

狗能够分辨人类的恐惧与悲伤

本报讯 科学家以及爱狗人士早已知晓，狗在解读人类的微笑、皱眉和哭泣方面表现出色。然而，这种能力背后的生物学机制此前在很大程度上一直未被深入研究。

在近日发表于《交叉科学》的一项研究中，科学家对狗在观察各种人类表情图像时的脑部活动进行了研究。脑部扫描结果显示，狗会在一个独特的脑区处理笑容，并且首次提供了证据，表明狗能够区分包括愤怒、悲伤和恐惧在内的面部表情。

“人类非常擅长捕捉面部的小细节，狗也是如此。”论文第一作者、奥地利维也纳大学的 Raúl Hernández-Pérez 表示，“这使得狗显得格外有趣。通过研究它们的脑部结构，我们可以了解狗为了支撑对人类的社交和感情的理解而发展出的适应性特征。”

研究人员首先聚焦于幸福感这一概念。此前的研究表明，对于狗而言，这种情感表达具有特别重要的意义。他们在对 8 只狗进行扫描的同时，向其展示了陌生人的面部图像。这些人的表情或愉悦或平静。结果显示，快乐的表情会点亮狗脑中颞叶皮层和尾状核区域，这两个区域分别与较高的认知处理和奖赏处理功能有关。

“尾状核的活动尤其耐人寻味。”同样来自维也纳大学的 Laura Cuaya 表示，“这似乎表明，快乐的人类面孔可能对狗而言具有某种情感上的意义。”

随后，团队探究了相同的大脑区域是否会对其他情绪做出反应。他们向 12 只狗展示了表现出快乐、愤怒、恐惧和悲伤情绪的人的图像，并使用机器学习技术分析了这些狗的大脑活动。结果发现，它们对负面情绪的反应并不一致。颞叶皮层－尾状核网络仅对快乐情绪做出独特反应，这使得研究人员能够轻松区分大脑对微笑与上述 3 种负面表情的反应。

但研究团队发现，狗的大脑并非只是将世界划分为善与恶两类。一项全脑分析揭示了截然不同的活动模式，这些模式将恐惧与愤怒和悲伤区分开来，由此首次提供了狗能够辨别特定负面面部表情的证据。

研究人员表示，这种能力并不意味着狗的情感体验与人类完全一致。此外，一张静止的人脸照片并不能完整展现全部情况。在现实生活中，狗会观察人类的肢体语言，倾听声音中的细微差别，并从气味中获取信息。

“当我们将人类与非人灵长类动物进行比较时，我们关注的是那些可能源自于共同祖先的能力。”Cuaya 表示，“对于狗而言，情况则完全不同。它们遵循了一条截然不同的进化路径，但通过驯化，它们发展出了理解我们并与我们合作所需的社会能力。”

研究团队指出，在这项研究中，参与实验的狗均来自有爱的家庭。而那些流浪狗所面对的社交环境则截然不同，其对人类信号的解读方式可能也有所不同。

接下来，研究人员计划采用一种更加以狗为中心的视角，以了解狗是如何整合这些脑信号，从而理解周围人类的行为的。他们未来的研究还将比较人类和狗的大脑在处理相同情感信号时的差异。

Cuaya 表示：“我希望人们能够把狗视为具有情感的生命体。它们与我们一同进化，能够理解我们的表情并与我们合作。认识到这一点，可以改变我们与它们交流及照顾它们的方式。”（赵熙熙）

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1016/j.jsci.2026.116900>



图片来源：pixabay

（上接第 1 版）

这一奇迹的背后，离不开于敏提出的氢弹构型——于敏构型。这不仅走出了一条完全区别于国外的自主技术路径，比美国的 T-U 构型更加巧妙，而且更契合实战需求。

扎根一线，前瞻布局

随着更多人知晓于敏隐性埋名的事迹，“氢弹之父”的美名也逐渐传开，但于敏却婉拒了这一称呼。

“氢弹研究是一项系统工程，需要精诚团结、密切合作。这是从事核武器研制的科学工作者必须具备的品格。”在于辛的回忆里，父亲总是叮嘱要重视集体的力量。

这是于敏身体力行的准则。杜祥琬记得，1966 年底，氢弹原理试验前夕，于敏常常和大家一道坐在核试验场帆布帐篷里的木板地上，反复测算各项关键参数。

1969 年，于敏又带队来到四川绵阳的深山中，开启了核武器研究的崭新阶段。长期奔波于四川和北京的生活，让于敏承受着精神和身体的双重压力。在进行一次地下核试验和大型空爆热试验时，于敏连上台阶都要用手托起腿，缓步前行。尽管事务纷纷扰扰他休息，但他决意要到现场观测。

在带领团队扎根一线的同时，于敏也十分注重研判国际核武器技术发展路线。“他的知己知彼是结合我国的情势和需求，为发展战略研究服务的。”杜祥琬回忆道。

这让于敏对全球核武器技术的发展大势始

远古极热事件导致森林大幅衰退

当今气候变化可能造成类似后果

本报讯 一项近日发表于《科学》的研究通过重建古代生态系统，分析了约 5600 万年前的古新世－始新世极热事件(PETM)。结果发现，该事件导致森林覆盖面积大幅缩减。这与人类驱动的气候变化可能造成的后果有相似之处。

“现在，世界各地都能看到这种情况，许多森林处于衰退状态。”论文作者、美国加州洛杉矶县自然历史博物馆的古气候学家 Regan Dunn 说。

PETM 是地球历史上最显著的气候剧变之一。据估计，该时期释放的二氧化碳总量，大致相当于在悲观情景下人类到 21 世纪末的总排放量。PETM 期间，二氧化碳的激增使全球平均气温上升了 5℃至 9℃，改变了全球气候超 15 万年。利用这一时期保存下来的化石、沉积物和其他地球化学证据，研究人员可以拼凑出地球生态系统为应对变暖而发生的剧变。在森林组成方面，中纬度地区的阔叶林让位于蕨类。同时，被水汽充沛的大气“赋能”的河流带

走了更多沉积物，土壤储存的碳也减少了。

Dunn 和同事想搞清楚上述变化如何改变林冠层的结构，这可以揭示生态系统中碳储存变化，以及森林的功能状况。

为了弄清古代森林的结构，团队分析了美国怀俄明州汉纳盆地沉积岩芯中叶片化石细胞的形状。由于植物生长的向光性，研究人员通过细胞形状可以衡量树冠被遮挡与暴露在阳光下的程度。

研究人员利用叶片化石估计了该地在 PETM 期间，树冠随着二氧化碳和温度上升产生的变化。森林“绿度”用叶面积指数来衡量。结果发现，PETM 期间森林状况并不好。树冠覆盖度在 PETM 初期呈上升趋势，但在接下来的几千年里叶面积下降了 61%，树冠覆盖度也降低了 35%，并维持了数万年，直到 PETM 结束。

研究人员表示，这一模式表明，最初的二氧

化碳上升促进了森林生长。但随后，这种“施肥效应”被更高的气温抑制了。“过多的二氧化碳使温度升高，超出了植物生存的极限。”Dunn 说。

美国国家自然历史博物馆的古植物学家 Scott Wing 说，上述结果与北半球其他地点最近发现的证据一致，表明 PETM 导致中高纬度地区森林覆盖度大规模下降。

古代森林的变化与科学家今天所见有相似之处。Dunn 指出，卫星数据显示，自 2000 年以来，全球普遍呈褐化趋势。值得注意的是，这发生在 20 世纪绿化趋势之后，这一过程与 Dunn 团队在化石中发现的趋势类似。

然而，PETM 并不是当今气候变化的完美类比。历史上的二氧化碳释放速度可能比当前化石燃料燃烧排放的速度慢得多，前者变化过程在千年间而非数百年间。此外，当时生态系统并未面临其他人为压力，如森林砍伐。“但 PETM 仍具有警示性，我们要从过去寻找关于



卫星数据显示，自世纪之交以来，全球呈现褐化趋势。
图片来源：ezypix

未来可能发生什么的线索。”美国犹他大学的古气候学家 Gabriel Bowen 说。（徐锐）
相关论文信息：
<https://doi.org/10.1126/science.aec4776>

“小柯”秀

一个会写科学新闻的机器人

《自然》放射状胶质细胞谱系进展的时间解耦

奥地利科学技术研究所的 Simon Hippenmeyer 团队研究了皮层类器官中放射状胶质细胞(RGP)谱系进展的时间解耦。相关成果近日发表于《自然》。

研究团队在小鼠胚胎干细胞中建立了 MADM 技术，以在自组织的皮层类器官系统中探究 RGP 谱系进展。他们发现，与体内观察到的严格时间刻板化谱系进展不同，类器官中的 RGP 在增殖潜能方面表现出高度的可塑性。尽管 RGP 具有统一的单细胞转录特征和单一的谱系轨迹，但类器官中的 RGP 表现出更强的谱系限制，导致皮质投射神经元克隆中的细胞类型多样性减少。它们是自组织系统真正的干细胞生态位中缺失的关键非细胞自主信号，对于 RGP 谱系进展的时间控制和克隆皮质细胞类型多样性的产生至关重要。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s41586-026-10916-7>

石墨中的类雪崩插层与颗粒内关联

英国剑桥大学的 Akshay Rao 团队分析了石墨中的类雪崩插层与颗粒内关联。相关研究近日发表于《自然》。

研究团队利用原位光学显微镜，为石墨插层稀相阶段的离子插层动力学提供了统一图景，表明石墨颗粒会经历快速的局域化脱插－插层步进事件，导致微米尺度的区域在数秒内完成脱插－插层。这些现象类似于无序材料中发生的相变现象——“雪崩”，其特征是序参量因多个亚稳态之间的跳跃而发生阶跃变化。通过改进的随机场伊辛模型，研究团队将雪崩与静态无序关联起来，后者扰乱了插层动力学。该模型还能解释相之间看似连续的转变以及实验观测到的雪崩统计规律。

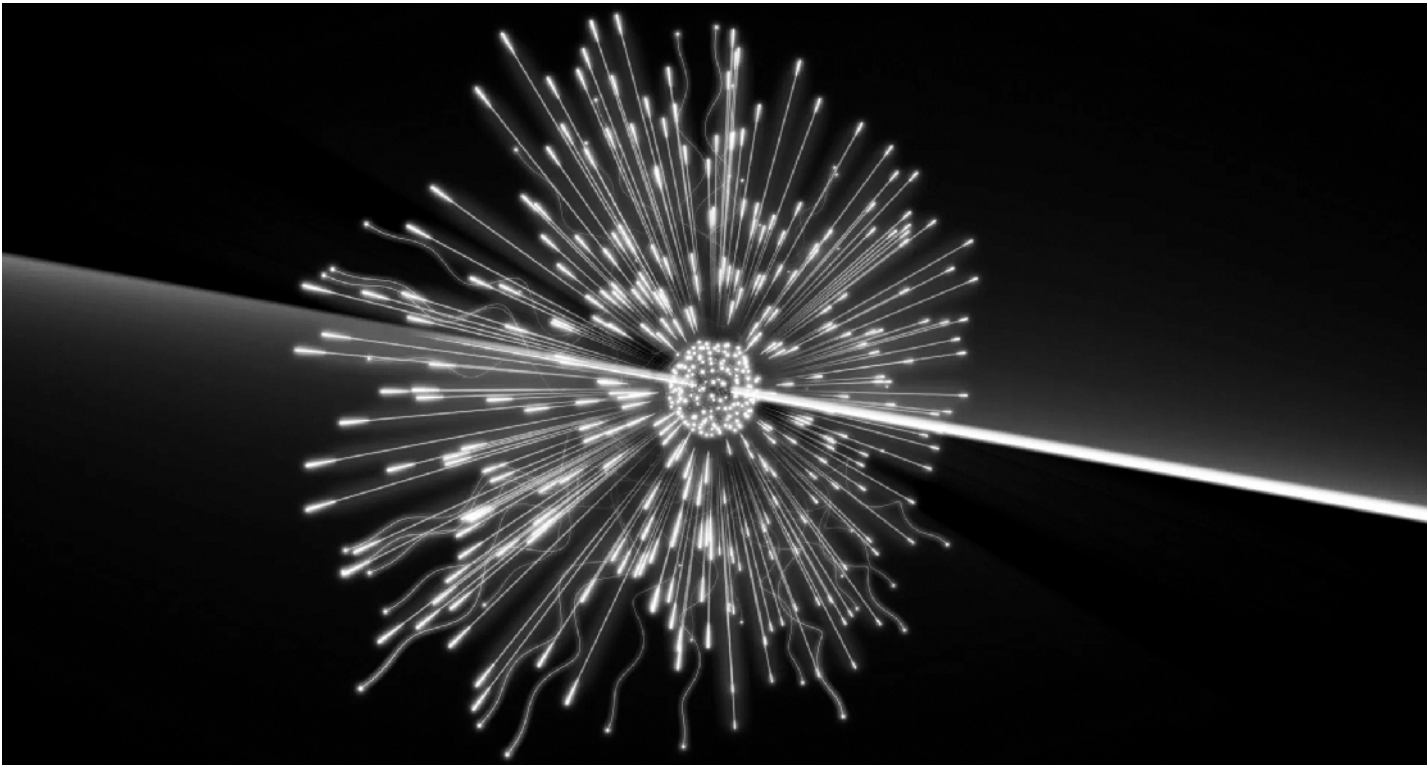
该研究强调了局域静态无序在解释意料之外的相变行为中的作用，并为层状电池材料的研究提供了新的工具和概念。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s41586-026-10862-4>

更多内容详见科学网小柯机器人频道：
<http://paper.sciencenet.cn/Alnews/>

■ 科学此刻 ■

核反应堆首现“幽灵余辉”



科学家首次探测到核反应堆停机后留存的微弱反中微子辐射。

图片来源：Shutterstock

即便核反应堆已经关闭，堆芯深处依旧存在放射性活动。长寿命的放射性裂变产物会持续衰变数月甚至数年，释放出微弱的粒子流——反中微子。中微子是宇宙中已知质量最轻、最难捕捉的粒子，它们可几乎不受阻碍地穿过反应堆及其外围防护层。

德国马克斯·普朗克核物理研究所主持的双舒兹实验合作组科学家首次完成了对这种残余反中微子辐射的测量。研究表明，即便在反应堆停机状态下，反中微子探测器依然可以获取相关信息。这有望为反应堆监测、核安全与核保障开辟全新途径。相关成果近日发表于《物理评论快报》。

此次测量在法国北部的舒兹核电站开展。双舒兹探测器埋于地下，距离核电站两座反应堆堆芯约 400 米。探测器内部装有 30 多立方米的液体闪烁体，当反中微子与其发生相互作用时，会产生微弱闪光。

马克斯·普朗克核物理研究所的 Thierry Lasserre 解释道：“反中微子与物质发生相互作用的概率极低。一旦它在双舒兹探测器内部发生反应，就会产生特征性的双光信号，从而与背景噪声事件区分开来。”依靠

这一独特信号，科学家能够识别来自反应堆的反中微子。

研究人员分析了两座反应堆完全停机期间共计 17.2 天的观测数据。其间，探测器记录到约 100 起反中微子候选事例，这些信号来自反应堆堆芯以及邻近的乏燃料冷却池。

探测到的信号与精确模拟结果高度一致。精细模拟充分考虑了剩余核燃料总量及长寿命裂变产物的衰变过程。这是首次通过实验直接证实了关于停机反应堆与乏燃料

冷却池会释放反中微子。

领导该研究的马克斯·普朗克核物理研究所的 Anthony Onillon 补充说：“之前的反中微子实验大多聚焦运行状态下的反应堆，其反中微子通量要大得多。而探测停机之后十分微弱的残余信号，则需要本底噪声极低，还要依靠精密的分析技术。”

双舒兹探测器最初用于研究中微子振荡，在测量中微子混合角 θ_{13} 的工作中发挥了关键作用。 θ_{13} 是描述中微子在传播过程中发生类型转换的基础物理参数。这种测量为后续研究中微子领域的正反物质不对称现象打下了基础。如今，双舒兹探测器又首次捕捉到核反应堆停机之后依旧存在的微弱反中微子辐射。

双舒兹实验合作组的成果，给出了首份公开发表的参照基准，用于研究停机反应堆与乏燃料冷却池的残余信号。该研究表明，未来反中微子探测器不仅可以监测运行中的反应堆，也能在设备维护期间及反应堆停机之后提供有效数据。这类测量手段对于独立确认反应堆工作状态、追踪乏燃料存量等具有重要价值。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1103/dr26-j19g>

于敏：最“沉默”的科学家，用一生铸就“大国重器”

终保有敏锐的判断力。1986 年 4 月 2 日，于敏和中国科学院院士邓稼先向中央呈报《关于中国核武器发展的建议》，并获得批准。

1992 年，于敏在同杜祥琬等人的一次谈话中分析了禁核试的前景，认为“全面禁核试或分步骤达到禁试都是可能的”，并强调，“要保持 expertise(专业能力)，要保持技巧、水准、人才，这是十分重要的”。

后来的实际情况充分印证了于敏的远见。1996 年，《全面禁止核试验条约》签署，所有缔约国承诺不进行任何核武器试验爆炸或任何其他核爆炸。

于敏、邓稼先的前瞻思考和布局，为我国争取了宝贵的 10 年热核试验时间，在提升我国核武器水平、发展核武器装备部队并形成战斗力方面发挥了重要作用。

找“老于”？有“三不论”

在不少同事心里，向于敏请教有“三不论”：不论时间地点、不论范围领域、不论问题大小难易，于敏总是知无不言，言无不尽。

“人各有所长，也一定各有所短，谁都有许多不懂的。所以我说，大家要想得开，同心协力去做好这篇大文章。”于敏说。

在于辛印象里，父亲总是温文尔雅，和蔼可

亲。“他学识渊博，人家也愿意问他问题，他总是把自己的想法与诀窍和盘托出，耐心解答。”正因如此，不少人都曾受过“老于”的点拨。

“老于”，是于敏在北京九所(现北京应用物理与计算数学研究所)的称呼。1965 年，于敏调入北京九所，这里称呼领导都不带职务，而是以“老”字开头。

1972 年，繁忙的工作之余，于敏还上了课。北京花园路 3 号院 14 号楼的办公室里摆上了两块黑板，20 多人聚精会神地听“老于”讲等离子体力学。这是研究激光惯性约束聚变(ICF)最基础的课程。

其实，在上世纪 70 年代初，于敏就敏锐意识到，ICF 是我国至关重要的战略性研究课题，并于 1972 年在北京九所着手开展相关工作。

然而，有想法还不够，还得有一支科研人才队伍。“对我们九所人来说，虽然在原子弹、氢弹原理的突破中学了不少知识，但研究 ICF 所需的基础课，我们大多数人还没有学过。”北京九所退休研究员赖东显说，“所以，老于就得从培养人才队伍开始。”

在赖东显印象里，于敏通常就带几张纸，拿一支粉笔，在黑板前边写边讲，再长的公式也能一气呵成，完全不需要看讲义，逻辑严密、条理清晰，听他的课成了一种“享受”。

于敏在黑板前讲课，年轻的同事在下边记

录，一周两次课，大约半年就上完了等离子体动力学课程。而记录下来的整整 3 本讲义，通过蜡刻、分发，成了大家的“宝贝”。

从 1972 年起，于敏开设了 2 门基础课、4 门引领课，亲自编写了 4 本教材，为北京九所的人才队伍建设奠定扎实基础。同时，他提出应把能量关在黑腔里的设想，并设计了筒状结构的黑腔靶，开展了间接驱动出中子的实验研究。这与后来美国解密后发表的间接驱动惯性约束聚变原理和结构类似。间接驱动设想的提出，使我国 ICF 研究从一开始就走在了一条正确的道路上。

位于中国科学院大学雁栖湖校区的中国科学院与“两弹一星”纪念馆内，收藏着于敏《关于氢弹理论预研工作的简况》的手稿，传承着这种求真务实、扶掖后学的精神。

“愿将一生献宏谋”

提起父亲，于辛总会回想起一个画面：30 多平方米房子里，为了不打扰家人休息，于敏搬个长方形的板凳，就着台灯，坐在马扎上看书思考。平时，要是父亲的同事来家里讨论工作，于辛和姐姐就要躲出家门。

“小时候，我只知道父亲是个搞科研的。”于辛回忆道。尽管于敏很少教孩子具体的文化知识，但在人生的关键节点，总会跟他们谈心。“尤

其是高考填报志愿时，他告诉我们要把自身理想和国家发展紧密结合，才能找到自己的位置，有所作为。”

“苟利国家生死以，岂因祸福避趋之。”这是于敏的座右铭，将个人理想与国家命运紧密相连是他一生践行的信念。

此外，于敏的另一句座右铭——“非淡泊无以明志，非宁静无以致远”，则彰显了他淡泊名利的价值追求。“淡泊就是要不为物欲所惑，这样才能志存高远；不为权势所屈，这样才能有骨气；不为利害所移，才能坚持真理。”

秉持着这一信念，于敏家里 30 多年的铁床、油漆脱落的写字台、20 多年的电视机都照常使用。“我很多次数都想换掉，但他总觉得‘又没坏、还能用’。”于辛说。

这份低调质朴，体现在于敏生活的方方面面。1999 年 9 月 18 日，于敏、程开甲、王淦昌等 23 位科学家被授予“两弹一星功勋奖章”，“热爱祖国、无私奉献，自力更生、艰苦奋斗，大力协同、勇于登攀”的“两弹一星”精神也应运而生。2015 年，89 岁高龄、坐着轮椅的于敏，在人民大会堂接过“2014 年度国家最高科学技术奖”荣誉证书。这是于敏晚年为数不多、最为公众熟知的两次公开露面。

于敏在 1999 年 10 月 10 日写下《抒怀》一诗：“忆昔峥嵘岁月稠，朋辈同心方案求。亲历新旧两时代，愿将一生献宏谋。身为一叶无轻重，众志成城镇贼酋。喜看中华振兴日，百家争鸣竞风流。”

“愿将一生献宏谋”，将一生奉献给中国的核事业，于敏是这样说的，更是这样做的。