

420公里量子纠缠刷新世界纪录—— 量子城际网或可“走出”实验室

□ 科普时报记者 陈杰

未来产业进行时 12

在城市之间构建一张牢不可破的量子通信网络,一直停留在物理学家的理论蓝图上。

中国科学技术大学潘建伟、包小辉、张强团队联合济南量子技术研究院、中国科学院上海微系统所,成功实现420公里光纤链路下两个冷原子量子存储器的量子纠缠构建,同时在230公里以上距离,突破无中继量子纠缠分发的PLOB理论极限,有望为构建量子城际网提供技术“底座”。

相关研究成果,8月11日发表于国际期刊《物理评论快报》。

量子纠缠距离为何难突围

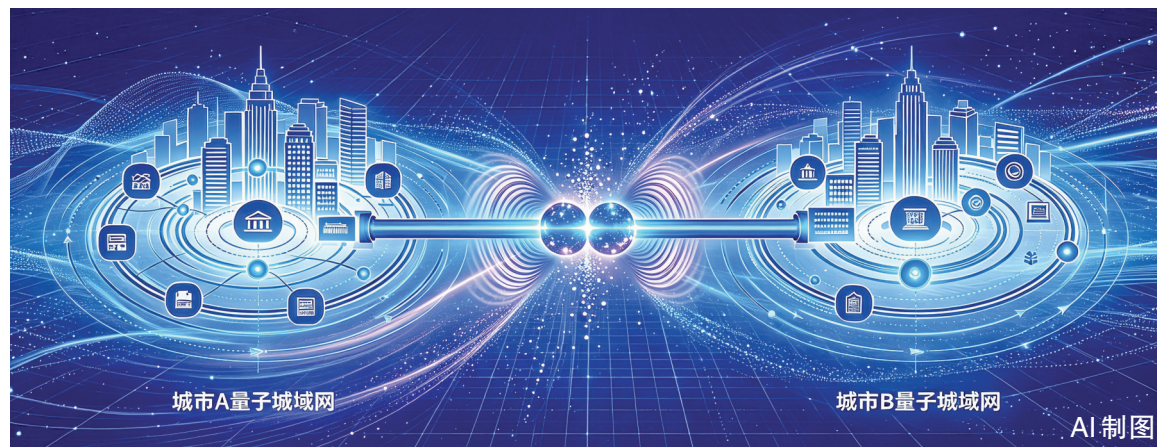
量子纠缠,被爱因斯坦称作“幽灵般的超距作用”。通俗来讲,就是两个纠缠的量子比特如同心意相通的双胞胎,无论相隔多远,一方状态发生改变,另一方会瞬间同步响应。

原理奇妙,但想让这种纠缠状态在数百公里的光纤中稳定存续,是世界级科研难题。

“常规标准光纤中,光子传输100多公里后,信号就会衰减到难以被探测。”8月18日,中国科学院计算技术研究所工程师刘延嘉接受科普时报记者采访时,将这一特征比作是在嘈杂的操场一端轻声说话,想让几百米外的人清晰听见,难度极大。

常规通信的远距离解决方案是搭建中继站、放大信号,但量子通信有着严苛的底层规则:量子态不可复制。“也就是说,量子纠缠这种奇妙的关联无法被‘复印’复刻——一旦对信号进行测量或放大,量子态就会坍塌、引入噪声,原本的纠缠也随之被破坏。”刘延嘉说。

为解决这一难题,科研团队想出了两个妙招:一是把量子存储器的波长从795纳米调到780纳米,再通过量子频率转换变成1522纳米



的电信波段——这个波段在光纤里损耗最低;二是发明了一套“双波长三频相位锁定技术”,让它在几百公里光纤里不会“跑偏”。

量子中继距离从此前的50公里到现在的420公里,并不是简单的数字变化,而是从“城市内”到“城市间”的跨越。

量子城际网的关键一步

有人好奇,这次技术突破到底特殊在哪?答案藏在一个拗口的词里——PLOB界限。

PLOB界限,全称Pirandola-Laurenza-Ottaviani-Banchi界限,指的是在不使用中继、直接分发量子纠缠时,给定信道损耗下每次信道使用所能达到的最高纠缠分发速率。

“这就好比两个小朋友隔着帷幔互相扔纸团,帷幔越厚,能顺利穿过、被对方接住的纸团就越少。在没有帮手的情况下,这个‘传输量’存在一条无法逾越的理论天花板。”刘延嘉说,以往的科研实践中,无中继纠缠分发一旦超过230公里,纠缠成功率便会断崖式下跌,是城际量子组网的瓶颈。此次突破PLOB理论极限,是中继方案第一次在实验中证明自己比“直接硬传”更胜一筹。

为什么这一步如此关键?

因为,量子存储器是量子中继器的“心脏”。远程量子纠缠可以支持量子密钥分发

(QKD)、量子计算机互联、分布式量子精密测量等应用,但要搭建大尺度量子通信网络,必须把长链路拆成多段短链路,再做纠缠交换拼接成远程纠缠。

也就是说,没有高性能量子存储器,量子城际网就是空中楼阁。

规模化应用到底有多远

这项技术突破,能让量子城际网落地吗?

实话实说,底座已经铸就,整栋大楼还在施工中,但“样板间”已建成——

目前,我国在合肥、上海、北京、广州等16个重点城市已经建成了成熟的量子城域网;运营商推出的“量子密话”“量子密信”业务,用户规模已突破数百万……

但是,量子城域网中给传统通信加密的QKD技术,跟此次突破的量子中继技术之间存在着技术代差。更重要的是,从420公里的实验室原型到遍布全国的量子城际网,中间还有好几道坎要迈:一是提高纠缠分发的成功率;二是让设备更稳定、更小型化,能从实验室搬到真实的光纤网络里;三是降低成本,让普通人也用得起。

目前,中国电信计划在国内建设更多的量子城域网。如果量子中继技术进一步迭代成熟,这些量子“城市孤岛”就有望逐步连接起来,形成一个真正的城际量子网络。

《延伸阅读

量子城域网:量子通信的“落地版本”

提及量子通信网络,很多人容易把量子城域网、量子城际网、量子互联网混为一谈。其实,它们处在完全不同的发展阶段。

量子城域网,是已经落地应用的量子通信网络,而另外两种还处在实验室中。

量子城域网并不远距离传输量子粒子实现量子纠缠,但任务也十分明确:生成独一无二的加密密钥,为日常通信加上专属“安全

锁”,及时察觉窃听行为,终止通信,从源头上规避信息泄露风险。

一座量子城域网,会依托城市光纤,把政务中心、银行、医疗机构、科研单位等重要节点相互连通。

在合肥、上海、广州等16城,量子加密早已投入实战。金融机构利用它保护交易数据,政务系统借助它稳妥传输涉密材料,面向

大众的量子密话、量子密信,也让普通用户体验到量子安全技术。

简单来说,量子城域网不需要量子存储器与量子中继,它服务的当下,侧重信息加密;420公里量子纠缠实验攻关的量子中继技术,则面向的未来,是构建量子城际网、量子互联网的核心技术基础。一近一远,共同铺就量子通信的发展道路。