

并将自吸收转化为有利的光子循环过程。

(综合:《Science》、厦门大学官网、科学网、光明网)

绝热房间“最热点”为何总在墙角

设想一个绝热房间(墙壁既不吸热也不放热),在房间某处短暂加热后,热量会从高温区域向低温区域扩散并最终趋于均匀。人们基于直觉认为,在时间足够长但尚未平衡时,房间极热或极冷点更可能出现在墙面边缘,而非房间内部——这正是美国数学家 Rauch 于 1974 年提出的“热点猜想”。

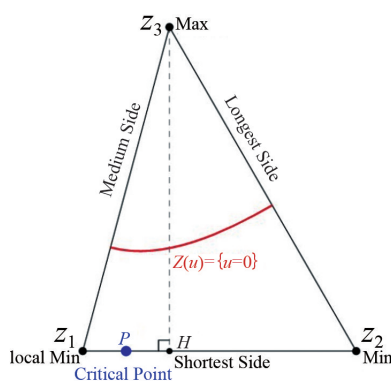
华南理工大学数学学院姚若飞团队联合西安交通大学陈红斌、澳门大学桂长峰等研究人员,成功破解了“热点猜想”这一关键难题。2026 年 1 月 13 日,相关研究成果发表于《Inventiones Mathematicae》。

从数学角度来看,温度的演化遵循带有绝热(neumann)边界条件的热方程。在时间足够长的情况下,温度分布主要由“衰减最慢的首个非平凡模式”主导,即拉普拉斯算子的第二 neumann 特征函数(第一特征函数为常数,对应完全均温状态)。拉普拉斯算子的特征函数,就是“系统最自然、最基本的变化模式”,它规定了在给定几何形状和边界条件下,温度、振动、声压、浓度等场量,最容易以什么空间形态变化。因此,在数学家眼中,“热点猜想”可等价表述为:对于平面上的凸区域,

拉普拉斯算子的第二 neumann 特征函数的最大值与最小值只能在区域边界处取得。

半个多世纪以来,“热点猜想”持续吸引着国际数学界的广泛关注。菲尔兹奖得主陶哲轩、Wendelin Werner 及美国艺术与科学院院士、麻省理工学院 David Jerison 等多位顶尖学者,围绕不同几何区域和特殊情形取得了一系列重要进展。然而,作为最基本的凸多边形之一,平面三角形虽结构简单,但因缺乏连续对称性,且无法像多边形进行拆分,因此角点带来的边界奇异性会放大到整个区域,使得扩散与振动模式对几何细节高度敏感。这种“最小却最不平衡”的结构,恰恰成为检验数学物理方法极限的典型模型。

在这项研究中,姚若飞等系统揭示了三角形中第二 neumann 特征函数的几何结构,证明其内部至多存在一个鞍型临界点(热场中的“平衡节点”),而全局极值必然出现在最长边的端点。这一结果不仅解决了多个长期悬而未决的数学猜想,也表明在缺乏对称性的



三角形域上的热点猜想:最大最小值的准确位置、临界点个数和位置
(图片来源:华南理工大学官网)

简单几何结构中,扩散与振动的最强响应仍受到严格的几何约束,为谱几何与工程物理问题提供了重要理论基准,如材料的结构疲劳分析、热应力集中判断等。

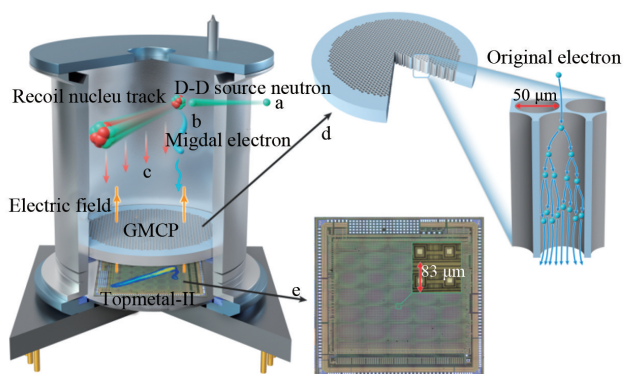
(综合:《Inventiones Mathematicae》、华南理工大学官网、《中国科学报》)

“拍摄”原子级碰撞瞬间证实 87 年前量子力学预言

在探索宇宙中最神秘成分——暗物质的过程中,一项长期悬而未决的物理效应在中国的实验室中得到了直接确认。利用自主研发的专用气体探测器和像素读出芯片,由中国科学院大学主导的联合研究团队,在实验中直接观测到中子与原子核碰撞过程中的米格达尔(Migdal)效应,不仅证实了 87 年前的量子力学预言,也为搜寻宇宙中更轻的暗物质粒子提供了关键实验依据。2026 年 1 月 15 日,相关研究成果发表于《Nature》。

Migda 效应是 1939 年苏联科学家 Migdal 通过量子力学计算,描述的是在原子核受到快速冲击时,电子也会因核的突然加速而被“激发”或甩出原子,从而产生可探测的电子信号。理论上,这种同时出现的核反冲与电子信号可极大提升对极轻质量暗物质粒子的探测灵敏度,但长期以来,这一效应在受控实验中从未被直接观察到。

研究团队自主研发了“微结构气体探测器+像素读出芯片”组合的超灵敏探测装置,相当于可拍摄“单原子运动中释放电子过



探测器结构与工作原理

(图片来源:中国科学院大学官网)

程”的“照相机”。利用紧凑型氘-氘聚变反应加速器中子源,轰击“照相机”内的气体分子,会同时产生原子核反冲与米格达尔电子,二者形成“共顶点”的独特轨迹。经过约150 h的实验数据积累,在近百万次事件中找到了6个符合米格达尔效应特征的候选事件,统计显著性超过 5σ (即误差概率低于百万分之一),完成了这一物理效应的直接观察。

这项直接实验验证填补了量子散射物理中的重要空白,一方面为基本粒子与原子相互作用机制提供了实验证据;另一方面,它为暗物质实验界带来了实用的新思路:许多针对轻质量暗物质(MeV—GeV级)的探测策略正依赖Migdal效应来提升信号可视化能力。此前缺乏实验证据使得这些方案的可靠性存疑。本次直接观测确认了该效应在中子散射环境下的存在,为暗物质探测器设计提供了重要的物理依据,有望在未来推动更灵敏的轻暗物质搜索。

(综合:《Nature》、中国科学院大学官网、《光明日报》、央视网新闻)

人工手性“拧”出抗肿瘤新机制

手性是生命世界最显著的特征之一,从DNA的双螺旋到贝壳的旋涡,自然界中处处可见不对称结构的身影。然而,分子手性如何“组装”成宏观的螺旋形貌,以及这类结构如何反过来调控生命进程,一直是科学家试图解开的谜团。

复旦大学赵东元团队通过多组分协同组装,成功合成出具有介观结构手性的二氧化硅纳米带,并明确揭示了此类结构对肿瘤细胞增殖的强烈抑制作用——在不负载任何药物的情况下,抑制率高达60%。2025年12月,相关研究成果发表于《Angewandte Chemie》。

研究中,团队选用由棕榈酸尾连接赖氨酸-缬氨酸-赖氨酸三肽(C16-KVK)构成的肽两亲分子。尽管分子本身具有手性,但其单独组装仅能形成无序的无手性网络。关键一步在于引入硅烷(如正硅酸四乙酯,TEOS)进行共

组装。硅烷水解缩合产生的纵向堆叠力,如同DNA双螺旋中的碱基堆叠力一样,将分子手性成功“传递”并“锁定”为介观尺度上的手性扭曲纳米带形貌。最终获得的纳米带长度超1 μm,螺距约340 nm,宽度约75 nm,形貌均一旦结构稳定。

更有意思的发现在于其显著的生物效应。与纯肽两亲分子或无手性的二氧化硅纳米纤维(抑制率<30%)相比,具有介观结构手性的扭曲纳米带对结直肠癌细胞(CT26)活性抑制率提升至约60%,在HeLa和Jurkat细胞中也观察到类似趋势。细胞形态学显示,接触手性纳米带的细胞铺展面积显著减小,伪足减少,呈现凋亡倾向。

通过RNA测序,研究者揭示了背后的分子机制:手性结构并非通过细胞内吞起作用,而是通过抑制细胞粘附相关基因(如*Lamb3*、*Itgav*)的表达,同时上调经典凋亡通路(如*Bcl-2*家族)基因,进而扰乱细胞代谢,最终触发细胞凋亡。这好比在癌细胞的“脚下”铺了一层让它们站不稳、活不好的特殊地毯。这是首次在实验上建立了“介观手性结构-细胞粘附抑制-凋亡通路激活-细胞命运改变”的清晰因果链条。

论文共同通讯作者赵天聪研究员强调:“这为我们理解自然界中手性的进化意义,以及开发无需药物的物理性抗肿瘤新策略提供了全新视角。”

(综合:《Angewandte Chemie》、复旦大学官网)