

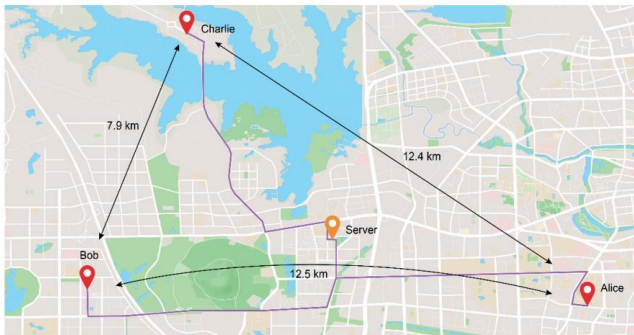
中国科大构建国际首个基于纠缠的城域量子网络

本报讯 我校潘建伟、包小辉、张强等首次采用单光子干涉在独立存储节点间建立纠缠，并以此为基础构建了国际首个基于纠缠的城域三节点量子网络。该工作使得现实量子纠缠网络的距离由以往的几十米整整提升了三个数量级至几十公里，为后续开展量子计算、分布式量子计算、量子增强长基线干涉等量子网络应用奠定了科学与技术基础。相关研究成果于5月15日发表在《自然》上。

通过量子态的远程传输来构建量子网络是大尺度量子信息处理的基本要素。基于量子网络，可以实现广域量子密钥分发以及分布式量子计算和量子传感，构成未来“量子互联网”的技术基础。目前，基于单光子传输的量子密钥网络已发展成熟，而面向分布式量子计算、分布式量子传感等进一步量子网络应用，需要采用量子中继技术在远距离量子存储节点间构建量子纠缠，在此基础上通过广域量子隐形传态将各个量子信息处理节点连接起来。

在量子隐形传态方面，中国科大潘建伟团队一直处于国际领先水平，先后实现了多终端、多体以及多自由度的量子隐形传态，为实现量子信息在量子网络中的传输途径奠定了技术基础。在量子存储与量子中继方面，研究团队长期开展了相关研究。团队在国际上率先实现了具有存储功能的稳定量子中继节点；为提升存储寿命、读出效率、纠缠制备概率等关键指标，团队发展了三维光晶格冷原子量子存储、环形腔增强光与原子的相互作用、里德堡阻塞抑制高阶激发等多项关键技术，不仅实现了综合性能最优的冷原子量子存储器，还实现了确定性的光与原子的纠缠制备。

在此基础上，研究团队近年来在量子存储网络方向取得多项重要进展。2019年，团队通过三光子干涉，实现了实验室内三个



实验节点布局示意图：其中Alice节点位于中国科大东区、Bob节点位于合肥创新产业园、Charlie节点位于安徽光机所。

冷原子量子存储节点间的纠缠，成为首个可拓展距离的量子网络原型。2020年，团队利用量子频率转换技术将量子存储的出射光子波长由795纳米转换至1342纳米，并结合单光子锁相技术，成功实现了在实验室内经由50公里光纤连接的双节点纠缠。

为在远距离分离的独立量子存储节点间建立纠缠，主要挑战在于如何控制单光子相位。基于单光子干涉的纠缠方案在纠缠速率方面有重大优势，然而实验难度非常高。纠缠过程中量子存储的控制激光、频率转换泵浦激光、长光纤信道等带来的细微相位抖动都会导致最终生成纠缠的退相干。为解决这一难题，团队设计并发展了一套非常精巧的相位控制方案：首先通过超腔腔镜来压制控制激光线宽，其次通过光锁相来构建读写激光间的相位关联，最后通过远程分时相位比对来构建两节点间的相位关联。采用以上相

位控制技术，并利用量子频率转换，团队成功实现了相距十几公里远的量子存储节点间的纠缠。以此为基础，研究团队构建了国际上首个城域三节点量子纠缠网络。该网络可以在任意两个量子存储节点间建立纠缠。

该工作是国际首个城域多节点量子网络实验。审稿人对该工作给予高度评价，“他们的成果开启了量子互联网研究的新篇章”。

《自然》杂志也在同一期发表了美国哈佛大学Lukin团队的相关实验进展，该团队首次在SIV色心体系实现了双节点远距离纠缠。二者相比，中国科大成果在纠缠效率方面有明显优势，比哈佛大学的工作高两个数量级以上。

（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）

中国科大首次实现了任意量子时序关联的选择性测量

本报讯 中国科大中国科学院微观磁共振重点实验室彭新华研究组和香港中文大学刘仁保研究组合作，在开放量子多体系统时序关联的高精度测量方面取得了重要进展。利用可控物理过程合成的量子通道，提出了一种选择性地测量开放量子多体系统中任意类型时序关联的理论方案，并首次在该自旋系统中成功探测到四阶量子时序关联。相关研究成果于5月16日发表在《物理评论快报》上。

如何系统性、选择性地测量动力学完备的任意量子时序关联一直是一个具有挑战性的科学问题。为了解决这个挑战，彭新华研究组和刘仁保研究组合作，创新性提出了基于可控物理过程合成量子通道的任意类型量子时序关联选择性测量协议。该协议不仅极大程度提升了高阶量子关联的测量信噪比，降低了实验实现

的难度，而且适用于更广泛的实验体系，包括单自旋和系综量子体系。利用核磁共振高精度量子控制，该工作在多自旋体系上实验验证了该测量协议的可行性，首次成功测量了量子多体系统中的四阶量子时序关联。进一步，该工作将实验获得的高阶量子关联信息应用于高精度量子优化控制任务中。对应的数值模拟结果表明，对于单自旋量子门（如Pauli-X门），相比于以往只利用二阶量子关联信息的优化方法，当优化控制中考虑四阶量子关联修正后，可将量子门保真度从99.987%提升到99.99996%。

该工作在量子信息和量子多体物理领域具有潜在的应用价值。一方面，对量子热库中所有量子时序关联信息的完全提取提供了一种完整表征量子噪声的方法，这对量子信息技术（如量子控制和量子精密

测量等）非常重要。另一方面，由于量子多体系统的动力学行为可以逐阶分解为各种量子时序关联的叠加，对任意量子时序关联的精确测量有助于我们更好地表征和理解量子多体系统非平衡态性质。未来方向拟通过减缓退相干效应和利用量子资源（如纠缠和压缩）进一步提高测量量子时序关联的信噪比和频谱分辨率。审稿人对该工作给予了高度评价：“这是量子度领域的一项重要补充，提供了量子系统动力学的洞察方法”。

中国科大中国科学院微观磁共振重点实验室博士后吴泽、北京师范大学珠海分校副研究员王坪为论文的共同第一作者，彭新华教授和刘仁保教授为论文的共同通讯作者。

（中国科学技术大学中国科学院微观磁共振重点实验室 物理学院 中国科学院量子信息与量子科技创新研究院）

中国科大在碳质颗粒物形成机理研究取得重要进展

本报讯 中国科大国家同步辐射实验室和火灾科学国家重点实验室王占东教授研究团队在燃烧源生成碳质颗粒物研究中取得重要突破。他们应用搭建的同步辐射真空紫外光电质谱实验平台，在共振稳定自由基气相反应中观测到一系列共价团簇中间体，揭示了共振稳定自由基对颗粒物质量增长的作用，相关研究成果于5月6日发表在《美国化学会志》上。

揭示碳质颗粒物的形成机理，理解碳

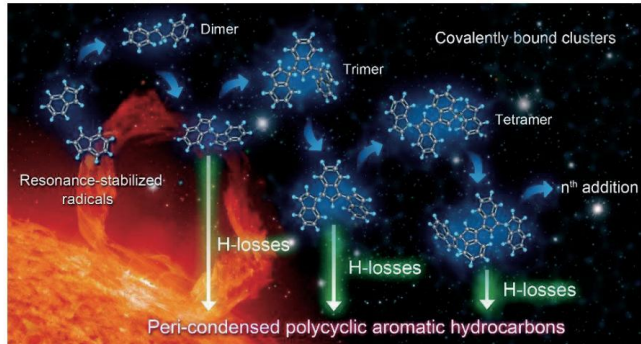
质颗粒物的基本化学过程，有助于为抑制碳质颗粒物的生成和降低排放提供理论指导。共振稳定自由基（RSR）是燃烧生成的碳质颗粒物中检测到的一类特殊的自由基，这种自由基通过电子非局域化获得更高稳定性和更长寿命，在颗粒物质量增长中扮演着重要的角色。由于实验手段的限制，对RSR反应机理的研究主要集中在初始的反应路径，对RSR如何实现颗粒物质量增长，没有直接的实验证据。针对这一

问题，王占东研究团队在合肥光源原子与分子物理线站搭建了超声分子束取样-宽质量范围、高质量分辨、高灵敏同步辐射真空紫外光电质谱实验平台（质量分辨率约5000，检测限约0.1ppm，探测质量范围2~1000Da），并通过对高温-高压流动管反应器中单独制备典型RSR来诱导反应，避免了火焰复杂反应的干扰。

实验中观测到一系列有规律增长的共价团簇中间体。结合量子化计算，发现氢原子提取和多次RSR加成推动了共价团簇的形成和快速增长。这些团簇逐步脱氢产生大尺寸的peri-condensed缩合芳烃和多环芳烃自由基，并且形成白色烟雾状的碳质颗粒。这种共价团簇逐步脱氢机制（PHLCBC）阐明了共振稳定自由基、共价团簇和peri-condensed缩合芳烃之间的重要关系，桥接了小尺寸气相自由基中间体与大尺寸纳米碳颗粒（如图所示）。该研究有望为碳质颗粒物多尺度模拟提供重要思路，并指导碳质纳米材料的合成、揭示火焰中富勒烯团簇的形成机制和新型结焦抑制剂的开发等。

我校博士生王红为论文第一作者，特任高级工程师官凯文、王占东教授等为论文共同通讯作者。

（国家同步辐射实验室 火灾科学国家重点实验室）



共价团簇的形成和结构演变示意图

本报讯 5月16至17日，欧洲核子研究中心ATLAS实验合作组负责人、世界著名物理学家Andreas Hoecker一行访问我校并进行学术交流。校长包信和院士亲切会见代表团，物理学院赵政国院士、吴雨生教授参加会见。来访期间，代表团与我校ATLAS实验团队举行座谈会，物理学院副院长韩良教授、赵政国院士出席并讲话，部分教师和学生代表参加座谈。

ATLAS实验是欧洲核子中心大型强子对撞机上两大通用实验之一。来自全球百余家知名院校和科研机构五千余名科学家在这个大科学平台上开展合作研究，探索物质世界最小尺度的物理规律，产生了一系列重大物理成果，包括2012年发现希格斯粒子（促成2013年诺贝尔物理学奖）。中国科大团队是合作组中的一支重要力量，在科技部、基金委与学校的长期支持下，开展先进探测器研制以及重大基础性物理研究，取得了丰硕成果。

16日下午，包信和会见代表团。他对代表团的来访表示诚挚欢迎，并充分肯定了我校与欧洲核子中心合作取得的科学成果，希望双方进一步加强在科技创新、人才培养等方面的交流合作。Andreas Hoecker表示，中国科大团队在ATLAS实验中发挥的关键作用和取得的成绩有目共睹，希望双方开展更加广泛、深入的合作，取得更多、更重要的科学成果。

在随后举行的座谈会上，赵政国与韩良分别就我校在相关研究领域的战略布局做了介绍，刘建北教授对粒子物理与核物理学科以及核探测与核电子学国家重点实验室做了简介。中国科大团队成员吴雨生、刘衍文、孙勇杰、杨洪涛分别围绕团队建设、研究成果、未来规划等方面进行了学术交流。双方对共同关注的科学问题展开热烈讨论，就进一步深化合作形成计划。

访问期间，代表团一行参观了相关先进探测器实验室，并与学生代表进行了互动交流。Andreas Hoecker还做客物理学院严济慈大讲堂，生动回顾了高能物理高能前沿的理论发展与实验进展，吸引了众多师生前来聆听。（物理学院）

本报讯 我校合肥微尺度物质科学国家研究中心国际功能材料量子设计中心和物理系中国科学院强耦合量子材料物理重点实验室曾长淦教授、张汇副研究员研究团队在磁场调控卡斯卡尔力研究方面取得重要进展。该团队以磁流体为中间介质，成功实现了磁场调控下卡斯卡尔（Casimir）吸引力到排斥力的可逆转变。相关研究成果于5月24日发表在《自然·物理》上。

卡斯卡尔效应是荷兰物理学家亨德里克·卡斯卡尔于1948年预言的一种现象，即在真空中两片中性金属板在亚微米尺度上会因量子涨落而通常出现吸引力。除了量子力学基础研究的价值，卡斯卡尔效应还受到工业界的关注，因为卡斯卡尔力对微机电系统器件影响很大。人们希望实现对卡斯卡尔力的调控，特别是实现卡斯卡尔力从吸引力到排斥力的外场调控。根据Lishitz理论，卡斯卡尔力受材料介电函数和磁导率影响，而之前的研究主要关注材料的介电函数设计，而大多数材料的介电函数对外场不敏感，使得外场调节卡斯卡尔力一直是一个巨大挑战。

研究团队把目光转向材料的磁导率调控。他们发现磁流体的磁导率可以被磁场所显著调节。经研究团队的巧妙设计，选择以磁流体作为中间介质来研究金球和二氧化硅衬底之间的卡斯卡尔效应。通过计算与实验相结合，他们发现可以在很大的参数空间（磁场大小、金球与衬底距离、磁流体体积分数）范围调节卡斯卡尔力，特别是实现了磁场调控的卡斯卡尔吸引力到排斥力的可逆转变。在这一工作中，研究团队克服了种种困难，开发了一种适用于非透明液体中卡斯卡尔力测量的特殊悬臂装置。本发现将推动量子涨落效应调控的深入研究和可能应用，为未来发展基于可调控卡斯卡尔效应的微机电系统器件提供了新思路。

本工作主要由曾长淦教授领导的“蓝色原子极客中心”本科生科研团队完成，2018级少年班学院本科生张一弛为论文第一作者，曾长淦教授、张汇副研究员为论文共同通讯作者。“蓝色原子极客中心”科研团队在校团委的支持下于2017年成立，成员全部是中国科大在校本科生，成立以来一直致力于卡斯卡尔效应研究。

（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 少年班学院）

欧洲核子中心ATLAS合作组代表团访问我校

中国科大在卡斯卡尔效应的磁场调控研究中取得重要进展