



## 中国科大与国内外合作首次观测到三维量子霍尔效应

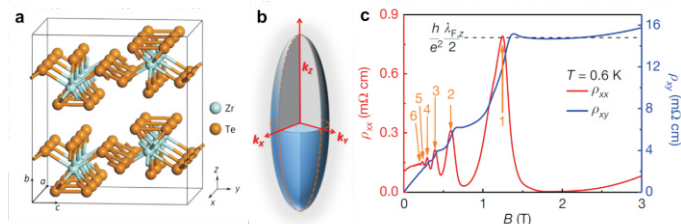
合肥微尺度物质科学国家研究中心国际功能材料量子设计中心(ICQD)和物理系的乔振华教授与南方科技大学张立源教授、新加坡科技设计大学杨声远教授、美国佛罗里达州立大学的杨昆教授、麻省理工学院的Patrick A. Lee教授和布鲁海文国家实验室的Genda Gu教授等理论与实验合作,在碲化锗( $ZrTe_5$ )块体单晶体材料中首次观测到三维量子霍尔效应的明确证据,并指出该效应可能是由于磁场下相互作用产生的电荷密度波诱导的。这一重要研究成果5月9日在线发表在国际权威学术期刊《自然》上。

无论二维还是三维量子霍尔效应,系统的体相都必须是绝缘的。对于三维体系,由于沿着磁场方向的电子运动不受磁场影响,一个初始的金属态在弱电子关联效应下是无法变成绝缘体的。而当系统进入仅有一个Landau能级被占据的量子极限区域,电子之间的关联效应大大增强,导致费米面的不稳定。其结果是形成了一种奇特的量子态—电荷密度波,即电子的密度沿着磁场方向以一定的周期振荡,整个体系转化为三维量子霍尔绝缘体。

碲化锗是一种各向异性较强的三维层状材料。碲原子和锗原子沿着x方向形成一维原子链,该原子链沿着y方向堆叠为一层,xy面内的原子层再沿着z方向堆叠成为体材料。费米面的形状尽管存在各向异性,但还是一个封闭的椭球面,所以整个体系仍为三维系统。

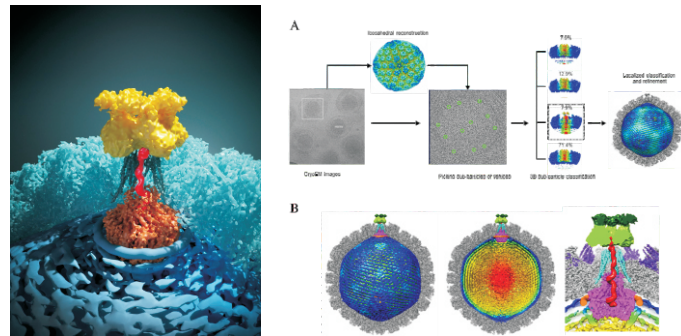
当沿着z方向施加磁场时,该研究团队在实验上观测到一系列电阻振荡。尤其重要的是,当体系进入量子极限区域时,纵向电阻为零,而霍尔电阻的数值和z方向的费米波矢相关联。这一奇特行为,与Halperin在1987年预言的三维量子霍尔效应的特征完全一致。

综上所述,这一工作终于将经历了30余年等待的三维量子霍尔效应这一预言展现于世人面前。在这个效应中,由于维度的不同,现象背后的微观物理机制也展现其新颖与诱人的方面。该发现有望为未来的凝聚态物理的发展注入新的活力。



a:  $ZrTe_5$ 的晶格结构。b: 实验测量的费米面形状。该费米面是封闭的,表征该电子体系的三维特性。c: 三维量子霍尔现象

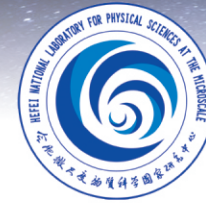
## 中国科大在揭示人类疱疹病毒的基因组包装机制方面取得重大突破



5月30日,《自然》杂志在线发表了中国科大合肥微尺度物质科学国家研究中心、生命科学学院刘云涛博士、毕国强教授与合作者的研究论文,该工作利用冷冻电镜首次解析了人类疱疹病毒基因组包装的关键机制以及病毒的DNA基因组结构,有助于预防和控制疱疹病毒引发的多种疾病,并可望改造疱疹病毒用于靶向治疗。

利用冷冻电镜解析生物大分子的原子分辨率三维结构已成常态,然而对于疱疹病毒基因组结构以及包装基因组的分子机器(即DNA通道)的结构解析仍旧需要克服诸多困难,例如:1、疱疹病毒颗粒具有巨大的直径,导致对于每个病毒颗粒来说,只有部分区域在冷冻电镜成像时能够很好地处于成像焦平面,极大限制了结构解析的分辨率。2、通常对疱疹病毒结构的解析采用正二十面体对称的重构方式来获得高分辨衣壳结构,但是DNA通道和基因组不符合二十面体对称性。3、DNA具有双螺旋对称,DNA通道蛋白大致具有十二重对称性,而病毒顶点的衣壳蛋白具有五重对称性,这种偶联的对称性不匹配极大地增加了结构解析的复杂度。为了攻克这一难题,研究人员建立了一套基于连续局部分类和对称性释放的重构方法,有效地从病毒的冷冻电镜照片中重建出DNA通道的原子分辨率结构和大部分基因组的三维结构。该研究展示了疱疹病毒完整的非对称结构,获得了第一个真核生物病毒的DNA通道原子模型,也是第一次探测到DNA在通道里的扭曲状态。审稿人评论说,“作者采用最前沿的局部分类方法对疱疹病毒结构的完美解析,堪称高分辨冷冻电镜三维重建的匠心力作。”

这是中国科大合肥微尺度国家研究中心集成影像中心的又一里程碑式研究成果。经过近十年的发展,集成影像中心率先在国内建立了完善的多尺度、多模态显微成像的技术方法与平台,并培养了多位掌握前沿交叉学科技术的青年科学家,成为集前沿显微成像技术发展与应用、人才培养和公共技术支撑为一体的创新研究与前沿技术平台。



## 超导量子计算在强关联纠缠体系的量子随机行走实验研究中取得重要进展

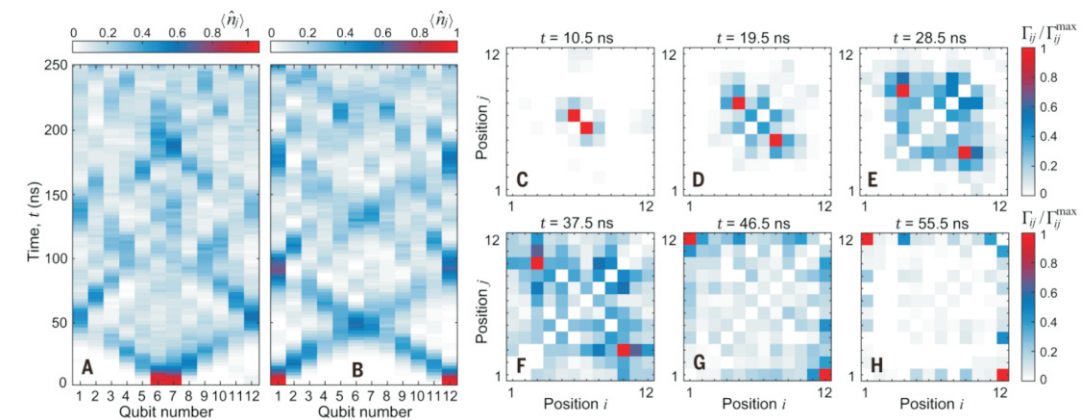
中国科学技术大学潘建伟、朱晓波和彭承志等组成的超导量子实验团队,联合中国科学院物理研究所范桁等理论小组,开创性地将超导量子比特应用到量子随机行走的研究中。该工作将对未来多体物理现象的模拟以及利用量子随机行走进行通用量子计算研究产生重要影响。这一重要研究成果于5月2日在线发表在国际权威学术期刊《科学》上。

量子随机行走是经典随机行走在量子力学中的拓展,区别于经典随机行走,量子随机行走利用量子叠加态的特性,粒子在格点中行走特性需要用量子力学的波函数统计规律来诠释。量子随机行走本身可以模拟多体物理体系的量子行为,并且理论上最终可用于通用量子计算,因而引发了高度关注。

近两年来,虽有报道IBM、Google等公司的超导量子计算研究团队分别研发了50比特及72比特的超导量子处理器,但是至今未能有完整的公开数据表明其处理器的质量,在最大纠缠比特数目这一标定多量子比特计算系统的关键指标上也没有结果发表。潘建伟教授及其同事朱晓波、陆朝阳、彭承志等人通过设计和加工了高品质的12比特一维链超导比特处理器,成功实现了12个超导量子比特的多体真纠缠态“簇态”的制备。这个新的工作打破了此前由中国科大、浙江大学、物理所联合研究组创造的10个超导量子比特纠缠的记录。尤其重要的是,中国科大小组生成纠缠的方式是由标准的量子比特门搭建而成,不同于先前的集体共振耦合,根本上具有更好的可扩展性。这一记录也是目前固态量子系统内最大的多体真纠缠比特数目,标志着中国科大自主研发的超导量子计算系统的整体性能已达到了国际最先进的水平,为下一步实现大规模随机线路采样等“量子霸权”问题和可扩展单向量子计算奠定了基础。相关成果以“编辑推荐”的形式近期发表于《物理评论快报》。

正是基于所自主研发的高质量的超导量子计算系统,研究团队首次在固态量子计算系统中实验演示了强关联纠缠体系的量子随机行走。研究团队研究了单粒子及双粒子激发下一维短程耦合的量子随机行走,观察到了高保真度的态、纠缠度及关联函数在时空光锥中的含时演化。此外,实验上首次观察到了由于边界反射及波函数干涉形成的次级纠缠波阵面的传播行为。在引入双粒子激发的情况下,实验上观测到了由时间依赖的长程反相关的强关联光子形成的费米子化行为,描绘出光子的反聚束行为。该工作首次利用人工量子比特进行光子反聚束行为的模拟,为未来利用量子随机行走进行多体物理现象的模拟以及通用量子计算研究打下了基础。

上述工作得到了科技部、中科院、国家自然科学基金委、安徽省和上海市等单位的资助。



双光子在12个量子比特中的随机行走。A、B分别展示了激发中间位置及边缘位置两个量子比特后的随机行走行为。C-H展示了随着时间演化,二阶关联与量子比特运动方向的关系,展示了强关联光子的费米子化行为。