



受访者供图

给纠缠态“做个CT” 让未来量子网络更安全

本报记者 吴长锋

量子通信研究领域,中国在赛道上已经领先一个身位,无论理论研究还是技术应用和项目落地,都已走在世界的前列。两个多月之前,中国科大成员李传锋、陈耕、张文豪等人在测量设备“不可信”的条件下,实验获知了未知量子纠缠态的保真度,首次在国际上实现了量子纠缠态的自检验。研究成果发表在国际权威期刊《物理评论快报》上。

近日,郭光灿院士团队再度于《物理评论快报》发表论文,他们把量子纠缠态的非局域性和贝尔基测量定量地联系起来,从而首次在国际上实现了纠缠交换过程中贝尔基测量的自检验。

不再依赖于测量设备的可靠性

要实现量子通信、量子计算,首先要实现量子纠缠,但如何检验量子间是否已形成了“纠缠态”,成为量子领域科学家们竞相攻关的难题。

量子通讯的特性之一是保密度高,但也不是绝对地无机可乘,其中仍然存在某些细微的漏洞,科技人员因此出现的缺陷必须予以弥补。比如用于纠缠态信息测定的量子态层析方法,类似于医院的CT扫描,通过“一层层扫描”重构出纠缠态的形式,进而获得纠缠态的保真度等重要信息。但这个方法依赖于测量设备的准确性和可靠性,不能用于承担对安全性有要求的量子信息任务。比如量子通信的检测设备如果被窃听者所控制,那么就会对量子通信的保密性造成威胁。

为应对这一问题弥补缺陷,科学家曾提出“贝尔不等式违背”等纠缠度量方法,可以以依

赖检测设备的可信度进行量子纠缠自检验。只是,国际学界做了大量理论研究,而相关实验还是空白。

中国科学院大学郭光灿院士团队李传锋等人巧妙设计一种新方法,实验实现了对2个比特和3个比特量子纠缠态的自检验实验。他们针对不同形式的量子纠缠态,在测量设备“不可信”的条件下,获得了未知量子态的保真度信息,并与传统的量子态层析结果对比,证实了自检验结果的可靠性。

“这是国际上首个具有‘高可靠、抗干扰’特性的纠缠态自检验实验,为把自检验推广应用于各种量子信息过程,及推进量子通信和量子计算研究打下重要基础。”中科院量子信息重点实验室韩正甫教授告诉科技日报记者。

纠缠交换自检,“击鼓传花”不失真

“量子纠缠是量子通信和量子计算的重要资源。在构建量子纠缠网络的过程中,不仅需要制备高品质的量子纠缠态,还需要在节点之间进行高品质的纠缠交换,才能把各个节点纠缠起来。”中科院量子信息重点实验室黄安琪博士告诉科技日报记者,要想构建量子纠缠网络的一个关键步

骤,就要在分开的节点间建立纠缠。由于传输信道(通常是指光纤)存在着损耗,目前地面上量子纠缠分发的距离被限制在百公里量级。

“如果想把超过这个距离的两个节点纠缠起来,就需要量子中继,这通常是由纠缠交换过程来实现。”黄安琪对记者说,纠缠交换具体是指分开

的两个节点A和B各制备一对纠缠光子,然后分别把其中一个发给中间节点C来进行贝尔态测量,那么A和B所持有的剩下的两个光子就会纠缠起来。通过将这种方法继续扩展,理论上即可实现长距离的纠缠分配。

“但是在实际操作过程中,纠缠态和纠缠交换都不可能是完美的,这最终会成为限制纠缠网络规模和传输距离的重要因素,所以有必要对纠缠态和纠缠交换的品质进行检验。”黄安琪说。

由于量子网络进行保密通信时需要很高的安全等级,甚至需要假设所使用的测量设备不是完全可信的,所以这种检验很难通过常规手段直接实现。学术界近年来发现,利用非局域性检测时

与测量设备无关的特性,可以实现对纠缠态和纠缠交换的品质检验,这被称为自检验。

“如果没有自检验,就会存在相应的风险,窃听器就有可能控制我们的测量设备的输出,让我们从数据上看以为量子纠缠网络已经建立起来了,然而真正到应用的时候,才发现根本就没有纠缠,量子网络就瘫痪了。”黄安琪说,有了自检验过程,即便测量设备不可信,只要我们判断出纠缠网络已经建立起来了,那么整个网络就真的纠缠起来了。

“这个过程有些类似计算机开始工作前,对病毒进行扫描自检。量子纠缠网络也要先自检验各节点间纠缠是否真的建立起来了,确认后才开始工作。”黄安琪说。

填补纠缠交换自检验研究空白

“国际上纠缠态自检验的第一个实验也是由我们组完成的。”韩正甫告诉记者,之前学术界对自检验的研究,基本集中在各种形式的纠缠态自检验问题上,而对于纠缠交换的自检验研究一直是空白。

“我们之所以能在国际上首次实现纠缠交换的自检验,关键在于做到了两点。”韩正甫说,他们首先把纠缠交换的保真度和所使用纠缠态的非局域性定量地联系起来,这样就有办法把非局域性检测中与测量设备无关的性

质传递给纠缠交换的自检验;另外,这次他们进行的自检验过程,既包含了纠缠交换前两对纠缠光子之间独立性的检验,又同时包含了纠缠交换后建立的纠缠保真度的自检验,从而使实验结果具有很好的稳定性,完全可以容忍实验误差。

“所以,我们这个工作是国际上第一个成功演示纠缠交换过程自检验的实验。有了纠缠态的自检验和纠缠交换过程的自检验,整个纠缠网络的自检验才能实现。”韩正甫说。

相关链接

量子非局域性与贝尔基测量

在空间上相互分离的粒子能够相互告知其各自状态这一点构成了量子非局域现象。简单的说,如果一对量子处于纠缠态,那么之后这两个量子无论距离多远,只要其中一个状态变化了,另一个就立即变化,无视距离,即使中间间隔的星系与星系之间的距离,也没有时间间隔。这是一种非常奇特的现象,而且已经被实验证实了。只是原理还没有弄清楚,所有解释都只是假设。

贝尔基测量就是在四个贝尔态构成的基上对两个量子比特做测量,首先两个量子比特被转换到贝尔态上,然后在0和1基上做测量。假如有两对纠缠态,而两对之间没有纠缠,分别从两对中各取一个量子态出来,对这两个量子态做贝尔基测量,然后根据测量的结果,再对剩下的两个量子态分别进行对应的量子操作,就可以使本来不纠缠的它们形成一对纠缠态。

“液态门”不是科幻场景,将在化学检测中出现

第二看台

本报记者 谢开飞

外星科技利用流动液态的“星际之门”,扭曲了时间和空间的虫洞,实现物质在宇宙中瞬间传送……这是在科幻电影《星际之门》中的场景。日前发表在国际学术期刊《德国应用化学》上的一项研究,可能让“液态门”一步步走向现实应用。

这项最新研究成果来自于厦门大学化学化工学院和物理科学与技术学院双聘教授侯旭团队,该研究首次提出了响应性“液态门”的调控机制,通过采用限域空间物理化学界面设计,建立了一种物质检测的新方法,就像铸造的一把开门钥匙,能准确迅速打开特定的“液态门”。

首次构建响应性“液态门”调控机制

在人们脑海中,“门”的概念一直是以固态的形式存在。而现实中,液体具有很强的流动性,其分子之间的相互作用比固体中的分子弱。液体分子只在很小的区域内作有规则的排列,这个区域是暂

时形成的,边界和大小会随时改变,因受到重力、离心力等的作用,液体便会很快流动,无法形成一个稳定的门。

受到液态“星际之门”的启发,侯旭教授对“门”的形态,有了更为广义的理解,并首次提出了“液态门”的调控概念。

“液态门”,即液体在多孔薄膜中毛细力作用下,稳定填充在薄膜孔道内部,形成的一种闭合状态。如果“施加”一定压力,“液态门”会迅速开启,形成孔道内壁有液体层的通路,就像吸了水的海绵,需要通过挤压才能将水排出。

据了解,表面活性剂被誉为“工业味精”,由于其亲水亲油的特性,也称双亲分子。其能使液体的界面性质发生明显变化,广泛应用于制作肥皂、洗发液、护肤品等。该团队研究发现,当引入表面活性剂为门控液体,它将不同于其他液体,为“液态门”带来极其灵敏开关作用。

研究人员进一步通过设计作为门控液体的表面活性剂,采用量子化学计算方法来得到表面活性剂双亲分子与待检测物质的最优结构和双亲分子的偶极矩,从而跳出了传统的化学检测方法,实现了简单、直观、无需耗电能的微量化学检测,就像

铸造一把开门的钥匙,能够准确迅速地打开特定的“液态门”。

无电可视化检测微量物质

近年来,微量物质检测技术一般采用光学、电学等信号的检测方法,通过专门的仪器设备对检测信号进行输出读取。由于该机理复杂,往往不是直观获得的检测结果,对光源、电源等的需求条件限制了其设备的大小;另外,一般需要专业人士进行操作,这些综合因素都会增加检测成本。

而新的“液态门”体系,能够将功能门控液体中双亲分子与待检测物质特异性相互作用导致的界面张力信息,转化为气体跨膜临界压力阈值变化信息。在检测时,该体系可动态调控通过薄膜的气体,拥有压力驱动标记物移动特性。这种直观的微量物质检测新技术,能够实现待检测物成分、浓度变化信息的无电可视化检测。

研究人员以二价金属钙离子为例,探讨了检测的灵敏度,设计了无电可视化化学检测装置。在该装置中,一端是有特定压强的腔室系统,另一端是有标记液滴的管路,并与响应性的“液态门”薄膜组合,当向“液态门”系统中注射

待检测钙离子,能够非常直观地看到标记液滴在管路里的移动。

标记液滴为什么能够移动?是什么原理?原来,在该检测体系中,双亲分子在检测物的偶极诱导作用下会发生界面性质改变,宏观上表现为表面张力的降低,进一步引起液体门控系统临界压力阈值降低,释放高压气体,推动标记液滴在管路里移动。

侯旭介绍,在实际的化学检测过程中,检测信号将通过仪器中标记液滴的移动速度、状态等来直观呈现,从而得到检测物的成分、浓度等信息,且全程无需耗电能。“该体系的灵敏度与所用膜材料的性质与孔径及双亲分子的结构与浓度有关,一般情况下,孔径越小,灵敏度越高,同时也可以通过对双亲分子的化学设计提高检测灵敏度。”他说。

侯旭告诉记者,响应性“液态门”技术的提出,突破了传统微量物质化学检测机制与应用的限制,其操作简单且可微型化使用,不仅可以应用在重金属污染物等快速便携式微量检测应用中,同时也在食品安全、环境监测、医疗诊断等领域具有广阔的应用前景。

新知

多光子共振激发 诱导里德堡态的普适机制

吕安琪 本报记者 王春

里德堡态是指原子或分子中某个电子被激发到高能级轨道的一种状态。科学家们研究发现,里德堡态原子或分子具有一些独特性质:它们对于磁场或碰撞等外界影响极端敏感,很容易与微波辐射发生作用,因此在光学物理等领域各种实验中都会涉及到它。

近期,华东师范大学精密光谱科学与技术国家重点实验室吴健教授团队在超快激光诱导里德堡态激发研究领域取得重要进展。他们利用飞秒强激光与分子相互作用产生里德堡原子,并结合电子—原子核关联能谱技术,揭示了多光子共振激发是强激光诱导里德堡态产生的普适机制。研究结果发表于最新一期《自然·通讯》上。

高激发的中性里德堡态原子之惑

超快强激光作用下,原子或分子内的束缚电子将从光场中吸收光子能量发生电离。根据激光强度的不同,电子的超快电离可以理解成多光子电离或量子隧穿机制。近年来,研究人员发现,在强激光场作用下,电子有一定的概率不被电离而被囚禁在里德堡态,形成稳定的中性里德堡原子分子。

作为产生里德堡原子分子的重要手段之一,强激光诱导里德堡态激发在中性原子加速、近阈值谐波产生、低能光子谱结构产生以及多光子拉比振荡等强场物理现象中有着重要的应用。经过不断的科学探索,研究人员提出强激光诱导里德堡态激发的物理机制与原子分子电离机制类似,可以用多光子共振激发或受控量子隧穿图像来解释。

团队成员告诉科技日报记者,2017年初,他们发现强激光场作用下产生的中性里德堡原子,能像带电粒子一样被探测到。然而,分析数据表明,中性里德堡原子的原子核能谱出现了奇怪的尖锐峰结构,这与之前研究提出的预测结果很不一样。

在这之后很长一段时间里,研究团队不断提高测量的精度和分辨率,并测试不同物理条件下里德堡态的激发过程,希望可以了解里德堡态激发背后真正的普适物理机制。在经历了数不胜数的实验以及反复讨论后,吴健教授团队最终发现,当把电子与原子核关联起来考虑时,所有问题都迎刃而解了。

电子—原子核关联效应激发新通道

基于此前发展的中性里德堡原子探测技术,吴健教授团队提出利用紫外飞秒强激光脉冲与氢气分子相互作用,开展强激光诱导里德堡态激发过程的实验探索。实验揭示了多光子共振激发为强激光诱导里德堡态产生的普适机制。

实验结果显示,里德堡态多光子共振激发时的核间距要小于发生共振增强电离时的核间距。另外,由于斯塔克位移效应的影响,发生里德堡态共振激发处的核间距大小随着激光强度的增加而变大。这一变化将影响电子与分离原子核之间的分配比,从而引起里德堡原子的能谱结构随光强的变化。当光强达到一定程度时,氢气分子双电离通道和里德堡原子激发通道的解离原子核能谱变得非常相似。

这一现象表明,多光子共振激发机制作为强激光诱导里德堡态产生的普适机制,同样可以很好地解释受控隧穿电离理论的预测结果。该项研究揭示了分子内电子—原子核关联效应在里德堡原子产生的过程中的重要性,极大深化了我们对强激光诱导里德堡态激发这一基本物理行为的认识,为强场里德堡原子分子激发的相干调控提供了新方法和新思路。

趣图

以小胜大 松鼠妈妈“逼走”白头海雕



据外媒报道,在美国缅因州林肯肯,一只松鼠上演了一场以小胜大的壮举。这只松鼠为保护自己的幼崽,始终与白头海雕保持约1米远的距离,并不断挑衅白头海雕,对它发出噪音。大约10分钟后,白头海雕忍受不了而飞走,放弃捕食松鼠。

(本版图片除标注外来源于网络)

扫一扫
欢迎关注
共享科学之美
微信公众号

