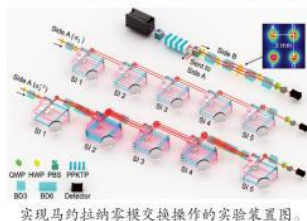


## 中国科大实现基于马约拉纳零模的琼斯多项式计算

**本报讯** 近日，郭光灿院士团队在拓扑量子计算领域取得重要进展。该团队李传锋、许金时、韩永建、孙凯等人与美国利兹大学Jannis Pachos教授合作，利用自主搭建的光量子模拟器计算了基于马约拉纳零模拓扑结构的琼斯多项式。研究团队通过模拟马约拉纳零模的编织操作，计算了不同拓扑结构的结结对应的琼斯多项式。所得的琼斯值可以实现对不同拓扑结构的区分。该成果12月5日发表在《物理评论快报》上。

琼斯多项式是拓扑的一个重要不变量，它可以被用来区分不同的拓扑结构。同时，复杂拓扑结构的琼斯多项式计算是一个#P-hard问题，使用经典算法难以求解。不过，利用马约拉纳零模这一非阿贝尔任意子系统，可以通过构建相应的编织操作来计算拓扑的琼斯多项式。已有大量的实验工作研究了马约拉纳零模的物理特性，但用于实验材料及技术的要求极高，通过编织马约拉纳零模实现特定的拓扑量子算法，仍然极具挑战性。

基于光子空间模式的量子模拟器，研究组开展了一系列模拟非阿贝尔任意子拓扑特性的



实现马约拉纳零模交换操作的实验装置图。

实验研究，先后模拟了单个Kitaev链马约拉纳零模的交换操作，探测了两条Kitaev链模型下马约拉纳零模的非阿贝尔几何相位，以及进一步推广到高维情形——仲费米子零模，研究了其编织过程对局域噪声免疫，并且保持了量子互文资源守恒。在这些工作的基础上，研究组将之前基于单光子空间模式的编码方式扩展到双光子的空间模式，利用双光子的符合计数进行编码，有效提高了可编码量子态的数量。同时，

通过引入基于Sagnac干涉仪的量子冷却装置，将之前工作中的耗散演化成功转换为非耗散演化，提升了装置对光子资源的回收利用能力，有助于实现多步骤的量子演化操作。

这些改进的实验技术极大地提升了自主研制光子量子模拟器的能力，为实验模拟三条Kitaev链模型下马约拉纳零模的编织操作奠定了坚实的基础。实验中，量子态与编织交换过程的平均保真度均在97%以上。研究组通过组合三条Kitaev链模型下马约拉纳零模不同的编织操作，模拟了五种典型的拓扑结，通过将结结对应的量子态初始量子态投影，得到了结结对应的琼斯多项式的数值解，进一步将不同结结进行区分。这对于拓扑结结频繁出现的研究领域，如统计物理、化学分子合成以及DNA复制等均具有重要启示意义。

（中国科学院量子信息重点实验室 物理学院 中国科学院量子信息和量子科技创新研究院 科研部）

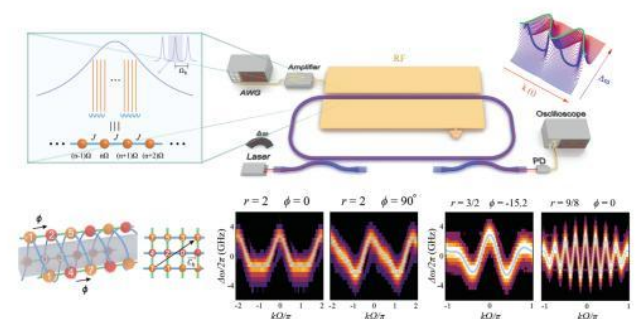
## 中国科大提出并实现面向任意长程耦合的片上频率合成维度

**本报讯** 近日，郭光灿院士团队在片上光学模拟领域取得重要进展。该团队李传锋、唐建顺等人在基于薄膜铌酸锂光芯片的频率合成维度研究中，提出将模拟的格点限制在一个腔模内的新方法并进行了实验验证，极大地降低了片上频率合成维度的频率要求。

该成果12月5日发表在《物理评论快报》上。

以光为载体的频率合成维度是近年来兴起的一种模拟手段，用于研究不易直接接触或观测的物理系统，对验证理论乃至预测物理现象具有重要意义。在许多工作中，研究者用含光电调制器的光纤环腔实现频率合成维度，其中以间隔为自由光谱范围（FSR）的模式作为格点，用光电相位调制引入格点之间的相互作用，其调制频率通常为FSR的整数倍。同时，薄膜铌酸锂芯片具有光电系数的天然条件，以及高稳定性和强可扩展性的优势，非常适合作为频率合成维度的平台。然而，光芯片上的腔长L，导致以前的方法所需的调制频率很高（10GHz或更高），对片上的调制效率以及配套的设备都提出了非常高的要求。特别是存在长程耦合时，所需的频率将进一步翻倍，极大地阻碍了片上频率合成维度的发展。

在本工作中，研究组为了缓解这一困难，提出可以通过使用远小于一个腔模宽度的调制频率（MHz量级），去选出一个限制在腔模之内的频率作为格点形成合成维度。在合理的近似下，研究组实验验证了这种方法与传统的实现方法得到的准动量空间



上方表示准动量空间能带测量示意图；右图表示模拟中链状结构的格点分布，所有的格点都被限制在一个共振峰内；下方左图表示包含长程耦合的管状结构示意图；右图表示实验测得的包含两种耦合长度的模型的能带图，其中r为两种耦合的长度比，phi表示光程规范势。

的能带完全吻合。实验结果表明，在存在8倍和倍频率耦合常数的长程耦合时，该方法将实验的频率要求降低了5个数量级以上。

本工作在极大地缓解高频对片上合成维度带来的困难的同时，也保持了传统实现方法的拓展性，能够推广应用到更高维度的模型中，在薄膜铌酸锂光芯片上实现高维和复杂的频率合成维度。审稿人高度评价该成果

“为研究光芯片上的合成维度开辟了一条新途径”。

中国科学院量子信息重点实验室博士生汪兆安、曾晓东、特任副研究员王铁韬为论文共同第一作者。

（中国科学院量子信息重点实验室 物理学院 中国科学院量子信息和量子科技创新研究院 科研部）

## 中国科大实现非接触心脏活动监测

**本报讯** 近日，陈彦教授团队在非接触心脏活动感知研究领域取得重大进展。研究团队首次发现并利用心脏机械活动谐波中的“拍频效应”这一重要物理现象，成功克服了远场条件下由呼吸运动引起的大数量级干扰。在无需任何模型训练的情况下，他们利用毫米波雷达技术实现了高精度的非接触人体心脏活动监测。这项研究成果标志着非接触心脏监测技术进入新阶段，为心血管疾病的早期预防与长期监测提供了创新解决方案。相关研究成果于12月5日发表在《自然·通讯》上。

心血管疾病是全球第一大致死疾病，每年约有1790万人因此失去生命。在我国，随着人口老龄化的加剧，心血管疾病的发病率与致死率均居世界前列。研究表明，许多早发心血管疾病可以通过及时诊断和治疗有效预防。因此，长期连续的心脏活动监测对疾病的早期发现至关重要。然而，现有心脏监测技术多为接触式测量，例如传统的心电图设备需要在体表

贴附多个电极，可穿戴设备则常基于光电容积描记法（PPG）。这些方法由于舒适性不足、对使用环境敏感等原因，难以实现长期连续的心脏活动监测，从而可能错过心血管疾病诊断和治疗的最佳时期。

近年来，毫米波雷达技术被应用于心脏活动监测，展现出非接触、便捷和高精度的潜力。然而，技术发展仍面临“呼吸谐波”这一重大挑战。由于呼吸幅度（厘米级）远大于心跳幅度（亚毫米级），呼吸谐波在心电波段产生显著的频谱泄漏，导致信号干扰严重下降，限制了心脏活动监测的精度。研究团队通过系统性分析，发现了两个重要的物理现象，从而成功破解这一难题。

首先，研究团队观察到呼吸谐波比心跳谐波衰减更快，尤其在高频段，呼吸谐波的影响显著减弱。其次，研究团队发现心跳谐波中存在“拍频效应”，即高阶心跳谐波叠加会产生与心跳周期一致的拍频特征，其频率等于相邻谐波频率之差。

基于这两大发现，研究团队创新性地将心跳特征提取频段从基频转移到高阶谐波频段（约10倍频），从而有效消除了呼吸谐波的干扰，显著提升了监测精度。在包括6222名参与者的规模医院场景和长达21个夜晚的日常生活场景中，系统取得了26.1毫秒和34.1毫秒的中位误差，充分验证了其医学应用价值。

这一研究突破为毫米波雷达在心脏活动监测领域的实际应用奠定了重要基础。在使用过程中，被测者不需要佩戴电极也不需要去除衣物，以无感的方式完成长期持续的心脏活动监测，展现出广阔的临床应用前景。

网络空间安全学院博士后张宸宸为论文第一作者，陈彦教授为论文通讯作者。马礼坤教授、孙启彬研究员、胡洋副教授、张东恒副研究员、李亚东、卢智、陈金波、王浩宇、周俊、崔玉等均为论文共同作者。学校联创企业合肥中科知信信息科技有限公司为论文合作单位。（网络空间安全学院 科研部）

## 中国科大研究团队提出过渡金属硫族化合物超晶格自组装的普适策略

**本报讯** 近日，中国科学院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和物理系中国科学院强耦合量子材料物理重点实验室汪长海教授、张汇副研究员实验团队合作开展理论计算，在过渡金属二硫化物（TMDs）研究领域取得了重要进展。他们提出了一种通用的自组装策略，成功合成了1T/1H超晶格，为多功能电子器件的开发提供了新的可能性。相关研究成果发表在《自然·通讯》上。

近年来，TMDs因其丰富的物理性质受到广泛关注。由TMDs构成的范德瓦耳斯异质结和超晶格不仅能够展现各自固体的固有特性，还通过层间相互作用产生超越单一组分的电子结构和

功能特性。然而，传统的TMD异质结和超晶格制备方法主要依赖于外延生长或二维材料的机械堆叠，这些逐层人工构建技术通常复杂且耗时，制备效率和样品质量受到限制。

研究团队提出了一种基于自组装的通用策略，成功实现了TMD超晶格的高效合成。该策略的核心在于通过调控T相和H相的形成能，使T相和H相能够自发组成1T/1H超晶格。以NbSe<sub>2</sub>/Te<sub>2</sub>为例，通过调整Te与Se的化学计量比，显著降低了T相和H相之间的形成能差异，从而促进1T与1H层的交替自组装，最终形成稳定的1T/1H超晶格。进一步研究表明，这种1T/1H超晶格保留了1T和1H层各自的电子特性，为新型电子器件和光电子器件的

开发提供了重要的材料基础。

此外，研究团队还验证了该策略的普适性。通过将NbSe<sub>2</sub>中的Nb原子替换为V或Ti原子，他们同样制备成功合成了1T/1H超晶格。这些发现为其他层状材料的高效率自组装开辟了新的途径。

合肥微尺度物质科学国家研究中心博士生罗超杰、特任副研究员曹国花、物理学院博士生王峰林为论文共同第一作者。曾长海教授、张汇副研究员、崔萍研究员为论文共同通讯作者。

（合肥微尺度物质科学国家研究中心 物理学院 中国科学院量子信息和量子科技创新研究院 科研部）

**本报讯** 近日，沈延安教授课题组在研究雾霾的物质来源和形成机制上取得重要进展。研究人员系统采集了华北不同地质时代代表性煤种的煤样品，开展了1000°C条件下煤的燃烧实验。通过对燃烧产生颗粒物中硫酸盐的高精度硫同位素分析，研究人员发现了典型的非质量硫同位素分馏现象。与现代雾霾硫酸盐的硫同位素比较分析表明，煤燃烧产生的颗粒物是华北雾霾的主要物质之一。同时，该研究还对欧洲文物、古建筑和雕像表层黑色硫酸盐壳的形成提出了新的解释，对历史遗迹保护具有重要参考意义。相关研究成果在线发表于12月10日出版的《美国科学院院刊》上。

研究人员首先对不同地质时代的煤进行燃烧实验，进而采集粒径小于2.5微米的颗粒物样品并对其中的硫酸盐组分进行高精度硫同位素测试。结果显示，煤和其燃烧产物的硫同位素组成具有显著差异；结合理论计算，研究人员发现煤燃烧产生了非质量硫同位素分馏。前人的研究表明，非质量硫同位素分馏主要出现在22亿年之前的岩石样品中，因此煤的燃烧代表了一种新的非质量硫同位素分馏机制，具有重要的理论意义。

研究人员进一步分析发现，煤燃烧产生的颗粒物与华北雾霾颗粒物中硫酸盐的硫同位素组成非常相似。前人对于华北雾霾硫酸盐的硫同位素异常存在不同认识，而煤燃烧实验结果证明煤燃烧产生的颗粒物是华北雾霾的重要物质。他们还发现，相似硫同位素的异常组成也出现在欧洲文物和雕像以及古老建筑物等表面的黑色硫酸盐壳上。20世纪60年代以来，欧洲科学家的研究证明黑色硫酸盐壳体的形成经历了复杂的物理和化学过程，其中大气污染和火山喷发均可能起到重要作用。通过硫同位素的系统分析，研究人员提出煤燃烧产物是欧洲雕像、建筑物等历史遗迹上硫酸盐壳的重要物质，这一结论与当时欧洲在工业发展过程中大量使用煤产生的大气污染历史高度一致。

该项研究结果为雾霾的物质来源和形成机制提供了新的研究思路和证据，为大气颗粒物污染防治政策的制定提供了新的科学依据，也充分体现了硫同位素在解析现代及历史环境方面的重要作用。

沈延安教授为论文第一作者和通讯作者。（地球和空间科学学院 科研部）

记者12月6日从中国科学技术大学获悉，该校曾杰、姚涛、王占东、李洪良等人合作，在氢动力发动机研究领域取得重要进展——他们提出并验证了甲烷导引的氢动力发动机构想。相关成果日前发表于国际权威学术期刊《德国应用化学》。

氢动力发动机在实现碳中和上展现了巨大潜力。然而，氢气作为发动机燃料的应用面临着如火焰传播速度低、自然燃点高、点火能量高以及燃烧极限窄等挑战。此外，在氢动力发动机应用中，有害污染物氮氧化物的排放问题也尤为严重。如何解决上述问题成为关键。

不同于以往直接燃烧氢气，在本次研究工作中，研究团队提出了一种创新的氢动力发动机构想，他们选择甲烷作为燃料，将甲烷燃烧与尾气原位处理相结合，间接实现了氢气的燃烧，既保留了氢气的零碳排放，又避免了氢气燃烧本身的缺陷。

为实现这一构想，研究团队设计了“空间解耦”和“空间耦合”两条路径。第一种“空间解耦”路径将尾气处理分两步：首先，利用负载型钨膜催化裂解氢气裂解产生氢气和氮气，氢气的转化率达到100%；然后，裂解产生的氢气与尾气中的二氧化碳反应，在负载型镍基催化剂作用下，生成甲烷，二氧化碳的转化率达到97.4%，甲烷的选择性接近100%。第二种“空间耦合”路径是将氢气和尾气中的二氧化碳直接反应，生成氮气、甲烷和水，氢气和二氧化碳的转化率分别达到80.1%和49.3%。这两种方式均实现了氢气与氮气的非接触性反应，从而避免了氮气的过度氧化生成氮氧化物。

研究人员介绍，采用该设计，可以将传统的甲烷燃料发动机改造造成氢动力发动机。基于这一设计理念，其他成熟的汽油或柴油驱动的发动机也可以通过将二氧化碳甲烷化替换为二氧化碳加氢制汽油或柴油反应，改造为氢动力发动机。

（转自新华社客户端2024年12月6日）

我国科学家提出甲烷导引的氢动力发动机构想