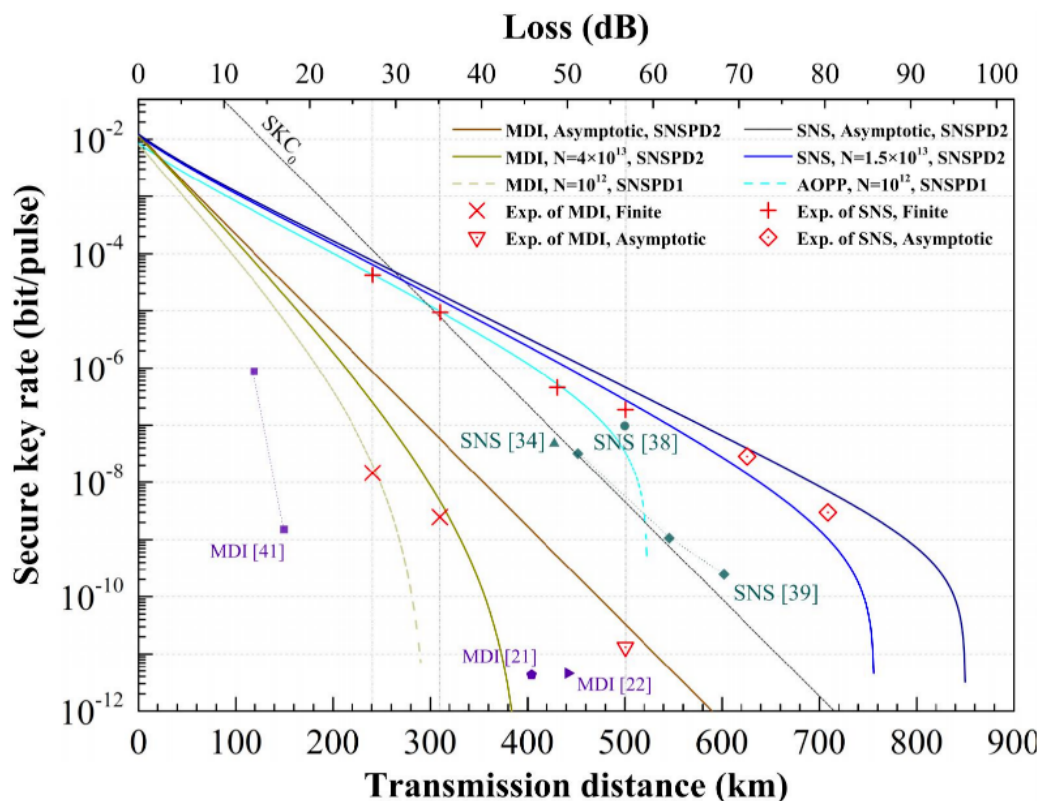


图 1. 渐近情况和有限长情况下不同传输距离处不同 QKD 协议安全密钥率的理论与实验结果对比。

马约拉纳零模的光量子模拟 (D)

孙凯, 许金时, 李传锋, 郭光灿

中国科学技术大学量子信息实验室

摘要: 马约拉纳零模因满足非阿贝尔统计特性成为拓扑量子计算的理想物理载体, 但由于对实验技术要求较为苛刻, 在固体系统中实现马约拉纳零模的编织操作仍然挑战重重, 这使得在技术成熟可靠的物理体系中模拟马约拉纳零模的特性显得十分必要。本报告将介绍课题组在光学系统中基于量子纠缠的原理搭建量子模拟器, 实验模拟马约拉纳零模特性的一系列工作, 主要包括: 基于量子纠缠的原理构建虚时演化过程实现量子模拟器的搭建, 利用此类模拟器研究了 Kitaev 链模型下的单链、双链、三链及高维条件下的马约拉纳零模编织交换的拓扑特性, 并进一步实验实现基于马约拉纳零模的琼斯多项式计算, 以研究拓扑扭结的类型, 实现了马约拉纳零模在具体量子计算场景中的应用。这些工作证实了马约拉纳零模拓扑特性在拓扑量子计算方面的独特作用, 同时也将相关技术推广应用在其他物理体系中, 以进一步

模拟研究马约拉纳零模在拓扑量子计算方面的应用。

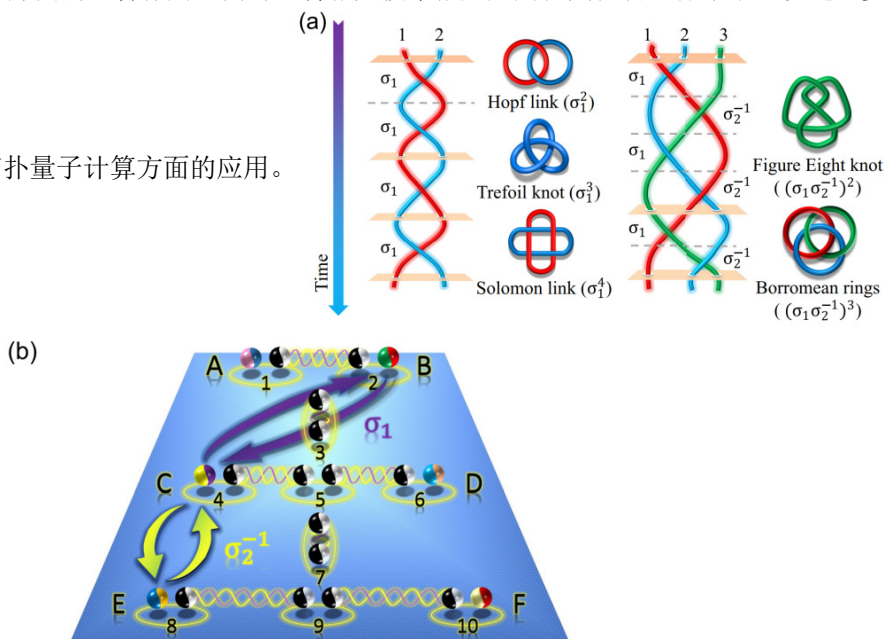


图 1. (a) 不同拓扑扭结结构对应的编织操作。(b) 三条 Kitaev 链模型下马约拉纳零模示意图, 所需的编织操作对应于相应零模之间的交换。

优化控制场作用下基于极性分子的量子计算

刘金明

华东师范大学物理与电子科学学院

摘要：最优控制是指在给定的约束条件下，设法寻求一种策略能使系统性能指标达到相应的最佳值。冷极性分子具有固有电偶极矩和较长寿命的转动态。强外电场与极性分子的相互作用可使得其转动态叠加，形成有一定取向的摆动态。利用量子最优控制方法，通过设计优化微波场，可驱动极性分子转动能级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实现量子计算和量子算法等若干量子信息过程方面的一些进展，包括：量子搜寻算法的模拟、量子算法的实现、和圆上行走的量子模拟等。

大容量高安全性量子秘密共享协议 (C)

周澜¹, 张琦¹, 张诚², 盛宇波²

¹南京邮电大学, 理学院, ²南京邮电大学, 电子与光学工程学院, 柔性电子(未来技术)学院

摘要: 量子秘密共享 (QSS) 是一种被广泛研究的多方量子密钥共享方法, 它需要所有参与秘密共享的用户共同合作才能恢复传递的密钥。QSS 基于量子物理的基本原理保护密钥的安全性。虽然 QSS 在理论上绝对安全, 然而, 实际实验设备的不完美为 QSS 的实用化带来较大的安全隐患。设备无关 (DI) 协议可抵御所有针对实验设备的攻击, 为通信提供最高级别的安全性保护。本课题组提出了设备无关 (DI) QSS 协议并首次完成了 DI QSS 协议在实际噪声通信环境下的性能表征。DI QSS 对实验设备具有较高要求, 课题组在 DI QSS 中引入了噪声预处理、后选择、随机密钥基等主动改进策略, 可有效降低探测效率阈值, 延长安全通信距离。课题组提出了基于单光子源的高容量 DI QSS 协议, 可将 DI QSS 的密钥生成率提高 6 个数量级, 安全通信距离提高约 150 倍。测量设备无关 (MDI) QSS 协议可抵御所有针对测量设备的攻击, 然而, 现有 MDI QSS 协议密钥生成率较低。本课题组提出了全量子存储器辅助的高容量 MDI QSS 协议。本协议使用指示单光子源, 通过存储器辅助提高三方光子到达测量端的同步率。与只使用弱相干光源和指示单光子源的 MDI QSS 协议相比, 本协议可将密钥生成率提高 7-10 个数量级。上述研究工作可有效推动 QSS 的实用化。

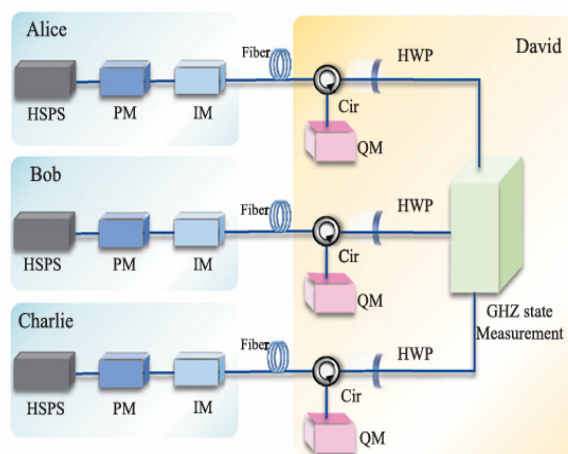


图 1 基于 GHZ 态的 DI QSS 协议原理图

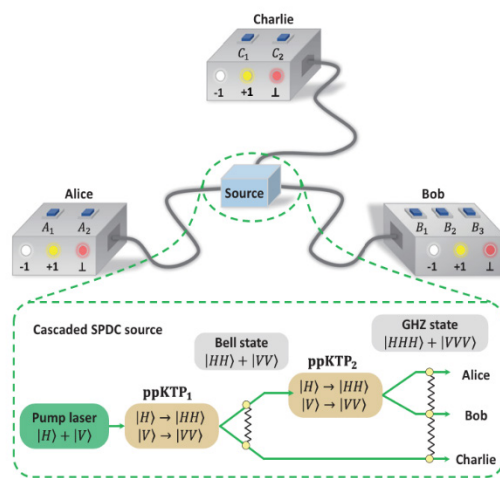


图 2 存储器辅助的 MDI QSS 协议原理图

长寿命高效率可集成量子存储器 (C)

周宗权

中国科学技术大学

摘要：光量子存储器是克服信道损耗、构建大尺度量子网络的核心器件，其规模化应用需实现器件的集成化，从而达到小尺寸、低功耗的目标。自 2011 年以来，国际上已利用多种工艺在稀土掺杂晶体中制备了可集成量子存储器。然而，由于集成器件中噪声难以滤除且存储效率受限，现有装置仅能实现在原子激发态的存储，其存储时间仅达 10 微秒级，效率远低于光纤延迟线的传输效率 (Fig. 1)，根本限制了其在远程量子通信中的实际应用。

基于基态的自旋波存储才能实现长存储时间，但可集成器件中实现自旋波量子存储面临艰巨的噪声比挑战。本团队利用原创的“无噪声光子回波 (NLPE)”量子存储方案实现效率提升，并结合凹陷包层波导的正交偏振滤波机制，成功实现了基于基态自旋波的可集成量子存储器。近期，结合对自旋跃迁的动力学解耦，实现了 1.02 毫秒的可集成量子存储，且效率达 12%，远超对应光纤延迟线的传输效率（约 10^{-4} ）。基于 NLPE 的可集成量子存储器，成功达成突破光纤延迟线效率的目标，证明可集成量子存储器在功能上已不可能被光纤延迟线所替代，解决了该领域十四年来的关键难题。

此外，我还将介绍我们基于光纤微腔和波导微腔实现的效率高达 80% 的可集成量子存储研究进展。

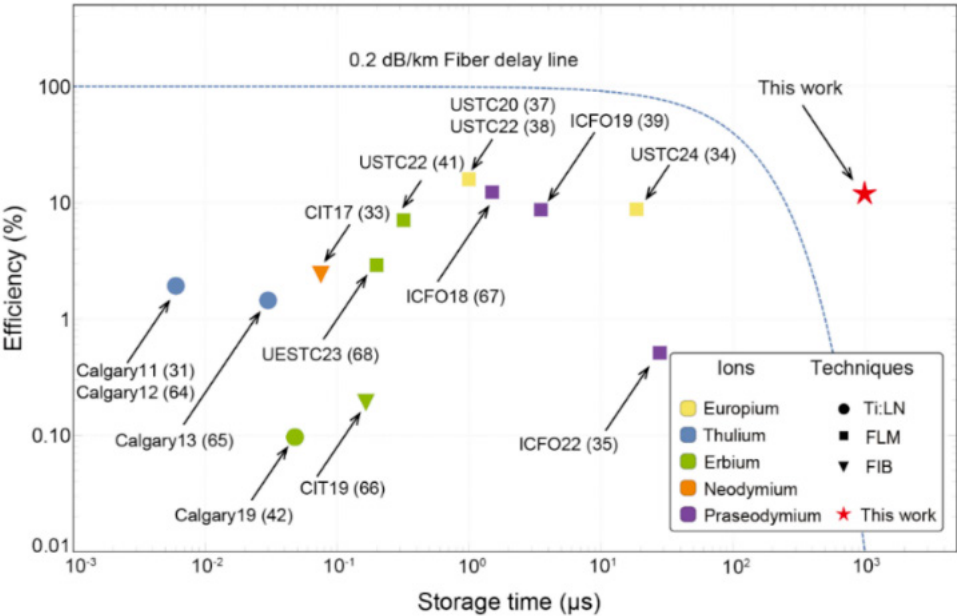


Fig. 1 Performance of integrated quantum memories for light, with the dashed blue line representing the efficiency of fiber delay lines.

基于光学合成维度的非厄米实验研究（D）

杨木，许金时，李传锋，郭光灿

中国科学技术大学

摘要：非厄米系统展现出在厄米系统中未曾观察到的独特拓扑现象，例如新型的拓扑分类以及非厄米趋肤效应。在周期性非厄米系统中，本征能量变为复数，并在复平面中呈现缠绕行为。本征态的缠绕数在厄米系统中是整数，在非厄米系统中则可以取半整数。然而，直接实验观测到本征能量与本征态的非厄米缠绕行为，特别是半整数缠绕数，仍然是一个重大挑战。

近年来，研究人员开发出了一种“合成维度”方法来构建拓扑系统，为全面的非厄米拓扑物理研究提供新的手段。本研究中，我们利用轨道角动量（OAM）合成维度构建了一个非厄米拓扑晶格（图 1），成功实现了对本征态和本征能量缠绕行为的直接观测。我们首次在实验中观测到半整数本征态缠绕数，并揭示了非厄米趋肤动力学中的方向性与本征能量缠绕之间的内在关系。此外，我们通过将 OAM 链划分为两个半无限链，观测到了零能边界模，并进一步验证了其分布同时由本征态和本征能量缠绕数共同决定。我们的工作为理解非厄米拓扑提供了全面的认识，并为探索非厄米现象建立了一个全新的实验平台。

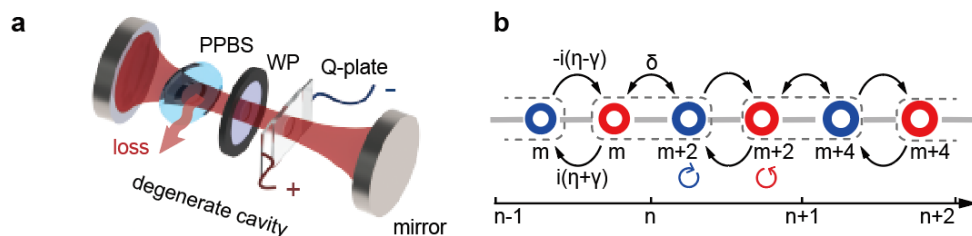


图 1. a. 实验装置图；b. 非厄米合成轨道角动量晶格示意图；

高效率多模拉曼量子存储器 (C)

武泽亮, 陈丽清

华东师范大学精密光谱科学与技术国家重点实验室, 物理与电子科学学院, 光与原子量子研究所

摘要: 随着分布式量子计算和长距离量子通信需求的增长, 量子网络对高数据吞吐量的要求变得日益迫切。高维宽带量子存储器显著扩展了量子信息处理能力, 而存储效率是衡量量子网络可扩展性和有效性的性能指标, 50% 的效率是功能性的基准, 超过 90% 的效率对于量子网络的实际应用至关重要。宽带量子存储器已被证明具有高达 77 MHz 的带宽和 82% 的效率, 但它仅适用于单模高斯信号。高效、高维和宽带量子存储器的集成仍然是量子信息科学领域的挑战。我们展示了一种用于存储轨道角动量 (OAM) 和自旋角动量 (SAM) 信息编码的高维光场的高效量子存储器。OAM 信息从 -5 到 +5 进行编码, 结合自旋角动量编码, 实现高达 22 维的信息编码。为了确保高存储效率, 我们开发了一种人工智能算法, 即一种使用切比雪夫采样的改进差分进化 (DE) 算法, 以获得完美的控制信号波形匹配。实验中, 单模高斯信号的存储效率达到 92%, 信息维度数为 6 时为 91%, 维度数为 22 时为 80%。单模高斯信号的保真度达到 99%, OAM 信息为 96%, SAM 信息为 97%, 整体高维信号的保真度为 92%, 远超无克隆限制。

我们的量子存储器展示了优越的性能, 并在高维量子信息处理中具有潜在应用。这一成就为未来的量子通信和量子计算提供了关键基础

光纤信道确定性纠缠辅助量子通信 (C)

任思宇¹, 闫彦茹¹, 王美红^{1,2}, 苏晓龙^{1,2}

¹ 山西大学光量子技术与器件全国重点实验室, ² 山西大学极端协同创新中心

摘要: 信道容量是指信道传输的最大互信息量, 是通信的一个重要指标。量子密集编码作为一种典型的量子通信编码方式, 能够基于共享的量子纠缠提高通信的信道容量。在量子密集编码中, 基于量子纠缠, 通过一个量子比特能同时编码两个经典比特的信息, 因此, 通信的信道容量被提高。与离散变量体系的量子密集编码相比, 连续变量纠缠态的产生和探测都是确定性的, 因此可以确定性地实现量子密集编码。

自首次利用纠缠光子对实验验证量子密集编码以来, 量子密集编码已经相继在多种物理系统中被实验验证, 包括光学系统、核磁共振系统和原子系统。同时, 通过使用多组份纠缠态, 量子密集编码也被扩展到了网络通信中, 即受控量子密集编码。然而, 当前的量子密集编码仍停留在原理性实验验证阶段。

面向实用化量子通信, 急需在实际的光纤信道中验证量子密集编码的可行性。我们首次基于连续变量纠缠态, 并结合量子密集编码的编码方式, 在 20 km 的光纤信道中实现了确定性纠缠辅助量子通信。研究表明: 在光纤信道传输 2 m、2 km、5 km、10 km 和 20 km 后, 基于连续变量纠缠光解调的微弱经典信号的信噪比均高于相干光解调的信噪比。因此, 连续变量纠缠辅助量子通信的信道容量高于在同等条件下相干光通信的信道容量。

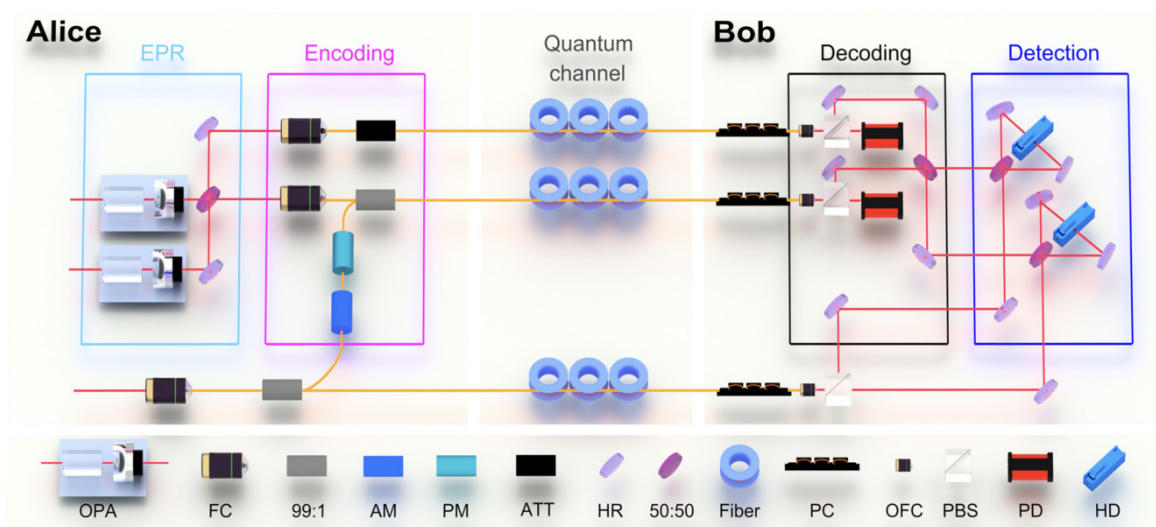


图 1 连续变量纠缠辅助量子通信装置图

Enhancement of the coupling to solid-state spins and quantum manipulations

Zhou Yuan

Hubei University of Automotive Technology

Abstract: We here report three investigations on quantum manipulation of solid-state spins utilizing the acoustics based hybrid quantum system. First, “Enhancing spin-phonon and spin-spin interactions using linear resources in a hybrid quantum system”, namely, through modulating the spring constant of the mechanical cantilever with a time-dependent pump, we can acquire a tunable and nonlinear (two-phonon) drive to the mechanical mode, thus amplifying the mechanical zero-point fluctuations and directly enhancing the spin-phonon coupling. Second, “Synergistic enhancement of spin-phonon interaction in a hybrid system”, we explore a joint scheme to further enhance spin-phonon coherent coupling with two methods working together in a hybrid optomechanical system. Both methods are mechanics-induced mode field coupling (MFC) that lead to the modification of the spatial distribution of the optical field and the mechanical parametric amplification (MPA) realized by modulating the mechanical spring constant in time. With the joint assistance of MFC and MPA, the coherent coupling between the spin and one supermode of the mechanical resonators (MRs) can be further significantly enhanced with the rate . Finally, “Realization of chiral two-mode Lipkin-Meshkov-Glick (LMG) models via acoustics”, in which, the chirality-controlled two-mode LMG models are mimicked in a potential hybrid quantum system, involving two ensembles of solid-state spins coupled to a pair of interconnected surface-acoustic-wave cavities. With the assistance of dichromatic classical optical drives featuring chiral designs, it can simulate two-mode LMG-type long-range spin-spin interactions with left-right asymmetry.

剩余纠缠纯化理论与实验

周澜¹, 盛宇波²

¹南京邮电大学理学院, ²南京邮电大学电子与光学工程学院, 柔性电子(未来技术)学院

摘要: 纠缠纯化是从受噪声退化的纠缠中提取高品质纠缠的方法。纠缠纯化是量子中继的关键步骤。量子中继 BDCZ 理论提出者 W. Dur 指出纠缠纯化决定长距离量子通信的通信率, 是量子中继的核心。现有量子纠缠纯化理论和实验主要选取相同保真度纠缠进行纯化。如果纯化操作成功, 则认为纯化成功, 即保留的一对纠缠粒子保真度能增加。如果纯化操作失败, 即纯化失败, 用于纯化的两对粒子均扔掉。后续的研究均认为该理论推广到任意情况下成立。我们经过研究发现, 如果选取不同拷贝纠缠纯化的时候, 如果纯化操作成功, 保留的态保真度能不一定提高, 而纯化操作失败, 则依然存在纠缠, 可以保留继续在下一轮纯化中使用。我们构建极化-空间超纠缠, 利用空间纠缠纯化极化纠缠, 在实验上证实了该理论, 纠正了学术界自纠缠纯化理论提出以来对纠缠纯化的错误认识, 同时可以利用剩余纠缠提高纠缠纯化的效率。

Quantum Programming of Topological Phases of Matter

Feng Mei

State Key Laboratory of Quantum Optics Technologies and Devices, Institute of Laser Spectroscopy, Shanxi University, Collaborative Innovation Center of Extreme Optics, Shanxi University

Abstract: Implementing topological phases of matter in synthetic quantum systems has attracted great interests in quantum simulation. The universality of digital quantum simulators also hold promise for digitally simulating topological phases. In this talk, we will introduce our recent efforts towards realizing both analogue and digital quantum simulation of topological phases of matter with currently available noisy-immediate programmable quantum processors, including how to design topologically protected quantum circuits and probe their featured topological features, either in and out of equilibrium. Search topological phases of matter using quantum computers could opens new opportunities for both understanding fundamental physics and exploring quantum advantages.

超导量子电路中的读取和控制优化

宋鹏涛¹, 李晟永², 张靖¹

¹ 西安交通大学, 电信学部自动化科学与工程学院, ² 清华大学, 自动化学系

摘要: 超导电路因其良好的可扩展性、精准的操控性、以及低损耗等特性, 已经成为研究量子信息和量子计算的核心平台。与此同时, 机器学习作为一类强大的数据驱动算法工具, 在超导量子电路的量子态读取和量子控制中展现出广泛应用前景。玻色量子态具有高维度、读取效率低等特点, 本工作提出一种优化的态密度矩阵重构方法, 使态重构效率大幅度提升, 此重构方法还有对抗量子比特退相位噪声的优异性能, 同时机器学习技术的加持可以实现高保真度态重构。我们提出使用示例强化学习技术来优化量子控制技术, 可以实现多种量子态的制备, 并提高量子态制备的保真度和减小训练时间。

The applications of spin valves into silicon quantum chips

Ranran Cai

University of Science and Technology of China (USTC)

Abstract: Electron spin qubits in silicon have achieved significant success in gate operation, scaling-up, and readout, particularly in two-qubit gates (CZ and CROT) that exceed the error correction threshold and virtual photon-mediated remote iSWAP operation. Micromagnet (mM) induced synthetic spin-orbit coupling (sSOC) plays a key role in these advancements. However, this persistent sSOC also poses challenges for silicon spin qubits, such as introducing dephasing noise and restricting coherent quantum information exchange. Spin valves, consisting of two magnetic layers separated by a tunneling barrier, are widely used in commercial MRAM applications by electrically switching their magnetization configuration on a nanosecond scale. Therefore, they hold promise for implementing on-demand switching ON/OFF sSOC for silicon spin qubits to maintain outstanding functionalities and avoid harmful effects. In this talk, we first clarify the construction of switchable sSOC via spin valves. Following that, three examples will be displayed to demonstrate the superiority of such a switchable sSOC architecture:

- (I) High-fidelity (>99%) SWAP operation between neighboring spin qubits can be easily realized by considering realistic parameters.
- (II) Spin-photon couplers are proposed, which are successfully used for high-fidelity resonant quantum state transfer (QST) between remote spin qubits.
- (III) Considering the symmetry of the stray field, the ultrafast switching between transversal and longitudinal coupling is naturally realized. Finally, a spin valves controlled multi-functionality modular silicon quantum chip (Figure 1) will be discuss.

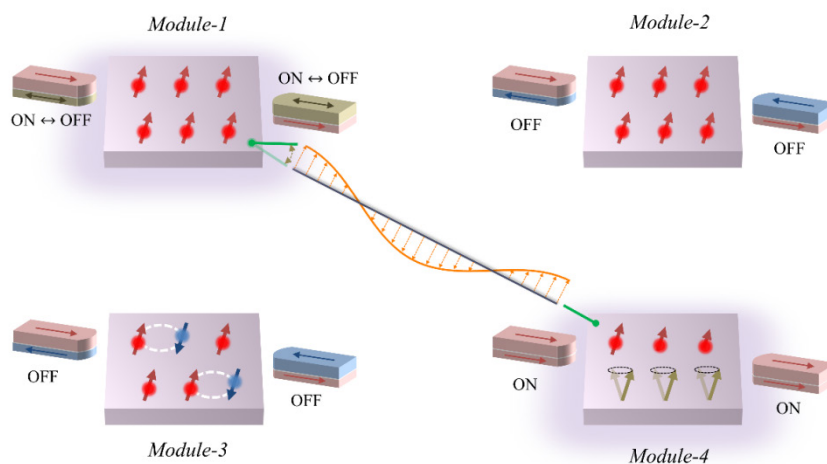


Figure 1. Schematic of modular silicon spin quantum chip controlled by spin valves.

相位存储辅助的光-原子关联量子干涉仪 (E)

黄文峰¹, 梁馨云¹, 陈丽清^{1,2}¹ 华东师范大学 物理与电子科学学院, ² 上海量子科学研究中心

摘要: 作为精密测量领域最常用的工具之一, 干涉仪能够对相位敏感的物理参数实现高精度测量。然而, 其相位灵敏度通常受限于由 N 个不相关粒子所决定的标准量子极限 (SQL)。利用量子关联性可超越该极限, 但在大粒子系统中实现高质量的量子相关性具有挑战性。在此, 我们提出并展示了一种基于相干反馈实现的光-原子关联量子干涉仪方案。该方案利用原子-光量子关联以及原子相位存储辅助实现的相位梳状叠加, 使其相位灵敏度超越标准量子极限。该型量子干涉仪的分束和合束过程均发生在同一原子系统中。第一次分束过程 (受激拉曼放大过程), 泵浦光场 W 同时制备了新的信号光场和原子自旋波作为干涉仪的两个干涉臂。信号光场 S 经过相干反馈后再次回到与之存在相位关联的原子系统中。在干涉过程中, 相敏原子的每一次放大都是基于前一次的输出, 然后进行一次相移并在合束过程 (相敏受激拉曼放大过程) 将相位信息存储在原子臂中, 原子系统继续参与后续信号光场 S 的第二次干涉过程, 如此循环往复。最终, 我们在实验上实现了超越标准量子极限 8.3 ± 0.2 dB 的相位测量, 特别是在相敏光子数 $N=4 \times 10^{13}/s$ 条件下, 相位灵敏度达到了 6×10^{-5} rad/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 。由于该量子操控技术兼具良好的量子优势和相位测量精度, 有望推动诸多应用领域的量子精密测量发展。

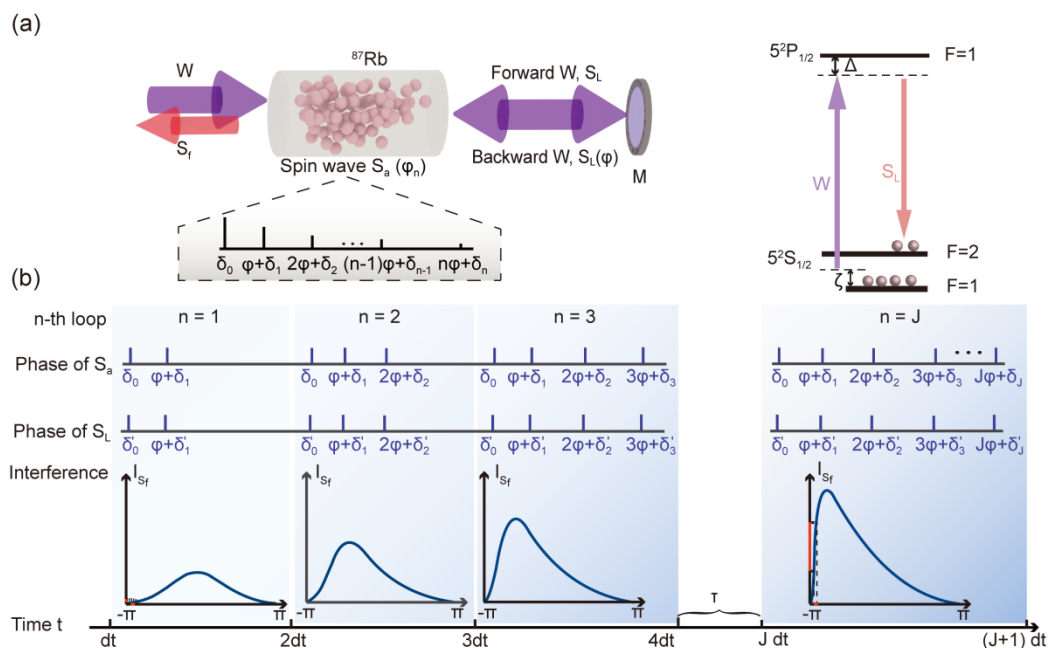


图 1. 原子相位存储辅助示意图。

Two remote counting events induced by a single photon

张理达

华东理工大学物理学院

摘要：爱因斯坦对量子力学的批判性观点有力地推动了量子学科的发展，同时他也设计了多个针对量子力学的思想实验。其中的一个思想实验是考虑一个粒子在通过一个小孔后发生衍射，爱因斯坦认为原则上可以在小孔后的半球形接收屏上的两个或多个地方产生作用。受到此思想实验的启发，我们从理论上探讨了同时在两个遥远地点探测到单光子的可能性。我们考虑了一个由两个空间上相距遥远的腔组成的级联量子系统，每个腔中有一个与之耦合的量子比特。在腔与量子比特满足超强耦合条件时，我们发现即使两个腔之间的距离与光子脉冲的空间长度相当，一个入射到此级联量子系统的单光子脉冲也可以同时激发两个遥远的量子比特，从而辐射两个低频的单光子并被单光子探测器接收。由此我们发现单个光子可以同时导致两个相距遥远的光子数测量事件。

中国空间站原子干涉实验研究进展 (E)

陈曦, 李金庭, 张胆放, 王谨, 詹明生

中国科学院精密测量科学与技术创新研究院

摘要: 空间冷原子干涉仪具备极高的加速度和转动测量精度, 在卫星重力测绘、卫星导航、等效原理检验、引力波探测、暗物质探测等领域都有着重要的应用。欧美国家在此领域开展了积极布局, 并实现了诸如落塔、探空火箭以及国际空间站等微重力平台的预先研究。在载人航天相关项目的支持下, 报告人所在课题组研制了一台双组分空间冷原子干涉仪, 该载荷于 2022 年送入中国空间站并开展科学研究。该干涉仪具有极高的集成度, 其体积小于 40 L, 并能够实现大于 0.1 s 的干涉时间。通过 2 年的调试和科学实验, 课题组利用该干涉仪实现了国际首个空间冷原子干涉转动测量, 转动测量精度达到 3×10^{-5} rad/s; 实现了双组分冷原子同步原子干涉, 并开展了微重力条件下基于原子干涉的等效原理检验研究, 检验分辨率达到了 2×10^{-8} , 优于国际相应实验最高精度 4 个数量级; 针对发现的空间冷原子干涉仪的相位特征, 开展了微重力条件下的干涉条纹特征的机理分析。上述研究填补了国内在空间冷原子干涉方面的研究空白, 为未来更高精度的空间冷原子干涉仪的载荷研制奠定了实验技术和理论分析基础。

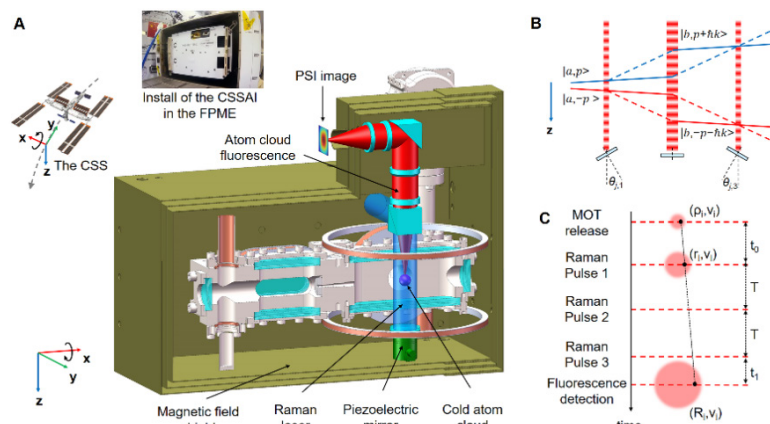


图 1. 空间冷原子干涉仪示意图, (a) 空间冷原子干涉仪及其安装, (b) 空间冷原子干涉方案, (c) 空间冷原子团位置和干涉时序之间的关系。

Exponentially faster relaxation through strong Mpemba effect

Yan-Li Zhou

College of Science, National University of Defense Technology

Abstract: How to speed up relaxation processes, naturally existing in physical and biological systems, is an important challenge for fundamental sciences and practical technologies. A very counter-intuitive phenomenon, i.e., water can cool faster when initially heated up, has been noticed even in ancient times, which was then termed as the Mpemba effect (ME). This effect implies the critical role of the initial conditions in relaxation processes, as confirmed recently in a classical colloid system. The novel possibility of achieving and utilizing such an effect also in various purely quantum systems now become a highly interesting target, in view of its potential applications in efficient engineering of dissipative quantum devices.

Here, we report the first experiment, as far as we know, about the strong Mpemba effect in a single trapped ion system in which an exponentially expedited relaxation in time is observed by preparing an optimal initial state with no excitation of the slowest decaying mode. Also, we find that the condition of realizing such effect coincides with the Liouvillian exceptional point, featuring the coalescence of both the eigenvalues and the eigenmodes of the system. Our work provides an efficient strategy to exponentially accelerate relaxations of quantum system to their stationary states, and suggests a link unexplored yet between the Mpemba effect and the non-Hermitian physics. It could open up the door to engineer a wide range of dissipative quantum systems by utilizing the anomalous Mpemba effect, for applications in quantum simulation and quantum information processing.

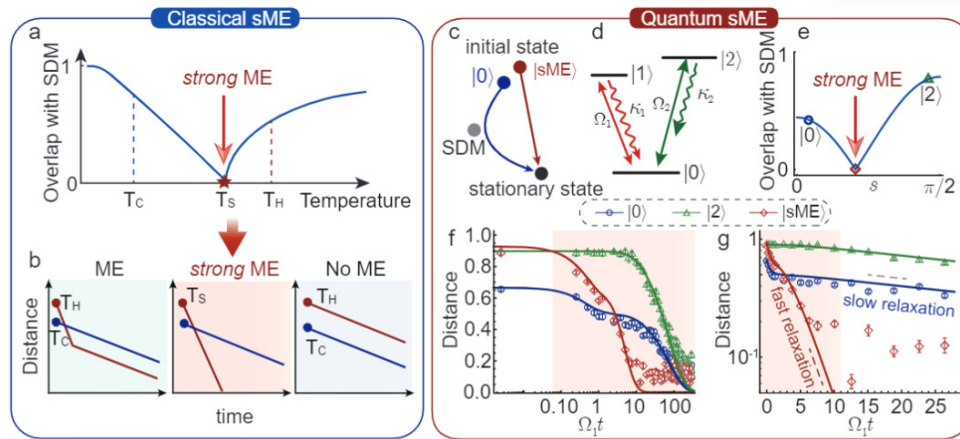


Fig. 1: (a) The Mpemba effect (ME) can be understood in an intuitive way: the amplitude of the overlap of the initial state with the slowest decaying mode (SDM) depends on the initial temperature in a nonmonotonic way. The strong ME (sME) appears when the overlap with the SDM vanishes. (b) ME: If an initial high temperature state has a smaller SDM amplitude than that of the lower temperature state, it can reach the thermal equilibrium faster. sME: the system reaches equilibrium at an exponentially faster rate. No ME: the initial high temperature state has a larger overlap with the SDM and thus reaches the equilibrium slower. (c) By applying a unitary operation, one can realize an initial sME state and approaches the stationary state with a faster rate. (d) The energy levels for observing the sME. (e) The overlap of a rotated initial random state with the SDM as a function of the rotation angle. (f) The initial sME state starts with a longer distance but reaches stationary state faster. (g) The logarithmic scale of the distance evolves with time for different initial states.

量子智能数据处理方案

张伟伟

西北工业大学计算机学院

摘要：量子技术已进入噪声中尺度量子（NISQ）信息处理时代。以生成模型为代表的机器学习技术革命预示着人工智能的广阔前景，而海量数据处理对现有计算机提出了巨大挑战。海量量子数据的生成将成为量子人工智能面临的挑战。本文提出了一种高效的抗噪声量子数据生成方法，该方法可应用于各种类型的 NISQ 量子处理器，其中目标量子数据属于特定类别，而我们的方案能够生成属于该目标类别的各种量子数据。具体而言，我们提出了一种基于多尺度纠缠重正化网络（MERA）的量子去噪概率模型（QDM），用于量子数据的生成。为了证明方案的可行性和实用性，我们演示了 GHZ 类态和 W 类态的生成，成功率超过 99%。我们的 MREA QDM 还可以同时用于多种类型的量子数据去噪。在单量子比特噪声水平在 1/4 以内的环境下，类 GHZ 态和类 W 态的去噪成功率可以接近 100%，而在另外两种噪声水平在 1/4 以内的环境下，类 GHZ 态和类 W 态的去噪成功率可以达到 90% 以上。我们的量子数据生成方案为 NISQ 时代的量子生成模型提供了新的思路和前景。

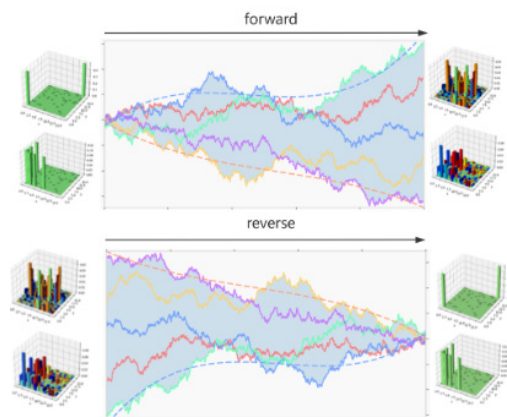


图 1. 量子网络训练的前向和反向过程。

利用激光诱导荧光技术探测带电粒子和中性大气相互作用

刘宇¹，姜俊南¹，张奕森¹，于志飞²

¹ 中国科学技术大学地球和空间科学学院，² 合肥工业大学物理学院

摘要：带电粒子和中性组分相互作用是地球和行星大气与电离层耦合的关键过程，受限于观测条件，过往对这类微观物理过程认知较为缺乏。为了研究该问题，我们建设了科大空间等离子体地面实验装置，通过可控的实验室条件模拟高层大气和电离层相互作用过程。同时，我们搭建了激光诱导荧光系统来实现中性和带电粒子相互作用前后速度、密度和温度变化的测量，从而理清中性和带电相互作用的过程，服务地球和行星中高层大气电离层耦合研究。本报告将汇报我们激光诱导荧光系统建设和初步科学成果。

分会场 C

基于测量不相容结构的随机性验证充要条件 (A)

李逸¹, 项玉^{1,2}, Jordi Tura³, 何琼毅¹¹ 北京大学, ² 西安交通大学, ³ Universiteit Leiden

摘要: 量子随机性可以在不对系统做任何具体假设的前提下, 通过呈现贝尔非定域性或 EPR 导引效应的量子关联进行验证。然而, 并非所有的非定域关联都足以验证随机性, 因此有必要判断完成该任务所需的最小量子资源。本工作聚焦于两体场景, 从测量不相容的结构出发, 提出了验证非零随机性的充要条件, 并进一步发展了实用的检测方法。在单方器件无关场景中, 我们证明: 当且仅当量子关联对应的测量兼容性结构不同构于包含星型子图的超图时, 才能验证随机性。在星型结构中, 中心测量与各分支测量分别兼容, 从而排除了在中心测量结果中存在可验证随机性的可能性。进一步, 我们将该结果推广至双方器件无关场景, 证明了任意链状贝尔不等式的违背都可排除这类兼容性结构, 从而保证所有链式不等式均可作为随机性验证任务的见证者。我们的工作指出了测量不相容结构在随机数生成任务中的作用, 并提供了一种检测该任务所需最小量子资源的实用方法。

Quantum battery based on cavity and two-level system

王璐, 刘树倩, 吴风霖, 樊浩, 刘思远

Institute of Modern Physics, Northwest University

Abstract: In recent years, we have conducted a series of innovative research in the field of cavity quantum batteries. We study the performance of a series of two-mode quantum batteries in different initial states. And we provide for the first time a quantitative relationship between ergotropy and entanglement in incoherent QB, and determine the average and instantaneous resource utilization rate. Investigations under the anisotropic Dicke model revealed that in weak coupling, rotating-wave terms dominate, while counter-rotating wave terms (CRW) reduce maximum stored energy. However, in ultrastrong/deep strong coupling regimes, CRW enables the anti Tavis-Cummings (ATC) model to store and release more energy, with average charging power increasing with CRW contribution. In deep strong coupling regime, the ATC model can achieve the optimal energy storage, which can be seen as parallel charging of N Jaynes-Cummings models. Additionally, the cavity-optomechanical QB is realized, demonstrating that mechanical oscillators enhance energy storage and extraction.

Deterministic steady-state subradiance within a single-excitation basis

(B)

Meng-Jia Chu^{1,2}, Jun Ren^{1,2,3}, Z. D. Wang^{2,3}¹College of Physics and Hebei Key Laboratory of Photophysics Research and Application, Hebei Normal University, ²Hong Kong Branch for Quantum Science Center of Guangdong-Hong Kong-Macau Great Bay Area,³Department of Physics and HK Institute of Quantum Science & Technology, The University of Hong Kong

Abstract: Subradiance shows promising applications in quantum information, yet its realization remains more challenging than superradiance due to the need to suppress various decay channels. This study introduces a state space within a single-excitation basis with perfect subradiance and genuine multipartite quantum entanglement resources for the all-to-all case. Utilizing the quantum jump operator method, we also provide an analytical derivation of the system's steady final state for any single-excitation initial state. Additionally, we determine the approximate final state in the quasi-all-to-all coupling scenario. As an illustrative example, we evaluate the coupling and dynamical properties of emitters in a photonic crystal slab possessing an ultra-high quality bound state in the continuum, thereby validating the efficacy of our theoretical approach. This theoretical framework facilitates the analytical prediction of dynamics for long-lived multipartite entanglement while elucidating a pathway toward realizing autonomous subradiance in atomic systems.

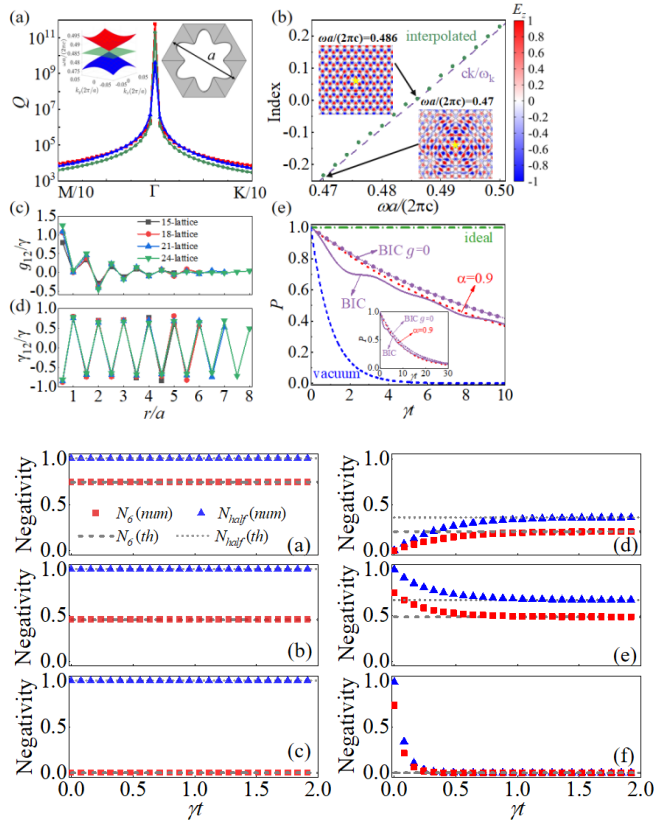


图 1. Comparison between numerical results and theoretical results of negativity evolution with time for different initial states. 图 2. Verification of the validity of theoretical results in BIC photonic crystal slabs.

碳化硅改性双空位色心低温“自旋-光”物性研究 (B)

何桢暄^{1,2,3,4}, 周继阳^{1,2,3}, 林吴曦^{1,2,3}, 许金时^{1,2,3}, 李传锋^{1,2,3,4}, 郭光灿^{1,2,3,4}

¹ 中国科学院量子信息重点实验室, ² 安徽省量子网络重点实验室, ³ 中国科学院量子信息与量子科技创新研究院, ⁴ 合肥国家实验室

摘要: 4H- 碳化硅中的双空位色心是由一对相邻的碳-硅原子缺失所形成, 具有长自旋相干时间和高自旋选择性的光跃迁, 是构建自旋-光子界面的重要候选体系。其中, 一种改性双空位色心被命名为 PL6。尽管其精确结构尚未完全明了, 但理论研究预测, PL6 色心具有更好的电荷态稳定性, 在基于固态色心量子网络的搭建中具有潜在的应用前景。我们团队利用聚焦氦离子束注入并结合二次退火技术, 在碳化硅中实现了高精度的单个双空位色心阵列的制备。通过测量角分辨共振激发谱, 我们观察到 PL6 色心中两个偏振主轴相互垂直的共振谱峰, 在长达 3 小时的共振激发过程中, 这两条谱峰的平均光谱频移保持在 50 MHz 左右。通过共振激发的“双光子过程”会导致色心的光电离现象。我们在全功率范围内测量了 PL6 色心和另一种双空位色心 PL4 的双光子电离率。在低功率下, 电离率与共振光功率呈现准二次方关系, 而在高功率条件下则呈现准线性关系。特别地, 在相同的共振光功率下, PL6 色心的电离率比 PL4 色心低 2.6 倍, 表明 PL6 色心在光电离过程中具备更强的鲁棒性。此外, 通过对多个样本的统计分析, 我们团队还发现, 利用聚焦氦离子束制备的 PL6 色心在低温下的共振激发线宽和自旋相干时间均优于相同能量的碳离子和较低能量的氦离子注入制备的 PL6 色心。其自旋相干时间 T_2 在低温下可达到 194 μs 。进一步地, 我们通过脉冲共振激发测量到 PL6 色心光学能级基态与激发态之间的光学拉比振荡, 实现了改性双空位色心 PL6 的光学相干操控。结合此前我们团队发现的 PL6 色心在室温下具备高发光亮度和大自旋读出对比度的成果, 本项工作进一步展示了 PL6 色心在全温域量子信息处理中的巨大潜力。通过将聚焦氦离子束的精准制备技术与碳化硅中 PL6 色心的独特性质相结合, 有望实现 PL6 色心与微纳光学器件的高效耦合, 从而推动高效量子信息处理的实现。

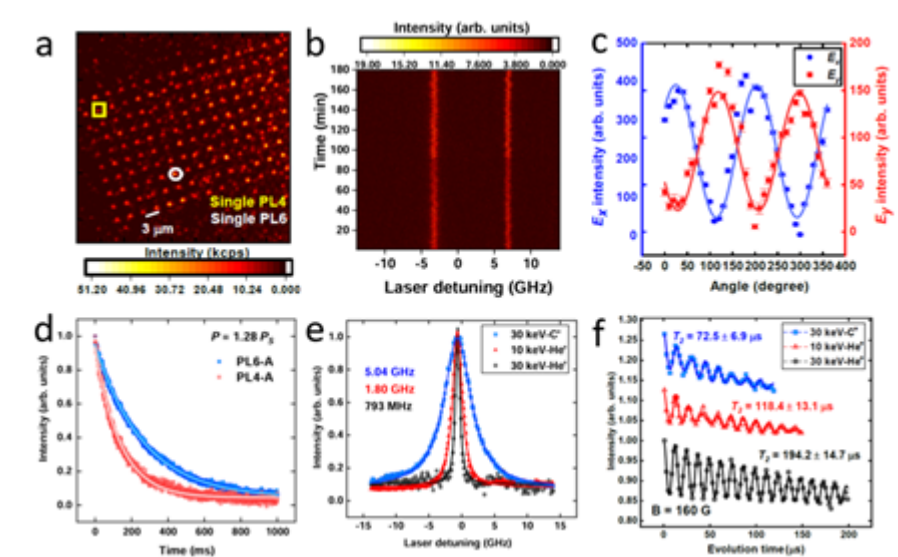


图 1. (a) 单个双空位色心阵列的共振聚焦荧光扫描图; (b) 单个 PL6 色心在 3 小时内的时间分辨光致发光激发谱; (c) 单个 PL6 色心的角分辨共振激发谱; (d) 单个 PL4 和 PL6 的在相同激发功率下光电离速率的比较; (e) 不同制备方法得到单个 PL6 的共振激发谱线宽; (f) 不同制备方法得到单个 PL6 的自旋相干时间。

电路 QED 系统的伴随纠缠态产生的量子相变研究 (D)

郑日华¹, 宁文¹, 吕家豪¹, 陈叶鸿^{1,5}, 余雪佳¹, 沈利托¹, 张煜然^{5,6}, 徐达⁷, 邓承林^{2,3}, 李贺康², 夏岩¹, 吴凡¹, Adam Miranowicz⁵, Neill Lambert⁵, 杨贞标^{1,4}, 许凯^{2,3,4}, 郑东宁^{2,3,4}, 范桁^{2,3,4}, Franco Nori⁵, 郑仕标^{1,4}

¹ 福建省量子信息与量子光学重点实验室, 福州大学物理与信息工程学院, ² 中国科学院物理研究所及北京凝聚态物理国家实验室, ³ 中国科学院大学拓扑量子计算卓越创新中心, ⁴ 合肥国家实验室, ⁵ Theoretical Quantum Physics Laboratory, RIKEN Cluster for Pioneering Research, Wako-shi, Saitama, Japan, ⁶ 华南理工大学物理与光电学院, ⁷ 浙江大学物理学院量子信息交叉中心, 现代光学仪器国家重点实验室及浙江省量子技术与器件重点实验室

摘要: 本报告聚焦电路 QED 系统的伴随纠缠态产生的量子相变研究, 通过两组实验展示了量子相变所伴随的非经典特性的纠缠态涌现。第一组实验构建了可控量子 Rabi 模型 (见图 1), 调控系统跨越临界点后, 观测到腔内光场由正常相突变为具有明显量子干涉的猫态叠加的超辐射相; 利用 Wigner 矩阵层析全面刻画了光 - 物质态, 揭示了光场的高度非经典特性及其与量子比特间的纠缠。第二组实验构建了多量子比特 Lipkin-Meshkov-Glick 模型 (见图 2), 演示了纯粹的量子力学自发对称破缺 (SSB) 过程, 并伴随多比特 GHZ 态纠缠的产生。该模型的哈密顿量体现了连续驱动与比特内相互作用之间的竞争。实验中, 6 个 Xmon 量子比特借助一个公共谐振腔, 近乎均匀地相互耦合。通过缓慢降低各比特的驱动强度, 我们实现了 SSB 过程, 系统从初始的对称直积态演化为两个简并、破坏对称性的本征态的叠加态。在准绝热演化过程中, 通过实时测量平均两比特纵向关联, 清晰地观测到 Z_2 对称破缺程度的逐步增强。我们进一步通过测量多比特横向量子关联并绘制 Wigner 函数, 验证了该 SSB 过程的量子特性。实验结果揭示了多体系统量子相变中的自发对称破缺与经典相变中对称破缺的根本区别, 为量子多体系统相变的实验研究提供了新的视角: ①在有限尺寸量子体系中, 自发对称破缺过程即对应于 GHZ 态的生成 (SSB=GHZ); ②当比特数 N 趋于无穷大时, 由于退相干率的线性缩放, 量子相干性消失; ③ GHZ 态纠缠能够区分有限尺寸量子多体系统的相变与热力学极限下的量子多体系统的相变。

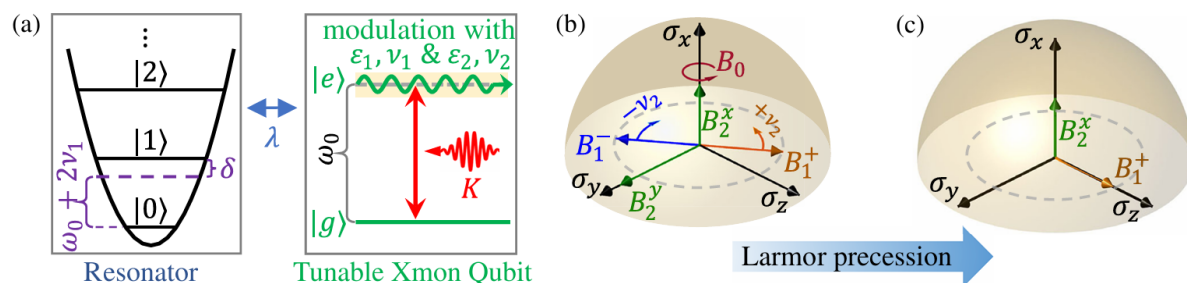


FIG. 1. Theoretical model. (a) Sketch for the qubit-resonator coupling. The test qubit is coupled to the resonator at the second sideband of a sine longitudinal modulation with modulating amplitude ϵ_1 and frequency ν_1 . A second sine modulation with amplitude ϵ_2 and frequency ν_2 is used to control the effective frequency of the qubit. These two modulations, together with a transverse drive K , effectively realize an effective Rabi Hamiltonian. Bloch representations in (b) the laboratory frame and (c) the precessing frame. By analogy with the motion of a spin-1/2, the transverse drive can be regarded as a static magnetic field of strength $B_0 \propto K$ along the x axis, which forces the Bloch vector of the qubit to precess with angular frequency B_0 . The second longitudinal modulation corresponds to applying two magnetic fields on the yz plane with the same amplitude $|B_1^+| = \epsilon_2/4$, rotating at the same angular frequency $\nu_2 = B_0$, but in opposite directions. The light field stored in the resonator acts as an effective magnetic field with components B_2^x and B_2^y . In the precessing frame associated with B_0 , the components B_1^+ and B_2^x are aligned with the z and x axes, respectively. The remaining components have negligible effects in

the rotating-wave approximation (not shown).

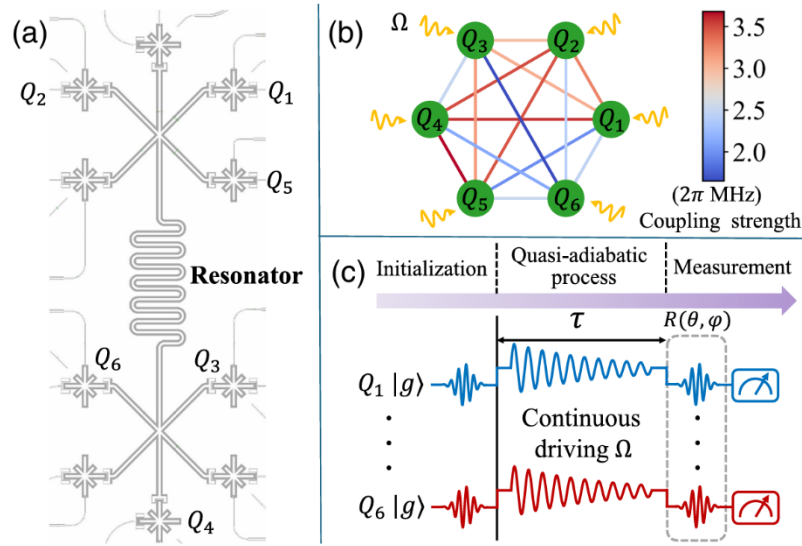


FIG. 2 Experimental realization of SSB in a multiqubit system. (a) Device schematic. The device comprises 10 Josephson junction-based qubits and a bus resonator. The first 6 qubits, denoted as Q_j ($j=1$ to 6), are approximately homogeneously coupled to the resonator with the on-resonance photonic swapping rate $\xi \simeq 2\pi \times 20$ MHz. The other four qubits are unused in the experiment. (b) Synthesis of the LMG model. When these qubits are detuned from the resonator by the same amount $|\Delta| \gg \xi$, any pair of qubits, Q_j and Q_k , are coupled through virtual photon exchange mediated by the resonator, with the effective coupling strength $\lambda \simeq \xi^2/|\Delta|$. Each of these qubits is driven by a continuous microwave with the Rabi frequency Ω . The system ground state depends upon the competition between resonator-induced qubit-qubit couplings and transverse drivings. (c) Pulse sequence. The experiment starts by tuning the qubits to the corresponding idle frequencies, where they are prepared in the state $\otimes_{j=1}^6 |+\rangle_j$ with a continuous microwave pulse. By tuning all the qubits to the same operation frequency and applying continuous drivings, the system dynamics is described by the LMG Hamiltonian. Following a pre-set quasi-adiabatic process, the qubits are biased back to their idle frequencies for the state readout.

基于铌酸锂集成光子芯片的高速量子密钥分发系统 (C)

林志昊^{1,2}, 高远飞¹, 周来¹, 袁慧宏¹, 朱运涛³, 林忠勋³, 张巍², 黄翊东², 蔡鑫伦³, 袁之良¹

¹ 北京量子信息科学研究院, ² 清华大学, ³ 中山大学

摘要: 量子密钥分发 (QKD) 允许远距离双方以信息论安全性交换密钥。然而, 复杂、庞大且昂贵的硬件限制了其实际应用和大规模部署。薄膜铌酸锂 (TFLN) 因其全面的性能优势, 如低传播损耗、低电压-长度积和高调制带宽, 正成为光子集成的新兴平台。在本工作中, 我们首次提出了基于 TFLN 芯片的 QKD 系统, 并在 25 公里光纤上实现了有限码长条件下 11.0 Mbps 的密钥生成速率 (SKR)。为实现高密钥生成速率, 我们在 TFLN 芯片上采用双偏振时间片相位编码 BB84 协议和三强度诱骗态方案。信息通过每对脉冲间的相位差编码。在传统的单偏振编码方案中, 形成非干涉峰的一半光子无法用于信息提取 (如图 1a 所示)。双偏振时间片相位编码方案同时利用时间和偏振自由度, 使所有光子参与干涉, 同时消除了相邻脉冲对之间的串扰, 从而支持系统以 2.5 GHz 工作。在图 1a 下方的绿色区块中, 所有时间片的光子均可通过干涉生成密钥。图 1c 展示了发射端 (Alice) 和接收端 (Bob) 芯片的示意图及光学显微照片。发射端包含两个级联马赫-曾德尔调制器 (MZM), 用于生成三强度态, 可有效抑制高速诱骗态强度编码中的码型效应。发射端的不对称马赫-曾德尔干涉仪 (AMZI) 将每个脉冲分为两个时间片。接收端与发射端的 AMZI 镜像对称, 并集成了偏振分束旋转器 (PSR) 以实现双偏振相位解码。我们采用三强度诱骗态 BB84 协议, 并基于有限码长计算密钥生成速率。可调光衰减器被用于模拟光纤信道。图 1d 展示了 SKR、原始密钥速率 (RKR) 和量子比特误码率 (QBER) 随信道损耗变化的实验结果与仿真对比。当信道损耗为 2 至 40 dB 时, SKR 为 15.8 Mbps 至 1.3 kbps。我们还在 25 公里光纤上测试了芯片系统, 获得 QBER 为 0.53%、SKR 为 11.0 Mbps 的结果。我们首次实现了基于 TFLN 芯片的集成 QKD 系统。发射端与接收端芯片采用相似架构, 展现了构建同质集成收发器的潜力。这项工作为铌酸锂集成平台的高速、小型化 QKD 系统开辟了道路。

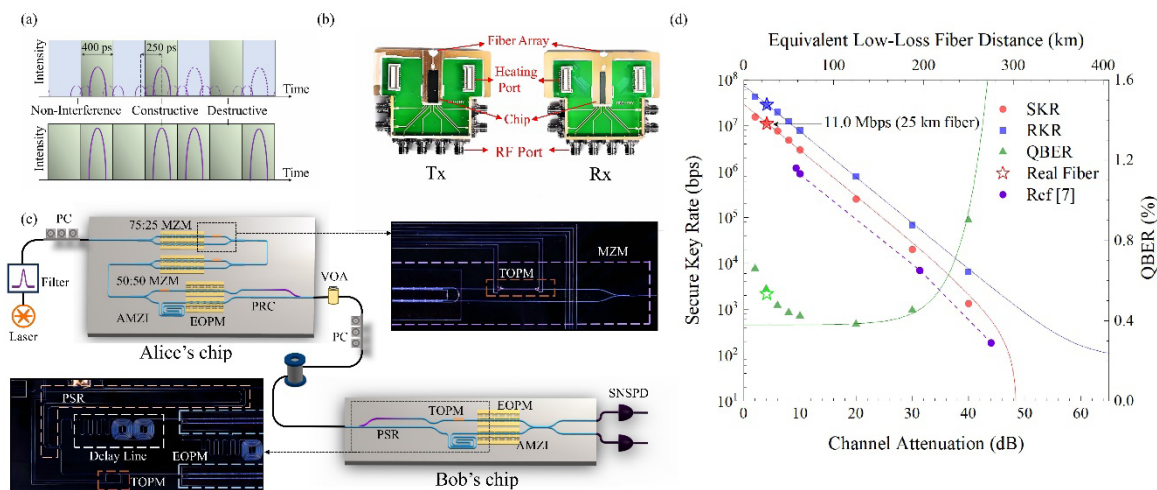


图 1. (a) 单偏振 (上图) 与本工作双偏振方案 (下图) 中光脉冲通过级联 AMZI 的探测结果对比。(b) 发射与接收模块照片, 含封装芯片与外围电路。(c) 基于 TFLN 芯片的 QKD 实验装置。(d) 实验结果。星号标记为 25 公里光纤测试结果, 实线为基于系统参数的仿真曲线。作为对比, 同时标注了文献中基于主动调制收发芯片的 QKD 的渐进 SKR。

量子密码系统中一体化异常检测方法的实验验证 (C)

徐佳歆¹, 周星宇¹, 刘靖阳¹, 张春辉¹, 李剑¹, 王双², 陈巍², 王琴¹

¹ 南京邮电大学量子信息技术研究所, ² 中国科学技术大学中国科学院量子信息重点实验室

摘要: 现有针对量子密码系统的安全测评方法均要求在传输密钥之前或之后对每个设备进行逐一检测和标定, 因而存在检测效率低、实用性受限等缺陷, 并且同时存在多个风险点难以同时检测的瓶颈问题。在本工作中, 我们首次结合人工智能算法在实验中实现了对量子密码系统中各类异常情况的一体化检测, 这些异常情况包括系统中各类器件的调制误差、窃听者的攻击行为, 甚至是未知异常等。实验结果表明, 该方法的检测准确率达 98.7% 以上, 检测耗时较传统方法降低四个数量级。本工作具有以下几项优势: 首先, 我们提出的基于时间序列的高斯混合模型拥有良好的鲁棒性和泛化性, 允许使用仿真数据进行训练, 并使用实验数据进行测试, 从而为用户提供了十分便捷的解决方案, 同时保持了高检测准确率。其次, 本方法不需要额外的设备, 也不需要中断密钥传输, 具有低成本和高效率的优势。第三, 该方法实现了对未预设攻击情况的主动识别能力, 突破了传统机器学习算法的局限性。因此, 本工作为量子密码系统的安全评估提供了一种新的解决方案。

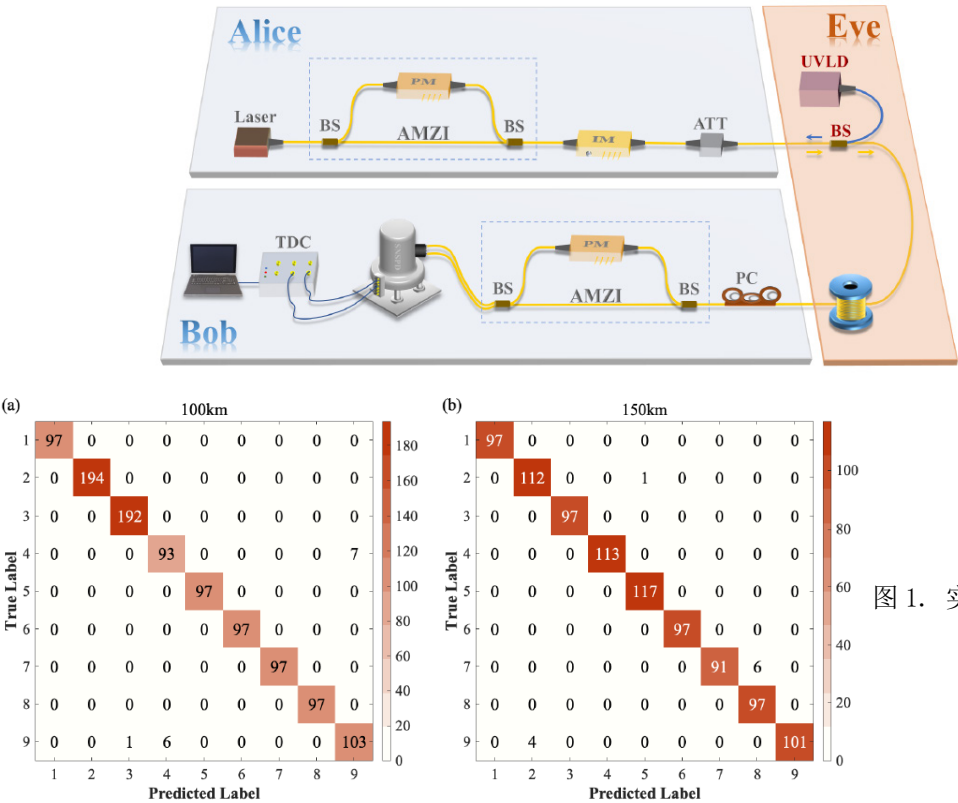


图 2. 100km 和 150km 传输距离下异常检测结果的混淆矩阵图

图 1. 实验装置示意图

张量极化矩磁共振动力学高维宇称对称性保护选择定则的频谱观测

耿旭兴

华中师范大学

摘要：待定

基于人工智能控制的高性能 PSR 量子压缩光源开发

赵杰
华东师范大学

摘要：待定

Intra-band entanglement-assisted cavity electro-optic quantum transducer (C)

侯钰博, 尤睿哲, 张狄家, 李蓬勃, 钟长春
西安交通大学

Abstract: Quantum transduction refers to the conversion of quantum information between different physical platforms, typically between microwave and optical photons. The two systems differ widely in the energy scale and involve fundamentally different interaction mechanisms. The microwave quantum bits, based on superconducting circuits and other quantum processors, offer excellent coherence and scalability but lack intrinsic optical transitions, while the optical photon is ideal information carriers for long distance quantum communication. Quantum transduction bridges this gap by enabling coherent coupling between superconducting qubits and optical photons, which are essential for constructing large-scale quantum networks and distributed quantum architectures. Theoretically, all quantum transduction systems can be regarded as a quantum channel. To reliably transmit encoded quantum information, a quantum channel must have a positive quantum capacity. This requirement indicates that a quantum transduction channel, generally modeled as a bosonic loss channel, must have both high channel transmissivity and low added noise. Significant progress has been made in quantum transduction in the past decades, however, the traditional direct quantum transducer, which linearly converts photons between different frequencies, faces significant challenges in reaching the positive quantum capacity threshold due to technological constraints, such as limited interaction strength and excessive thermal noises.

Recently, a new scheme of an entanglement-assisted transducer based on a cavity electro-optic (EO) system has been proposed. By introducing an assist mode and two squeezers, it is shown that this transduction process defines a new thermal loss channel whose quantum transduction capacity can be greatly enhanced. In this work, we show the process actually induce more general transduction channels, namely random displacement, generalized thermal loss and thermal amplification channels. We quantify the quantum capacities of different transduction channels over a broad parameter space—demonstrating that a sizeable region admits positive quantum capacity—and thereby greatly lowering the threshold for the positive quantum capacity compared to the bare EO system. Our analysis of these three channel types significantly expands the potential scope of quantum transduction applications, clarifying the conditions needed to fully optimize the transducer's performance. Furthermore, under non-resonant conditions, the entanglement-assisted transducer exhibits a significantly enhanced bandwidth over which high quantum capacity is attainable. This advancement is crucial for constructing high-bandwidth direct quantum transducers, while ensuring high-fidelity signal transduction. Our study provides a full theoretical framework for analyzing intra-band entanglement-assisted quantum transduction scheme, which unlocks more potentials of its application in future quantum technologies.

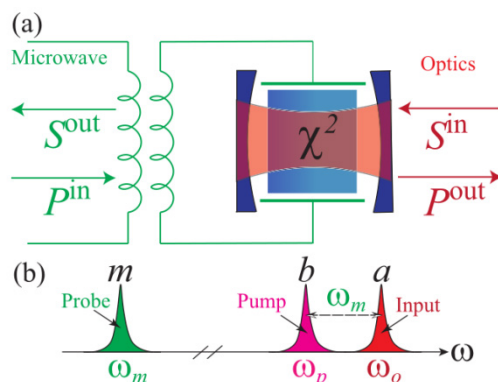


图 1. EO 系统转导模型图。

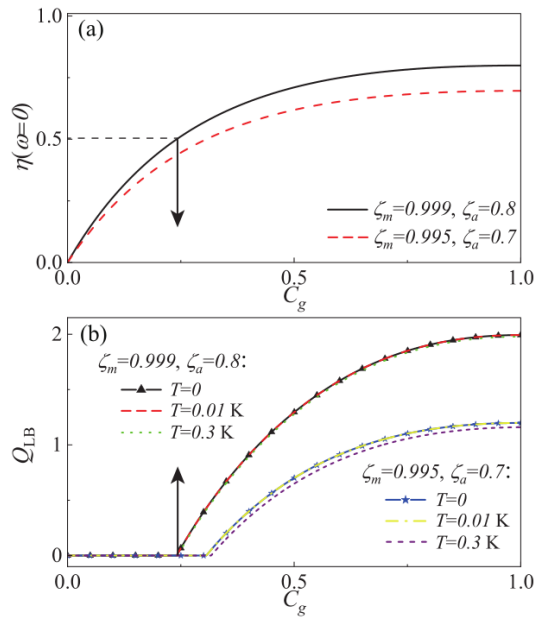


图 2. 裸 EO 系统转导（无纠缠 - 辅助）效果展示

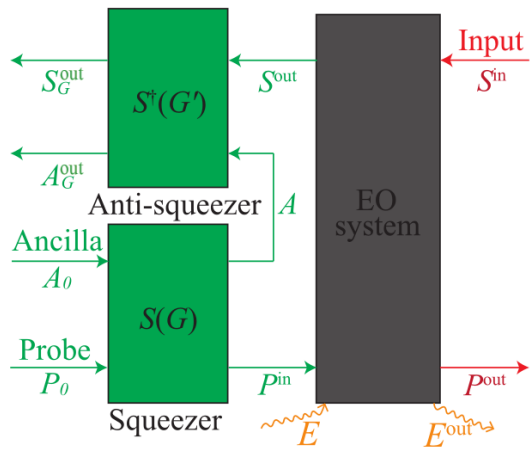


图 3. 纠缠 - 辅助转导器模型图。

混合腔磁系统中的磁振子阻塞效应研究

张微

延边大学

摘要：待定

基于量子态光场的实用化量子通信研究

成家霖

山西大学

摘要：待定

可片上集成的单光子非互易器件

夏可宇

南京大学

摘要：单光子非互易器件可以提供新颖的量子信息技术协议。将光学非互易器件集成在芯片上也是光量子芯片的发展方向和关键技术挑战。报告将介绍两种可以集成在芯片上的单光子环形器设计方案。一种方案利用周期手性腔量子电动力学系统构建拓扑单光子波导，并展示光与量子点手性耦合导致的非互易单光子拓扑能带。另外一种方案利用单向量子压缩诱导环形谐振器内光子-光子手性相互作用构建全光集成的单光子环形器。这两种单光子环形器有望为可集成的手性与非互易光量子信息处理提供技术基础。

明亮纠缠光场与磁场精密测量

包谷之，杜威，吴书贺，张东，陈俊，杨一泉，杨培玉，郭进先，张卫平
上海交通大学

摘要：近年来，量子精密测量领域发展迅猛，其中基于光与原子相互作用的原子磁力计因其高灵敏度和易于小型化的特点备受关注。然而，这类磁力计在实际应用中面临两个主要限制因素：量子涨落和环境磁场噪声，它们严重制约了磁力计的性能提升和应用拓展。量子技术能够在微观尺度实现高纯度量子纠缠，并突破标准量子极限，但其应用往往受限于低粒子数水平，导致基于量子光场的原子磁力计灵敏度难以进一步提高。目前，高灵敏测量与量子技术之间的相互制约，使得量子磁力计尚未能在实际应用中展现出明显的量子优势。如何突破这一瓶颈，成为该领域亟待解决的关键问题。

针对这一瓶颈问题，我们首先从量子光场入手进行优化改进，创新性地采用双对纠缠双光束的平行配置结构。这种新型排列方式通过独特的纠缠检测方案，能够更充分地利用量子资源。实验结果表明，在毫瓦量级的相位传感功率条件下，分布式相位传感系统实现了 3dB 的量子噪声抑制，将光子关联干涉仪的信噪比记录提升了三个数量级。基于这一突破，我们进一步将明亮纠缠量子光源应用于磁场测量领域，不仅显著提高了磁场探测灵敏度，还成功拓展了磁场测量的维度范围。

量子系统中回流现象的观测和操控 (A)

肖芽, 张振飞, 顾永建

中国海洋大学

摘要: 量子回流是一种违反经典直觉的干涉现象, 表现为在特定条件下, 具有正向动量的量子粒子可能出现局部逆向运动。该现象伴随剧烈的相位变化, 在纳米粒子捕获、增强手性分子响应以及超分辨率成像等领域具有重要应用价值。然而, 由于其出现概率较低, 回流现象迄今仅在经典光学系统中被观测到, 且现有探测技术的空间分辨率受限, 阻碍了对回流效应的深入研究。——在本研究中, 我们利用轨道角动量 (OAM) 制备了具有角向回流特性的单光子量子态, 并通过弱测量技术提取光子动量, 实现了角向回流的观测, 其空间分辨率可达像素级。同时, 系统分析了 OAM 模式指数、比例及传播距离对方位回流分布的影响。此外, 我们建立了量子非定域性与双缝干涉中的回流现象之间的联系, 并借助玻姆理论重构出光子的玻姆轨迹, 首次直接观测到量子回流现象。在此基础上, 我们提出了三种非定域操控量子回流的方法: 相位调制、振幅调制和时间调制, 为量子系统中回流现象的观测与操控提供了新的技术路径, 有助于推动其实际应用。

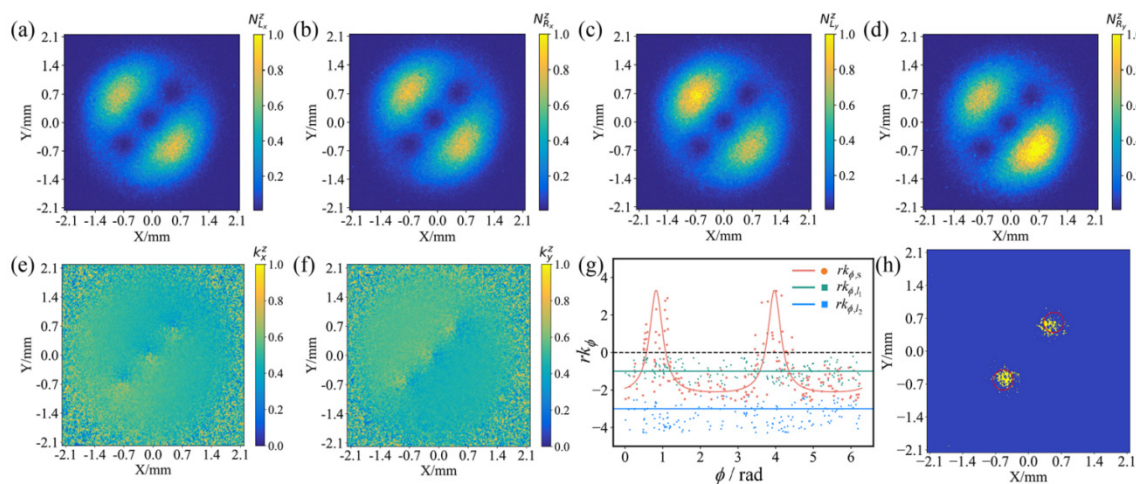


图 1. 单光子角向回流的观测。

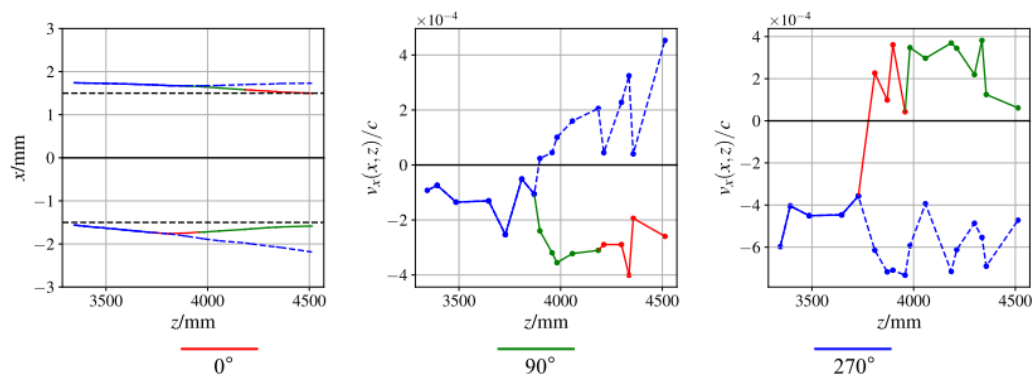


图 2. 量子回流的非局域操控。

临界增强的量子传感理论研究

杨玉

西安交通大学

摘要：量子精密测量以量子参数估计为理论核心，主要借助量子资源完成待估计参数信息的相干相长积累，超越标准量子极限，达到海森堡极限的测量精度。传统精密测量任务中的量子资源一般包括量子纠缠、压缩、相干叠加等，能否找到其他量子资源如多体系统中的临界资源，服务于精密测量任务，是最近的研究热点。本报告分别以拓扑相变和量子相变为例，借助常用的几种相变模型，从理论上阐述了临界点附近量子几何张量及量子 Fisher 信息的奇异行为，并借助该些奇异行为提出了基于相变点的量子反馈控制多参数估计方案。上述研究内容为临界增强的量子传感理论，提供了新思路。

量子集体测量

侯志博，项国勇

中国科学技术大学

摘要：量子纠缠可以作为量子资源用于增强量子信息技术的效率，目前主要以量子纠缠态的存在形式被广泛研究。但是量子纠缠除了存在于量子态也可以存在于量子测量中，例如量子集体测量，量子集体测量可以用来提升量子信息任务效率。量子集体测量对相同的多个量子态做纠缠测量，是一种特殊的纠缠测量。集体测量中，量子态是多个相同量子态构成的直积态，态中没有纠缠，集体测量信息提取优势完全源自测量中的纠缠。本次报告，我们将首先介绍量子集体测量的实验实现方法，包括体光学的实现方法和集成芯片实现方法。然后将报告量子集体测量的最新研究进展和——从固定两拷贝集体测量到自适应两拷贝集体测量、通用可编程两拷贝集体测量芯片和真三拷贝集体测量。同时，我们也将介绍集体测量在量子态分辨、量子态测量中的展现出来的信息提取优越性，特别是介绍一种超越所有两可分信息提取效率的真三拷贝集体测量。

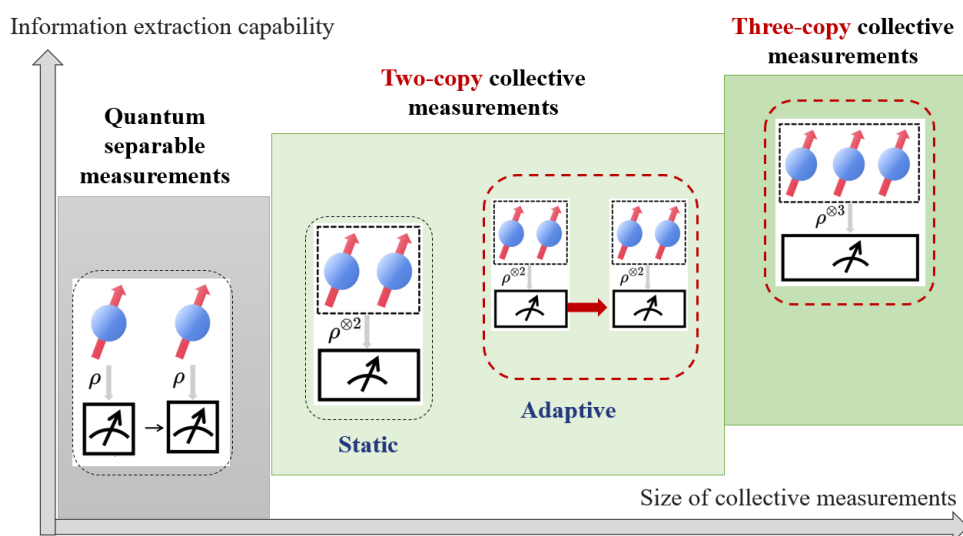


图 1. 集体测量进展。

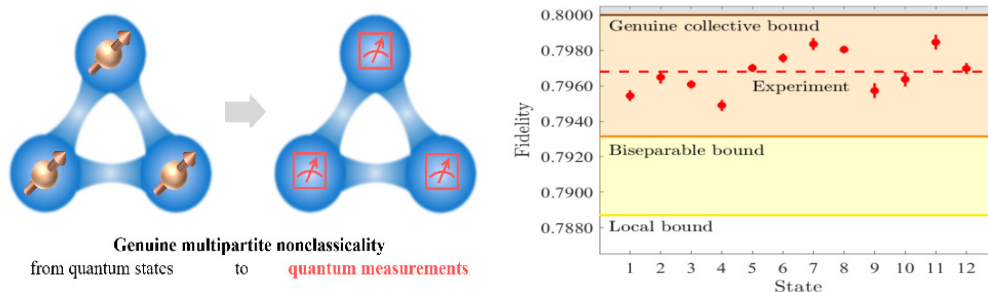


图 2. 真三拷贝集体测量。

基于先作用后测量策略的非高斯态精度读取与量子关联检测 (E)

郭佳洁¹, 孙风潇¹, 刘殊恒¹, Matteo Fadel², 何琼毅^{1,3,4,5}

¹ 北京大学物理学院, ² Department of Physics, ETH Zürich, Zürich, Switzerland, ³ 山西大学极端光学协同创新中心, ⁴ 北京大学长三角光电科学研究院, ⁵ 合肥国家实验室,

摘要: 一些非高斯量子态对于微扰具有高灵敏度, 在相位估计任务中具备了超越高斯态的计量潜力。然而, 在非高斯探针态中待测参数被编码到了高阶关联, 传统的依赖于线性测量的方案往往无法有效探测到这些高阶矩, 使得如何能高效地读取非高斯态的计量精度成为亟待解决的难题。我们的工作中研究了近年提出的“先作用后测量 (measurement-after-interaction, MAI)”的精度读取策略对于非高斯态精度读取和非高斯量子关联检测方面的应用优势。在 MAI 方案中, 考虑在测量前引入一个额外的量子态演化来实现待测信号的放大, 使得最终仅需要对演化后的量子态实施低阶测量即可以高效读取探针态。我们利用 MAI 策略易于测量和对高阶关联敏感的优势, 首先探究了它在单参数和多参数估计任务中对非高斯探测态的精度读取优势, 接着进一步将其发展至对于非高斯量子导引和量子纠缠的检测中。我们在连续变量体系与离散变量体系中均进行了测试, 证明了 MAI 策略仅利用线性测量就可以有效读取高阶矩信息, 并且对测量噪声具有更高的鲁棒性。

量子增强的原子传感器 (E)

吴书贺, 包谷之, 张卫平

上海交通大学

摘要: 精密测量在现代科学研究中扮演着至关重要的角色, 它是人类探索世界、理解自然、实现技术创新不可或缺的方法和手段。其中, 电磁场的精密测量技术广泛应用于众多领域, 包括基础物理学、医学诊断、材料科学、地质学和天文学等。电磁场精密测量技术的发展始终以提高灵敏度为目标, 以此来满足人类对于精准测量和获取信息的不断追求。在众多的系统中, 基于原子系综的电磁场测量具有最优的灵敏度。在测量过程中, 将原子介质作为感受电磁场的探头, 利用光进行读取。由于原子和光子具有相干性的物理极限, 电磁场的测量会受到原子自旋投影噪声和光场散粒噪声的影响, 致使灵敏度受限于标准量子极限。标准量子极限和粒子数相关, 一般地, 通过增加粒子数可以提升灵敏度。然而, 增加粒子数总会受限于实验技术和实验条件等方面的限制, 因此粒子数不能无限制地增大。压缩光具有低于散粒噪声基准的特性, 在量子物理的众多领域中发挥着重要作用, 比如量子通信、量子存储以及精密测量等。与经典光相比, 压缩光可以达到以更少的粒子数获得同样灵敏度的目的, 在粒子数增长到极限时只能利用压缩光对灵敏度作进一步地提升, 因此压缩光成为了量子精密测量领域中非常有力的工具。本研究将压缩光和基于原子系综的电磁探头相耦合, 利用量子调控技术通过对光场的量子态、原子系综优化和控制, 以及探测过程中对环境噪声进行抑制, 从而实现量子增强的原子传感器。相关研究成果发表在 Science Advances、Physical Review Applied 等期刊上。

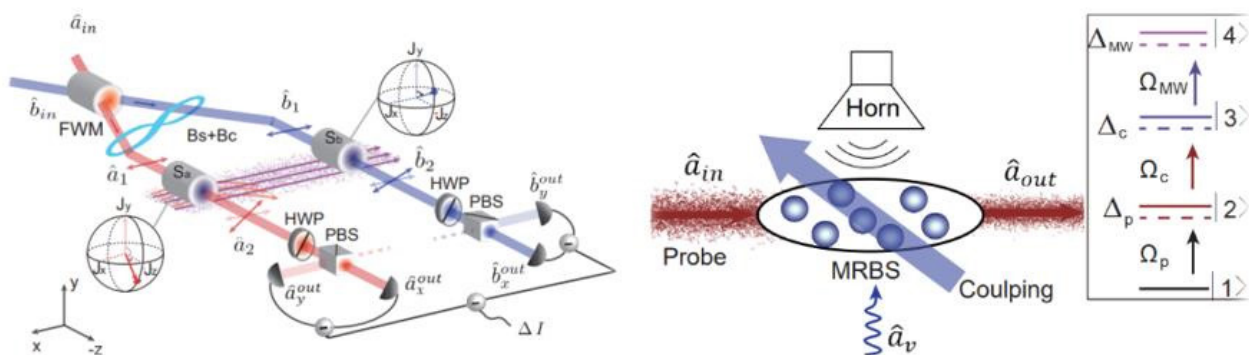


图 1. 量子增强的原子传感器示意图。

Topological Edge States and Hofstadter Spectra in One-Dimensional Cavity Magnonics Lattices

L. Xiang, A. B. Xia, Yi-Ping Wang, Ai-Xi Chen

College of Science, Northwest A & F University

Abstract: We propose a one-dimensional cavity magnonics lattice composed of a microwave cavity and yttrium iron garnet (YIG) spheres, enabling tunable coupling between cavity photons and magnetic oscillators. By varying system parameters, we demonstrate the emergence of topologically protected edge states and their robustness against defects and disorder. The topological nature is characterized by the winding number of the reflection coefficient phase and the average photon number. Furthermore, through magnetic flux synthesis, we observe controllable flipping of the Hofstadter butterfly spectrum and edge state distributions, achieving multi-channel topological transmission. Our results reveal a rich interplay among nontrivial band topology, spectral fractals, and defect tolerance. This work provides a feasible platform for realizing topological photonic states in hybrid magnetic oscillator systems, with potential applications in quantum information routing and reconfigurable photonic devices.

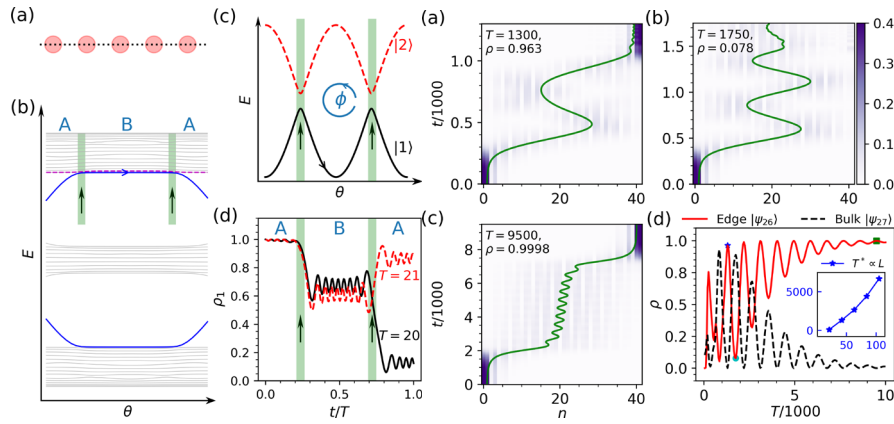
Landau-Zener-Stuckelberg interference in edge state pumping

Y. Liu (刘洪杰)^{1,2,3}, Xiaoshui Lin^{3,4}, Ming Gong^{3,4,5}

¹Department of Physics, School of Physics, Hubei University, ²Department of Optics & Optical Engineering, School of Physical Sciences, University of Science and Technology, ³CAS Key Laboratory of Quantum Information, University of Science and Technology, ⁴Synergetic Innovation Center of Quantum Information and Quantum Physics, University of Science and Technology, ⁵Hefei National Laboratory, University of Science and Technology

Abstract: The adiabatic edge state pumping (ESP) in one dimensional model, which has important applications in topological phase transition and the associated implementation of edge states in quantum simulation, has been widely performed in both theory and experiment. This phenomenon has been verified in small physical models, and yet some fundamental issues about this process have not been clarified.

In this oral talk, we revisit this problem of ESP and pinpoint a pair of non-adiabatic points in the band levels, at which the adiabatic condition breaks down. We determine the two points using the criteria of non-adiabaticity. As a result, the oscillation of ESP as evolution time varies can be resolved in terms of Landau-Zener-Stuckelberg (LZS) interference. Furthermore, in presence of disorder, we show that the ESP may break down for the anti-crossing between the edge and the bulk levels, where the non-adiabaticity diverges. Thus in a relatively long chain with weak disorder, we demonstrate the failure of the ESP. This new type of ESP unveiled in this work is readily accessible in experiment, and shall therefore lead to a down-to-earth platform for the intriguing LZS dynamics.



碳化硅色心量子精密测量研究

王俊峰

四川大学

摘要：近些年来，碳化硅色心由于其易于加工集成，优异的光学性质，长的自旋相干时间，吸引了人们越来越多的关注，它是当前固态量子信息领域的非常前沿方向之一。碳化硅色心具有以下优点：一、碳化硅是第三代半导体，有成熟的生长和微纳加工工艺，基于碳化硅色心的量子技术便于扩展。二、碳化硅色心波长处在近红外波段。三、自旋相干时间长。因此研究基于碳化硅色心的性质是非常重要的。本报告结合自己的工作，介绍碳化硅色心量子精密测量方面的一些应用。主要分为四部分，第一部分介绍碳化硅色心的研究背景。第二部分介绍磁场、电场、温度、应力、高压，磁性材料等几方面的量子传感应用。第三部分总结和展望。

通信波段量子光源与自旋比特器件

周宇

哈尔滨工业大学（深圳）

摘要：量子光子集成电路正在通过为实用的量子应用提供紧凑、高效的平台，重塑量子网络和传感技术。尽管取得了连续的突破，但在 CMOS 兼容平台上将纠缠寄存器集成到光子器件中仍面临重大挑战。在此，我们展示了单电子-核自旋纠缠及其在碳化硅（SiCOI）波导中的集成。我们成功地产生了单个空位电子自旋和接近完全的单个 ^{13}C 核自旋初始化。单个核自旋和电子自旋都可以被相干控制，并且在环境条件下制备了保真度为 0.89 的最大纠缠态。基于纳米级定位技术，纠缠量子寄存器首次被进一步集成到 SiC 光子波导中。我们发现，寄存器的固有光学和自旋特性得到了很好的保持，纠缠态的保真度仍然高达 0.88。我们的发现突出了 SiCOI 平台作为未来量子应用的有力候选者的光明前景，该工作发表在 Nature Communications 上。

硅基光量子集成芯片

冯兰天

中国科学技术大学中国科学院量子信息重点实验室

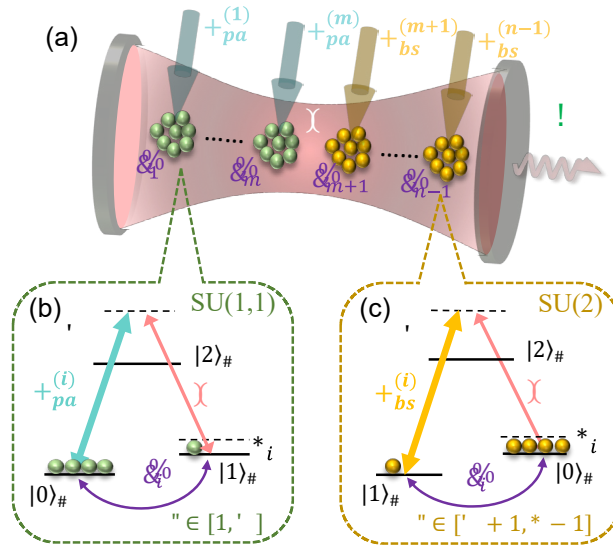
摘要：芯片集成化是光学量子信息过程走向大规模和实用化的必经之路，同时量子信息应用也对光子集成芯片的性能和规模提出了新的更高的要求。为了切实提高片上量子信息处理能力，片上器件尺寸需要尽可能的小，同时需要提高光子比特数目以及实现芯片间高效率量子互联。为了缩小器件尺寸，我们引入波导模式来进行量子编码，利用单根多模波导实现了双光子纠缠源，并利用两根多模波导实现了波导模式编码的量子受控非门。我们将对称破缺波导超晶格阵列新机理引入到光量子器件实现中，设计并制备了超小型的量子控制非门，成功地将基于电介质波导的逻辑门尺寸降低 10000 倍以上，大幅提高了器件集成化程度。在集成量子光源制备方面，我们通过优化波导尺寸，设计相位匹配条件，成功利用硅波导制备了四光子源；进一步地，我们通过将片上四光子源同片上量子态调控相结合，国际首次演示了不同产生位置四光子源的非线性干涉过程。此外，我们实现了芯片-光纤之间小于 2dB 损耗的多路封装，并进一步展示了多个芯片间纠缠量子态的分发过程。这些研究结果推动了光量子集成芯片走向规模化和实用化进程。

Quantum metrology with higher-order exceptional points in atom-cavity magnonics

Minwei Shi, Guzhi Bao, Jinxian Guo, and Weiping Zhang

Tsung Dao Lee Institute and School of Physics and Astronomy, Shanghai Jiao Tong University

Abstract: Exceptional points (EPs), which arose early from non-Hermitian physics, significantly amplify the system's response to minor perturbations, and they act as a useful concept to enhance measurement in metrology. In particular, such a metrological enhancement grows dramatically with the EP's order. However, the Langevin noises intrinsically existing in the non-Hermitian systems diminish this enhancement. In this study, we propose a protocol for quantum metrology with the construction of higher-order EPs (HOEPs) in an atom-cavity system through Hermitian magnon-photon interaction. The construction of HOEPs utilizes the atom-cavity non-Hermitian-like dynamical behavior but avoids the external Langevin noises via the Hermitian interaction. A general analysis is exhibited for the construction of arbitrary n th-order EP (EP n). As a demonstration of the superiority of these HOEPs in quantum metrology, we work out an EP $3/4$ -based atomic sensor with sensitivity being orders of magnitude higher than that achievable in an EP 2 -based atomic sensor. We further unveil the mechanism behind the sensitivity enhancement from HOEPs. The experimental establishment for this proposal is suggested with potential candidates. This EP-based atomic sensor, taking advantage of the atom-light interface, offers new insight into quantum metrology with HOEPs.



(a) Atom-cavity system to realize EP n . $n-1$ atomic ensembles are placed inside a cavity, where m ($1 \leq m \leq n-1$) ensembles interact with the cavity mode through $SU(1,1)$ -type Raman interactions (b), and the remaining $n-m-1$ ensembles interact with the cavity mode through $SU(2)$ -type Raman interactions (c). Parts (b) and (c) depict the atomic energy levels and mechanisms of the $SU(1,1)$ - and $SU(2)$ -type atom-light interactions, respectively.

Coherent Photoelectric Spin Resonance Readout and Spin control of Boron Vacancy Defects in Hexagonal Boron Nitride

Shihao Ru^{1,2,3}, Liheng An¹, Xiaodan Lyu¹, Feifei Zhou⁴, Jesus Zúñiga-Perez^{1,7}, Fedor Jelezko⁵, Weibo Gao^{1,2,3,6}

¹Division of Physics and Applied Physics, School of Physical and Mathematical Sciences, Nanyang Technological University, Singapore, ²Centre for Quantum Technologies, National University of Singapore, Singapore,

³National Centre for Advanced Integrated Photonics, Nanyang Technological University, Singapore, ⁴College of Metrology Measurement and Instrument, China Jiliang University, ⁵Institute for Quantum Optics, Ulm University, Germany, ⁶School of Electrical and Electronic Engineering, Nanyang Technological University, Singapore,

⁷Majulab, International Research Laboratory IRL 3654, CNRS, Université Côte d'Azur, Sorbonne Université,

National University of Singapore, Nanyang Technological University, Singapore

Abstract: The negatively charged boron vacancy (V_B^-) in hexagonal boron nitride (hBN) is a leading candidate for room-temperature quantum spin applications in two-dimensional materials. We present a robust method for nuclear spin polarization using ground-state level anticrossing (GSLAC), which requires significantly lower laser power than approaches based on excited-state level anticrossing. Additionally, we demonstrate the first photoelectric detection of magnetic resonance and Rabi oscillations in a 2D material, applied to ensembles in hBN. The photocurrent signals arise from spin-dependent ionization dynamics linked to non-radiative transitions to a metastable state. We further show that this technique enables electrical readout of advanced dynamical decoupling sequences such as CPMG and XY8, highlighting a promising path toward scalable quantum technologies based on 2D materials.

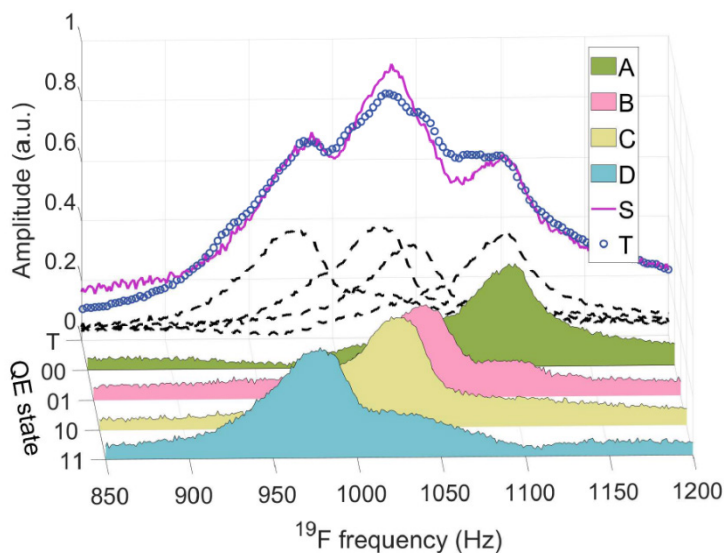
腔光力学系统中声子激光的产生、调控及应用 (E)

邝腾芳, 冯子鉴, 何雨桐, 徐梓伟, 肖光宗

国防科技大学前沿交叉学科学院

摘要: 光力学主要研究光与微纳力学振子之间相互作用及其产生的物理效应与应用, 是光学工程与量子物理交叉融合形成的前沿热点方向。光力系统, 通过光与机械振子的耦合操控力学振子的运动状态, 为制备宏观量子态、从实验上探索经典物理与量子物理的边界等基本物理问题的研究提供了理想物理平台。同时, 腔光力学系统结合了高品质因子的机械振子和高灵敏光学探测两大特点, 因此在量子精密测量与感知中具有重大的应用价值, 被《Nature》列为光学发展史上的 23 个里程碑之一。报告将介绍近期在声子激光方面的研究进展, 主要包括非线性声子激光的产生、声子激光的注入锁定、声子激光模式竞争以及声子激光在传感中的应用等。

量子增强的频谱超分辨技术 (E)

张文献¹, 王天姿²¹ 杭州师范大学物理学院, ² 武汉大学物理科学与技术学院

Abstract: Optical super-resolution

has been widely employed to beat spatial diffraction limit, which is often stated by Abbe-Rayleigh criterion. Analogously, we propose a frequency super-resolution method, which beats conventional spectral resolution limit often approximated by full width half maximum of the spectral peak, Γ . This method utilizes recently developed quantum environment engineering technique. With numerical simulations and experiments, we demonstrate the frequency super-resolution method in a three-nuclear-spin system (Trifluoroiodoethylene), by successfully decomposing a thermal state spectrum of the spin F_3 into four peaks of engineered pseudo-pure states of the quantum environment. The ultimate frequency resolution reaches $\sim 0.005 \Gamma$. This method is potentially useful in spectral decomposition of weakly coupled nuclear spin systems and might be improved further to acquire finer frequency super-resolution by employing more advanced quantum techniques.

图 1. ^{19}F 的热态频谱分解为 4 个赝纯态频谱, 从而超越经典频谱分辨极限。

Low-temperature Quantum Metrology Enhanced by Strong Coupling

吴威

兰州大学

Abstract: Equilibrium probes have been widely used in various noisy quantum metrology schemes. However, such an equilibrium-probe-based metrology scenario severely suffers from the low-temperature-error-divergence problem in the weak-coupling regime. To circumvent this limit, we propose a strategy to eliminate the error-divergence problem by utilizing the strong coupling effect, which can be captured by the reaction-coordinate mapping. The strong couplings induce a non-canonical equilibrium state and greatly enhance the metrology performance. It is found that our metrology precision behaves as a polynomial-type scaling relation, which suggests the reduction of temperature can be used as a resource to improve the metrology performance. Our result is sharply contrary to that of the weak coupling case, in which the metrology precision exponentially decays as the temperature decreases. Paving a way to realize a high-precision noisy quantum metrology at low temperatures, our result reveals the importance of the non-Markovianity in quantum technologies.

Self-induced manipulation of biphoton entanglement in topologically distinct modes (F)

吴骥宙^{1,2}, 张伟伟³

¹ 粤港澳大湾区 (广东) 量子科学中心, ² 南方科技大学, ³ 西北工业大学

Abstract: Biphoton states have been promising applications in quantum information processing, including quantum communications, quantum metrology, and quantum imaging. The generation and manipulation of biphoton entanglement in topologically distinct modes paves the way in this direction. Here we present a comprehensive method for regulating the topological properties of the system by combining the nonlinearity in waveguides, i.e. nonlinearity in the waveguide coupling materials, and the waveguide lattice structure. Our method enables the generation of topological biphoton states with the injected pump activation on the topologically trivial modes. This is realized with the self-induced manipulations on pump-dependent nonlinear couplings on the defects, which is unable to be realized while there are no such nonlinear couplings. Specifically, by including the nonlinear gain/loss mechanism in the coupling between the nearest neighbor waveguides and the third-order Kerr nonlinearity effect along the waveguides, the injected pump power will be the controllable parameter for the manipulation of the topology in the defect states and the generation of biphoton entanglement states. Our method can be used in other waveguides with various defect configurations. Our method enables the reusability of silicon waveguide chips and their application for fault-tolerant quantum information processing, promoting the industrialization process of quantum technology.

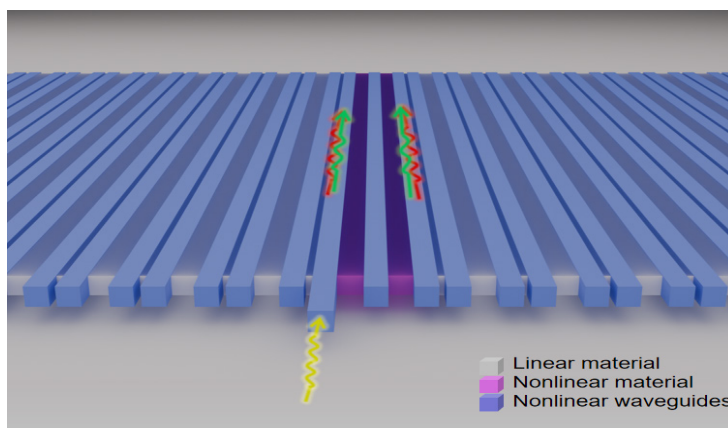


图1. The waveguide design. The pump light is injected at the left side of the center of the waveguides, with the propagation direction indicated by the yellow arrow (indexed as). The generated biphoton is indicated by the green and red arrows.

Quantum metrology timing limits of biphoton frequency comb (E)

李百宏¹, 李其旗¹, 张晓斐¹, 金锐博²¹ 陕西科技大学 物理与信息科学学院, ² 湖南师范大学 物理系

Abstract: Biphoton frequency comb (BFC), which encompasses multiple discrete frequency modes and represents high-dimensional frequency entanglement, is crucial in quantum information processing due to its high information capacity and error resilience. It also holds significant potential for enhancing timing precision in quantum metrology. Here, we examine quantum metrology timing limits using the BFC as a probe state and derive a quantum Cramér-Rao bound that depends on the mode number, mode spacing, frequency detuning, and single-mode bandwidth. Our results coincide with previous findings that considered only the latter two factors. Under ideal conditions (zero loss and perfect visibility), this bound can be saturated by both spectrally non-resolved Hong-Ou-Mandel (HOM) interferometry at zero delay and spectrally resolved HOM interferometry at arbitrary delays. In practical scenarios, increasing the mode number and mode spacing could rapidly increase Fisher information up to its maximum, providing an optimal strategy for improving the timing precision in practice. Furthermore, compared to spectrally non-resolved measurement, spectrally resolved measurement is a superior strategy due to its higher Fisher information, shorter measurement times, and ambiguity-free dynamic range. This work offers a theoretical timing limit that can be achieved using the BFC as a probe state and an optimal strategy for improving the timing precision of HOM-based quantum metrology in practical scenarios.

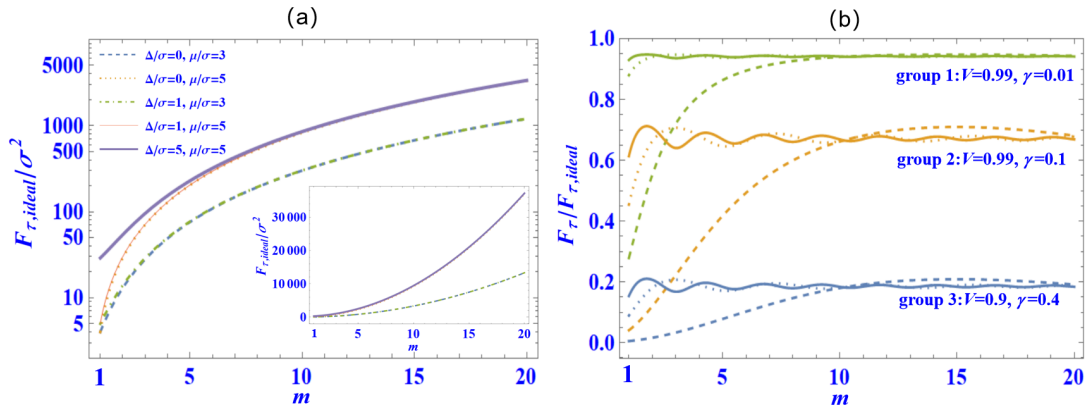


Fig 1. (a) Fisher information, in units of σ^2 , as a function of mode number m at $\tau \rightarrow 0$ in the case of zero loss and perfect visibility ($\gamma=0, V=1$). The vertical axis of this plot is logarithmic. Fisher information increases significantly as the mode number increases and becomes higher for large mode spacing, indicating that increasing the mode number and mode spacing is an effective strategy for improving the timing precision. Different detuning Δ , in units of σ , only determines the baseline (initial value) of the precision. The inset shows that Fisher information scales quadratically with m , and the parabolic curvatures are determined solely by the mode spacing μ . (b) The ratio $F_{\tau}/F_{\tau, ideal}$ as a function of m for group 1 ($V=0.99, \gamma=0.01$), group 2 ($\gamma=0.1, V=0.99$), and group 3 ($\gamma=0.4, V=0.9$) at dimensionless delays $\sigma\tau=0.1$ (dashed), 0.5 (dotted), and 0.85 (solid), respectively. The ratios rapidly increase to their maximums (0.94, 0.67, 0.18) with the increase of m , especially for the time delays close to zero, indicating that increasing the mode number is also optimal for improving the timing precision in practical scenarios.

会议专题

- 光量子物理基础问题
- 光与物质相互作用的量子效应
- 量子通信和量子网络
- 量子计算和量子模拟
- 量子精密测量技术
- 光量子器件和集成芯片
- 光量子态调控及应用
- 光量子相关的其他领域



扫码查看会议全文



扫码查看会议现场照片

联系邮箱

quantum@learningconf.cn

会议网站

www.opt-quantum.com

