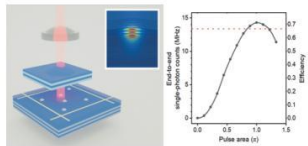


中国科大首次实现超越线性光量子计算损失容忍阈值的高效率单光子源

本报讯 中国科大潘建伟、陆朝阳、霍永恒等在国际上首次实现效率超越可扩展线性光量子计算损失容忍阈值的高性能单光子源，相关综合指标达到了国际领先水平，为未来实现通用光量子计算奠定了关键技术基础。相关研究成果于2月28日发表在《自然·光子学》上。

光子作为量子信息处理的重要载体，具有速度快、室温操作、抗环境干扰等优势，但光子易损耗的物理特性一直是大规模光量子计算的核心挑战。理论表明，单光子源的效率必须高于2/3的阈值，可扩展的线性光量子计算才具备可行性。然而，历经近半个世纪的技术攻关，此前所有确定性全单光子源的效率始终未能突破该阈值，成为制约光量子计算发展的



图左：单光子源系统示意图；右：单光子源效率超越损失容忍阈值（红线）

关键障碍。为攻克该难题，研究团队发展了一种可调节的开放式光学微腔，实现了量子点与微腔在谐振频率及空间定位的双重精准耦合，解决了

传统固定式微腔的失谐难题。此外，团队发展了一种脉冲整形激发技术，使单光子源的整体性能得到显著提升。该单光子源的单光子性优于98.0%，光子全同性优于98.6%，系统效率达到71.2%，提取效率达到80.6%，首次突破了2/3的损失容忍阈值，并实现了1.89 dB的强度压缩。相关综合指标达到了国际领先水平。

审稿人高度评价此项研究工作，认为“实现光量子系统效率高于光量子计算中损耗容忍阈值是一个里程碑”“这些结果无疑是朝着理想单光子源迈出的又一大步”。

（合肥微尺度物质科学国家研究中心 物理学院 中国科学院量子信息和量子科技创新研究院 科研部）

中国科大实现开放量子系统最优控制算法的设计及实验验证

本报讯 中国科大郭光灿院士团队在开放量子系统的最佳鲁棒控制算法的研究中取得了重要进展。该团队邹旭波、邹长铃等人与清华大学孙德岩教授合作，实现了开放系统中最优控制算法的设计及实验验证。相关成果于2月26日在线发表在《科学进展》上。

量子计算的精准操控始终面临开放系统环境噪声的严峻挑战——参数漂移、退相干效应等干扰使得传统封闭系统算法（如GRAPE、CRAB）优化得到的门操作保真度骤降。而现有开放系统优化方案虽能解决噪声问题，但计算复杂度急剧增长，严重制约其在大规模量子系统中的应用前景。

为此，该合作研究团队创造性融合封闭系统GRAPE算法框架与开放系统的算法理论（简称Open-GRAPE），开发出兼顾精度与效率的“近似Open-GRAPE算法”。该方案通过引入参数漂移与退相干噪声的低阶近似模型，将复杂开放系统的优化问题转化为可高效计算的形式。数值模拟显示，相比Closed-GRAPE算法，新算法生成脉冲的平均错误率从1.47%降至0.97%；而其生成错误率小于0.93%的脉冲，即处于Closed-GRAPE算法均值三个标准差外的高性能脉冲的概率提升了约340倍。研究团队进一步以二项式编码进行了实验验证，数据表明在编码的初始化与解码过程中平均错误率从1.84%降至1.01%，而最低的错误率低至0.60%，处于领域领先的水平。

研究团队进一步从理论上证明了，尽管近似Open-GRAPE算法进一步考虑了各种噪声，但其算法复杂度仅为Closed-GRAPE算法的常数倍。结果显示，新算法在考虑两类参数扰动和两类退相干噪声时，单次迭代计算复杂度仅为传统算法的1/8。进一步的数值计算结果表明，该算法有望在当前的经典计算机中实现百万维（约20量子比特）开放量子系统的控制脉冲优化，为大规模量子处理器设计提供了可行方案。

该研究在高效计算的基础上解决了开放量子系统最优控制过程中的噪声抑制问题，为大规模量子纠错、容错计算等提供了关键工具。审稿人高度评价了该工作的实用性。

文章第一作者为中国科学院量子信息重点实验室博士研究生陈子杰、清华大学交叉信息研究院博士研究生黄烈伟、孙立达。

（中国科学院量子信息重点实验室 物理学院 中国科学院量子信息和量子科技创新研究院 科研部）

中国科大首次揭示气候对城市火灾风险的影响机制

本报讯 3月4日凌晨，中国科大火灾科学国家重点实验室石龙特任教授和张和平教授团队在《自然·城市》期刊上发表论文，揭示气候变化对城市火灾风险的影响机制。研究团队建立了迄今为止最全面的城市火灾事故数据库（覆盖全球20.6%的人口），量化了气候变化与城市火灾风险的内在关联，估算了全球变暖可能造成的火灾伤亡人数，为实现全球不同区域的消防资源规划、精准配置以及应急响应策略奠定了重要理论基础。

研究发现，建筑火灾频率在气温上升时呈正抛物线关系，在热舒适温度（即约24.0℃）时最低；而气温每升高1℃，车辆和室外火灾频率分别增加2.7%和4.7%。研究团队预测：在SSP5-8.5气候情景下，预计到2100年，建筑火灾频率可能会下降4.6%，而车辆和室外火灾可能会分别增加11.6%和22.2%；在2020-2100年间，全球变暖可能直接导致全球33.5万人死亡、115.3万人受伤。虽然1.5℃气候目标可以将SSP5-8.5气候情景下的火灾伤亡人数减少50%，但伤亡数量仍然很高。

该项研究为全球消防预算的分配和重新分配提供了定量建议，指导气候适应战略的制定。研究团队发现，不同类型的火灾事故应采取不同的全球变暖缓解策略。通过实现区域、及时和准确的消防资源规划，可直接应用在消防策略以减少火灾人员伤亡和财产损失，在当有有限的预算和资源下尤为重要。由于城市地区的相关火灾风险指数仍然缺乏，研究结果也可用于定制不同国家或城市的火灾风险指数，相关的数据库为未来全球范围的火灾风险分析以及各国之间火灾数据共享平台的建设奠定了基础。

石龙特任教授为论文第一和通讯作者，中国科大火灾科学国家重点实验室张和平教授和上海海事大学汪金辉副教授为共同通讯作者，论文作者还包括应急管理天津消防研究所李文辉副研究员、新加坡国立大学Michael Yit Lin Chew教授、皇家墨尔本理工大学Guomin Zhang教授以及国际火灾安全科学学会主席Bogdan Dlugogorski教授。

（火灾科学国家重点实验室 科研部）

中国科大实现接近相干时间物理极限的室温固态量子系统

本报讯 中国科学技术大学中国科学院微纳磁共振重点实验室通过发展高纯金刚石量子材料制备与固态自旋系统发展噪声谱表征技术，揭示了非局域自旋-晶格相互作用主导的新噪声机制，并突破了该机制导致的相干时间经验极限，实现了当前室温下具有最长相干时间的单自旋系统。相关研究成果于3月1日在线发表在《科学进展》上。

为解决这一挑战，本工作研究团队以金刚石中的单自旋系统为例，创新性地发展了高纯金刚石量子系统的制备技术和固态自旋系统噪声全频谱表征技术。通过材料合成与物理调控

技术的联合创新，揭示了一种此前未曾发现的全新噪声谱，从而为固态电子自旋相干时间受限于 $T_1 = T_2/2$ 经验极限的现象提供了全新的物理理解。

基于对新噪声机制的进一步研究，非局域模式的自旋-晶格相互作用被认为是当前固态系统电子自旋相干时间受限于经验极限的主导因素。这一发现突破了传统观点仅限于局域自旋-晶格相互作用作为主导机制的观点。通过对这一新噪声机制的深入理解，研究团队发展了相应的噪声抑制技术，使得金刚石单自旋量子系统的相干时间首次突破了长期以来的经验极

限，接近物理极限，实现了目前室温下具有最长相干时间（4.34毫秒）的单电子自旋系统。

该成果发展的技术为探索固态材料内部丰富的相互作用机制提供了新的研究手段，能够为优化各类固态量子系统提供理论指导，从而推动固态量子技术的发展，具有重要的科学意义和应用价值。

中国科学院微纳磁共振重点实验室博士后韩硕与叶翔宇、博士研究生周旭为论文共同第一作者，王亚教授为通讯作者。

（中国科学院微纳磁共振重点实验室 物理学院 中国科学院量子信息和量子科技创新研究院 科研部）

中国科大实现真多体非局域性和网络非局域性的同时验证

本报讯 我郭光灿院士团队在量子多体非局域性研究方面取得重要进展。该团队李传烽、黄运锋、张超等人与西南交通大学罗明星等人合作，首次同时验证了真多体非局域性和网络非局域性，相关研究成果近日发表在《物理评论快报》上。

在本工作中，研究组提出了一种在单个实验中同时验证两种非局域性的方法。研究了如

图所示的混合量子网络。在实验中，研究组首先利用两套纠缠源制备出三光子广义GHZ态，再通过贝尔基测量将三光子广义GHZ态与第三套源连接构造出混合量子网络。实验结果表明，由每个观测者局域测量所产生的非局域关联，不能由一个二可分三体和两个两体后量光源（满足无信号原理）模拟，从而同时验证了该混合网络的全网络非局域性和三体纠缠源

的真多体非局域性。

本工作的一个贡献是引入了一种新的网络非局域性，比此前定义的全网络非局域性更强，它要求网络中所有源都是真多体非局域资源。另一个贡献是提供了一种利用网络辅助验证真多体纠缠态的方法。已有结论表明：利用真多体非局域性可以实现设备无关的真多体纠缠态验证，但并非所有真多体纠缠态都能产生真多体非局域关联。在本工作中，研究组利用网络辅助实现了对广义三比特GHZ态的真多体纠缠验证，而已有理论证明利用常用的Svetlichny不等式无法实现该量子态的真多体纠缠验证。

文章共同第一作者为中国科学院量子信息重点实验室博士研究生王宁宇和西南交通大学信息科学与技术学院杨雪博士。

（中国科学院量子信息重点实验室 物理学院 中国科学院量子信息和量子科技创新研究院 科研部）

中国科大发现组织驻留巨噬细胞介导的血-膀胱免疫屏障

本报讯 2月27日，中国科学技术大学生命科学与医学部、免疫应答与免疫治疗全国重点实验室曾策天课题组在《Immunity》在线发表论文，发现并命名了膀胱驻留巨噬细胞新亚群——suPVM（sub-urothelial perivascular macrophages），揭示了suPVMs通过释放巨噬细胞外泌体（METs）阻碍病原体原菌血行扩散的关键性血-膀胱免疫屏障功能和分子机制。

该研究首先通过解析状态下膀胱黏膜巨噬细胞异质性，鉴定并发现了定位于膀胱黏膜上皮下方、紧邻于血管壁外侧的CX3CR1hi巨噬细胞新亚群，将其命名为suPVM。通过建立临床上最常见的尿路致病性大肠杆菌（UPEC）感染模型，研究团队进一步对suPVMs在尿路感

染中的功能进行了深入探究，发现尽管UPEC在尿路感染初始时即可突破膀胱上皮屏障侵袭富含血管的固有层区域，却无法进入血液实现系统扩散；而特异性清除suPVM则可显著诱发UPEC从膀胱进入血液，扩散到肝脏、脾脏等远端器官中，导致菌血症和器官炎症发生。这一发现揭示了suPVM限制病原体原菌血行扩散的关键性血-膀胱免疫屏障功能。

应用高分辨实时动态活体显微成像技术，研究团队观察到在尿路感染早期suPVMs形态行为呈现出显著变化，部分细胞与血管壁解离并向膀胱上皮区域释放富含DNA和瓜氨酸化组蛋白的纤维网状结构。深入研究表明，这些结构正是具有重要免疫防御功能的巨噬细胞来源

胞外诱捕网（METs）。

该研究拓展了对泌尿道黏膜免疫的传统认知，首次揭示了血-膀胱免疫屏障的存在及功能机制。这一发现为临床上尿路感染领域长久以来的悖论提供了潜在解释，即为为何尿路感染绝大多数发生于膀胱，而泌尿性败血症却主要由肾脏感染所致。此外，该研究首次在体内证实了巨噬细胞发生ETosis形成METs的真实动态过程，为探究组织驻留巨噬细胞功能和命运提供了潜在新方向。

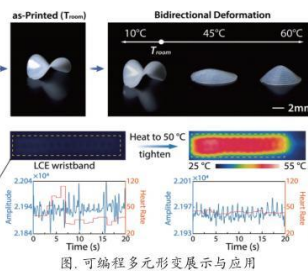
中国科学技术大学附属第一医院李璐副研究员和生命科学与医学部博士研究生焦千乘为论文第一作者，曾策天教授为论文通讯作者。

（生命科学与医学部 免疫应答与免疫治疗全国重点实验室 科研部）

中国科大提出液晶弹性体的复合冷场3D打印技术

本报讯 近日，中国科学技术大学工程科学学院、人形机器人研究院的李木军副教授，联合张世武教授等研究人员，在智能材料3D打印领域取得重要进展。研究团队提出复合冷场3D打印技术，成功制备具有取向参数和多元形变能力的近环境温度响应液晶弹性体（NAT-LCEs），并基于此开发出心率监测精度显著提升的智能腕带系统。相关研究成果发表在《美国化学学会杂志》上。

传统液晶弹性体存在响应温度高（>70℃）、制造工艺可编程受限等瓶颈，严重制约其实际应用。开发具有近环境温度响应特性且可精密加工的新型液晶弹性体，成为该领域亟待突破的关键科学问题。针对该问题，研究团队创新性提出“低温喷头+冷却平台”复合冷场协同调控策略，取得了多项技术突破：1）液晶基元取向的精准控制：通过5℃低温打印环境维



持墨水高粘度，利用剪切力诱导液晶基元高度定向排列，使取向参数较传统室温打印方法提升30倍以上。2）多元形变编程：实现鞍形、锥形、英文字母等复杂结构可逆变形。3）生物兼容应用：材料响应温度适配人体耐受范围，成功开发可主动贴合皮肤的智能心率监测腕带系统。

本研究打印的结构展现良好环境自适应特

性：圆盘样品在室温自发形成马鞍形，10℃时速率增大，60℃条件下变为锥形。通过动态调温实现梯度编程，“USTC”字母等结构通过分层编程实现精准卷曲变形。研究团队还探讨了该技术在精准医疗领域的应用。集成液态金属电路的液晶弹性体可在PID温控下主动贴合手腕，显著提高了测量精度并降低了噪声，1000次疲劳测试性能无衰减，促进了软机器人技术、生物医学仪器和可穿戴电子设备的发展。

中国科学技术大学精密机械与精密仪器系硕士研究生李东晓、博士后孙宇轩为论文共同第一作者。李木军副教授、张世武教授、孙宇轩博士后为共同通讯作者。中国科学技术大学苏州高等研究院潘建超教授、澳大利亚伍伦贡大学李卫华教授为论文共同作者。

（工程科学学院 人形机器人研究院 科研部）