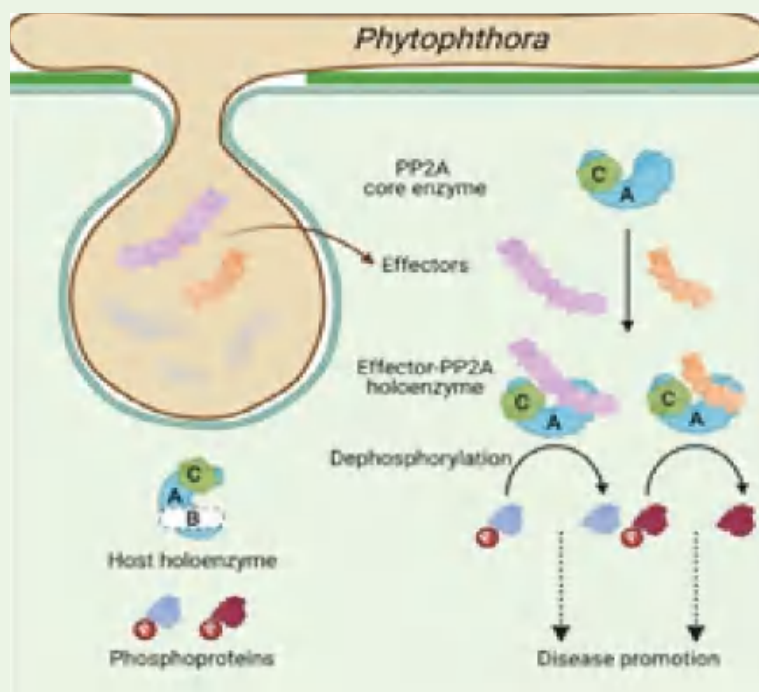


B类先导动态季报

Quarterly Report of B Programme

2023
第二期

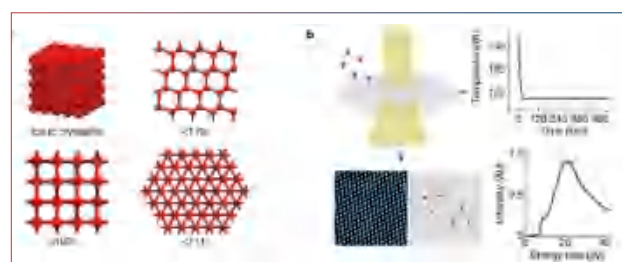


本期要目

发现一种病原微生物逃逸植物免疫新机制

祝宁华：光电融合集成与调控技术

原位电镜确认立方冰



重点推荐

Recommend

¹⁰Be 研究揭示地球轨道偏心率对地磁场和亚洲季风变化的影响

一种具有低延迟、高非线性和高开态电流密度的自选通阻变存储器

用应力调控过渡金属硫属化合物的拓扑表面态及其朗道量子化

超导量子计算实现黑洞弯曲时空和霍金辐射模拟

鲟鱼保护研究取得新进展

蛇类起源及表型演化的遗传机制研究

CONTENTS

目录

■ 大师视角

祝宁华：光电融合集成与调控技术	01
-----------------	----

■ 亮点成果

利用胚胎干细胞建立非人灵长类胚胎模型	05
解析小鼠单神经元树突形态和轴突投射的关系	05
超导量子计算实现黑洞弯曲时空和霍金辐射模拟	06
激子拓扑序的实验观测	07
研究揭示黔金丝猴杂交起源	07
蛇类起源及表型演化的遗传机制研究	08
寒冷适应促进亚洲叶猴社会系统的演化	09
鲟鱼保护研究取得新进展	10
揭示植物平衡生长和盐胁迫响应的分子机制	11
揭示植物侧生器官发育和多样化机制	11
用应力调控过渡金属硫属化合物的拓扑表面态及其朗道量子化	12
^{10}Be 研究揭示地球轨道偏心率对地磁场和亚洲季风变化的影响	13
青藏高原地形强迫对春季东亚云量和大气辐射收支的影响	14
极端太阳高能粒子事件对火星不同地点的辐射影响	15
利用天问一号磁强计自主探测数据开展日冕物质抛射识别和演化研究	15
揭示了印尼贯穿流水体在印度洋完整的三维流动路径	16
基于人工智能技术的可解释性构建了 ENSO 预报模型	17
激光调控硅上 In 量子线相变的机理	18
等离激元异质体系近红外区光谱拓宽	19
发现自旋调控新机理	20
一种具有低延迟、高非线性和高开态电流密度的自选通阻变存储器	20
中红外频段的反向切伦科夫辐射	21
多孔石墨烯覆盖层促进二维材料层下限域光电催化产氧	21

超快超填充构造金属人工界面实现锌电超长循环	22
原位电镜确认立方冰	23
高压制备具有最大结构畸变的 d^3 电子材料及其位移型铁电极化	23
非厄米多带系统中例外简并的非阿贝尔拓扑	24
发现大脑健康衰老向阿尔茨海默病演变的生物标记物	25
补体抑制蛋白调控大脑抑制性突触传递新机制	26
聚焦中国营养研究	26
开发新型高通量单细胞多组学技术	27
揭示 GSDMB 膜打孔介导细胞焦亡的结构基础和调控机制	28
发现一种病原微生物逃逸植物免疫新机制精准光电联用系统	29

专项管理

中印尼海洋牧场项目年会顺利召开	30
-----------------	----

国际动态

迄今最清晰鼠脑图像发布	32
迄今最高清火星“肖像”绘出	33
首个果蝇细胞衰老图谱公布，揭示体内不同细胞如何老化	33
运动纤毛轴丝的完整原子结构并辅助纤毛病临床诊治	34

大师视角



祝宁华
中国科学院院士
中国科学院 B 类先导专项“光电融合与调控前沿研究”
首席科学家

光电融合集成与调控技术

光电子与微电子融合集成将促使计算、通信与传感技术实现史无前例的高性能，将使得光电子芯片具备类似集成电路的无所不在的影响力，光电子与微电子融合集成是下一代光电集成芯片发展的必然趋势。然而，要实现真正意义单片上光电融合，促进光电信息产业的进一步发展，还有诸多重大科学技术问题尚待解决。

首先基于单片集成的光电协

同调控与高效、高速转换的机理有待深入研究。从微观角度对光子、电子与声子相互作用机理的深入研究，是设计高效光电融合器件的理论基础。同时光子和电子又具有波动特性，研究微纳尺度下的光场电场相互作用机理，可突破传统光电器件尺寸及性能极限，符合下一代光电器件高密度集成的发展趋势。其次，光电材料的能带裁剪与调控需要新的技术支撑，开发全新的硅基发光技术，是促进光电子与微电子两

大产业融通的关键。此外，光电信号的片上高效耦合和多维光场的精细调控是实现器件层面高速率、窄线宽、大功率输出的关键。

为了提出半导体芯片后摩尔时代中国式解决方案、建立国际光电融合芯片研究高地和科学高峰，中国科学院发挥自身优势，于 2020 年前瞻性部署了 B 类战略性先导科技专项“光电融合与调控前沿研究”。该专项的总体目标是“破解间接带隙半导体硅材料的高效发光世界难题，研制单片集成硅基激光器；建立从零维到三维半导体材料融合集成结构物理模型；实现高速率、高功率和窄线宽激光器技术根本性突破”。专项以“揭示光子、电子与声子，光场与电场之间的相互作用机理；构建多维度下多场相互作用机制，建立微纳尺度下光电融合集成结构物理模型；研究异质异构体系高效发光机理，为硅基及 III - V 族高性能激光材料与器件研制提供支撑；突破噪声抑制、线宽压窄、功率放大、高速调制等多维特性调控的实现机制”的重大理论和核心器件产出为主导，最终研制实现通信速率不低于 40 Gbps 的空间高速激光通信

系统收发一体集成组件，为我国未来相干激光通信终端高速化小型化提供技术支撑，为满足国家重大需求和引领世界科学前沿做出应有的贡献。

高性能钙钛矿光电器件与机理研究对突破等离子激光器、发光二极管和太阳能电池等光电器件的性能极限有重大意义。在专项的支持下，半导体研究所游经碧团队基于钙钛矿薄膜材料，通过对材料的修饰和器件结构的优化，实现了多种高效 LED 制备。其中，蓝光钙钛矿发光二极管的外量子效率达到 12.1%，该结果为截止当年报道的蓝光钙钛矿 LED 最高效率（Nature Communication, 2020, 11, 4165）；制备的高效率绿光 LED 外量子效率达 22.49%，同时器件工作稳定性时间提高了 3 倍（Advanced Materials, 2021, 33, 2007169）；基于 CsCl 修饰改性空穴注入层制备蓝光钙钛矿 LED，最终在 486nm 制备出外量子效率为 16.07% 的高效率蓝光钙钛矿 LED（Nature Electronic, 2023, 6, 360）。

新物理机制的探索为低维器件中电学和光学特性的调控提供

了新途径。上海技术物理研究所李天信团队提出并实现一种新的雪崩光电探测结构。利用二维层状材料作为雪崩倍增层，能兼具两方面的优势：一方面，层状材料中的电-声子相互作用只取决于面内的声子模式，而较少受到面外声子的影响，因此相比于体材料具备更高效的电子加速过程；另一方面，层状材料没有表面悬挂键，因此可以自由设计功能区的几何结构，甚至利用一些几何畸变加强内建电场。基于以上两方面的优势，在室温下将雪崩击穿电压降至 ~ 1.6 V，是传统器件的6.4%，同时这也接近了材料的带隙能量，即理论上的极限值(Light: Science & Applications, 2022, 11, 170; Advanced Materials, 2021, 33, 2104942)。该研究所揭示的掺杂新途径以及在此基础上发展的低阈值雪崩等功能为纳米尺度器件的发展和应用提供了一种全新的思路。

激光退火是处理材料结构的重要技术，可快速形成超饱和固溶体，进而改善材料性能。为了理解硅锗等半导体在激光退火过程中的超快非热融化机理，半导体研究所骆军委团队利用含时密

度泛函理论方法研究了硅锗在飞秒激光脉冲辐照下的超快非热融化过程，揭示硅锗晶体在电-声耦合自放大作用下产生均匀分布的局域融化核并快速扩散导致亚皮秒尺度的超快非热融化。该非热融化机理显著区别于惯性模型、声子软化和库仑排斥等经典理论模型，这些经典模型认为融化层内所有原子键将同时断裂。另外，参与局部晶格畸变自放大过程的载流子需要位于带边，所以高能光子激发的热载流子必须冷却到能带边缘才能发挥实质性作用，这部分热载流子冷却所需的时间决定了使用短激光波长的融化时间大于使用长激光波长。为此，该团队提出通过调节激光波长可以有效控制激光退火过程(Science Advances, 2022, 8, eabn4430)。此研究将有望为半导体飞秒激光退火技术提供新的理论指导。

窄线宽、高稳频半导体激光器是大容量卫星激光通信系统的核心部件。通过相位、波长等物理参数的精细调控达到器件的超窄线宽及高频率稳定性，是实现高性能激光器的关键。半导体研究所祝宁华院士和李明研究员团队，

重点围绕微纳尺度下光场幅相精细调控等关键科学问题展开研究。通过优化光波导结构，减小波导损耗，提高外腔 Q 值，提高光学耦合效率，研制出窄线宽、高频率稳定度的激光器 (Journal of Lightwave Technology, 2023, 41, 2474; Optics Express, 2022, 30, 15796)。通过进一步对光电反馈结构的对比研究，提出了一种基于微波光子技术的激光频率自校正系统。与当前国际最优的 PDH 稳频技术相比，所提方案具有更大的反馈带宽，在低频偏具有与 PDH 同样的噪声极限，在高频偏具有明显 ($>20\text{dB}$) 的相噪改善。利用该技术，团队实现了线宽 0.7 Hz 的窄线宽激光器。该研究为发展具有自主知识产权的下一代半导体光电核心技术提供了基础，有望满足空间相干光通信和时空基准传递等极限激光应用需求。

光学卷积智能处理芯片是机器视觉、自动驾驶等领域的核心芯片，通过波分复用技术结合时-频映射技术，将多维矩阵运算转换为一维时序向量运算，为解决

高性能计算开辟一条全新的道路。半导体研究所祝宁华院士和李明研究员团队，开展时序光学卷积智能处理技术，解决光波模式调控与干涉、时频联动的卷积加权求和运算等关键问题，打破处理芯片全局时钟的限制，研制出超高集成度光学卷积智能处理芯片 (Nature Communications, 2023, 14:3000)，此项研究有望为光电协同计算架构提供新的技术路径。

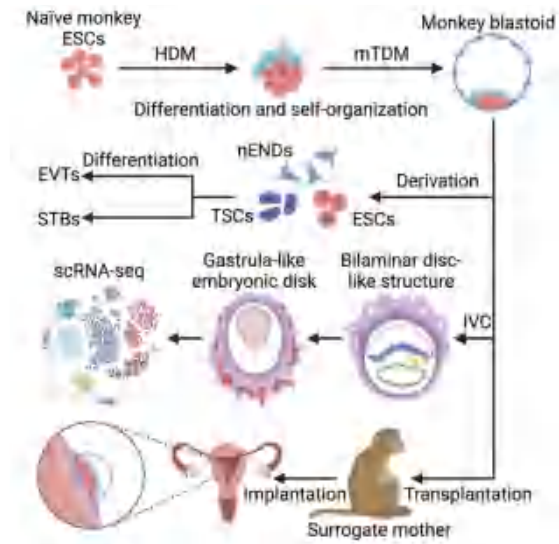
目前，世界主要发达国家和地区已经在光电融合与调控领域部署了多项研究计划，而我国在光电融合集成研究领域起步较晚，目前仍处于光电子与微电子各自发展阶段，仅在光通信芯片方面开展了光电融合集成的研发工作。此外，我国在光电融合集成工艺平台方面也较为薄弱，目前已经初步建成的硅光平台，主要以纯硅光为主，光电融合集成工艺仍处于规划阶段，有待技术突破和市场需求的进一步牵引。

亮点成果

利用胚胎干细胞建立非人灵长类类胚胎模型

胚胎着床至原肠运动是发育的关键时期，相较于啮齿类模式动物，灵长类着床至原肠运动时期的研究严重滞后。非人灵长类拥有与人更为相近的生殖发育和胚胎发育特点，是研究人类生殖和胚胎发育的理想动物模型。研究团队创新性地用非人灵长类胚胎干细胞代替人多能干细胞，进行食蟹猴类囊胚体外诱导。

在 B 类先导专项“脑认知与类脑前沿研究”的支持下，脑科学与智能技术卓越创新中心刘真、孙强研究团队通过比较不同培养状态的食蟹猴胚胎干细胞以及优化体外诱导体系和方法，高效得到了形态上和食蟹猴囊胚非常接近的类囊胚。并对其体内外发育潜能进行深入全面的探究和评估，首次将非人灵长类的类囊胚体外培养至着床后原肠胚时期。相关研究成果发表在 Cell Stem Cell 上。



非人灵长类类囊胚体外重构和体内外发育潜能研究模式图

解析小鼠单神经元树突形态和轴突投射的关系

树突和轴突是神经元整合和传输信息的基本结构。研究树突形态的多样性及其与轴突投射的关系对于理解神经元的信息处理模式有重要意义。

在 B 类先导专项“脑认知与类脑前沿研究”的支持下，脑科学与智能技术卓越创新中心严军研究团队通过全面重构和分析小鼠前额叶皮层单神经元的树突和

轴突形态，发现了一系列新的树突类型，通过树突-轴突联合分析，系统揭示了树突和轴突形态的关系，特定类型的神经元中树突形态和轴突投射存在一致的变化，并伴随着电生理性质的相应变化。最后，研究人员利用树突和轴突的空

间分布，建立和分析了前额叶皮层神经元类型之间的联接网络。这些研究结果为进一步研究前额叶皮层的功能、神经元计算建模、启发人工智能提供了重要线索和结构基础。相关研究成果发表在 Nature Neuroscience 上。

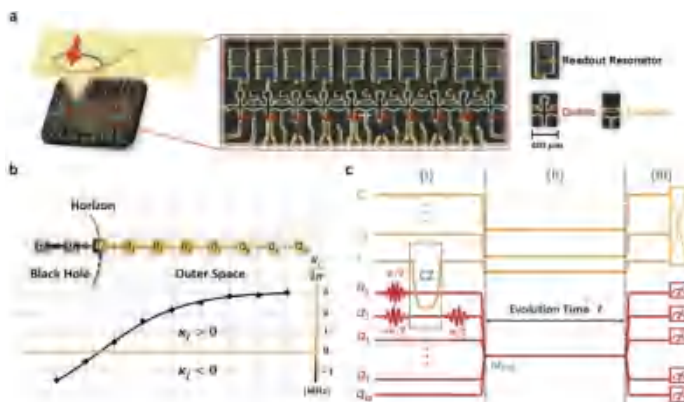


重构的前额叶皮层神经元 (n=1920) 的树突和轴突

超导量子计算实现黑洞弯曲时空和霍金辐射模拟

在 B 类先导专项“拓扑物态与量子计算研究”的支持下，项目组成员范桁团队与理论物理研

究所蔡荣根研究员及天津大学杨润秋副教授理论实验合作，利用比特间耦合可调的超导量子芯片，实现了黑洞弯曲时空和霍金辐射模拟，相关研究成果发表在 Nature Communications 上。

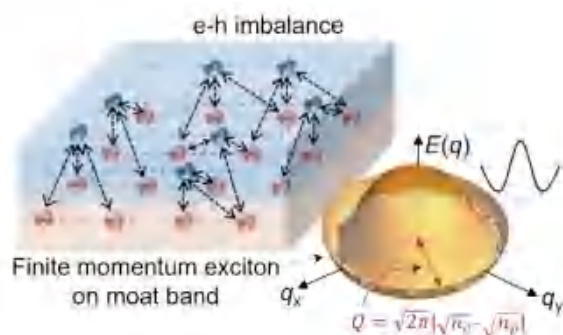


超导量子芯片上的黑洞、弯曲时空耦合强度分布以及部分实验脉冲序

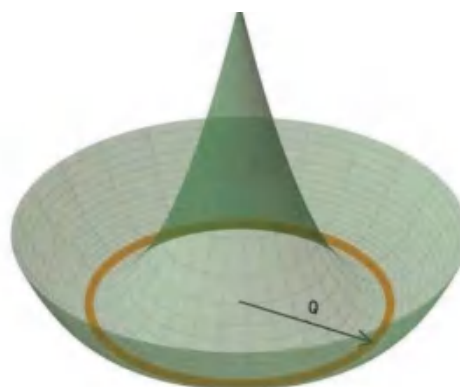
激子拓扑序的实验观测

在 B 类先导专项“拓扑物态与量子计算研究”的支持下，项目组成员杜瑞瑞课题组和合作团队在强关联和具有长程量子纠缠的新物态研究领域获得重大成果。他们在砷化铟 / 锑化镓 (InAs/GaSb) 量子阱电子-空穴双层系

统中形成的激子系统中，观察到一种新型的零磁场下的玻色子拓扑序的实验证据。该工作首次在理论上提出在关联激子系统由于阻挫效应导致强量子涨落进而产生玻色子拓扑序的新机制，系统地解释了实验结果。相关研究成果在线发表在 Nature 上。



在双层量子阱中的不平衡电子、空穴浓度形成的 moat band



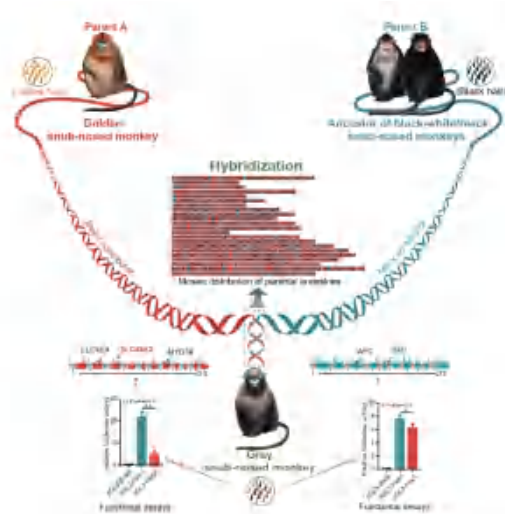
moat band 中奇异色散关系的示意图

研究揭示黔金丝猴杂交起源

在 B 类先导专项“大尺度区域生物多样性格局与生命策略”的支持下，刘建全教授团队与于黎研究员团队通过比较基因组学、群体基因组学、分子功能实验等方法，使用团队前期发表的模型与方法鉴定了金丝猴中古老同倍性杂交物种形成，揭示了黔金丝

猴的同倍性杂交起源。黔金丝猴 (*Rhinopithecus brelichi*) 是由滇金丝猴 / 怒江金丝猴 (黑灰色毛色) 的祖先与川金丝猴 (金色毛色) 在约 180 万年前同倍性杂交后产生的新物种。研究人员成功鉴定到了一系列可能在黔金丝猴杂交物种形成过程中发挥了重要作用的毛色性状相关候选基因，并利用分子实验对其功能分化进

行了体外验证。黔金丝猴中与毛色相关的多个基因座位上的等位基因交替继承自两个亲本谱系，使得黔金丝猴产生了黑灰色与金色相间的“马赛克式”毛色。相关研究成果发表在 Science 上。



黔金丝猴同倍性杂交物种形成示意图

蛇类起源及表型演化的遗传机制研究

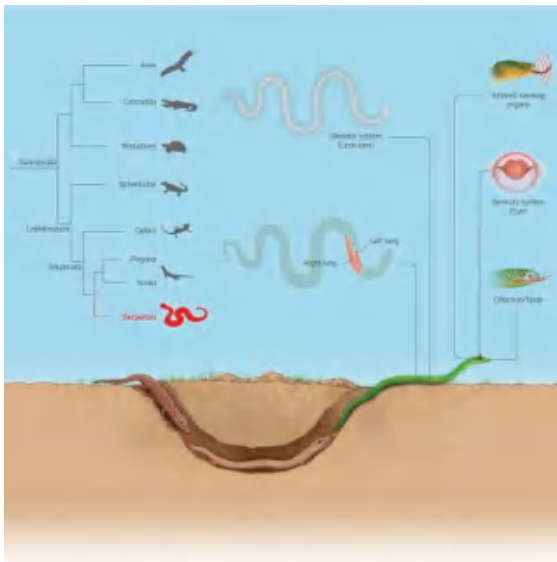
在 B 类先导专项“大尺度区域生物多样性格局与生命策略”的支持下，成都生物研究所李家堂研究团队整合比较基因组学及基因编辑等多学科手段，综合探讨了蛇类起源及表型演化的遗传机制。团队基于染色体水平蛇类基因组数据集构建了迄今最有力

的蛇类基因组系统发育框架，表明蛇类起源于约 1.18 亿年前早白垩纪，其祖先起源于蜥蜴类物种。研究揭示 PTCH1 基因编码蛋白的三个氨基酸残基缺失，可能是蛇类四肢缺失的重要遗传机制之一。随着四肢缺失，蛇类的体节数增加，身体延长，FOXC2 和 DLC 基因可能是蛇类身体延长的重要遗传基础。蛇类为适应身体延长，左肺退化，控制对称发育的 DNAH11 和 FXJ1B 基因的丢失可能是蛇类肺左右不对称发育的关键原因。

研究还探讨了红外感应蛇类和穴居的盲蛇类物种特殊表型的演化遗传机制，发现与热响应相关的 PMP22 基因和与三叉神经发育相关的 NFIB 基因的非编码调控元件的趋同演化是部分蛇类感知红外光谱的重要遗传驱动力，而盲蛇类物种则通过视觉感受 RPGRIP1 基因的丢失及几丁质酶 CHIA 的快速演化分别发生穴居视力退化并适应于专食蚂蚁及蚂蚁卵。

该研究率先启动了全球尺度下的蛇类大规模组学研究，阐明

了蛇类的起源及其特殊表型演化的遗传机制。研究对理解脊椎动物演化历史具有重要意义，将推动动物演化生物学等相关学科的发展。相关研究成果在线发表在Cell上。



蛇类起源及表型演化的遗传机制研究

寒冷适应促进亚洲叶猴社会系统的演化

灵长类动物具有复杂而多样的社会结构，是什么样的驱动力塑造了这种差异？在B类先导专项“大尺度区域生物多样性格局与生命策略”的支持下，李保国研究团队以灵长类物种为研究对象，基于多年野外研究，对秦岭金丝猴社群内各个组织层面的空

间联署及个体迁移与扩散行为进行研究，发现金丝猴社会独特的四层式社会结构：家庭、分队、群组、社群。通过比较基因组学的方法，结合系统发育分析检测的结果显示，历史上的寒冷事件促进了亚洲叶猴的能量代谢和神经-激素调节相关基因受到正选择，演化出了更加有效的脑、神经-激素调控网络，其中在奇鼻猴类群中与催产素、多巴胺递质系统有关的基因改变格外引人注目。其类群的社会呈现两步式的逐步聚合模式，从祖先的“一夫多妻”到形成具有分离-聚合特征的类重层社会，再演化出“家庭”长期生活在一起的大型重层社会。

此项研究整合了动物行为学、生态学、地质学、比较基因组学等多学科手段，完整揭示了亚洲叶猴复杂社会系统演化的过程、动力和遗传基础，首次系统地揭示了灵长类社会演化之谜。该研究建立了“行为-生态-基因组”的全新研究范式，对理解包括人类在内的灵长类社会行为起源演化机制提供了新思路，也为动物行为学领域的发展开辟了新方向。相关研究成果以封面形式发表在Science上。



神经 - 激素调节的适应性变化增强社会亲和力

鲟鱼保护研究取得新进展

在 B 类先导专项“大尺度区域生物多样性格局与生命策略”的支持下，云南大学谢平研究员团队联合合作者，统计分析了过去一个多世纪世界各地鲟鱼保护

资料，提出捕捞和水污染这些可逆的人为影响可通过禁渔和改善水质等国际或区域的保护工作加以缓解或改变，但从 19 世纪以来人类修建的各种大坝中断了鲟鱼的繁殖洄游路线，是导致目前世界各地鲟鱼濒危的主要原因。迄今为止，人工增殖放流收效甚微，异地保护也只能维持很小的野生种群规模，已有鱼设施中鲟鱼通过的成功率小于 2%。国外鲟鱼繁殖保护有多个成功案例。借鉴国外通过修建仿自然河流的人工水道、实现鲟鱼通过洄游通道到达水坝上游完成繁殖的成功案例，研究人员认为在现有水坝周边建设仿自然河流的人工水道，或是帮助鲟鱼完成繁殖生活史，是拯救这些珍稀鱼类的最好的办法。相关研究成果发表在 PNAS 上。

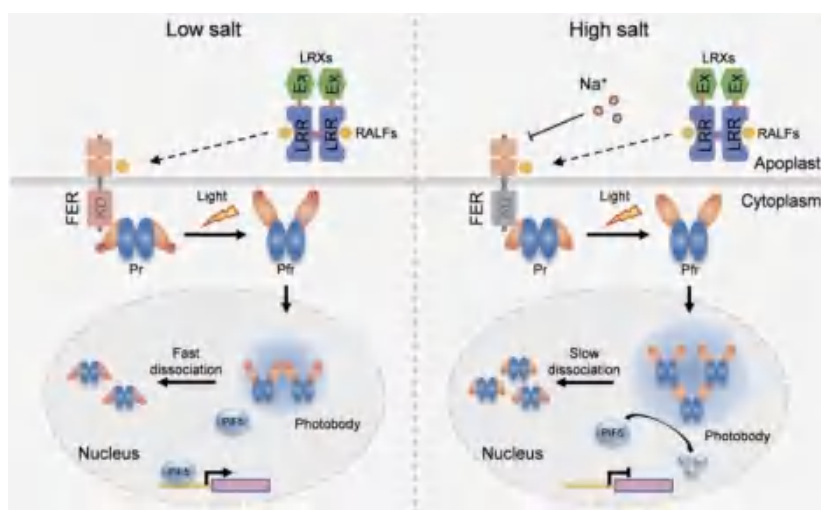


鲟鱼繁殖保护的 4 个成功案例及世界上 8 条河流上水坝以及影响的鲟鱼种类

揭示植物平衡生长和盐胁迫响应的分子机制

土壤盐碱化是威胁作物生长和产量、阻碍现代农业可持续性发展的世界性难题。在 B 类先导专项“植物特化性状形成的分子基础及定向发育调控”的支持下，分子植物科学卓越创新中心赵春钊研究团队聚焦植物响应盐

胁迫的遗传调控网络，鉴定到磷酸化光敏色素 phyB 的重要激酶 FERONIA (FER)，解析了一个通过 FER-phyB-PIFs 模块协调植物生长和耐盐性的新机制，为培育耐盐稳产作物新品种提供了重要的遗传改良位点和思路，具有重要的潜在应用价值。相关研究成果发表在 Nature Plants 上。



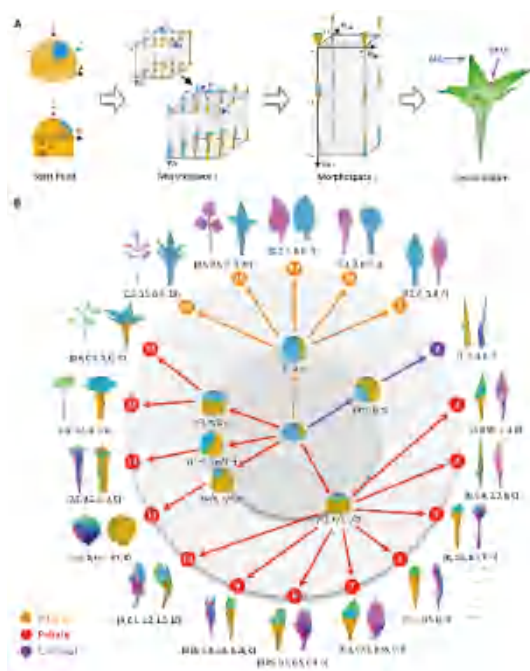
FER 在盐胁迫下调控 phyB 介导的光信号通路的工作模型

揭示植物侧生器官发育和多样化机制

在 B 类先导专项“植物特化性状形成的分子基础及定向发育调控”的支持下，植物研究所孔宏智研究团队以毛茛科植物的花瓣为研究材料，综合利用三维

成像、基因表达、功能验证以及计算机模拟技术，系统研究了盾状结构形成和多样化的机制，提出了一个简单且具有普适性的计算机模拟系统。基于该系统，自然界中发现的绝大多数植物侧生器官都能被模拟出来。研究不仅揭示了盾状结构形成和多样化的

机制，而且进一步强调了计算机模拟在生物学研究中的重要性。相关研究成果于发表在 Science Advances 上。



一个简单且普适的植物侧生器官模拟系统

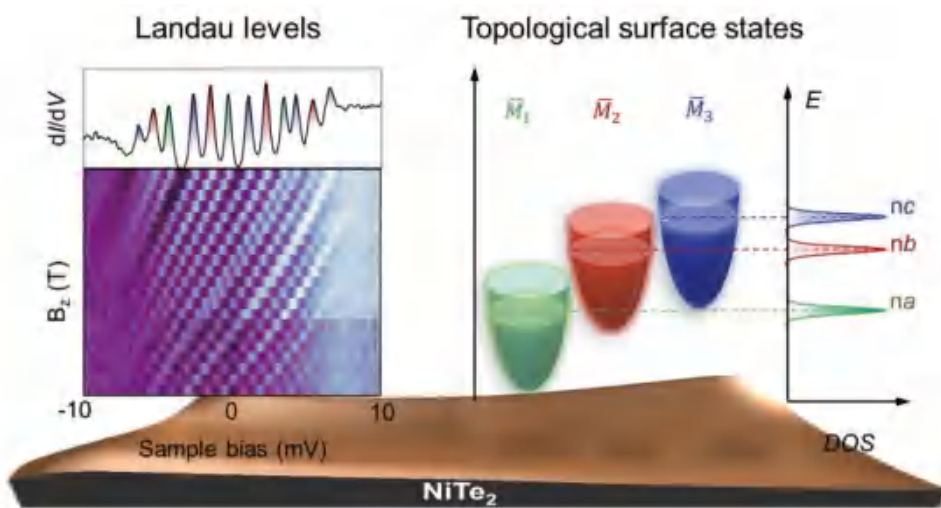
用应力调控过渡金属硫属化合物的拓扑表面态及其朗道量子化

在 B 类先导专项“功能导向的原子制造前沿科学问题”的支持下，物理研究所高鸿钧院士带领的团队实验验证了应力对 TMD 拓扑半金属材料 NiTe_2 的拓扑表面态量子自由度的调控。他们发

现，强磁场下在没有施加应力的表面区域， NiTe_2 的自旋极化拓扑表面态发生朗道量子化，产生一套清晰的朗道能级。而在施加应力的区域，朗道能级则在原来的基础上发生了劈裂，出现多套朗道能级。进一步观测发现，在受到单轴应力和剪切应力的表面区域， NiTe_2 分别产生了两套和三套朗道能级，表明应力能有效调控 NiTe_2 拓扑表面态的谷自由度。通过第一性原理计算，他们进一步探究了应力调控拓扑表面态谷自由度的原因：应力破坏了 NiTe_2 单晶的晶格旋转对称性，导致拓扑表面态的谷简并被打破，从而使朗道量子化衍生出多套朗道能级。其中，单轴应力部分打破了 NiTe_2 晶格的三重对称性，导致拓扑表面态谷简并被部分打破，产生两套能级；而剪切应力则完全打破了 NiTe_2 晶格的三重对称性，导致拓扑表面态的谷简并被完全打破，从而产生三套朗道能级。该工作首次实验验证了应力对 TMDs 材料拓扑表面态谷极化及其多套朗道量子化的调控作用，拓展了调控具有丰富拓扑物性材料中电子多量子自由度的思路，有望在基于谷电子学、旋度

极化和超导约瑟夫森二极管等量子效应器件的研发领域发挥重要

作用。相关研究成果发表在 Nano Letters 上。



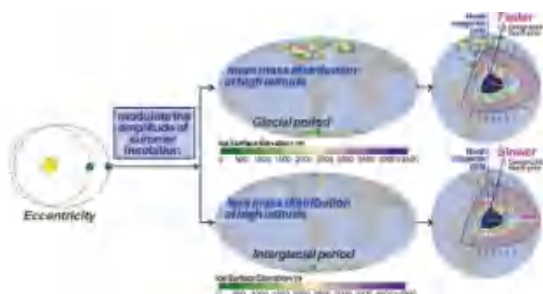
用应力调控过渡金属硫属化合物的拓扑表面态及其朗道量子化

¹⁰Be 研究揭示地球轨道偏心率对地磁场和亚洲季风变化的影响

在 B 类先导专项“亚太多尺度气候环境变化动力学”的支持下，地球环境研究所周卫健院士带领团队，利用宇宙成因核素 ¹⁰Be 产率与地磁场强度成反比的关系，首次成功从黄土 ¹⁰Be 中分离获得第四纪两个关键地磁极性倒转事件 (B/M 和 M/G) 在中国黄土中记录的准确层位，证明它们与全球记录是一致的，解决了海陆记录地磁极性倒转不同步的长期争议；发现了最近 ~90 万年以来 13 个地磁场漂移事

件记录，为中国黄土可靠年代框架的建立及其与全球古气候记录的准确对比提供了系列关键时间-地层标记。同时，利用 ¹⁰Be 定量重建了最近 90 万年东亚季风降水变化，发现其具有 ~10 万年偏心率和 ~2 万年岁差周期。基于 ¹⁰Be 获得的地磁场强度与季风降水变化具有共同的 ~10 万年周期，提出地球轨道偏心率可能同时影响地球磁场和亚洲季风变化的新观点，为揭示轨道尺度地磁场强度与气候变化的关系提供了新证据。相关研究成果发表在 Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 和

Geophysical Research Letters
上。

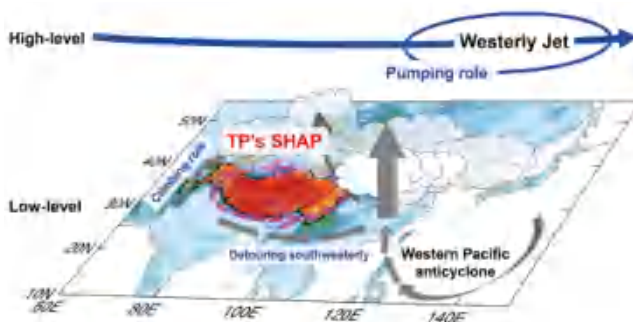


气候变化可能影响地磁场强度变化机制图

青藏高原地形强迫对春季东亚云量和大气辐射收支的影响

云对气候系统有着极为重要的作用，云量和大气辐射收支与大地形紧密相关。青藏高原的热动力强迫会显著影响下游东亚的环流条件，但目前尚不清楚青藏高原大地形对东亚云量和大气辐射收支的强度和分布有何影响。在 B 类先导专项“亚太多尺度气候环境变化动力学”的支持下，

科研人员利用 CMIP6 GMMIP 的亚洲地形数值试验结果研究青藏高原热力和机械强迫对下游东亚区域春季云量和大气辐射收支的影响。结果表明：大地形的热力强迫会在高原区域引发显著的地表增暖和低层气旋，在高原中东部将空气从低层抽吸至中层，有助于中国东南部春季水汽辐合上升和大量中低云的形成与维持，导致该区域春季强云辐射冷却效应的产生；高原热力强迫的抽吸作用还会使得云辐射冷却中心朝高原方向移动。此外，高原的绕流作用会增强东亚高空西风急流，在动力上增强中国东南部及以东海域的云量。研究表明，青藏高原大地形很大程度上塑造了当前东亚区域春季云量和大气辐射收支的空间分布，有助于解答中国西南区域常年多云的气候现象。相关研究成果发表在 Journal of Climate 上。

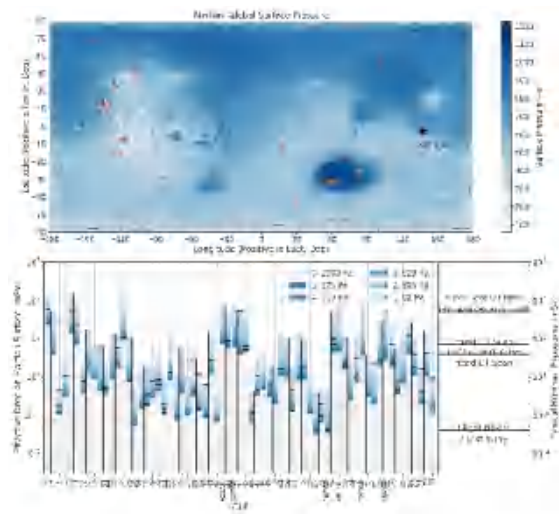


青藏高原大地形影响春季东亚区域云量示意图

极端太阳高能粒子事件对火星不同地点的辐射影响

在 B 类先导专项“类地行星的形成演化及其宜居性”的支持下，中国科学技术大学地球和空间科学学院郭静楠研究团队研究了历史上的极端太阳高能粒子（SEP）事件在火星表面引发的辐射水平。研究发现同一个 SEP 事件到达火表不同位置后，因地表压强的不同可以引发非常不同的辐射剂量；这主要是由火星的大气对 SEP 粒子的屏蔽造成的。总体来说，在火表的宇航员接收的 SEP 事件引发的有效辐射剂量随表面大气压强的增加而减小；但其被大气屏蔽的幅度也因事件本身的特征而异。在所研究的极端事件中，有个别事件引发的有效辐射剂量已经超过了紧急情况辐射工作人员的剂量限制（100 mSv），且都是在火星的奥林匹斯山顶（压强最低的情况）。研究进一步分析了火表的 SEP 辐射水平与 SEP 特性的相关性，并探讨了其随火星环境和位置的变化规律，最后推导出简单快捷的预测函数，可以用来实时和定量地

预测 SEP 事件在火星表面引起的辐射风险，服务于未来的火星探测任务。相关研究成果发表于 Space Weather 上。

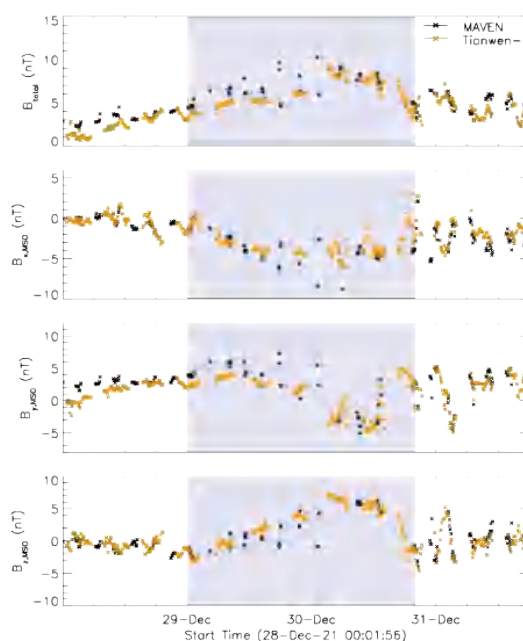


利用天问一号磁强计自主探测数据开展日冕物质抛射识别和演化研究

在 B 类先导专项“类地行星的形成演化及其宜居性”的支持下，中国科学技术大学汪毓明教授、申成龙教授研究团队利用首批发布的我国首次自主火星探测计划“天问一号”环绕器磁强计（Tianwen-1 MOMAG）数据，对到达火星的 ICME 事件进行准确识别。“天问一号”环绕器搭载的磁强计提供的大量且准确的

火星附近行星际磁场数据，对准确识别大尺度行星际结构以及后续研究 ICME 对火星空间环境的影响提供重要基础。除此之外，研究团队还与英国、德国、奥地利等多个国际研究团队合作，结合多颗卫星的局地数据和日冕仪数据，以及日球层逆风外推时间模型（HUXt 模型），对到达火星的 ICME 事件在行星际空间中的动力学演化过程进行细致研究。

研究发现快速 ICME 事件在行星际传播过程中受结构性背景太阳风的影响，会发生明显的形变和扭曲，慢速 ICME 事件也在背景太阳风作用下经历先加速后减速的动力学演化过程。研究成果确定了“天问一号”环绕期磁强计数据的准确性，强调了背景太阳风在 ICMEs 的行星际动力学和形态演化方面的重要性。相关研究成果发表在 ApJS 和 ApJL 上。



2021年12月28日-31日，“天问一号”卫星和 MAVEN 卫星的局地磁场观测

揭示了印尼贯穿流水体在印度洋完整的三维流动路径

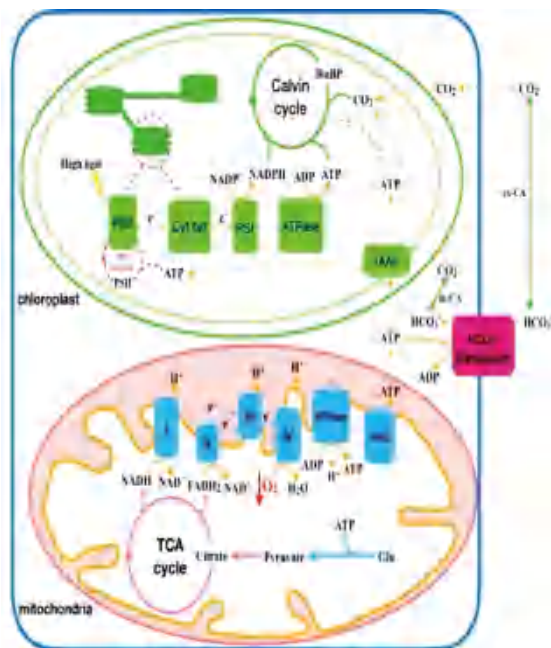
在 B 类先导专项“印太交汇

区海洋物质能量中心形成演化过程与机制”的支持下，海洋研究所刘建国研究员团队选择多种热带海草为研究对象，结合生态考

察、野外原位试验和实验室模拟，诠释了高温、缺氧等因素导致海草床资源衰退的机制。

海水富营养化导致海水透明度和溶氧量下降，短期缺氧虽不破坏海草光合机构，但长期黑暗缺氧严重抑制海草呼吸产能和线粒体向叶绿体内的能量转运，间接导致受强光抑制损伤的光系统II修复所需能量不足，使损伤光系统II难以修复，形成恶性循环严重阻碍热带海草正常生长发育。同时，全球海水高/低异常波动也对栖息于较浅水域热带海草产生影响，是导致海草床严重退化的另一重要原因。热胁迫尤其36℃以上高温也严重威胁热带海草生存，直接导致光合机构发生损伤，高光照进一步加剧热胁迫的破坏作用。因此在无论异常的海洋热浪，还是中午退潮期间的热应激与强光耦合作用都极易造成光合活性显著甚至不可逆转地下降。

上述研究解析了全球海水缺氧、温度异常波动与海草床退化之间的关系，为制定热带海草床资源有效保护和修复策略提供了重要理论依据。相关研究成果发表在Plant Cell and Environment上。

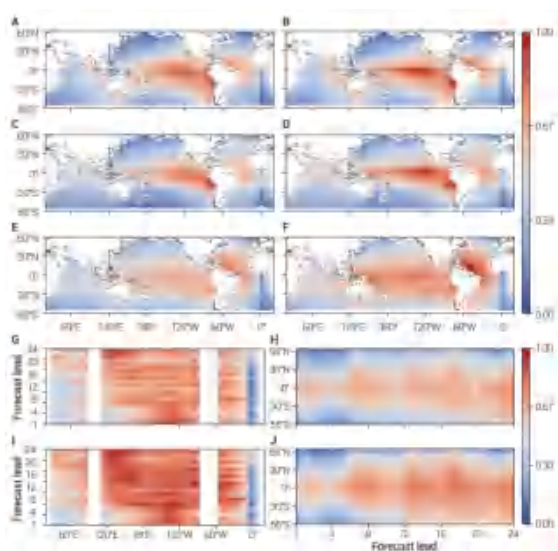


夜晚缺氧抑制海草光合活性的伤害机制

基于人工智能技术的可解释性 构建了 ENSO 预报模型

在 B 类先导专项“印太交汇区海洋物质能量中心形成演化过程与机制”的支持下，海洋研究所李晓峰团队基于人工智能技术构建了可解释时空神经网络模型，并将其应用于厄尔尼诺-南方涛动 (ENSO) 预测研究，此模型对 Niño3.4 指数的有效预报长度可达 22 个月，并利用可解释性方法从人工智能的角度观察到了全球海洋中与厄尔尼诺现象相关

的热信号的长期时空变化过程。这一成果证明了海洋盆地间和对流层间的相互作用对于 ENSO 的预测至关重要。该模型具有广泛的适用性，对输入输出数据进行修改便可方便地应用于其他海洋现象的预报。这对研究可解释的通用的人工智能海洋学模型有着重要意义。相关研究成果发表在 Ocean-Land-Atmosphere Research 上。

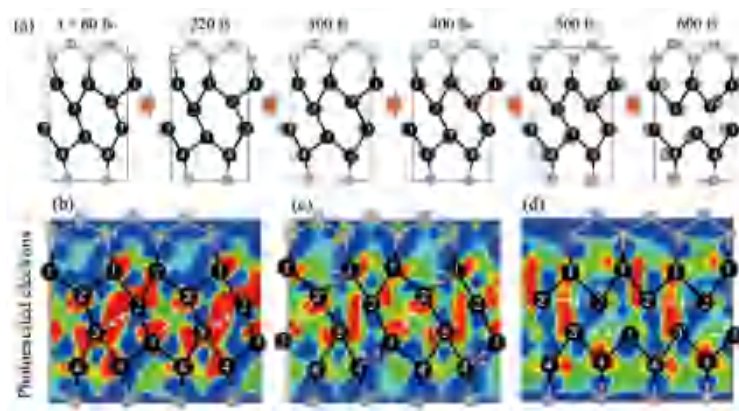


人工智能模型提取的 ENSO 可预测性来源

激光调控硅上 In 量子线相变的机理

在 B 类先导专项“光电融合与调控前沿研究”的支持下，

半导体研究所骆军委研究团队揭示硅上 In 线在光致相变后相干声子振荡快速衰减的微观机理。利用含时密度泛函理论 (rt-TDDFT) 方法模拟了硅上 In 线 (In/Si(111)) 在激光脉冲辐照下的动力学过程，在理论上重现了实验中观察的半导体相转变为金属相的超快过程。他们发现激光脉冲把硅中的价电子激发到 In 线的表面态 S1 和 S2 导带，由于 S1 和 S2 能带来自单个 In 锯齿链上 In dimer 的成键态，光激发形成使该 In dimer 变长的原子力，驱动 In 原子朝着金属相运动，在晶格周期下 In 原子的集成运动形成 CDW 相干声子模式，从而导致结构相变。在转变为金属相后，S1 和 S2 能带切换为跨越两个锯齿 In 链上的原子，这种能带成分的转换导致原子驱动力的方向旋转约 $\pi/6$ ，阻止了 In 原子在 CDW 声子模式中的集体运动。从局域原子驱动力进行解释，为光致相变过程提供了更加简单的物理图像，为实验调控结构相变提供了直观的理论指导。相关研究成果发表在 Physical Review Letters 上。

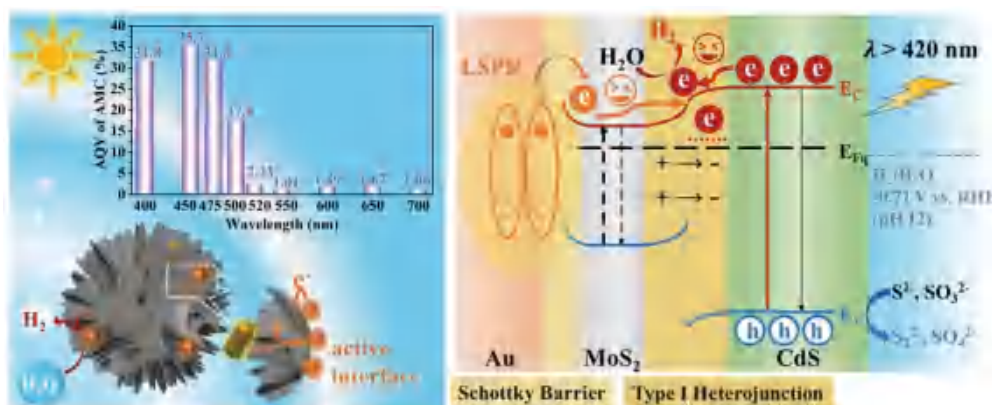


原子结构、原子受力和光激发电子分布随时间的演化

等离激元异质体系近红外区光谱拓宽

在 B 类先导专项“光电融合与调控前沿研究”的支持下，半导体研究所王智杰研究团队设计了一种基于等离激元纳米金属的三元 Au NRs@MoS₂-CdS 核壳结构半导体异质体系，通过调控 Au NRs 的长径比，其纵向局域表面等离子体共振 (L-LSPR) 吸收峰可覆盖可见光-近红外光区 610-

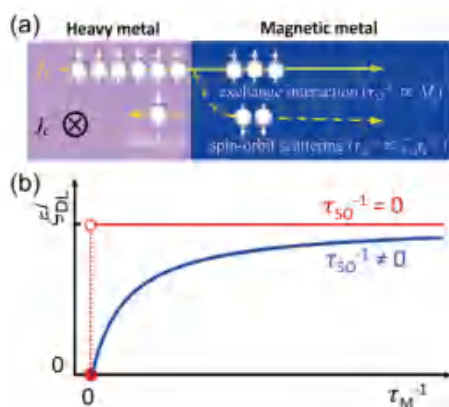
810 nm。由于能带匹配和界面内建电场，基于 LSPR 效应产生的热电子将克服肖特基势垒注入邻近的高导电 MoS₂ 导带，MoS₂ 还作为 CdS 光生电子的有效收集平台。最终，热电子和光生电子在 MoS₂-CdS 界面处共同发挥作用，首次将 CdS 基半导体复合体系的光谱响应拓宽至近红外区。相关研究成果发表在 Applied Catalysis B: Environmental 上。



Au NRs@MoS₂-CdS 三元异质体系近红外区光谱拓宽及电荷传输

发现自旋调控新机理

在 B 类先导专项“存算一体基础器件与系统前沿科学”的支持下，半导体研究所朱礼军团队最近发现了自旋轨道矩效率随磁性材料中相对自旋弛豫速率快速变化，当交换相互作用为主时最大，当自旋轨道散射为主时趋向于零。该物理机理是继自旋霍尔效应、界面自旋透过率之后的又一重要发现，从基础层面补齐了自旋轨道矩的基本物理框架。这一成果为铁磁、亚铁磁和反铁磁体系中千差万别的自旋扭矩效率提供了统一的物理解释，同时预言优化磁性材料自旋弛豫机理可以提高自旋电子器件能效。相关研究成果发表在 Nature Communications 上。

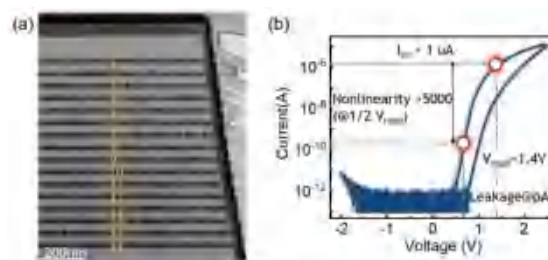


(a) 不同自旋弛豫过程的竞争：交换相互作用与自旋轨道散射；

(b) 自旋轨道散射可忽略和不可忽略情形下，特定体系的自旋轨道矩效率随自旋 - 磁矩交换相互作用的自旋弛豫速率 (τ_M^{-1}) 的变化关系。

一种具有低延迟、高非线性和高开态电流密度的自选通阻变存储器

在 B 类先导专项“存算一体基础器件与系统前沿科学”的支持下，微电子研究所刘明院士团队探索出一种基于 TiN/ TiOxNy/TiOx/ NbOx/Ru 结构的非细丝型自选通阻变存储器，并在 16 层三维垂直结构上实现。该存储器实现了 50 倍开态电流密度的提升，并达到了高非线性 (>5000)。TiOx 内部峰状势垒的形成有效提升了器件的非线性。此外，第一性原理计算结果表明 Nb₂O₅ 的氧空位聚合能为正值，这表明氧空位不容易发生聚集，使得器件可以工作在较高的电流下而不会发生击穿，从而实现高的电流密度。由于电流的提升，该器件的读延迟缩短至 18ns。该工作为实现具有高速、高密度的 3D VRRAM 提供了可能的途径。相关研究成果发表在 VLSI 2023 上。



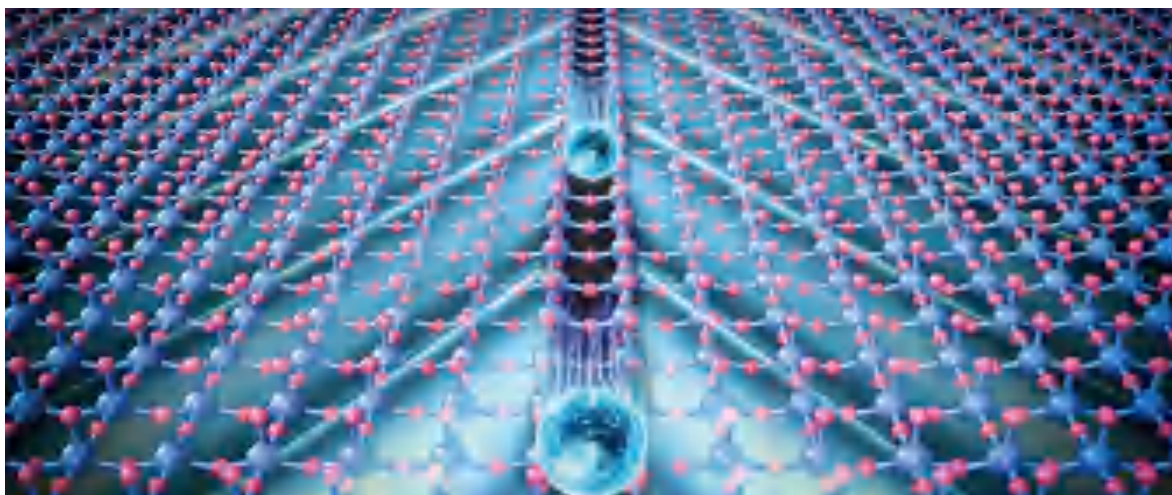
(a) 16 层三维垂直 RRAM 的 TEM 截面图

(b) I-V 特性曲线

中红外频段的反向切伦科夫辐射

在 B 类先导专项“功能纳米系统的精准构筑原理与测量”的支持下，国家纳米科学中心戴庆研究团队提出利用天然晶体中的极化激元模式实现反向切伦科夫辐射的创新方案（如图所示），在天然氧化钼 I 型双曲频带上实空间观测到声子极化激元反向切伦科夫辐射现象，即由金属天线的等离激元（类比运动的带电粒子）来激发声子极化激元反向辐射传

输。研究发现，通过改变带电粒子的运动方向，可以不对称地重塑反向切伦科夫辐射的分布。此外，通过原子制造技术构筑氧化钼和六方氮化硼范德华异质结，能够进一步调控辐射角度和品质因子，从而提升纳米光源的品质。这项研究成果有望为解决光频段反向切伦科夫辐射高效激发的难题提供新思路，并为实现光电集成回路中片上光源提供重要材料平台。相关成果发表在 Nature Communications 上。



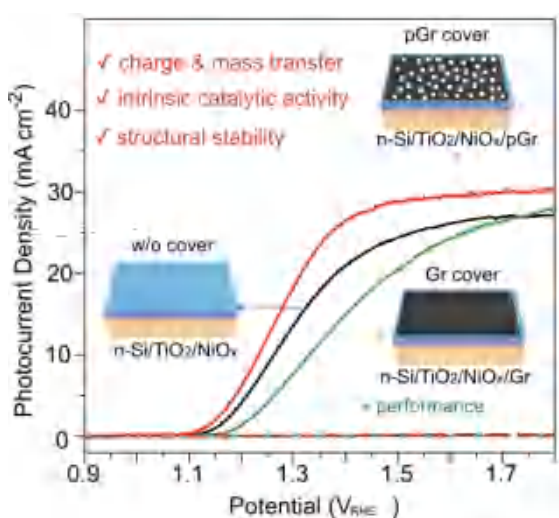
极化激元反向切伦科夫辐射示意图

多孔石墨烯覆盖层促进二维材料层下限域光电催化产氧

在 B 类先导专项“功能纳米系统的精准构筑原理与测量”的支持下，国家纳米科学中心宫

建茹研究团队与谭婷研究团队合作，设计了一种单层多孔石墨烯覆盖的电催化剂（NiOx/pGr）结构，将其作为表面修饰层显著提升了硅基光阳极的光电化学分解水产氧性能。实验和理论结果表

明，通过优化多孔石墨烯中的孔洞尺寸，一方面可平衡界面载流子传输和传质两个过程促进产氧反应动力学，另一方面也可为气体产物提供充分的逃逸通道确保电极结构的稳定性。该工作不仅揭示了在二维材料层下限域催化剂中多孔覆盖层结构的重要性，而且为开发高效稳定的纳米催化剂提供了一种新颖的设计思路。相关研究成果发表在 *Advanced Materials* 上。

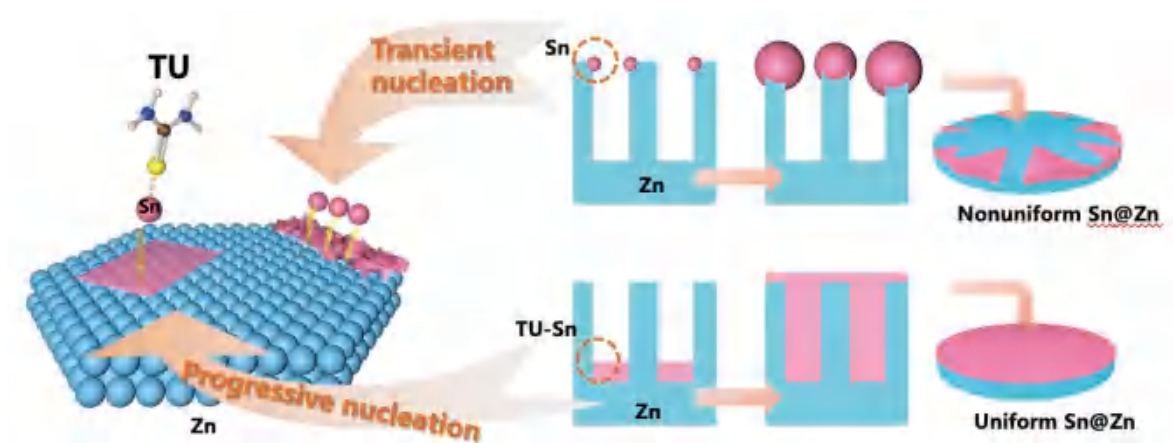


无覆盖、单层石墨烯覆盖以及单层多孔石墨烯覆盖的 NiOx 三种结构电催化剂修饰的硅基光阳极示意图及其光电催化分解水产氧性能

超快超填充构造金属人工界面 实现锌电超长循环

在 B 类先导专项“功能纳米系统的精准构筑原理与测量”

的支持下，中国科学技术大学谢毅院士团队吴长征、周敏教授团队开发了一种超快速、通用且具有成本效益的超级填充方法来原位构建金属-人工界面-修饰的 Zn 负极。大多数亲锌金属，包括 Sn、Cu 和 Ag，可用于构建均质界面，而对衬底的尺寸、形态或曲率没有任何限制。以 Sn 作为概念验证演示，通过 DFT 理论计算证实了所获得的 Sn@Zn 负极有利于均匀的锌成核和锌离子的快速扩散，形成平整的锌镀层。此外，为了深入研究 Sn 人工界面对于电化学锌沉积过程的影响，作者结合 X 射线吸收谱证实了其人工界面的构建有利于电化学循环过程中维持稳定的电极结构。具有 Sn@Zn 电极的对称电池可以在 20 mA cm^{-2} (5 mAh cm^{-2}) 的电流密度下运行超过 900 小时。这种卓越的性能有助于扣式和放大的 Sn@Zn// β -MnO₂ 电池具有吸引人的电化学特性。鉴于电池的简便且具有成本效益的制造，工作能够有效地设计和探索用于研究、工业化和商业化目的的锌负极。相关研究成果发表在 *Advanced Materials* 上。

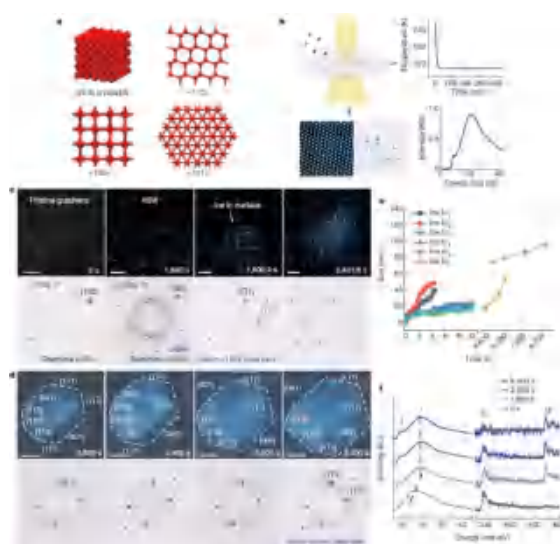


超级填充法原位构建金属 - 人工界面 - 修饰的锌负极示意图

原位电镜确认立方冰

在 B 类先导专项“新一代超导与拓扑物理学”的支持下，物理研究所白雪冬研究员团队在分子分辨水平，通过原位实时地观察电镜镜筒中的残存水蒸气在近液氮温度（102 K）的不同衬底上冷凝结冰的微观动态过程，发现水在衬底上首先会形成无定形冰，随后大多会结晶形成纯相的单晶立方冰。通过大量单颗粒实时追踪观察统计，该研究团队发现在同样的低温、低压热力学条件下，水的气相沉积结晶过程优先形成立方冰，并同时存在六角冰的独立形核生长。基于实空间成像，立方冰内部的常见缺陷也首次被清晰展示。该研究以直观的实验证据确认了低温气相沉积过程中单晶立方冰的形成过程，澄清低

温冰晶体结构的争议。相关研究成果发表在 Nature 上。



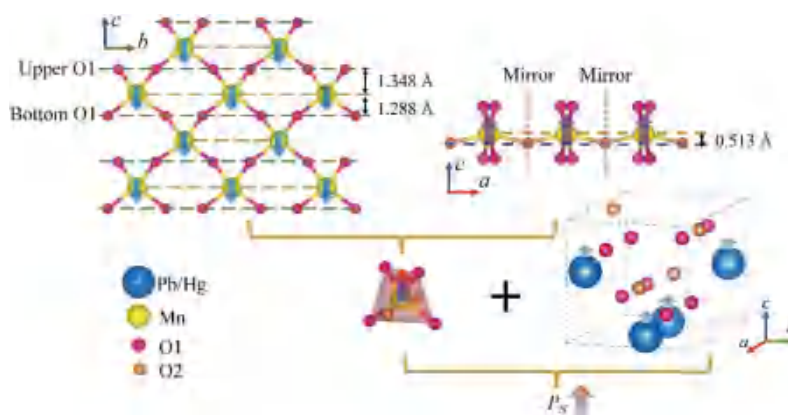
原位透射电镜实验设计及单晶立方冰在石墨烯表面经过水蒸气冷凝结晶的微观生长过程

高压制备具有最大结构畸变的 d^3 电子材料及其位移型铁电极化

在 B 类先导专项“新一代

超导与拓扑物理学”的支持下，物理所龙有文研究员团队利用高压高温实验条件成功制备了一种新型 d^3 电子钙钛矿材料 $(\text{Hg}_{0.75}\text{Pb}_{0.25})^{2+}\text{Mn}^{4+}\text{O}_3$ ，发现该材料 Mn^{4+}O_6 八面体畸变程度达到与典型一级 Jahn-Teller 效应化合物同等量级，处于 d^3 电子材料

的最大值；且该反常大的结构畸变导致 B 位 d^3 过渡金属离子沿 c 轴方向发生位移，从而打破通常的“ d^0 规则”，在室温下即可形成宏观位移型铁电极化，并展示了铁电光伏效应，具有潜在的应用前景。相关研究成果发表在 Physical Review Letters 上。

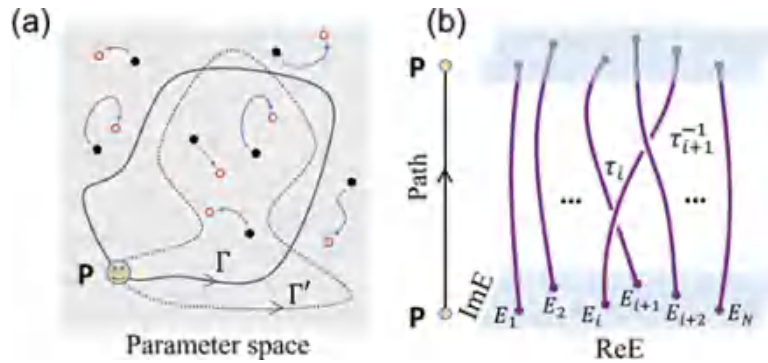


HPMO 中 A 位 $(\text{Hg}/\text{Pb})^{2+}$ 和 B 位 Mn^{4+} 离子产生的位移型铁电极化

非厄米多带系统中例外简并的非阿贝尔拓扑

在 B 类先导专项“新一代超导与拓扑物理学”的支持下，物理所陈澍研究员、胡海平特聘研究员团队基于他们之前建立的关于非厄米能带拓扑分类以及关于单个例外点/线拓扑分类的同伦群理论，提出了一般普适的具有多个例外点/线的非厄米多带体系满足的非阿贝尔守恒规则 (non-Abelian conservation rule)，该项工作建

立了描述含多个例外点/线的非厄米体系的理论分析框架，并揭示了体系的集体行为由辫子群拓扑不变量决定。此外，该研究团队还提出了在声学腔等实验平台上实现和观测这些非阿贝尔拓扑现象的方案。这项研究不仅让人们更全面地理解多带非厄米系统中的非阿贝尔行为，而且可为声学、光学、冷原子等非守恒系统中开展进一步的理论和实验工作提供了新的思路。相关研究成果发表在 Physical Review Letters 上。

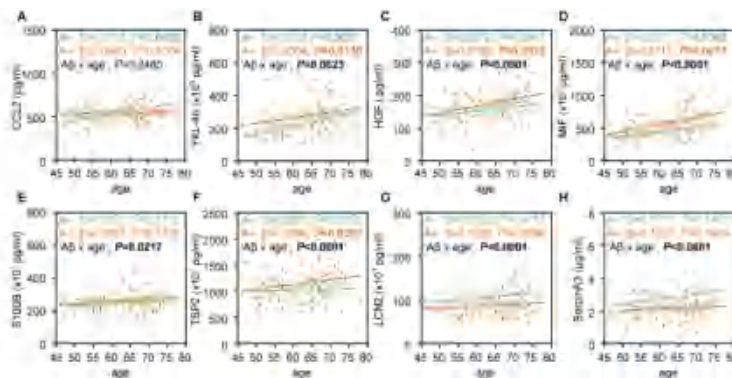


一般参数空间中的非阿贝尔守恒规则

发现大脑健康衰老向阿尔茨海默病演变的生物标记物

在 B 类先导科技专项“衰老的生物学基础和干预策略”的支持下，中国科学技术大学生命科学与医学部申勇教授研究团队在大脑衰老生物标记物领域取得重要进展。在该项研究中，研究人员利用动物及细胞模型、人脑组织以及临床队列样本并结合分子生物学和超高灵敏检测技术等，发现了人脑健康衰老以及向阿尔茨海默病（AD）病理性衰老演变的生物标记物。其

中，脑脊液中的 YKL-40 水平在人体正常衰老过程中显著增加，而 HGF，MIF 和 TSP2 则在 AD 病理性衰老异常敏感，提示了脑脊液 YKL-40 是健康衰老，而 HGF，MIF 和 TSP2 是 AD 病理性衰老的生物标记物。该研究为评估人体大脑衰老水平提供了可行的技术手段和方法，也为未来靶向衰老胶质细胞的临床试验疗效提供了评价指标。相关研究成果发表在 Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry 上。

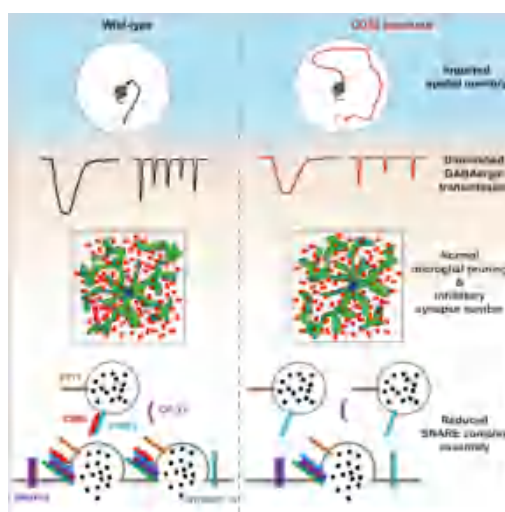


脑脊液衰老生物标记物在正常 (A-) 和 AD 病理 (A+) 情况下随年龄增大而变化结果

补体抑制蛋白调控大脑抑制性突触传递新机制

在 B 类先导科技专项“衰老的生物学基础和干预策略”的支持下，中国科学技术大学生命科学与医学部申勇教授课题组发现内源性补体抑制蛋白 CD59 的缺失会导致小鼠海马依赖的空间参考记忆能力受损，且特异性地损伤抑制性突触传递功能，而不影响兴奋性突触传递。进一步研究发现，CD59 并不是通过以往报道的补体因子介导小胶质细胞修剪突触的方式，而

是与定位于突触囊泡膜上的关键 SNARE 蛋白 VAMP2 结合，并促进控制神经递质释放的 SNARE 复合物的形成，从而发挥“直接”调控突触传递功能的作用。此外，CD59 分子在诸多神经退行性疾病如阿尔茨海默病和多发性硬化，以及精神类疾病如精神分裂症的发生发展中均表现出表达异常，本研究可为后续研究 CD59 在这些临床相关的神经退行性和精神类疾病中的作用提供基础，为开发治疗方案提供新的视角。相关研究成果发表在 Cell Reports 上。



CD59 缺失导致小鼠海马依赖的空间参考记忆能力受损

聚焦中国营养研究

2023 年 6 月，国际权威期刊《自然》杂志推出了聚焦中国营养研究的专刊（Spotlight: Nutrition

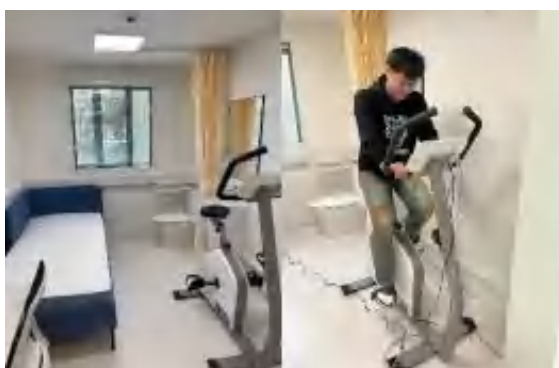
research in China）。其中对上海营养与健康研究所林旭研究员的采访相关内容发表在“为何中国的膳食变化是公共卫生的隐痛”（Why China's changing diet is

a bellyache for public health) 一文中。

为了应对“井喷”式增长的膳食相关疾病，国际上已开展了多个大规模的针对饮食与健康的临床干预研究，但大部分都是在西方国家中进行的。林旭研究员指出，由于中西方人群在基因和生活方式等方面存在较大差异，因而基于西方人群开展的研究结论不能一定能直接运用于中国人群。

在 B 类先导专项“多维大数据驱动的中国人人群精准健康研究”的支持下，林旭团队正在国科大杭州高等研究院新近启动的“人

体营养与代谢研究平台”上开展“百人级精准干预”研究。通过在国际上公认的人体能量代谢测量的金标准“人体代谢监测系统”（简称代谢舱）中开展代谢内稳态评估和后续的精准确生活方式干预，整合在先导项目资助下已完成的基于代谢内稳态评估的急性和慢性社区干预研究中运用的智能可穿戴、影像学和多维动态的多维组学数据，运用新理念和新策略建立以内稳态为基础的中国人人群健康评估体系，为我国在相关领域取得国际领先的成果和社区精准营养和健康管理方案提供关键支撑。



运动能量检测代谢舱



静息能量监测代谢舱

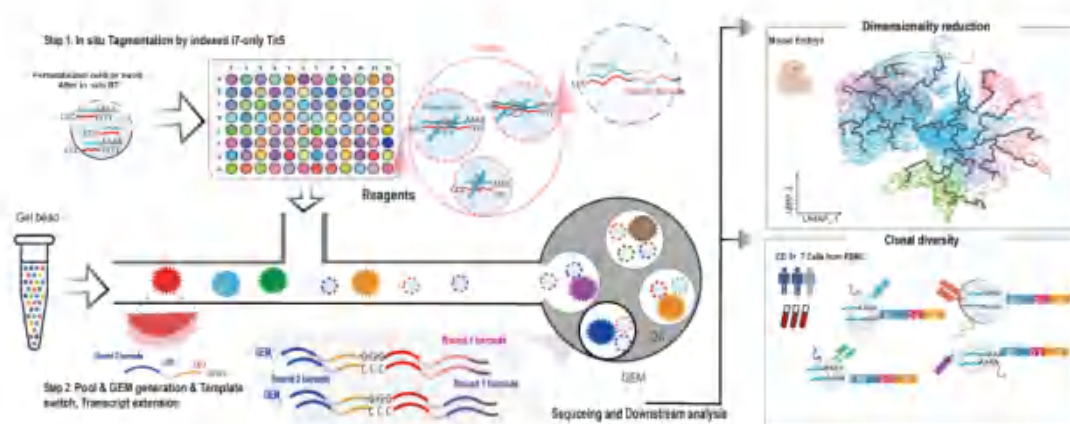
开发新型高通量单细胞多组学技术

现有的商业化单细胞测序技术由于成本高昂等局限，尚无

法高效满足上千人队列或者百万细胞量级的科研或者临床研究。在 B 类先导专项“多维大数据驱动的中国人人群精准健康研究”的支持下，北京基因组研究所蒋

岚团队基于组合标记技术路线改造优化主流液滴微流控平台，开发了新型单细胞转录组测序技术 FIPRES CI。该技术有效地结合了 SHERRY/TRACE-seq、组合标签和微流控三方面的优势，简单、有效、低成本地实现了超高通量的单细胞 5' 端 RNA 测序，将单通道细胞通量比现有技术提高十倍以上，大幅降低成本。该技术适用于单细胞转录组、调控元件

活性和免疫受体序列等多模态分析。FIPRES CI 具有广泛的应用前景，可有力支撑跨器官水平的大规模参考细胞图谱研究、跨时间和空间的器官发育研究，针对大规模健康人和疾病（例如癌症，自身免疫，新冠等）的队列细胞图谱研究，高通量 CRISPR 基因编辑和药物筛选的单细胞分子表型刻画研究等。相关研究成果发表在 Genome Biology 上，并申请国内外发明专利。



FIPRES CI 实验流程图和数据

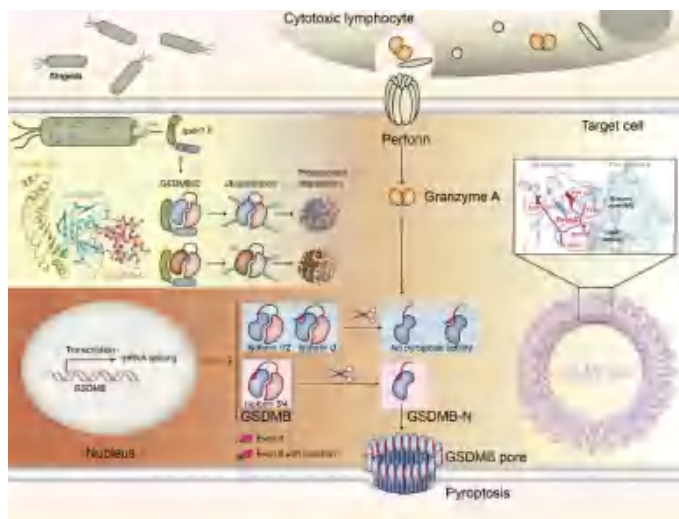
揭示 GSDMB 膜打孔介导细胞焦亡的结构基础和调控机制

在 B 类先导专项“生物大分子复合体结构与功能的跨尺度研究”的支持下，生物物理研究所客座研究员、北京生命科学研究所邵峰院士团队与生物物理所丁

璟琦研究团队合作，揭示了痢疾杆菌效应蛋白 IpaH7.8 特异性识别 GSDMB 与 GSDMD 两种焦亡执行蛋白的结构基础，并破解了 GSDMB 可变剪切调控细胞焦亡活性的精确分子机理。该项研究成果已发表在国际权威杂志 Nature 上。

痢疾杆菌可分泌效应蛋白 IpaH7.8 介导 GSDMB 与 GSDMD 两种焦亡执行蛋白的泛素化降解，逃逸宿主的天然免疫防御。本研究首先解析了 IpaH7.8-GSDMB 复合物的晶体结构，阐释了 IpaH7.8 通过其 LRR 结构域识别 GSDMB 的膜打孔结构域的分子机制，并以同样的机制识别人源 GSDMD。研究进一步发现了 GSDMB 不同的蛋白亚型具有不同的膜打孔能力和细胞焦亡活性。通过解析 GSDMB 27

重对称孔道的高分辨率冷冻电镜结构，阐明了 GSDMB 识别酸性磷脂、发生构象变化并寡聚成孔的结构基础，更重要的是发现了 6 号外显子形成的结构元件对 GSDMB 寡聚组装形成分子孔道是不可或缺的，澄清了 GSDMB 没有细胞焦亡活性的错误认识，指出 GSDMB 不同亚型是研究 GSDMB 生理功能必需考虑的重要因素，首次破解了 GSDMB 通过转录水平的可变剪接调控细胞焦亡活性的精确分子机理。



IpaH7.8 识别和降解焦亡蛋白的分子基础，以及 GSDMB 可变剪接调控细胞焦亡活性的精确分子机理

发现一种病原微生物逃逸植物免疫新机制精准光电联用系统

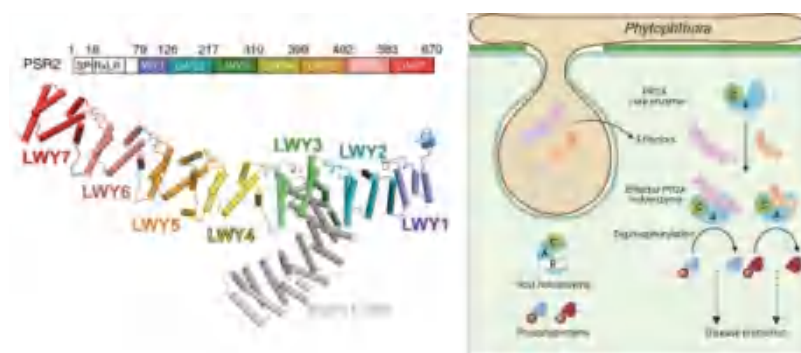
在 B 类先导专项“生物大分子复合体结构与功能的跨尺度

研究”的支持下，生物物理研究所王艳丽研究团队与英国塞恩斯伯里实验室马文勃研究团队共同合作，首次发现多种疫霉属 (Phytophthora) 病原微生物可

以向植物宿主细胞分泌一类可以挟持内源 PP2A 核心酶的 WY1- (LWY)n 效应蛋白。该类效应蛋白可以有效竞争掉内源全酶中的 B 亚基,并模拟内源 B 亚基的功能,以一种非传统型全酶形式干扰宿主细胞的免疫防御过程,使得病原菌更易侵染植物。

该研究利用晶体学手段,以

疫霉效应蛋白 PSR2 为研究对象,解析了 2.3 埃的 PSR2-PDF1 二元复合物晶体结构,揭示了 PSR2 与内源 PP2A 的 A 亚基 (PDF1) 的相互作用机制。疫霉属 (Phytophthora) 的感染是全球植物健康和粮食安全的主要威胁,该研究的发现可以为植物病原菌防御提供重要理论支持。相关研究成果发表在 Cell 上。



PDF1⁽¹⁻³⁹⁰⁾-PSR2⁽⁵⁹⁻⁶⁷⁰⁾ 二元晶体复合物结构和效应蛋白挟持宿主 PP2A 核心酶示意图

专项管理

中印尼海洋牧场项目年会顺利召开

在 B 类先导专项“印太交汇区海洋物质能量中心形成演化过程与机制”的支持下,中印尼海洋牧场项目年会在印尼万隆召开,

专项首席、海洋所所长王凡研究员,印尼国家研究创新署地球科学与海洋学院院长 Ocky Karna Radjasa 教授及海洋研究中心所长 Udhi Hernawan 教授出席会议并致辞。中国驻印尼使馆一秘付俊生博士、二秘易先亮博士,

中科院海洋所及印尼国家研究创新署海洋研究中心等相关人员参加了会议。Dirhamsyah 教授对海洋牧场项目的实施方案、项目管理、运行经费等情况进行了详细介绍。专项骨干成员于仁成研究员重点介绍了中印尼双方的合作进展，落实中印尼双方开展项目联合海洋科考细节，并期待在龙目岛的海洋牧场项目顺利进行。

双方科研人员就物种验证、海洋牧场示范、刺参的选育与养殖、海洋牧场监测与环境安全系统、海洋牧场海域耦合数值模拟、观测浮标的搭建、龙目岛海洋牧场和海藻养殖、海洋牧场环境安全系统、印尼水产养殖生物群和

热带海藻生产的研究、生物多样性的初步研究及未来合作进行报告及讨论。

王凡所长此行与印尼国家研究创新署署长 Handoko 博士进行重要会谈。Handoko 博士表示，中印尼两国具有良好的国际合作基础，科学院与创新署的科技合作在疫情背景下持续进展，我们将继续支持开展联合航次，加深机构间合作，大力开展人员交流和研究生培养。王凡所长表示未来双方将继续深化科技、海洋等领域合作，期待双方共同努力，进一步推动中印尼海洋合作，构建蓝色经济伙伴关系，为两国全面战略伙伴关系作出新的贡献。



中印尼海洋牧场项目年会

国际动态

迄今最清晰鼠脑图像发布

美国科学家在4月17日出版的《美国国家科学院院刊》上刊发论文指出¹，在核磁共振成像（MRI）技术问世50周年之际，他们将小鼠大脑图像的分辨率提高了6400万倍，新图像中单个体素（三维像素）只有5微米。这一成果有助科学家更好地了解人脑的状况，如随着年龄的增长，阿尔茨海默病等神经退行性疾病的出现，人脑会发生何种变化。

研究论文主要作者、杜克大学艾伦·约翰逊教授表示，尽管最新研究观察的是小鼠脑而非人脑，但精细的核磁共振成像提供了一种重要的新方法，能以破纪录的分辨率可视化整个大脑的连接，让人们能以全新的方式看待神经退行性疾病。

最新研究使用到的关键组件包括强度高达9.4特斯拉的磁铁（大多数临床MRI主要使用1.5–3特

斯拉的磁铁）；一组比临床MRI强100倍的特殊梯度线圈，其有助于生成大脑图像，以及一台相当于近800台笔记本电脑的高性能计算机。

约翰逊团队使用名为光片显微镜的技术对小鼠的大脑组织成像，这一技术使他们能够标记大脑中的特定细胞（如多巴胺释放细胞）群，以观察帕金森病的进展。随后他们将光片照片映射到原始MRI扫描图片上，得到了综合的小鼠全脑数据图像，这使他们能以前所未有的方式观察大脑的微观奥秘。

如一组综合MRI图像显示了大脑连接随小鼠年龄增长的变化，以及特定区域（如与记忆有关的海马下托）的变化。另一组图像则展示了彩虹色的大脑连接，突出了阿尔茨海默病小鼠模型中神经网络的显著退化。

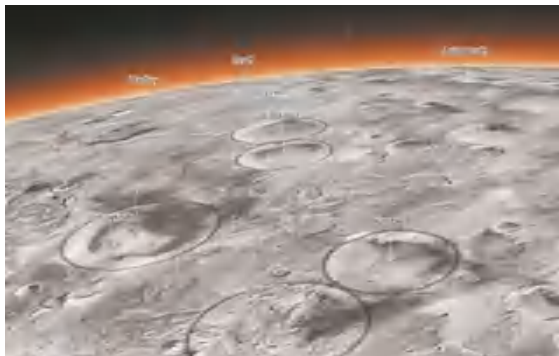
研究人员希望借助最新技术，更好地理解罹患某些人类疾病（如亨廷顿舞蹈症、阿尔茨海默病和其他疾病）的小鼠模型，以便更透彻地理解类似疾病在人类身上

1 <https://today.duke.edu/2023/04/brain-images-just-got-64-million-times-sharper>

如何出现以及变化。

迄今最高清火星“肖像”绘出

据美国国家航空航天局 (NASA) 4月5日消息²，美国加州理工大学布鲁斯·默里行星可视化实验室的一个小组公布了有史以来分辨率最高的火星全球“肖像”，高达5.7万亿像素的图像提供了火星一览无余的黑白外观。



火星撞击坑图像

这张巨大的互动式“拼图”，由NASA火星勘测轨道器(MRO)上的上下文相机(CTX)拍摄的超过11万张单独图像组成。图像覆盖了南纬88度到北纬88度之间的99.5%的火星表面，包括悬

崖峭壁、撞击坑和尘埃带在内，均捕捉到了“令人着迷的”细节。

自从MRO于2006年抵达火星以来，CTX几乎记录了这颗红色星球的全貌，这成为科学家们绘制图像的最佳起点。

为了创建图像，研究人员开发了一种算法，根据CTX相机所捕获的特征来匹配图像，并将算法无法匹配的剩余13000张图像手动拼接在一起。图像中剩下的空白代表了CTX还没有成像的火星部分，或者被云层或灰尘遮挡的区域。

科学家花了6年时间和数万个小时来合成这幅图像。现在，公众可通过NASA的行星数据系统免费获取这些数据，探索火星“生动的细节”。

NASA新闻稿称，这幅图像最酷的特点之一是突出了整个星球上的撞击坑，可让观众看到火星的“伤痕累累”。

首个果蝇细胞衰老图谱公布，揭示体内不同细胞如何老化

了解身体如何衰老是一个重要的研究领域。美国贝勒医学院、斯坦福大学等机构研究人员在《科

2 <https://www.nasa.gov/feature/jpl/new-interactive-mosaic-uses-nasa-imagery-to-show-mars-in-vivid-detail>

学》上发表了首个果蝇细胞衰老图谱 (AFCA)³, 详细描述了果蝇中 163 种不同细胞类型的衰老过程。

分析表明, 体内不同细胞的年龄不同, 每种细胞类型的衰老过程都遵循特定的模式。AFCA 为衰老研究提供了宝贵的资源, 将作为研究衰老和年龄相关的疾病, 以及评估抗衰老策略成功与否的参考。

该研究详细分析了果蝇在实验室自然老化时单个细胞类型的几种生物学特征。果蝇是研究人类疾病的著名模型。大约 75% 的与人类疾病相关的基因在果蝇中具有功能相似的对应物。研究人员称, 新图谱为更好地了解衰老生物学提供了强大的开放获取资源。由于这些基因中的大多数在人类中具有相似作用, 因此该数据集提供了一个有利视角, 帮助解释为何人类晚年会出现多种严重疾病。

随着果蝇年龄的增长, 研究人员分别在其 30 天、50 天和 70 天 (后者相当于人类 80 岁) 时取样。在每个时间点, 他们都进行了单核 RNA 测序, 以分析不同器

官中单个细胞的基因表达变化, 并将结果与幼果蝇 (5 天大) 的结果进行比较。他们检查了 4 种不同的衰老特征: 细胞组成变化、差异表达基因数量、表达基因数量的变化和细胞身份的下降。结果发现, 随着果蝇年龄的增长, 这些特征会根据不同细胞类型的特定模式作为一个整体发生变化。

4 种老化特征中的每一种都测量细胞的不同方面, 并且没有一种特征适用于所有细胞类型。结合所有衰老特征, 研究人员发现了独特的细胞类型特异性衰老模式, 将它们进行比较后, 可以揭示一些有用且有趣的发现。例如, 大脑中的神经元衰老缓慢, 而肌肉、脂肪和肝细胞衰老得更快。此外, 细胞类型特定的衰老模式可能因性别而异。

运动纤毛轴丝的完整原子结构并辅助纤毛病临床诊治

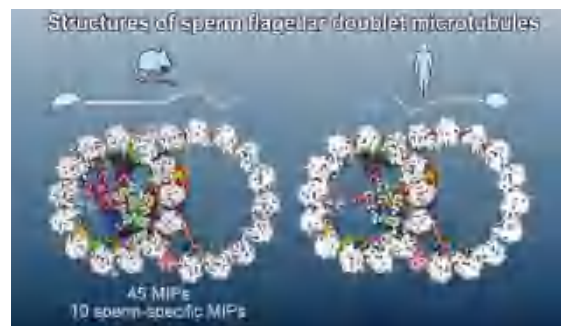
纤毛 (cilia) 是真核细胞表面一类凸起的细胞器, 普遍存在于高等生物几乎所有细胞中, 在细胞运动, 胚胎发育, 信号转导等过程中发挥重要作用。纤毛表面覆盖有细胞膜, 中央是基于微管的骨架结构, 称为轴丝 (axoneme)。

3 <https://www.sciencedaily.com/releases/2023/06/230615183130.htm>

运动纤毛的轴丝为经典的“9+2”结构,包括九根双联微管(DMT)、两根中心微管及数百种附属蛋白质,其直径约200纳米,长度大于5微米,是真核细胞内最复杂的分子机器之一。运动纤毛的生长和运动由几百种蛋白质精密协作来完成,相关基因突变和结构异常可引起原发性纤毛运动障碍症(PCD)和精子鞭毛多发形态异常(MMAF)等疾病。近期,国际上连续发表了多篇研究论文,解析了纤毛轴丝的高分辨率结构。

2023年5月31日,哈佛医学院 Alan Brown 课题组在 Nature 期刊上发表论文⁴,解析了莱茵衣藻和人呼吸道纤毛轴丝的冷冻电镜结构,结合 AI 辅助结构预测和原子建模手段构建了轴丝的全原子模型,揭示了近200种蛋白质组装成轴丝并调控纤毛运动的结构基础;进一步解析了四种不同基因突变 PCD 病人来源的纤毛轴丝结构,阐明了相关突变致病的分子机制。6月8日,西湖大学生命科学学院吴建平团队合作在 Cell 上发表论文,首次解析了小鼠和人的精子鞭毛微管二

联体复合物的冷冻电镜结构,鉴定了多个精子特异的微管结合蛋白,并由此发现了一类新型的弱精症亚型。该工作为理解精子运动的结构基础以及相关男性不育症的诊断和治疗提供了重要线索。6月15日,荷兰乌得勒支大学的 Tzviya Zeev-Ben-Mordehai 团队合作在 Cell 期刊上发表论文,展示了来自海胆和牛精子的天然轴突双微管的高分辨率结构,鉴定出60多种修饰精子 DMTs 的蛋白质;至少有15种与精子有关,16种与不孕有关。他们分析了 Tektin 束的进化,发现保守的轴突微管相关蛋白(MAPs)具有独特的微管蛋白结合模式,还发现了一种睾丸特异性丝氨酸/苏氨酸激酶,该激酶将 DMTs 与哺乳动物精子中的外层致密纤维联系起来。本研究为在分子水平上理解精子的进化、运动和功能障碍提供了结构基础。



小鼠与人精子微管二联体结构

4 <https://www.nature.com/articles/s41586-023-06140-2>



中国科学院前沿科学与教育局

地址：北京三里河路 52 号

邮编：100864

电话：68597354

邮箱：yxzong@cashq.ac.cn

中国科学院文献情报中心

地址：北京市海淀区北四环西路 33 号

邮编：100190

电话：82626611-6607

邮箱：lizexia@mail.las.ac.cn