

中国科大实现远距离测量设备无关自由空间-光纤混合量子密钥分发网络实验

本报讯 近日，中国科大潘建伟院士及彭承志、曹原等与清华大学教授王向斌、中国科学院上海微系统与信息技术研究所研究员尤立星等人合作，首次在国际上实现远距离测量设备无关的自由空间-光纤混合量子密钥分发网络实验，并在此基础上完成白天高背景噪声条件和卫星-地面多普勒频移补偿等验证。9月6日，相关成果在线发表于《物理评论快报》。这项成果全方位验证了星地间测量设备无关量子密钥分发的可行性，向基于卫星的全球化、高安全性量子通信网络迈出了重要一步。

测量设备无关量子密钥分发协议利用双光子干涉技术消除了探测端的所有安全漏洞，无需对测量端的量子设备进行任何安全性假设，被认为是各种量子密钥分发协议中的最佳候选

协议之一。而利用自由空间信道和卫星是目前实现全球化量子通信网络的最有效途径。2020年，实验团队通过对独立光源锁频、独立时钟同步、抗强湍流的自适应光学等技术的发展，在国际上首次将该协议拓展到自由空间信道。

在此次研究工作中，实验团队进一步挖掘测量设备无关量子密钥分发协议的潜能，并探索将其扩展到卫星平台的可行性。为实现实用化的星地测量设备无关量子密钥分发网络，需要克服自由空间与光纤组网、白天高背景噪声以及多普勒频移等困难。首先，量子干涉测量可作作为天然的星型网络节点，非常方便地连接自由空间和光纤信道。实验团队通过构建多个发射端和信道，配合自适应光学技术和单模光纤耦合，演示了自由空间-光纤接口以及星形网络拓扑结构。同时，实验团队首次揭示基于

双光子干涉的符合探测可以使测量设备无关量子密钥分发协议获得极大的容忍背景噪声的能力，实现正午强烈日光背景下的测量设备无关量子密钥分发实验演示。

更进一步地，面向星地间存在高速相对运动的情形，实验团队模拟并补偿卫星过境期间的多普勒频移，将全程的HOM干涉可见度提高到接近理论极限。通过这些实验研究，实验团队全方位验证星地测量设备无关量子密钥分发的可行性，为未来天地一体、高安全性量子通信网络的构建奠定坚实基础。

该工作的共同第一作者为李宇怀副研究员和博士研究生李双林。

(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与量子科技创新研究院)

中国科大提出纳米药物肿瘤递送新理论

本报讯 近日，中国科大生命科学与医学部王育才教授和蒋为副教授团队，利用自主研发的多层次活体显微成像技术，首次明确指出，肿瘤血管外侧存在一层致密的基底膜结构，该结构严重阻碍了纳米药物的血管外渗透能力，导致纳米药物在肿瘤血管外形成“血池”样的积累。该研究通过深入的活体显微成像分析，精准地解析了这种由基底膜构成的“血池”的空间定位、微观结构以及成因，并进一步揭示了酶降解基底膜能显著减少“血池”的数量，从而增强纳米药物的渗透效率。9月14日，相关研究成果在线发表于《自然·纳米技术》。

研究还进一步证实，通过炎症诱导的中性粒细胞迁出机制，能在基底膜上短暂形成

一个动态“窗口”，从而实现纳米药物火山喷发式的高效渗透，有效提升了纳米药物在肿瘤组织中的富集和治疗效果。

肿瘤血管构成了纳米药物进入肿瘤组织的主要途径，因此纳米药物的高效递送在很大程度上依赖于血管系统。目前的研究范式主要基于1986年首次提出的“增强渗透和滞留效应”理论。该理论认为，肿瘤血管内皮细胞屏障是纳米药物渗透到肿瘤组织的最后一道防线，纳米药物可以利用肿瘤血管的高渗透性来跨越这一屏障，从而直接进入肿瘤微环境。

然而，基于该理论的临床前和临床研究结果却不尽如人意。某些研究数据甚至表明，纳米载体仅能将大约0.7%的药物有效递

送至肿瘤组织。这一发现不禁引发了疑问：是否存在其他未被充分认识的机制阻碍了纳米药物进入实体瘤？

该研究不仅提出了一种与传统“增强渗透和滞留效应”截然不同的纳米药物富集创新机理，还为纳米药物在肿瘤治疗方面的应用提供了新的理论支持，并刷新了人们对纳米药物跨血管转运机制的整体认识，为该领域的理论和应用研究提供了重要的突破。

中国科大生命科学与医学部博士后汪沁、博士生梁启蕊为该论文共同第一作者，生命科学与医学部王育才教授、蒋为副教授与新加坡国立大学David Tai Leong教授为本文共同通讯作者。

(生命科学与医学部)

中国科大揭示新元古代雪球地球与生命演化新机制

本报讯 中国科大沈延安教授课题组以高精度硫和汞同位素分析为主要手段对华南间冰期地层进行系统研究，提出“雪球地球”的消融诱发了大规模火山活动这一新观点，并证明了间冰期海洋的逐渐氧化为早期复杂生命演化提供了有利的环境条件。相关研究成果近日发表于《科学·进展》。

在距今约8至6亿年前，地球经历两次长达数百万年的冰期，厚达千米的冰盖几乎覆盖了整个地球，因此称之为“雪球地球”。两次“雪球地球”事件之间是一个相对温暖的间冰期，期间以绿藻为主的初级生产者和海绵的出现代表生命演化史上又一次重要革命。

新元古代“雪球地球”事件，分别为斯图特“雪球地球”和马里诺“雪球地球”。前者持续了大约5600万年，后者持续了大约1000万年。在“雪球地球”时期，大气和海洋之间几乎缺乏物质交换，陆地硅酸岩风化作用微乎其微，但持续数百万年的火山活动释放了大量的二氧化碳，形成了超级“温室效应”，从而导致“雪球地球”的迅速消融。在斯图特“雪球地球”消融之后，绿藻开始取代细菌成为主要初级生产者，同时有机生物标记物表明海绵也很可能在冰川消融之后开始出现。因此，探讨“雪球地球”这一极

端气候事件与早期复杂生命演化的关系一直是地球科学领域具有挑战性的科学问题。

研究团队以华南大塘坡组为主要研究对象，探讨“雪球地球”消融之后地球表层环境和气候系统的变化。大塘坡组不仅是我国大型甚至超大型沉积锰矿床的重要产出层位，而且几乎完整地记录了两次“雪球地球”之间气候和环境变化序列。研究团队在多次野外考察和调研的基础上，选取大塘坡组长达百米的钻孔进行了地质、地层和地球化学系统分析。研究结果表明，“雪球地球”消融初期海水的化学组成以海底喷发的热液为主，这一结果间接地反映了“雪球地球”时期的海洋与正常海洋有根本的不同，当时海洋、大气和陆地缺乏物质交换和循环。非质量汞同位素的变化证明了“雪球地球”消融期间火山活动的加强，针对这一新发现，研究团队提出“雪球地球”的迅速消融造成了地球表层压力的突然减少，从而诱发了地

球深部的岩浆活动和火山喷发这一新观点。

研究团队同时发现，间冰期沉积物中黄铁矿的硫同位素组成异常，其中包括小幅度的非质量硫同位素分馏，但沉积序列清楚地表明，小幅度的非质量硫同位素分馏与火山活动没有成因上的联系。针对这一新发现，研究团队提出小幅度的非质量硫同位素分馏，是由于“雪球地球”改变了海水硫酸盐的硫同位素组成。

另外，硫同位素随时间的变化规律证明了间冰期海水硫酸盐浓度的逐渐加强，表明当时大气和海洋系统的逐渐氧化。根据大气化学组成变化、地球表层温度的逐步降低以及海洋的逐渐氧化，研究团队提出间冰期地球表层环境和气候的变化促进了早期复杂生命的演化。该项研究结果对探索现代极端气候变化和地球宜居性具有重要的启示意义。

论文的第一和通讯作者为李梦涵特任副研究员。

(地球和空间科学学院)

中国科大在理想玻璃结构序的研究中取得新进展

本报讯 近日，中国科大物理学院童华教授课题组与日本东京大学Hajime Tanaka教授合作，在理想玻璃特殊结构序的研究中取得重要进展，相关成果发表于《自然·通讯》。

几千年来，人类一直被玻璃独特的美丽和物理特性所吸引，用这种材料制作珠宝、容器和各种工具。然而，玻璃形成现象背后的物理原理非常复杂，时至今日尚未被充分理解。在玻璃转变过程中，物质从过冷液态转变为固态，在保持液态无序微观结构的同时与有序的晶体一样具有了刚性。玻璃的这种混合属性使其难以被归类于物质固、液、气三态的理论框架之内。什么是理想玻璃态，其具有怎样的结构序，这是凝聚态物理研究的重要课题。



童华课题组及其合作者针对近年发展出来的一种专门的液体模型展开计算机模拟研究。这一模型由不同大小的粒子构成，因为可以在不受结晶或相分离干扰的情况下结合

交换蒙特卡罗算法实现深度过冷状态而大受欢迎，被广泛应用于玻璃化转变的研究当中。出乎意料的是，本研究在这一模型中发现一种新型的有序结构。通过细致表征粒子的大小及“配位数”（它测量了粒子周围有多少个邻居）信息的空间分布，研究人员观察到系统中存在一种贯穿全副的网状结构，该类结构在以前的研究中没有报道过。同时，这种奇异的结构排序对结构弛豫动力学有着不同寻常的影响。

该研究成果揭示了在表现无序的物质中可能存在着不同于晶体、准晶，以及相分离状态的特殊结构序，因此，质疑了这一广泛采用的液体模型被认为是理想玻璃形成液体的合理性。同时，研究拓展了对凝聚态物质中可能存在的结构序的认识，将有助于探索玻璃与玻璃化转变的本质问题，并为模型体系和非晶材料的设计提供新的思路和方法。

中国科大物理系童华教授为论文的第一作者和通讯作者，日本东京大学Hajime Tanaka教授为论文的共同通讯作者。

(物理系)

本报讯 近日，中国科大郭光灿院士团队在量子密钥分发研究中取得重要进展。该团队韩正甫、王双、银振强、陈巍与合作者提出一种无需主动调制的新型量子密钥分发实现方案并完成了实验验证，为实现高现实安全的量子密钥分发系统提供了新思路。9月13日，该成果发表在国际学术期刊《物理评论快报》上。

量子密钥分发理论上可以实现无条件安全的密钥共享。但器件特性、调制精度、环境干扰等因素有可能造成系统的现实安全性问题。例如，郭光灿团队发现，系统中广泛使用的铌酸锂主动调制器件，可能会受到光折变等侧信道攻击而泄漏信息。

为彻底解决主动调制带来的隐患，郭光灿团队与合作者另辟蹊径，设计了无需主动调制的量子密钥分发系统。该系统方案克服了此前无法同时实现“被动”光强调制和量子态编码的矛盾，并给出了考虑“有限长效应”的严格安全密钥率。团队通过全被动时间戳-相位编码解决信道环境干扰的难题，同时通过优化后选择策略解决数据吞吐量过大的难题，最终完成了无需任何主动调制的量子密钥分发系统，验证了全被动量子密钥分发的安全性与可行性。

安全性是量子密钥分发的核心价值和要求。探索具有更高现实安全性的协议，并设计相应的方案和系统，是推进量子密钥分发走向实用化的关键之一。该研究为实现高现实安全的量子密钥分发系统提供了全新的思路，对推动该领域的实用化和标准化具有重要意义。

本工作第一作者为中国科学院量子信息重点实验室的博士后卢奉宇、博士生王泽浩和西班牙维戈大学的博士后V i ctor Zapatero，通讯作者为中国科学院量子信息重点实验室的王双教授和银振强教授。

(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)

科研简讯

○近期，中国科大地球和空间科学学院吴忠庆教授课题组在下地幔热导率和核幔边界热流分布的研究上取得重要进展，他们利用第一性原理计算与机器学习结合的方法，确定了下地幔最主要的矿物布里奇曼石及其高压相后钙钛矿的热导率，并结合课题组此前获得的下地幔矿物成分与温度分布，明确了核幔边界热流分布及热通量大小。相关成果发表在国际知名地学期刊《地球与行星科学快报》上。

○中国科大工程科学学院微纳米工程实验室胡衍雷教授团队及其合作者利用飞秒激光微纳制造方法，制备了一种可用于跨尺度液滴操纵的磁响应双面折纸机器人，实现了多样化液滴操纵功能的有效集成，包括液滴的三维运输、合并、分裂、子液滴分发与按需释放、搅拌以及远程加热等。同时，这种操纵策略的高稳定性赋予了其跨尺度液滴操纵能力，可以实现对3.2 nL到51.14 μL体积范围内液滴的操纵。9月6日，该工作发表于《自然·通讯》。

○近日，中国科大地球和空间科学学院肖益林教授课题组通过使用拉曼三维成像分析技术，首次在俯冲带深部地幔橄榄岩中发现了金刚石-菱镁矿-甲烷共存的多相含碳包裹体，这项研究对深入理解俯冲带弧下深度，尤其是还原环境下的碳循环具有重要的意义。相关研究成果发表在国际知名综合性科学期刊《国家科学评论》上。

中国科大实现全被动量子密钥分发