

光量子与量子通信

郑好望 肖胜利 朱峰

近年来,随着光纤通信技术的日臻发展完善,人们把目光逐渐转向新通信技术的开发与研究,而在众多研究项目中,量子通信技术无疑是最具潜力和应用前景的。

量子通信是 20 世纪末期新生的交叉学科,是量子信息学的一个重要方面,经过几年的不懈努力,我国以及欧美和日本等发达国家在这一新兴领域已取得了一系列重大突破。

光量子

1905 年,爱因斯坦在普朗克量子假设的基础上对光的本性提出了新的理论,认为光束可看作是由微粒构成的粒子流,这些粒子叫光量子,简称光子。光既具有粒子性也具有波动性(即波粒二象性),在真空中,每个光子都以光速 $c = 3 \times 10^8 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 运动;1923 年,为了解释一些新发现的经典理论无法解释的现象,法国物理学家德布罗意提出了实体粒子(如电子、原子等)也具有波粒二象性的假说(这一假说不久就为实验所证实);1926 年,薛定谔找到了描写微观粒子状态随时间变化规律的运动方程(被称为薛定谔方程),建立了波动力学,其后与海森伯、玻恩的矩阵力学统一为量子力学。在量子理论中,描述量子系统的是态函数,它具有几率幅的意义,态函数的演化遵从薛定谔方程。

量子通信及其特点

1993 年,物理学家贝内特(C. H. Bennett)成功地将量子理论和信息科学结合起来,提出了量子通信这一全新的概念。

量子通信技术是光通信技术的一种,它是利用光在微观世界中的粒子特性,让一个个光子传输“0”和“1”的数字信息(即以量子态为信息载体)。从理论上说,它可以传输无限量的信息,但由于光子在传输过程中会发生衰减,因此量子通信的实际通信速度只会比现在的光通信速度快 1000 万倍左右。量子通信技术的另一个特点是能够用于开发无法破译的密码。1997 年,中国学者潘建伟与荷兰学者波密斯特合作,在国际上率先完成“量子态隐形传输”(简称隐形传态)试验,这是国际上首次通过实验成功地将一个量子态从甲地的光子传送到乙

地的光子上。

量子通信装置及其原理

量子通信系统的基本部件包括量子态发生器、量子通道和量子测量装置。按其所传输的信息是经典还是量子而分为两类。前者主要用于量子密钥的传输,后者则可用于量子隐形传态和量子纠缠的分发。所谓隐形传送是指脱离实物的一种“完全”的信息传送。从物理学角度可以这样来想像隐形传送过程:先提取原物的所有信息,然后将这些信息传送到接收地点,接收者依据这些信息,选取与构成原物完全相同的基本单元,制造出原物完美的复制品。但是,量子力学的不确定原理不允许精确地提取原物的全部信息,这个复制品不可能是完美的。因此长期以来,隐形传送不过是一种幻想而已。1993 年,6 位来自不同国家的科学家提出了利用经典与量子相结合的方法实现量子隐形传态的方案:将某个粒子的未知量子态传送到另一个地方,把另一个粒子制备到该量子态上,而原来的粒子仍留在原处。其基本思想是将原物的信息分成经典信息和量子信息两部分,它们分别由经典通道和量子通道传送给接收者。经典信息是发送者对原物进行某种测量而获得的,量子信息是发送者在测量中未提取的其余信息;接收者在获得这两种信息后,就可以制备出原物量子态的完全复制品,该过程中传送的仅仅是原物的量子态而不是原物本身。发送者甚至可以对这个量子态一无所知,而接收者是将别的粒子处于原物的量子态上。在这个方案中,纠缠态的非定域性起着至关重要的作用。在量子力学中能够以这样的方式制备两个粒子态,在它们之间的关联不能被经典地解释,这样的态称为纠缠态,量子纠缠指的是两个或多个量子系统之间的非定域非经典的关联。

量子通信的实用化进程

要想让量子通信变成实用,就必须在遥远的地点间分配纠缠状态(量子纠缠是指两个或多个量子系统之间的非定域非经典的关联),因为在量子通信通道中存在无法避免的噪音,所以两个粒子之间的纠缠将随着传播距离的增大而不断退化,因此需要

现代物理知识

测量测试仪器技术的革命——

虚拟仪器

周杰 徐满平



虚拟仪器 (Virtual Instruments, 简称 VIS) 是虚拟技术的重要组成部分。它是由计算机技术、测量技术和

和微电子技术高速发展而孕育出的一项革命性的技术。虚拟仪器这一概念最早是由美国国家仪器公司 (National Instrument, 简称 NI), 在 20 世纪 80 年代中期提出的, 即所谓“软件就是仪器”。我们知道所有测量测试仪器的主要功能都可由信号的采集与控制单元、信号的分析与处理单元、结果的表达与输出单元等三大部分组成, 其中分析处理和结果输出完全可由基于计算机的软件系统来完成, 因此只要提供一定的数据采集硬件, 就可构成基于计算机的测量测试仪器。

虚拟仪器可使用相同的硬件系统, 通过不同的软件就可以实现功能完全不同的各种测量测试仪器。软件系统是虚拟仪器的核心, 利用软件可以构建各种不同的仪器。

本文将就虚拟仪器的分类及虚拟仪器的发展过程做一简单介绍。并对虚拟仪器和传统仪器进行比

较, 虚拟仪器的崛起是测试仪器技术的一次“革命”, 是仪器领域的一个新的里程碑, 它将大大促进实验教学改革和科研工作的发展。

一、虚拟仪器的分类

虚拟仪器的发展随着微机的发展和采用总线方式的不同, 可分为 5 种类型:

第一类: PC 总线——插卡型虚拟仪器 这种方式借助于插入计算机内的数据采集卡与专用的软件 (如 LabVIEW, 美国 NI 公司推出的一种图形化编程语言) 相结合, 通过软件提供的各种控件, 用户可以自己组建各种仪器。它充分利用计算机的总线、机箱、电源及软件的便利, 但是受到 PC 机箱和总线限制, 并且还存在电源功率不足、机箱内部的噪声电平较高、插槽数目不够多、插槽尺寸比较小、机箱内无屏蔽等缺点。因此 ISA 总线的虚拟仪器已经淘汰, 而 PCI 总线的虚拟仪器价格比较昂贵。

第二类: 并行口式虚拟仪器 最新发展的一系列可连接到计算机并行口的测试装置, 它们把仪器硬件集成在一个采集盒内。仪器软件装在计算机上, 通常可以完成各种测量测试仪器的功能, 可以组

通过“纯化”来将高度纠缠的状态从纠缠程度较低的状态中提取出来, 纠缠状态的纯化还能提高不同量子位之间逻辑运算的质量。近年来, 国际上众多研究小组提出了一系列量子纠缠态纯化理论方案, 但没有一个是能够用现有技术实现的。中国科技大学潘建伟教授与其合作者却成功地利用线性光学技术, 从保真度均为 75% 的两个光子对中提取出一个保真度为 92% 的光子对, 从而在原则上解决了目前在远距离量子通信中的根本难题。这项研究成果受到国际科学界的高度评价, 被称为“远距离量子通信研究的一个飞跃”。

量子通信保密性好, 量子解码能力强, 因此备受欧美各国政府和产业界的重视。目前, 欧美国家利用量子加密进行通信的技术已进入实际运用阶段 (目前通信距离只有几十千米); 日本计划在 5 年内

实现在 100 千米左右的中距离通信中使用量子加密技术, 到 2007 年将构筑起量子信息技术高速通信实验系统; 我国在光纤量子保密通信的实验研究上也取得了一批国际一流水平的成果, 潘建伟教授领导的量子物理与量子信息实验室, 在 2002 年秋获得了国际上亮度最高的纠缠对光源, 并利用该纠缠态光源成功地研制出亮度比以往世界纪录高 100 倍的 4 光子纠缠光源, 在此基础上实现了量子纠缠态浓缩和量子中继器, 为未来远距离量子通信的实现奠定了基础。

量子通信技术的发展方兴未艾, 量子通信产业潜在的巨大市场价值必将引起通信领域新的革命。科学家们预计在 2015 年前后, 量子通信在技术上将出现实用化前景。

(西安通信学院数理教研室 710106)