

物理学

中国科学家利用量子模拟证实“任意子”服从分数统计

1 月 23 日出版的《物理评论快报》上发表了中国科技大学潘建伟教授和他的同事陈增兵、陆朝阳等的研究论文,在国际上首次通过操纵多光子纠缠态和量子模拟方法,证实了一种存在于二维空间的奇特粒子“任意子”服从分数统计。这一研究独辟蹊径地利用量子信息技术来模拟凝聚态物理学里面的重要问题,在原理上证实了“任意子”独特的分数统计现象和拓扑性质,在量子计算的实际应用领域迈出了重要一步。

近代物理学把在处于三维空间中的基本微观粒子按照统计性质划分为两大类:玻色子和费米子;其中波函数交换对称的是玻色子(如光子),而交换反对称的则是费米子(如电子)。1977 年,挪威科学家 Leinaas 和 Myrheim 提出一个令人惊讶的理论:在二维空间可能出现介于玻色统计和费米统计之间的新的分数统计。对于这类奇异粒子,波函数对两粒子坐标交换不再局限于出现一个简单的正或负号,而是可以获得一个任意数值的统计相位。因此,美国物理学家 Wilczek 为之取名为“任意子”。

任意子的理论被提出不久,物理学家就在实验上捕捉到了它的踪迹。1982 年,美国华裔科学家、1998 年诺贝尔物理学奖得主崔琦等首先在二维电子气中发现分数量子霍尔效应;之后,国际上一些研究小组又通过一系列实验直接观测到任意子分数电荷的存在。然而,揭示任意子分数统计性质的实验难度相当大,近年来,尽管研究人员已经在分数量子霍尔效应体系获得部分验证,但是由于该系统内部错综复杂的多体相互作用,任意子的分数统计现象还是显得难以捉摸。

针对这个问题,美国密歇根大学的段路明及其合作者提出一个新的理论途径:通过构建量子纠缠态来模拟自旋格子中的任意子统计规律。这种量子模拟的手段不依赖于复杂的物理系统本身,而是利用相干操纵若干量子比特来完成,具有更好的可控制性,显示了量子信息技术的一个强大的应用。

在这个新的研究方向上,凭借多年的量子信息研究积淀,中国科学技术大学潘建伟研究小组率先开展了一系列深入的实验探索。研究人员利用六光子纠缠态作为模拟任意子激发和操纵的载体,首次清楚地揭示了一

类任意子的具有不同于普通玻色子或费米子的统计相位。审稿人评价这一工作“连接了凝聚态物理和量子计算这两个重要的领域”,“具有非常广泛的兴趣”。该小组后续的研究还将进一步探索任意子在具有容错功能的拓扑量子计算中的应用。

中国科学家刷新冷原子量子存储纪录

2 月 1 日出版的《自然》杂志子刊《自然·物理》发表了中国科学技术大学潘建伟教授及其同事赵博、陈宇翱等完成的研究成果:长寿命量子存储的实验实现。在该工作中,潘建伟研究小组与德国、奥地利的同事合作,利用对磁场不敏感的原子态来存储量子态,同时通过延长自旋波波长的实验技术,在国际上首次将单量子存储的寿命延长至毫秒量级。该实验成果将单量子存储的寿命提高了 2 个数量级,向未来基于量子中继器的远距离量子通信迈出了坚实的一步。

量子存储可以将光的量子态存储于原子系综的自旋波激发态中,是量子中继器的关键部件。由于退相干机制的存在,使得已实现的量子存储的寿命都非常短,只有 10 微秒左右,这极大地限制了量子中继器在远距离量子通信中的实际应用。通常认为,短的存储寿命是由存储量子态的自旋波在梯度磁场下退相干所造成的。潘建伟研究小组通过对量子存储退相干机制的深入研究,发现除了磁场的影响之外,原子热运动造成的自旋波的失相也是导致量子存储寿命短的一个重要因素。这一退相干机制在过去的工作中往往被忽略掉而没有引起足够的重视。基于这一发现,他们在实验中通过选择对磁场不敏感的原子“钟态”来存储量子态,同时延长自旋波激发的波长,从而将量子存储的寿命首次提高到 1 毫秒以上,相当于光可以在空气或光纤中传播超过 300 公里。审稿人评价该工作阐明并克服了一个重要的退相干机制,对光量子存储及光对物质的量子操控具有极其重要的意义。

长寿命量子存储的实验实现为各种实用化的量子信息处理开创了新的起点,对基于量子存储的线性光学量子计算和基于量子中继器的远距离量子通信具有深远的影响。在该论文发表后,诸如英国《新科学家》等多家欧美科学新闻媒体都对该成果做了专题报道。

信息来源:科技部基础研究司,科技部基础研究管理中心