

# 太阳磁场起源有新说

## 形成于太阳表面下约3.2万千米处而非对流层深处

◎本报记者 宗诗涵

美国著名太阳物理学家尤金·帕克曾说：“如果没有磁场，太阳将变得枯燥无味。”而太阳磁场的起源问题，一直是天文学界的未解之谜。

近日，《自然》杂志报道，由美国西北大学牵头的国际研究团队提出，太阳磁场形成于太阳表面下约3.2万千米处。这一观点与当前流行不同。流行观点认为太阳磁场通常形成于太阳对流层深处。

### 太阳磁场测量难度大

尽管我们每天目睹太阳东升西落，对太阳黑子、耀斑、日冕等活动也耳熟能详，但对天文学家而言，太阳仍是一个“最熟悉的陌生人”。

太阳内部结构复杂，科学家普遍认为，其核心是发生核聚变的日核和辐射区，外部则为对流层。对流层约占太阳半径顶部三分之一，其范围延伸到太阳表面以下约20万千米，科学家推测太阳磁场可能产生于这一区域。

磁场是一种看不见、摸不着的物质，但可以通过某些具体的方式展现出来。“在磁铁上放一块玻璃板，玻璃板上撒些铁粉，然后轻拍玻璃板，铁粉便会按照一定方向有序排列，这就是具象化的磁力线。”中国科学院国家天文台研究员张洪起介绍，太阳磁场和地球磁场物理性质基本一样，但太阳磁场更为复杂多变。张洪起曾经长期在国家天文台的怀柔太阳观测基地工作。该基地是国际著名的太阳磁场观测台站，曾取得一系列世界一流观测和研究成果。

“假如能把指南针放在太阳表面，那么会发现在太阳的不同区域，指南针的指向是不同的，即使是在同一区域，指南针在不同时刻所指的方向也会发生变化。”张洪起解释，之所以会出现这样的情况，是因为太阳磁场不断随时间发生演化，并向日地空间扩散开来。

然而，指南针难以放到炙热的太阳附近。为了观测太阳磁场，科学家只能另辟蹊径，利用物理学中的塞曼效应进行观测。塞曼效应是指在外磁场中，原子的发射谱线会发生分裂且偏振的现象。张洪起介绍，通过测量太阳上的光谱分裂和不同分量偏振情况，就能够间接推算太阳表面磁场的分布状态。

1908年，美国天文学家乔治·埃勒里·海耳首先发现太阳黑子具有强磁场。他第一次证实了宇宙中除地球磁场之外的磁场存在，也间接揭示了太阳活动源自磁场。但是，由于太阳大气的不透明性，人们只能测量太阳表层磁场的大概分布情况，无法获得太阳内部磁场的真实分布状态。

帕克在1955年提出了太阳发电机理论，以解释太阳内部磁场的起源和演化。太阳发电机理论认为，通常在太阳内部，高温等离子体的流动受到太阳核心核聚变产生的巨大热量影响，促进了复杂的磁场形成和演化。

“形象地说，太阳就像一个发电机，它的旋转以及内部物质的流动，将运动能转化为电磁能。”张洪起说，由于人们无法真正了解太阳内部，因此至今都不能完全弄清太阳磁场形成的细节。

# 用“宇宙透镜”验证广义相对论

◎本报记者 孙明源

近日，美国波特兰社区学院物理学教授托比·迪特里奇和一群学生前往墨西哥中北部的山区小镇埃尔萨尔托附近，在日食投影中心观察太阳周围的光线。此举旨在重现经典天文实验。

爱因斯坦的广义相对论预测，质量巨大的星体例如太阳，会使周围恒星的光线弯曲。在日全食期间观测太阳周围恒星的光线是否弯曲，可以反过来验证广义相对论。

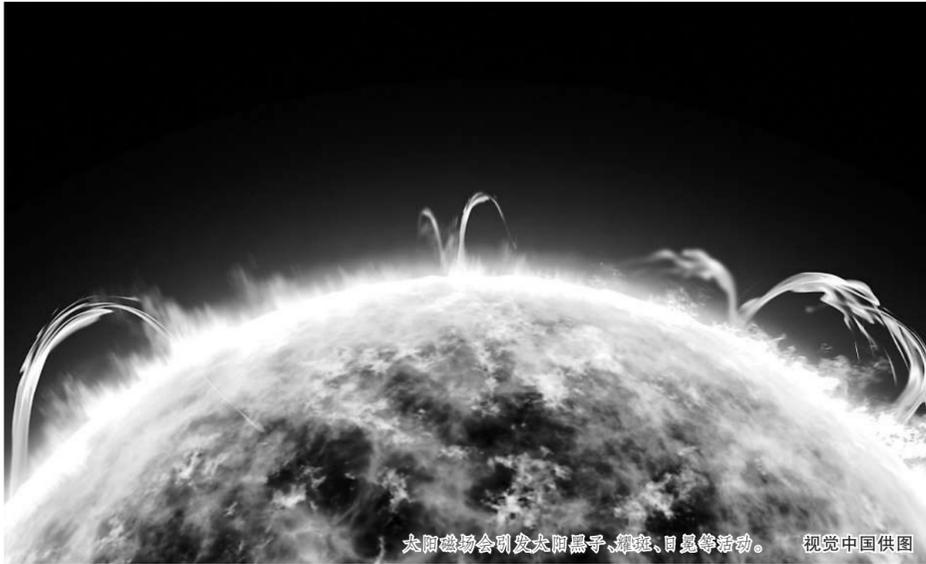
武汉大学物理科学与技术学院教授廖恺说，根据爱因斯坦的广义相对论，光沿零测地线传播，当物质分布导致时空弯曲时，光线会发生偏折。基于这一原理，当一个天体处于发光天体和观测者中间时，它就像几何光学透镜一样发挥了在光源和观测者之间扭曲光线的作用，物理学家将其类比为透镜效应，把这种现象称为引力透镜效应。

1919年，天文学家爱丁顿为了验证广义相对论，率领团队在日全食期间测量了太阳对星光的偏折，与星表中的标准位置相比，他们观测到的太阳周围的恒星位置

发生了轻微偏离，并且偏离值接近爱因斯坦的理论计算值，这一观测结果证明了爱因斯坦理论的正确性。

但在1919年的实验中，受限于时代，科学家掌握的设备和观测条件比较有限，因此实验结果也存在一些误差。后来的物理学家零零散散地进行过一些复现实验。此次，迪特里奇团队配备了13台高分辨率望远镜，并在墨西哥和美国得克萨斯州部署了摄像头，能在日全食到来时获取比以往更清晰的图像。

在物理学界，用引力透镜效应印证广义相对论已有百年历史。但对天文学家



太阳磁场会引发太阳黑子、耀斑、日冕等活动。视觉中国供图

### 着眼太阳表面开展研究

为探究太阳磁场的起源，科学家往往先观测太阳表面，然后建立模型，通过计算来推测太阳内部多层次的等离子体流动情况。

《自然》杂志发表的上述研究并未尝试模拟整个太阳内部的复杂等离子体流动，而是研究太阳表面附近等离子体流动的稳定性，以探究其是否足以解答太阳磁场起源问题。

该研究主要基于日震学数据。日震学将低纬度扭转振动定位到太阳外围的5%—10%，即近表面层。在该区域，向内增加的差异旋转与极向磁场的耦合强烈暗示了磁旋转的不稳定性。

随后，研究人员运用新算法建立模型，模拟后发现，在太阳表面5%—10%的等离子体流发生的变化就足以产生磁场模式。他们进一步模拟发现，相比之下，太阳对流层深处的变化所产生的磁场与实际观测数据不太吻合。

“过去的研究多集中在太阳对流层深处探究太阳发电机运转，而此次研究从新的视角出发，提出了太阳磁场可能是在太阳表面下约3.2万千米处产生的观点。”张洪起认为，这种观点在天文学界引起了很大争论，但科学往往需要在争论中向前发展。

太阳磁场之所以备受关注，是因为其引发的太阳活动在很多方面影响着人类活动。张洪起介绍，对于宇航员来说，在执行太空任务时，尤其是进入更深层次的宇宙空间时，太阳爆发活动（即太阳风暴）可能对其构成潜在的巨大威胁。其次，太阳活动还会影响地球大气的电离层，进而对电波通信产生干扰，甚至可能导致短波通信中断。此外，太阳活动的周期性变化与人类的生存环境、气象气候以及某些特殊疾病的发生都密切相关。

### 对太阳的探索永无止境

太阳磁场起源仅仅是太阳未解之谜中的一个，在揭开更多太阳未解之谜的道路上，人类面临着种种艰难险阻。

在中国科学院国家天文台研究员张承民看来，磁流体力学作为研究太阳的重要基础，其复杂性在于磁场与流体的交织作用。流体力学中的湍流问题尚未有完整解答，而电磁场的引入无疑为这一领域增添了更多未知数。磁场与电场之间的相互作用，以及各自的三维特性，再加上流体的压力、流速、温度和密度等多重因素，使得求解精确的数学方程变得异常困难。

太阳环境的复杂性不仅体现在其物理参数和磁流体力学的特性上，更在于其高度的非线性。张承民强调，这种非线性意味着微小的变化可能引发巨大的影响，正如亚马孙森林中的蝴蝶扇动翅膀可能引发远处的飓风一样，这种不确定性增加了人们预测太阳活动的难度。

“由于太阳外层环境的复杂性，人们很难通过经验来预测其变化。”张承民表示，当前人们主要通过卫星等间接手段获取太阳的整体环境信息，近年来，虽然有人提出利用人工智能和大数据对太阳活动进行分析，但这种方法仍难以深入揭示其背后的物理原理。

要解开更多太阳之谜，天文学家不仅需要深入剖析其物理原理、建立数学模型，还需不断探索新的研究方法和手段。正如张洪起在他的专著《太阳磁学》中所言：“100个天文学家可能有100个太阳风暴的模型。”他认为，对于无法直接探测的事物，人们自然会产生各种猜想并提出各种新方法，这些猜想和方法因人而异，但都是科学探索进步的驱动力。

来说，利用引力透镜效应来观测宇宙仍是一种非常重要的前沿方法。

过去几十年间，引力透镜效应加深了人们对宇宙的理解。常见的引力透镜观测源是恒星和星系（包括类星体）。这些观测源大量存在，明亮且恒定发光，使得观测它们相对容易。

廖恺介绍，类星体数目多、亮度大且恒定发光，利用这些类星体透镜，可以很好地对哈勃常数进行独立测量，这可能有助于解决长期困扰科学界的哈勃常数问题。

“随着天文学的发展，特别是各个波段大型巡天望远镜的运行，越来越多的瞬变源，如伽马暴及其各波段光学余辉、快速射电暴和引力波，会被大量探测。通过引力透镜效应，人类对宇宙及瞬变源的理解将不断加深。”廖恺说。

# 新型仿生皮肤高效集成触痛感知

◎本报记者 付锐涵

近日，中国科学院宁波材料技术与工程研究所高分子材料团队研究员陈涛、肖鹏等人通过构建悬浮双层式传感结构，实现了仿生电子皮肤的触痛感知高效集成，为人机交互、智能假肢等领域的材料应用提供了新可能。相关论文发表于国际学术期刊《先进材料》。

“我们通过模仿人类的触觉—痛觉感知双模态机制，巧妙地设计了悬浮—三维形变—接触的感知结构，在实现超灵敏触觉感知的同时，又赋予柔性电子器件阈值可调的痛觉感知功能，为仿生电子皮肤的触觉感知结构集成提供了新思路。”文章通讯作者之一、中国科学院宁波材料技术与工程研究所研究员肖鹏表示。

### 可提升人机交互体验感

受人类皮肤功能和结构的启发，能够感知压力、应变、温度、湿度等不同外界刺激的传感器材料成为研究热点。仿生电子皮肤就是其中的一种。

“仿生电子皮肤可以将形变、温度等外部刺激转换为电信号，送达数据处理终端。”论文第一作者、中国科学院宁波材料技术与工程研究所博士周伟对科技日报记者说，近年来，仿生电子皮肤日益受到关注，在机器人感知、智能假肢、医疗监测等领域展现出广阔的应用前景。

“仿生电子皮肤可以附着在机器人表面，赋予机器人触觉感知，既能提升机器人的操作能力，也能增强人机交互的体验感。这一材料也可以应用于假肢制造，帮助用户感知压力、温度和振动等外界信息。当仿生电子皮肤贴附在人体表面时，还能实时获得心率、血压、体温等生理参数，连续、不间断地进行健康监测。”周伟说。

### 悬浮双层感知结构信息获取能力更强

为了模仿人类皮肤的感知能力，仿生电子皮肤材料既要保持灵敏度和柔韧性，也要保持稳定性和可靠性。

此项最新研究中，研究团队创新性地构建了一种悬浮双层感知结构材料，实现了由机械阈值介导的触痛感知高效集成。

“可以从材料组成和器件结构两个方面理解这一成果。”周伟告诉记者，在材料组成方面，研究团队采用石墨烯纳米片作为传感材料和电极材料，发挥其导电性和柔韧性强的优点，基于水—气界面组装策略，制备出石墨烯组装薄膜。

“再将石墨烯组装薄膜分别与超薄弹性体薄膜和微结构弹性基底结合在一起，能保证复合材料在触痛感知过程中的稳定性。”周伟说。

在器件结构方面，科研人员构建了悬浮双层结构。这一结构主要由上层的悬浮弹性薄膜和下层的微结构弹性基底组成。

“材料采用压阻式触觉传感技术。悬浮弹性薄膜的三维形变和机械接触响应行为，是实现触痛感知的关键。”周伟告诉记者，当弹性薄膜发生形变时，材料中的电流减小，从而产生触觉；当上层的悬浮弹性薄膜和下层基底发生机械接触时，材料中的电流会反向增大，即产生痛觉。

借助双层接触界面和电流的反向突变，仿生电子皮肤完成触觉向痛觉感知的动态转变。此次研究显示，这种悬浮双层结构能够分辨20微米的动态位移并识别低至0.02帕斯卡的触觉信息。

“即使在5200次接触—分离循环刺激下，材料也能保持稳定可靠的触痛响应性能，表现出高灵敏度和优异稳定性。”周伟说。

“通过引入痛觉信号，这种悬浮双层感知结构可以大大增强单一触觉传感器获取信息的能力，提高与环境的交互性能。”周伟介绍，团队在机械手表面附着该仿生电子皮肤进行了实验。结果显示，这可以实现对机械刺激的实时响应和自我保护，提高人机交互的安全性和效率。

### 技术创新推动仿生皮肤发展

在工业和信息化部印发的《人形机器人创新发展指导意见》中，重点产品和部件攻关专栏提到“开发高分辨率和具有多点接触检测能力的仿人电子皮肤”。相关产业正处于从研发到产业化的关键时期，技术探索是未来产业突破瓶颈、蓬勃发展的关键前提和基础。

近年来，仿生材料作为材料学领域的重要研究内容，发展迅速，在材料技术、传感技术、系统集成等方面都取得了显著进展。

“碳纳米管、石墨烯和金属纳米线等一系列具有高导电性和机械柔韧性的材料能够在保持仿生电子皮肤柔软性和伸展性的同时，实现高效的电信号传输。纳米级传感器的应用使仿生电子皮肤能感知极其微小的压力和振动，提供精确的触觉感知。”周伟介绍，一些仿生电子皮肤集成了自供电系统，利用压电效应或摩擦电效应，实现了能量的自给自足。还有一些仿生电子皮肤集成了无线通信模块，能够实时将数据传输到外部设备。通过置入智能控制单元，仿生电子皮肤还可以处理和分析传感数据，执行更复杂的反馈控制任务。

从技术层面看，仿生电子皮肤已具备便携、智能、自我修复、多模态感知等特征。在周伟看来，提升传感器的耐久性、稳定性和生物相容性是当前仿生电子皮肤研究的焦点。

“比如在高温、高湿和腐蚀性环境中，如何让材料保持稳定？如何实时且低功耗地进行信号处理和数据传输？应用于医疗和人机交互领域时，如何解决生物兼容的问题？通过不断的技术创新和多学科合作，仿生电子皮肤研究有望在未来克服这些难题，实现更广泛、深入的应用。”周伟说。

# 兰天炉窑：助力推动菱镁产业高质量发展

辽宁兰天炉窑集团有限公司始建于2005年，是生产环保设备的高新技术企业。公司坐落于人杰地灵的辽宁省海城市经济开发区。公司占地面积8万平方米，建筑面积3万平方米，固定资产1.2亿元。

2023年5月，海城市、辽宁科技大学和辽宁科技学院、辽宁兰天炉窑集团有限公司和辽宁省镁质材料工程研究中心在辽宁省海城市共同召开“海城市菱镁产业窑炉创新研讨会”，来自国家相关部门及辽宁省国家新型原材料基地建设工程中心、辽宁省非金属矿工业协会的领导专家共同就菱镁产业高质量发展进行研讨。辽宁科技学院相关负责人就菱镁产业煅烧用新型窑炉技术作主旨发言，与会专家深入探讨了制约菱镁产业高质量发展的关键问题，为海城菱镁产业新质生产力的

形成提供了助力。辽宁科技大学、辽宁科技学院及行业内重点企业的专家，在海城市成立了菱镁产业新型窑炉中试基地，引导创新要素向海城菱镁产业集聚。

2023年12月，鞍山市企业家协会组织专家团队到海城市菱镁重点企业辽宁兰天炉窑集团有限公司开展技术交流活动。行业内专家就海城市菱镁精细化工新材料、绿色低碳新能源产业发展的关键问题开展交流讨论，重点围绕菱镁产业低碳规划项目、编制任务、已有成果以及今后重点任务开展交流合作。在鞍山市企业家联合会和鞍山市企业家协会的推动下，辽宁铂海低碳新能源科技有限公司和辽宁兰天炉窑集团有限公司签署了战略合作协议，挂牌成立科技产业孵化基地。

图文及数据来源：辽宁兰天炉窑集团有限公司



①图为辽宁兰天炉窑集团有限公司。  
②图为辽宁兰天炉窑集团有限公司工人作业现场。  
③图为辽宁兰天炉窑集团有限公司车间。