



他们让光子跳出霍尔舞步

国际首次！中国科大研发出新型量子模拟技术平台

■本报记者 倪思洁

5月6日，中国科学技术大学（以下简称中国科大）研究团队在京发布新成果。他们将自主研发的“光子盒”排布成阵列，在国际上首次实现了基于光子的分数量子反常霍尔态，为物理学家创造出一种研究分数量子霍尔效应的新平台。相关研究成果近日发表于《科学》。

论文通讯作者、中国科大教授潘建伟院士介绍，该成果是量子模拟技术的重要突破，将很快用于模拟量子系统，推动量子物理研究和量子计算的发展。

《科学》审稿人认为这一工作“是利用相互作用光子进行量子模拟的重大进展”。诺贝尔物理学奖得主、美国麻省理工学院教授弗朗克·维尔切克将其评价为“一个非常有前途的想法”，“向基于准粒子的量子信息处理迈出了重要一步”。

分数量子霍尔效应：量子计算走向实用的关键课题

随着量子计算发展的速度和热度不断提升，分数量子霍尔效应研究成为全球顶级实验室竞相追逐的热点。

之所以如此，是因为分数量子霍尔态可以激发出局域的准粒子。这种准粒子具有奇异的分数统计和拓扑保护性质，有望成为拓扑量子计算的载体。而拓扑量子计算有更大的容错能力，能够突破传统量子计算走向实用过程中的容错能力困境。

量子霍尔效应和量子反常霍尔效应是人类百年来一直研究的问题。

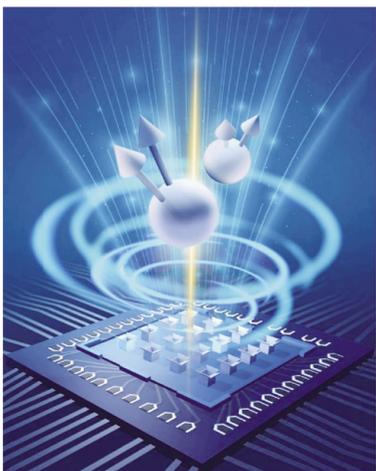
“霍尔效应”是指当电流通过置于磁场中的材料时，电子受到洛伦兹力的作用，在材料内部产生垂直于电流和磁场方向的电压。这个效应由美国科学家霍尔在1879年发现，被广泛应用于电磁感测领域。

“反常霍尔效应”则是指在没有外部磁场的情况下能观察到的类似于霍尔效应的现象。

1980年，德国科学家克劳斯·冯·克利钦发现在极低温和强磁场条件下，霍尔态的电导率曲线总是在整数位置出现一条稳定的平台。这被称为“整数量子霍尔效应”，为精确测量电阻提供了标准。1981年，美籍华裔科学家崔琦和德国科学家霍斯特·施特吕姆又发现了分数量子霍尔效应。这两项发现分别获得1985年和1998年诺贝尔物理学奖。

此后40余年间，分数量子霍尔效应研究受到了广泛关注。对分数量子霍尔态的研究，已经衍生出了拓扑、复合费米子等理论成果，并逐渐成为多体物理学的基本模型。

2013年，中国研究团队在无磁场的情况下观测到了整数量子反常霍尔态。2023年，美国和中国的研究团队分别独立在双层转角碲化铋中，观测到分数量子反常霍尔态。



16个非线性“光子盒”阵列囚禁的微波光子强相互作用形成分数量子反常霍尔态示意图。受访者供图

操控量子系统之梦：能不能“随心所欲”做研究

要研究分数量子霍尔效应，首先要制备出分数量子霍尔态。

传统的量子霍尔效应实验研究采用“自顶而下”的方式，即在特定材料的基础上，利用该材料已有的结构和性质实现制备量子霍尔态，并对量子霍尔态进行研究。

“传统‘自顶而下’的方式的优势在于可以在自然界找到相应的材料。但通常情况下，开展研究时需要极低温环境、极高的二维材料纯度度和极强的磁场，实验要求较为苛刻。此外，该方法难以对系统微观量子态进行单点独立操控和测量。”潘建伟说。

一直以来，科学家们都想走一条“自底而上”的路。毕竟，在量子计算的国际科技竞争中，谁能尽早掌握人工搭建量子系统的方法，谁就有可能以更快的速度赢得“比赛”。

“‘自顶而下’就像有一座山，我们要在山里凿洞做房子，受现实条件约束，不能随心所欲。‘自底而上’好比我们用砖块盖房子，可以按照自己的意愿来盖。”论文通讯作者、中国科大教授陆朝阳说。

潘建伟介绍，人工搭建的量子系统结构清晰、灵活可控，是一种研究复杂量子物态的新范

式。其优势在于，无需外磁场，通过变换耦合形式即可构造出等效人工规范场；通过对系统进行高精度可寻址的操控，可实现对高集成度量子系统微观性质的全面测量和可控利用。

“这类技术被称为量子模拟，是第二次量子革命的重要内容。”潘建伟说。

此前，国际上已经基于此开展了一些合成拓扑物态、研究拓扑性质的量子模拟工作。“然而，由于以往系统中耦合形式和非线性强度的限制，人们一直未能在二维晶格中为光子构建人工规范场。”陆朝阳说。

用光子模拟出量子态：全新的量子实验平台

在量子模拟技术方面，潘建伟等人选择了一条与众不同的赛道——用光子模拟电子以实现分数量子反常霍尔态。

第一步，将光子囚禁到“盒子”里。团队在国际上自主研发和命名了一种俗称“光子盒”的新型超导量子比特，将其排布为4×4的晶格阵列，并为光子提供更强的相互排斥作用，以模拟电子之间的库仑相互作用。

第二步，让光子在“光子盒”间“跳舞”。团队通过交流耦合的方式，构造出作用于光子的等效磁场，使光子绕晶格流动。“这个过程就像让光子有了一种‘记忆能力’，让它们在绕圈的过程中记住自己的路径相关信息。”陆朝阳说。

这两步是用光子模拟分子量子霍尔态的关键难题。走完这两步后，研究人员观测到了分数量子霍尔态独有的拓扑关联性质，验证了该系统的分数霍尔电导。同时，他们通过引入局域势场的方法，跟踪了准粒子的产生过程，证实了准粒子的不可压缩性质。

“人造系统具有可寻址、单点独立控制和读取，以及可编程性强的优势，为实验观测和操纵提供了新手段。”陆朝阳说。

对于这项研究，《科学》审稿人认为，这是一种新颖的局域单点控制非自底而上的途径，“有潜力为实现非阿贝尔拓扑态开辟一条新的途径，这是利用二维电子气材料传统方法很难探测到的”。

沃尔夫物理学奖获得者彼得·佐勒评价：“这在科学和技术上都是一项杰出的成就……实现这样的目标是多年来全球顶级实验室竞争的量子模拟的‘圣杯’之一。”

潘建伟表示，下一步，团队一方面将研制专用量子模拟机，用可控的方式构建分数量子霍尔态，以理解分数量子霍尔效应；另一方面，将在未来一两年内用分数量子霍尔态激发出准粒子，并探索研制具有更高容错能力的拓扑量子计算机。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1126/science.ad03912>

神经形态人工触角实现“蚂蚁级”感知

本报讯（记者陈彬 通讯员郝芸）南开大学教授徐文涛团队成功研制出一种神经形态人工触角系统，实现了类似蚂蚁触角传入神经的触觉感知和磁场感知功能。相关研究成果近日发表于《自然-通讯》。

触角是昆虫的主要感觉器官，能够精准感知微小振动、磁场方位、重力方向或化学刺激，其感知灵敏度可与人类皮肤相媲美，甚至在一些特殊功能上超过人类皮肤。然而，相比于模拟哺乳动物的感觉器官，如何模拟昆虫触角这一高灵敏、多功能的“探测器”，一直是仿生电子领域的难题。

徐文涛团队受昆虫触角感觉器官的结构与功能启发而研制出的神经形态人工触角系统，模仿了蚂蚁触角传入神经的形态结构、编码策略和感知功能。该系统采用具备三维柔性结构的电子触角传感器，实现了对振动、形变和磁场的高灵敏检测，并利用吸附二维纳米片的柔性人工突触器件实现了对传感信息的类神经处理。传感器阵列和突触器件阵列的连接方式模拟了生物感受器和感觉神经元的架构，传感信号的编码方式模仿了生物机械感受器的脉冲编码策略，最终在神经形态硬件中实现了传感信号时空特征的识别。

实验结果表明，神经形态人工触角系统不仅能高效率、低功耗地处理传感数据，还可高灵敏地感知压力、纹理和磁场。搭载于移动机器人或交互式设备，该系统在轮廓识别、纹理识别、材质分类、磁场导航、非接触交互等多种任务中，均表现出接近或超越人类感知能力的性能。

上述研究成果有望增强人类感知世界以及与外界交互的能力，对于先进机器人、增强现实、智能交互、柔性电子等领域的发展具有重要意义。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s41467-024-46393-7>

中国科学院院士朱彤：

修订空气中PM_{2.5}浓度标准将持续改善公众健康

本报讯（记者赵广立）“尽管过去10年间我国空气质量改善显著，但仍是全球大气颗粒物（PM_{2.5}）浓度水平较高的国家之一。”近日，中国科学院院士、北京大学教授朱彤在2024中关村平行论坛“创新驱动助力绿色发展论坛”上的主旨演讲中表示，适时启动空气质量标准修订，加强标准的引领和驱动作用，将有助于持续改善空气质量与公众健康。

在会后接受《中国科学报》专访时，朱彤表示，我国空气质量标准修订——尤其是调整PM_{2.5}的浓度标准已“箭在弦上”。

据悉，我国首次将PM_{2.5}的浓度限值纳入环境空气质量标准体系始于2012年。彼时，我国将PM_{2.5}的浓度限值设置为年平均浓度不高于35微克每立方米，对应的《环境空气质量标准》

（GB 3095-2012）于2016年1月1日开始实施。据了解，该标准是参照世界卫生组织2005年颁布的全球空气质量指导值最宽松的PM_{2.5}过渡目标-1制定的。

相较而言，欧美发达国家设置的PM_{2.5}浓度限值更低。2024年美国国家环境保护局宣布，将其PM_{2.5}年均浓度一级标准由12微克每立方米更新为9微克每立方米。

朱彤指出，全球致死风险因素中，空气污染（环境颗粒物污染）高居第四位，仅次于高血压、吸烟等。这意味着，空气质量持续改善将会更大程度保护公众健康。

他表示，进入新时期，大气污染治理已迈入新阶段。一方面，世界卫生组织于2021年修订并提高了空气质量指导值；另一方面，“双碳”目

标的设立也为中国的环境保护工作提出了更严的目标和更高的要求。

调整空气质量标准须科学依据系统评价健康风险和成本效益。朱彤告诉《中国科学报》，从政府决策的角度来看，一个标准的修订会带来系统措施和全面的社会影响，必须综合各类因素来研判修订的必要性。

“不过，比较确定的是，实现了这样的目标以后，它所能带来的健康效益一定会远高于我们的投入资源和成本。”朱彤告诉记者，从更积极的层面来说，更严格的空气质量标准也会为那些清洁、高效的绿色产品和产业提供更广阔的发展空间。

“要尽早把中国环境空气质量标准的修订纳入日程，使我们降碳减污的行动更有指导性，并带来更加优质先进的绿色发展路径。”朱彤表示。

播撒科学种子的“沙爷爷”

■本报见习记者 孙丹宁 通讯员 陈思

参与研制第一台化学激光管、第一台化学激光器，在国际上第一次进行激光支持爆震波等离子体的屏蔽效应研究……提起中国科学院院士、中国科学院大连化学物理研究所（以下简称大连化物所）研究员沙国河，熟悉的人总会想到这一连串的“第一”。

沙国河是物理化学家，在化学激光器研究，特别是激光化学基础研究领域，用六十余载光阴，作出了系统性、创造性的贡献。

同时，他还是孩子们亲切的“沙爷爷”。年近七旬时，沙国河翻开了人生新篇章。“让中国的科技力量强大起来，是我成长过程中逐渐明晰的梦想，相信也是全体科技工作者的梦想。现在，这一梦想需要传承，让娃娃爱科学、学科学，就是我的中国梦。”

2024年5月7日，是沙国河90岁生日，他的梦想依旧没有改变。他坚信，只要播撒科学的种子，就能长出参天大树……



沙国河自制科普实验教具。大连化物所供图

从“书迷”到军人

1934年5月7日，沙国河出生在四川成都，自小就展现出非凡的才智。

5岁多，沙国河就被父母送入当地知名学府四川树德中学附小，随后他又就读于成都石室中学。这两所学校都有着深厚的文化底蕴和严谨的学风。在这样的氛围中，沙国河对阅读产生了浓厚的兴趣，不仅认真钻研课本知识，更热衷于科普读物，常常废寝忘食地沉浸其中。

随着年龄增长，沙国河逐渐明确了自己的志向——用科学知识为国家贡献力量。

1950年，为抗美援朝、保家卫国，国家急需有志青年参军报国。正在读高二且成绩优异的沙国河深思熟虑后，做出了一个勇敢的决定——弃笔从戎。尽管亲朋好友多对他的选择感到惋惜并纷纷劝阻，但沙国河坚定地表示：“现在国家需要年轻人参军报国，如果每个人都觉得不自己这一个，那国家还怎么保卫？我还年轻，等国家安全了再上大学也不迟！”

1950年11月，年仅16岁的沙国河成为中国人民解放军第八步兵学校的一名士兵。凭借坚定的意志和刻苦的训练态度，加上较高的文化素养，沙国河很快便被提拔为排长。

在部队的这段时间，沙国河受到了革命军人优良品格的熏陶。他深刻地认识到，“无论何时何地，个人都应该将国家的需要放在第一位；只有将个人利益与国家需要紧密结合起来，才能实现真正的价值。”这也成为他此后人生选择的重要“航标”。

为国家需求多次“转向”

1952年，部队首长了解到沙国河弃笔从戎的经历，将他保送到北京石油学院深造。

1957年，沙国河以优异的成绩完成学业，



珍稀夏蜡梅盛开

5月5日，北京国家植物园珍稀濒危植物区夏蜡梅盛开。

夏蜡梅是蜡梅科植物，是中国独有的珍稀花卉，属国家二级珍稀濒危保护植物。夏蜡梅在春末夏初时节开放，花朵比冬日的蜡梅要大得多，花瓣呈白色或浅粉色，边缘为紫红色，花蕊为黄色，花形优美似荷花，因此也被称为“陆地上的荷花”。

图为盛开的夏蜡梅。
图片来源：视觉中国

诺奖得主论文因数据问题面临审查



本报讯 据《科学》报道，诺贝尔生理学或医学奖得主、神经科学家Thomas Südhof合著的几篇论文正在接受审查，因为线上评论者对论文提出质疑，认为存在数据重复、图像差异等问题。

在过去一年里，一些期刊更正了同行评审平台PubPeer标记的Südhof合著的5篇论文，并撤回了另一篇论文。这些期刊准备更正至少3篇他参与的论文。此外，他还有8篇论文正在接受调查。

现任职于美国斯坦福大学的Südhof否认有任何不当行为，并表示，其团队的工作受到了“致力于在社交媒体和博客上揭露知名科学家错误的人的无情审查”。

美国范德比尔特大学医学中心神经学家Matthew Schrag曾调查了几起科学不端案件。他说，Südhof在讨论这些错误时表现得异常开放和坦率。Schrag补充道，Südhof合著的数百篇论文中，许多论文包含大量数据，难免会出现错误。

而职业学术打假人Elisabeth Bik对一些论文感到担忧。自2022年中以来，包括Bik在

内的PubPeer评论者已经标记了Südhof的30多篇论文，这些论文探讨了神经元如何通过突触进行交流。这些论文与Südhof获得诺贝尔生理学或医学奖的研究无关。

作为回应，Südhof及其团队成员发布了原始数据和高分辨率图像，并对相关工作做出了解释。他还在自己的网站上专门开设了一个页面，详细驳斥了这些指控，并列出了实验室遵守的诚信程序。Südhof表示，大多数指控都是没有根据的，在评论者发现的15篇有错误的论文中，除了一个错误对论文的结论有影响之外，其他都是“复制粘贴”导致的错误。

今年3月，美国《国家科学院院刊》撤回了2023年Südhof关于一种名为neurexin-2的蛋白质在突触形成中的作用的论文，因为研究人员无法解释原始数据和已发表数据之间的差异。荷兰实验物理学家Maarten van Kampen是最早标记这篇论文的研究者之一。他表示：“我的观点是这篇论文是建立在捏造的数据之上的。”

Südhof说，虽然文章中的一些分析“执行不当”，但仍有“大量数据支持这些结论”。对于PubPeer及其实验室网站上的评论，Südhof认为，许多复制粘贴错误是肉眼看不出来的，只有通过人工智能软件才会被识别。他说，大多数错误复制的图像都是为了描述几乎相同的控制条件，而那些复制不会影响论文结论。（李木子）