

远距离量子通信实验研究

——迈出我国实用化量子通信网络发展第一步*

文/中国科学技术大学 中国科学院计划财务局
(合肥 230026) (北京 100864)

【关键词】 中国科学院, 知识创新工程重大项目, 量子通信实验

量子通信技术研究是当前国际上量子信息科学领域的热点, 未来发展趋势主要是在保证通信绝对安全性的前提下, 追求更远的通信距离、更广的覆盖范围、更高的通信速率, 为国家的信息安全做出贡献。实现远距离量子通信的路线图是通过光纤实现城域量子通信网络、通过中继器连接城域网络构建城际量子通信网络、通过卫星中转实现广域量子通信。为应对激烈的国际竞争, 中科院于2007年启动了知识创新工程重大项目“远距离量子通信实验研究”。项目以中国科学技术大学为依托单位, 联合中科院物理所共同承担。

项目按照广域量子通信路线图的要素, 设立了“实用化量子加密术研究”、“自由空间量子通信”、“低损耗自由空间量子通信通道研究”3个课题。项目组对包括诱骗态光纤量子通信、超高亮度量子纠缠源、基于空间平台自由空间量子通信、多方量子网络等关键技术进行理论和实验研究, 取得了一系列国际先进、国内领先的原创性研究成果, 推进了远距离量子通信的实用化进程。

研制出超高亮度的量子纠缠源和高效率的收集系统, 最终实现探纠缠对的产生效率达到每秒

120万对, 并实验实现了确定性纠缠光源。基于这些高品质纠缠源, 项目组完成了一系列国际领先的多光子纠缠操纵及其应用实验, 实现了基于纠缠操纵的多方量子网络的重要突破。

在国际上首次将光纤诱骗态量子密钥分发的距离先后突破100公里和200公里; 自主研发了量子通信终端设备、高频率和低暗计数的单光子探测器、全通型光量子程控开关等关键器件, 获得具有世界先进水平, 且完全拥有核心技术及其知识产权的通信装备。基于这些关键器件, 组建了国际上首个光量子电话网络和首个全通型量子通信网络, 网络覆盖可达中等城市范围, 成果“城域光纤量子通信系统”通过中科院成果鉴定。基于城域量子通信网络技术的成果, 项目组在国庆60周年阅兵关键节点构建了“量子通信热线”用于重要信息的传送保障, 经历了重大应用的考验。该成果受到了党和国家领导人的高度评价, 温家宝总理在《关于发展社会事业和改善民生的几个问题》一文中点评道: “近年来, 我们不断加大科技投入, 加快建设创新型国家, 在基础研究和高科技领域取得了一批重大成果, 突破了一批关键技术。具有代表性的是: ……在量子通信这个通信技术尖端领域, 建成了世界首个全通型量子通信网。”

* 本文由中科院计划财务局项目管理处茹加(rujia@cashq.ac.cn)、中国科学技术大学科学技术处王峰共同组织撰写
收稿日期: 2011年12月19日

实现毫秒量级单次激发量子存储,较以往国际上的最好结果提升了两个数量级;实现了适合存储的窄带纠缠源,并最终实现极化纠缠光子的量子存储;提出稳定高效、低错误率的原子系综量子中继理论方案,克服了著名的 DLCZ 要求极高的稳相精度因而难以实现的缺点,并实验实现了具有存储和读出功能的纠缠交换,演示了量子中继的基本单元,为基于量子中继的远距离量子通信和多方量子网络奠定了基础。该成果入选欧洲物理学会 2008 年度物理学重大进展。

在北京八达岭地区实现了 16 公里量子隐形传态实验,创造了量子隐形传态距离的世界记录,验证了远距离自由空间量子隐形传态的可行性。该成果以封面文章的形式发表在 *Nature Photonics* 上(图 1),成果入选两院院士评选的“2010 年中国十大科技进展新闻”、科技部评选的“2010 年中国科学十大进展”;在青海湖外场实验基地实现百公里量级双向量子纠缠分发及 Bell 不等式破坏实验、百公里量级自由空间诱骗态量子密钥分发实验;与上海天文台合作完成了 400 公里星地单光子传输实验,通过自主研制的 ATP 量子通信系统,完成了 40 公里运动平台模拟卫星量子密钥分发验证试验,验证了星地间量子通信的可行性。

首次揭示了长距离光丝的主要机制;利用大气湍流模型成功解释了飞秒激光在空气中自由传输时形成光丝的展宽效应;在国际上率先研究了波长 400 nm 的飞秒激光在空气中产生的等离子体通道的物理性质并成功地等将等离子体通道的寿命延长到 1 μ s 以上。这些结果表明,利用飞秒光丝作为通道实现信号光的远距离传输以克服衍射效应的影响,使激光束在自由空间的有效传输距离突破受瑞利长度的限制的可能性。

2011 年 9 月 25 日,中科院组织专家对项

目进行了验收,验收组一致认为:该项目已圆满完成原定的考核指标以及追加课题的考核指标,其中量子纠缠源产生的亮度、量子纠缠分发距离、量子密钥分发距离和产生速率等指标明显优于任务书的要求,一致同意通过验收。

项目研制期间,在包括 *Nature* (1 篇)、*Nature* 子刊(8 篇)、*Phys. Rev. Lett.* (19 篇)、*Phys. Rev.* (1 篇)等国际权威学术期刊发表论文 96 篇,其中在《现代物理评论》上发表了中国大陆科学家撰写的第一篇实验综述论文。凝聚和培养了一支基础研究和应用相结合的创新型优秀人才队伍。该项目的顺利实施,迈出我国实用化量子通信网络发展第一步,极大地推动了量子保密通信朝着实用化的目标迈进,为未来实用化的量子通信网络打下了良好的技术基础。

基于该项目所取得的成果,项目组开始量子通信的实用化和产业化推进工作。与新华社合作,将量子通信技术应用于新华 08 项目中的核心金融数据保密传输;积极开展技术研发和示范网络建设(包括在合肥市的“合肥城域量子通信试验示范网”中试项目,以及在济南市为实施科技部“863 计划”主题项目“光纤量子通信综合应用演示网络”所建设的城域量子保密通信试验网)。

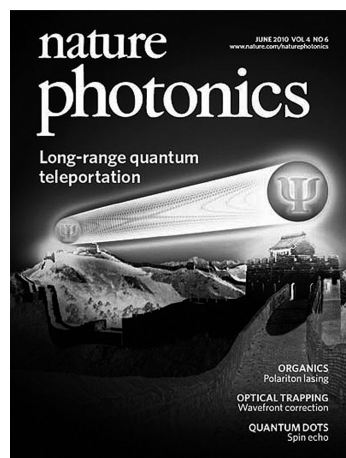


图 1 实现国际上距离最远(16km)自由空间量子隐形传态



中国科学院