

# 30位年轻人组成“漫威”小队，攻克世界物理难题

■本报实习生 朱阳慧 记者 倪思洁

2025年国庆假期，中国科学院大学（以下简称国科大）副校长郑阳恒教授的院子里，传出一阵阵笑声。

一个熟透的柿子毫无预兆地砸在博士生易涤凡的头上，汁水溅了一身。大家愣了几秒钟，随即哄笑。有人打趣道：“涤凡，你这是要有好‘柿’发生呀。”

晚上回到宿舍，易涤凡打开电脑，一封来自《自然》的邮件出现在收件箱里——团队关于首次直接观测到米格达尔效应的论文，被接收了。

这一刻，距离苏联物理学家米格达尔提出那个惊人构想，已经过去了整整86年。

近日，这项由国科大牵头，联合多所高校团队协同攻关的科研成果正式刊发。

郑阳恒欣慰极了：“这是一群聪明的孩子，带着老师做出来的成果。”

“没人看到过，我们能不能去看看呢？”

“这个成果，其实是我们‘沿途下蛋’，‘下’出一个超出预期的蛋。”郑阳恒说。

故事的起点要回到2021年。当时团队正推进一项中微子实验，为排除干扰，他们需要列出一份可能冒充中微子信号的“假信号清单”。

米格达尔效应这个1938年提出的古老预言，就在这份“待排除”清单上。理论认为，当一个原子核突然受到撞击而发生反冲时，由于运动得太快，核外的电子云往往“反应不过来”，这种滞后会导致电子有概率被瞬间“甩”出去。

在物理学界，它像一个游荡了80多年的“幽灵”。理论上它应该存在，但现实中由于太微弱、太罕见，从未有人真正目睹过那一瞬间。

“假信号排除的结论让人松了一口气，米格达尔效应不会成为中微子实验的障碍。”国科大教授刘倩回忆，但那次顺手排查激起了大家的好奇心。“理论告诉人们它在那里，但长什么样，没人看到过，我们能不能去看看呢？”

要让这一效应显形，关键是把极微弱的电子信号从复杂背景中分离出来。团队调研发现，多年来，全球多个顶尖实验室曾尝试捕捉它。例如，

此前英国团队尝试用光学成像的办法让这一效应显形，即利用粒子撞击气体发光，再用工业相机“拍”下来，但都折戟沉沙。

“英国团队用来捕捉米格达尔效应的办法，代价巨大。”刘倩解释，为了让光足够亮，必须使用极高压的纯四氟化碳气体，它就像实验室里一个脾气暴躁的巨兽，动辄放电、打火，实验环境极不稳定。

刘倩和易涤凡想到了另一条实验思路：放弃光学成像，转而利用电子成像，让电子信号在精密像素读出芯片上直接留下痕迹。

不过，这条思路的实验难度依然不小。它不仅要求实验团队能激发这一效应，还要有足够的“眼睛”识别这一效应。正因如此，他们的实验思路一直处在于设想阶段。

转机出现在华中师范大学（以下简称华中师大）举办的一场学术年会上。当时，刘倩带着易涤凡参会，并在报告中提出了他们的设想和实验思路。讨论越深入，一群人越激动。掌握着核心芯片的华中师大团队、在相关探测器方向积累多年的广西大学团队，都对这一话题很感兴趣。

会议结束后，大家一拍即合，说干就干：“既然基础条件有了，不如就把它做了。”

## “漫威”小队集结

他们要做的这项实验，有个拗口的名字——“利用中子散射对米格达尔过程进行实验验证”。很快，这些年轻人在实验英文名称的字里行间，看到了一个熟悉又让他们兴奋的词——“M-A-R-V-E-L”。于是，“Marvel”（漫威）这个带点英雄气的名词就成了团队的代号。

在设计实验时，随着问题出现，难度增加，“漫威”小队逐渐壮大起来。“我们遇到什么困难，就去找熟悉的相关领域专家解决。每卡住一次，就多一位‘英雄’补位。”易涤凡说。

“漫威”宇宙里的英雄各展所长，我们小队里的每个人也都是独当一面的小战士。”刘倩打趣道。

为了让“幽灵”现身，“漫威”小队需要用一把



“漫威”小队在兰州做实验。 受访者供图

高效的“锤子”——中子，敲出原子核的反冲。于是，拥有中子源平台的兰州大学团队加入进来，国科大博士生苏晨光也利用相关实验经验补上关键一环，主要承担中子束流条件的测量与标定工作。

为了看清“幽灵”的长相，“漫威”小队需要一双极其敏锐的“眼睛”。广西大学团队在气体像素探测器领域深耕多年，相关技术从2015年前后就开始积累与迭代，已经有很高的灵敏度。之后，易涤凡继续升级优化和建模，把探测器调成更适合实验的状态，变成一台可用的“照相机”。

“眼睛”需要“极清视野”。这是华中师大硅像素实验室的拿手绝活儿。他们研发的第二代顶层金属结构像素探测器芯片，能够捕捉极微弱的电子学痕迹。“之前国外团队没走这条路，很大程度上也是因为没有这样的芯片。”刘倩说。

要抓捕“幽灵”的身影，团队还需要全链条模拟。刘倩请来的已经从国科大毕业的博士王瑞廷，带着易涤凡开发X射线偏振探测器的全模拟软件，“跑通”了从各种粒子进入探测器，一直到最后输出图像的全过程。

此外，实验还需要理论对照。此时，南京师范大学和烟台大学的成员加入，负责对米格达尔信

号及背景进行理论计算与分析，为实验结果提供物理“标尺”。

最终，一个跨越6所高校、30位成员的“漫威”小队集结完毕，实验也随之准备就绪。

## 80多张底片筛选出6个事例

实验的主战场选在了兰州大学的中子源平台。团队计划先在平台上把“锤子”和“相机”摆到位，中子束流负责“敲”出核反冲，气体像素探测器负责把微弱径迹“拍”下来。

对“漫威”小队来说，正式取数之前有一场必须先做的预实验，探测器系统能不能在真实束流环境下稳定工作，现场的本底水平、束流情况和屏蔽条件，都要先摸清楚。“第一次不好，就没有后面了，开头最难。”易涤凡说。

然而，米格达尔效应此前从未被直接观测到，没人能拍胸脯保证它一定会如期而至。正因如此，当中子源单位问团队“要取多长时间的数据”时，他们一开始给出不确定答案。负责前期间研的左杰坦言：“这意味着实验一开始就缺少参考标准，像在黑暗中摸索。”

更现实的压力来自时间。中子源平台任务繁重，团队第一次只借到3天束流的空闲时段来做事。他们必须在有限的窗口期里尽快判断数据质量，把分析链路“跑”起来、提供能否继续取数的决策依据。

于是，在兰州的冷夜里，“漫威”小队几乎通宵达旦：一边做实验，一边改程序；一边出数据，一边迭代筛选条件……

好在，第一次上平台的结果令人惊喜。中子束流打开，七八个人挤在不到10平方米的监控室里盯着屏幕。屏幕上图像一帧帧刷新，跳出清晰的离子径迹、电子径迹。“那一瞬间，大家欢呼起来，我们知道‘照相机’的性能达标了。”易涤凡回忆道。

接下来，“漫威”小队的任务是累积足够的数据。2024年3月和7月，他们又分别两次奔赴兰州，累计取数约150小时，“照相机”拍下了80多张数字底片。此时，令“漫威”小队苦恼的是：

“哪个才是苦苦寻找的米格达尔径迹？”

刘倩把这种工作比作老一辈粒子物理学家在“看核乳胶”——那时候的照片要打印出来，一张一张地打，圈出可能有价值的粒子径迹，枯燥而耗时。但在数字化时代，这种“人肉搜索”效率太低。

就在此时，郑阳恒给小队成员提了个醒：“能不能用人工智能做径迹筛选？”他随后把一篇相关的前沿文章发到“漫威”小队的微信群。讨论很快落地，他们要自己做一套基于人工智能的径迹筛选算法。

当时还在读大三的余运林晨被委以重任——做人工智能的物理老师。他和同学先用肉眼从海量图中“盯”出了8400个样本，精细标注出什么是“信号”、什么是“噪声”，手把手教会人工智能识别微观世界的“猫和狗”。另一名“漫威”小队成员孔令全，在大二进组，从零开始自学模拟软件，为数据分析提供了关键支撑。

“我们后来发现的那6个事例，就是从80多张底片里一点点筛选出来的。”易涤凡说，“先根据能量、边界等基本条件筛选，再通过人工智能筛选，然后通过重建算法筛选，最后留下6个候选事例。”

这6个候选事例，就是“漫威”小队成功“捕捉”的米格达尔效应留下的6处踪迹。

看着这群忙得热火朝天的年轻人，郑阳恒欣慰极了：“他们敢于挑战，我们很骄傲。捕捉到米格达尔效应，意味着人类在‘宇宙寻宝游戏’中又向前迈进了一大步。”

郑阳恒介绍，团队正计划将此次实验结果融入下一代探测器的研发中，将这把“钥匙”真正用于寻找那深藏在黑暗中的暗物质。

路很长，“漫威”小队的下一步很具体：让探测器有更高的稳定性、更强读出能力，给探寻暗物质的最大规模的科学研究打下基石。

收到那封被“柿子砸中”的接收信后，2025年10月3日，易涤凡发了一条朋友圈：“感谢各位经验丰富的老师的全力支持，感谢优秀的师兄师姐和学弟的默契配合，感谢合作组成员的团结合作……”最后，他还感谢了“这个有趣的世界”。

## 发现·进展

中国农业科学院麻类研究所

### 汉麻纤维升级 绿色“抗菌小能手”

本报讯（记者李晨 通讯员廖勇凤）中国农业科学院麻类研究所南方特色作物遗传育种创新团队对汉麻纤维进行功能化改性，开发出全绿色、低能耗工艺，将汉麻纤维转化为兼具高效抗菌性与环境友好性的多功能材料。近日，相关研究成果发表于《工业作物与产品》。

汉麻纤维作为天然可再生资源，是纺织、复合材料和生物医学领域的“明星材料”。但它天然抗菌性差，以往的高分子改性方法会破坏机械性能，限制其在一些场景中的大规模应用。

科研团队利用序贯法，先让汉麻与单宁酸反应，靠氢键、静电吸引等作用形成稳定的中间产物，再引入铜离子形成螯合物，牢牢锚定在纤维上。整个过程不用高污染、高能耗的溶剂，设备要求低，还能直接对接现有生产线。

升级后的汉麻纤维堪称“抗菌小能手”，对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌的抑菌率超过99%。它靠单宁酸的物理屏障和铜离子的氧化应激效应形成“双重防线”，还能解决单一抗菌剂的耐药问题。值得一提的是，其机械性能未受影响，耐洗性大幅提升，经过50次标准洗涤，抗菌效果仍能保留93%以上。这种新材料生物相容性好，既能做成抗菌纺织品，又能用于伤口敷料等医疗产品，实现了跨领域应用。

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.122576>

中国科学院青岛生物能源与过程研究所等

### 揭示白酒酿造菌群 原位“代谢接力”机制

本报讯（记者廖洋 通讯员张建鑫、杨绪彤）中国科学院青岛生物能源与过程研究所研究员荆晓艳团队联合江南大学教授徐岩团队、副研究员张丽杰课题组，基于拉曼微流单细胞分选仪，揭示了白酒酿造菌群原位“代谢接力”机制。近日，相关成果发表于《生物资源技术》。

长期以来，白酒、食品及生物制造等泛发酵工业普遍面临微生物群落结构复杂、发酵环境条件严苛等问题。传统多组学技术虽然能够描绘发酵体系中的微生物“组成图谱”，但在高温等极端条件下，对于哪些微生物仍保持活性并真正参与发酵过程，始终缺乏有效判别手段。

研究团队首先开发了适配高温大曲的群落稳定同位素示踪-拉曼光谱鉴定及单细胞分选技术，对高温大曲发酵过程中酵母菌的原位活性状态及代谢活力进行了准确定量和精准分选。结果显示，在高温胁迫下，仅约10%~32%的酵母物种仍保持代谢活力。

研究还发现，高温大曲发酵并非由单一微生物主导，而是多种酵母在不同阶段接力协作的结果。在中温阶段，拟酵母-酵母与异常威克汉姆酵母主要负责底物降解与风味前体合成；当温度升至45℃以上，耐热能力更强的库德里阿兹威华赤酵母保持高活性。这种各具动态特征、明确分工、步步接力的协作模式，有助于维持高温发酵体系在极端条件下的整体稳定性。基因组与进化分析进一步揭示了库德里阿兹威华赤酵母在高温环境中保持活性的适应性进化机制。

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1016/j.biotech.2025.133803>



1月30日，广东湛江海事部门对琼州海峡新能源车辆专用运输船“绿源六号”平板货轮进行了投用前的“体检”。

“绿源六号”轮总长117.12米，总吨位5082吨，预计单航次可装载标准小汽车155辆。该船投入使用后，将进一步增强春运期间新能源车辆的过海运力保障。图为“绿源六号”轮。

本报记者朱汉斌报道 曾旭豪/摄

## 香菜为何有肥皂味？他们揭示人类嗅觉识别新机制

■本报见习记者 江庆龄

嗅觉是生物感知外界化学环境最古老且

最精细的感官功能之一，在觅食、避险、社会交流和行为调控中发挥了基础性作用。

嗅觉受体是嗅觉的分子基础，也是数量最多的一类G蛋白偶联受体（GPCR）。据估计，人类基因组中约有400种功能性嗅觉受体。这些嗅觉受体通过“一个神经元表达一种受体”及组合编码机制，使得人们能够通过嗅觉识别成千上万种结构各异的气味分子。

上海科技大学iHuman研究所、生命科学与技术学院教授刘志杰团队联合副教授华甜、赵素文及教授李雯等团队，揭示了一种全新的嗅觉识别机制。他们巧妙使用“共识序列+反向突变”的迂回策略，成功解析了人类嗅觉受体的天然序列特征，难以阐明特定嗅觉受体在配体选择中的“个性化”分子机制。

OR6A2是II类嗅觉受体的代表，能够特

异性和部分人群对香菜产生“肥皂味”感知的遗传差异密切相关。更重要的是，OR6A2在巨噬细胞等非嗅觉组织中也有表达，并参与调控炎症反应，与动脉粥样硬化等疾病的发生发展密切相关。

刘志杰表示：“因此，阐明OR6A2的精细结构及特异性激活机制，对理解嗅觉感知及开发炎症相关疾病干预策略具有双重意义。”

要实现这个目标，必须创新研究方法。研究团队在“共识序列”策略的基础上，创新提出“共识序列+反向突变”的迂回策略。

具体而言，研究团队首先解析了OR6A2家族的共识序列consOR6的结构，并系统分析了配体结合口袋；随后通过理性设计，构建出兼具结构稳定性与野生型配体识别能力的

OR6A2变体bmOR6A2；再进一步解析了bmOR6A2分别与3种天然醛类配体、嗅觉特异性G蛋白G<sub>αi</sub>形成的复合物结构，最高分辨率达2.5埃。

据此，团队实现了对嗅觉受体-配体-G蛋白相互作用的原子级刻画。

### 揭示全新嗅觉识别机制

基于解析得到的高分辨率三维结构，研究团队发现并验证，醛类配体的醛基可通过席夫碱与受体结合口袋中的赖氨酸残基K157<sup>aa</sup>，形成可逆的共价键。

“这也是此项工作的核心发现。”华甜补充道。这种通过共价键识别配体分子的方式此前仅在视觉系统中报道过，在其他GPCR家族中尚属首次发现，揭示了一种全新的气味分子识别机制。

研究团队通过结构比较、分子动力学模拟及功能实验，进一步鉴定出一个在II类嗅觉受体中高度保守、对激活至关重要的相互作用三联体。

气味分子与受体结合后，通过稳定该三联体的氢键网络，直接驱动TM6螺旋发生构象变化，促进G蛋白结合并触发下游信号通路。

“这表明，与许多经典非嗅觉GPCR相比，嗅觉受体可能采用了一种更为简洁而高效的激活机制。这或许是其能够在极短时间内灵敏响应复杂气味信号的结构基础。”华甜解释说。此外，研究还揭示了不同链长、构象

的醛类分子激活OR6A2效力差异的分子基础，为后续基于结构的理性分子设计提供了明确方向。

### 结构解析的多层价值

值得一提的是，这也是刘志杰、华甜团队继2022年发表首个个人类苦味受体TAS2R46以来，在化学感知受体分子机制领域取得的又一重要突破，具有多重意义。

在基础研究方面，研究团队首次在原子水平揭示了嗅觉受体通过可逆共价键识别气味分子的机制，为理解复杂嗅觉感知体系提供了关键结构依据。

在疾病研究层面，OR6A2在巨噬细胞等免疫细胞中的表达及在炎症调控中的作用，使其成为潜在的疾病干预靶点。该高分辨率受体结构为靶向动脉粥样硬化等炎症相关疾病的药物研发奠定了重要理论基础。

在方法学层面，研究提出的“共识序列+反向突变”策略，为破解表达、构象不稳定的嗅觉受体及其他感知类GPCR的结构解析难题，提供了可推广的技术范式。

“对嗅觉受体配体识别与激活机制的深入理解，为基于结构性设计新型香料和风味分子提供了理论支撑，具有潜在的产业应用前景。”刘志杰说。