

但尚无法逾越猜想的根本障碍
AI 给出关键步骤

(上接第 1 版)

坦白说,186 这个结果在数学上不算大突破。研究沿用了数学家提出的多维筛法,但在既有框架内更充分地利用包括三重稠密可分性在内的因子分解结构,扩大了筛权的可使用范围。它属于有实质内容的技术推进,但是尚未逾越我们面对孪生素数猜想时的根本障碍。

我认为,186 不会是长期保持的纪录,其他研究者或 AI 团队会很快继续降低这个上界。

《中国科学报》:不断降低上界、缩小常数直到 2,是不是就可以证明孪生素数猜想了?

苏炜杰:缩小常数与最终证明孪生素数猜想,二者的困难并不完全相同。陶哲轩等人假设了一个前提条件——广义 Elliott Halberstam 猜想成立,得到上界 6。

不过,这已经接近核心工具筛法的能力边界,若从这里继续逼近 2,还面临筛法的奇偶障碍。这是一个结构性的困难,不能指望仅靠更精细的数值优化来解决。

AI 给出了关键步骤

《中国科学报》:这一研究沿用了数学家提出的多维筛法,这个方法的核心是什么?

苏炜杰:这次是延续张益唐的有界数数间隔研究路线,即要求两个数都是真正的素数,但允许间隔大于 2。2013 年,张益唐取得重要突破,他证明存在无穷多对素数,其间隔不超过 7000 万。几个月后,英国牛津大学教授詹姆斯·梅纳德引入多维筛法,把上界降到 600;陶哲轩也发展了相关方法。2014 年,由陶哲轩等人推动的 Polymath 合作项目进一步将上界降到 246。

在这条研究路线中,研究者采用的核心工具正是梅纳德和陶哲轩发展的 Maynard–Tao 多维筛法和素数在算术级数中的分布估计。前者构造权重,后者帮助我们严格计算这些权重的效果。其中真正困难的,是设计出足够有效同时又能够被严格分析的权重。

《中国科学报》:AI 在这一方法框架内给出了一个关键步骤,从而帮助推进研究。AI 是如何做到的?

苏炜杰:就这次而言,GPT-6 Astra 的智能体能力,即持续组织推导、编程、计算和检验,对最终达到 186 至关重要。它不只完成了某一步推导,也把多个研究环节持续衔接起来。

这一研究中的关键步骤是,AI 在互补的因子分解条件下,给出了一种名为三重稠密可整除的全新约束条件。筛权展开后,真正需要控制的是两组除数合并产生的最小公倍数。AI 让这两组除数的分解条件相互补充,保证合并后的模数具有所需的稠密可分性。直观地说,一组除数中的小素因子可以帮助另一组容纳较大的素因子,从而使合并后的数仍能按所需的尺度分解,扩大筛权的可用范围,再与后续的修正项和数值优化结合,得到最终结果。

不过,不能据此推断,沿着同一条路线就能使上界继续下降,比如降到 100 以内。无条件地推进到个位数,需对现有的多维筛法作出本质改进。

《中国科学报》:在这个过程中,数学家还是主导吗?

苏炜杰:就这次尝试而言,我的角色是辅助性的。我了解这一问题的背景和既有的技术路径,但要在已有框架上做出实质性创新,已超出了我的专业能力范围。最终突破 246 的新技术思路,以及后续的外部数值验证,均由 AI 独立完成,我只给 AI 提了简单的提示词。

我更看重 AI 在这些环节间推进的能力,因为这已经接近实际研究中形成和修正想法的过程。

《中国科学报》:结果出来后,你是否进行了验证?

苏炜杰:GPT-6 Astra 给出证明后,我和同事一起推进了主要结论的 Lean 形式化验证。这里需要准确说明验证的范围,目前的 Lean 证明仍以两项已有的有限域指数和估计,以及一组积分和数值界作为明确的外部输入条件。数值部分由 Lean 之外的高精度程序和数值证书检验。

我们对主要的推理过程进行了形式化验证,但是有假设条件作为关键前提,且数值部分依赖外部工具检验。简言之,数学上这是严格的,但形式上并不是完全无条件。

加强与真实问题联系

《中国科学报》:今年以来,AI 不断推进多个重要数学猜想的证明,甚至“外行人”也能依靠 AI 证明一些数学猜想。你如何看待 AI 这种能力?

苏炜杰:AI 的数学证明能力还远没有到极限。面对定义清楚、反馈可靠、正确性容易检验的纯数学猜想问题,AI 已经表现出很强的能力。这类问题能够为 AI 提供清晰的训练信号,也便于模型在求解过程中反复检验和修正。

《中国科学报》:在你看来,近期 AI 推进的一系列工作给数学家带来怎样的启示?

苏炜杰:就启示而言,在我熟悉的统计学和应用数学领域,目前 AI 的影响相对较小。研究目标应该怎样定义、哪些假设没有实际依据、哪些近似保留了关键结构等问题都还需要数学家给予判断。AI 在一个子问题上解答得再漂亮,也不能保证它回答了最初的科学问题。因此,统计学和应用数学的建模需要学者对领域知识、经验,以及不同环节之间关系的理解。

AI 越擅长完成局部推导和计算,我们就越有条件也越有必要把精力投入问题的选择、模型的构建和结果的验证。未来的研究应当更紧密地与真实的科学和工程问题联系,让实际问题决定具体数学建模,以实际的效果为依据判断模型的质量。

迷幻蘑菇化合物可预防化疗副作用

本报讯 许多癌症幸存者而言,尽管病情得到缓解,但仍会被一种严重的副作用所困扰——他们的手脚会持续感到灼烧、刺痛或冰冻。如今,在研究这种名为神经病变的病症时,科学家发现了一种意想不到的防护手段:迷幻蘑菇中的精神活性化合物裸盖菇素。

在化疗前仅注射两剂裸盖菇素,就可以完全避免小鼠出现神经病变。铂类化疗药物广泛用于卵巢癌、肺癌等肿瘤的治疗。接受这类药物治疗的患者有 60%会患上这种病。这项 9 月 3 日发表于《科学》的研究证实,裸盖菇素可以在化疗造成永久性损伤之前保护神经纤维,而现有手段无法有效预防或治疗这种损伤。

“这项研究把裸盖菇素的应用范围拓展到传统适应证之外,不再局限于抑郁、成瘾、焦虑、创伤后应激障碍(PTSD)。”论文共同通讯作者、美国得克萨斯大学 MD 安德森癌症中心的 Moran Amit 说,“我们首次将目光投向疼痛,并证实裸盖菇素的突出效果不是治疗疼痛,而是预防。”

铂类及其他化疗药物会损伤延伸至皮肤表层的负责感知外界信号的感觉神经元,从而引起神经病变。线粒体这种产能细胞器会沿着神经元长途跋涉,抵达皮肤细胞的末梢,但某些化

疗药物会扰乱这一过程。能量耗尽后,神经末梢会发生退化,导致触觉敏感度下降,并引发慢性疼痛。

为了解裸盖菇素能否阻止这种损伤,研究人员在为期 8 个月的 6 轮化疗的每一轮治疗前,给小鼠注射了两剂这种化合物。研究发现,未接受治疗的小鼠在化疗后出现了痛觉过敏,爪子感觉减退,皮肤内的感觉神经纤维萎缩。而经过裸盖菇素治疗的小鼠,爪子感觉与神经末梢能够维持正常,同时化疗药物缩小肿瘤的效果并未受到削弱。

“先用药预防神经病变,而不是等到损伤出现了再去修复,这是一种十分巧妙的治疗思路。”美国宾夕法尼亚大学的 Joe Cichon 评价。

研究人员发现,裸盖菇素通过激活小鼠全身皮肤感觉神经纤维上的特定受体来阻止神经退变。受体被激活后会触发一系列生化反应,最终促使运动蛋白发挥作用,保障线粒体在神经元内正常运转。“这非常出人意料,我从没想过裸盖菇素居然可以调控线粒体的转运。”Cichon 说。

实现这种神经保护作用并不会产生迷幻体验。研究人员测试了塔本桑他洛(tabernantha-log),这是一种不会致幻的化合物,能够激活相

同的受体。最终实验动物同样获得了保护,避免了感觉神经受损与痛觉过敏。

为搞清这一发现是否也适用于人类,研究人员从 29 名接受重建手术的患者身上采集了神经组织样本,并在显微镜下开展观察。结果显示,化疗会让神经元内的线粒体完全停止移动;而提前用裸盖菇素处理组织样本可以保持细胞器的正常运转。

Amit 团队计划于 11 月启动一项临床试验,评估在乳腺癌、结直肠癌及头颈癌患者化疗前使用裸盖菇素的安全性与有效性。

美国耶鲁大学医学院的 Barbara Ehrlich 表示,如今越来越多癌症患者实现了长期生存,这项研究的意义重大。“现在化疗药物的疗效已非常好,患者能够长期存活,但化疗的副作用依旧会严重影响他们的生活质量。”

论文作者、MD 安德森癌症中心的 Gregory Jones 表示,如果裸盖菇素应用于临床,需要治疗师全程陪伴患者长达 8 小时,帮助患者应对药物带来的幻觉与定向障碍。Ehrlich 提出,开展非致幻类化合物的相关研究也很重要。“精神活性物质背负的社会污名,加上癌症治疗本身流程繁复,都会成为现实应用的阻碍。”

既往研究证实,裸盖菇素对抑郁症等精神



迷幻蘑菇中的精神活性成分裸盖菇素有预防化疗引发的副作用。

图片来源:Victor de Schwanberg/SPL

疾病存在疗效,而癌症患者也常常并发抑郁。论文作者、MD 安德森癌症中心的 Z-Hye Lee 表示:“这正是裸盖菇素极具吸引力的双重治疗潜力。它既可以促进外周神经修复再生,又能带来心理层面的获益。”

(王方)

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1126/science.aec6116>

南非射电望远镜直接探测到遥远宇宙的氢信号

据新华社电 南非射电天文台日前宣布,一个国际团队利用南非 MeerKAT 射电望远镜,直接探测到来自数十亿光年外中性氢气体的微弱射电信号,为绘制宇宙大尺度结构提供新的技术手段。

中性氢原子能发射一种波长 21 厘米的微弱射电信号。随着宇宙膨胀,该信号波长会被拉长,天文学家因此可以根据不同波长追踪宇宙不同历史时期的中性氢分布。

南非西开普大学和英国曼彻斯特大学研究人员采用“氢强度映射”方法,无需逐一探测单个星系,而是同时测量大量无法单独分辨的星系中性氢产生的综合信号,从而获得宇宙大尺度结构的信息。

研究团队利用 MeerKAT 的射电观测数据,在没有借助光谱巡天数据的情况下,直接提取出这一微弱信号。观测结果对应宇宙历史中的两个时期,信号红移分别约为 0.32 和 0.44。这意味着这些辐射信号在到达地球之前已在宇宙中传播约 40 亿至 50 亿年。

中性氢是理解星系如何形成和演化的关键要素之一。研究人员说,长期以来,“氢强度映射”一直被视为高效绘制宇宙图谱的一种有前景的方法,但氢强度信号极其微弱,此前对该信号的可靠探测通常需要将射电观测与光谱巡天数据相结合。此次仅利用 MeerKAT 射电数据实现直接观测,表明该方法正在成为宇宙学研究的一种实用工具。

相关研究论文已发表在美国《天体物理学杂志通讯》上。

(王晓梅 王雷)

激素动态监测可能有助识别一种常见高血压病因

据新华社电 英国曼彻斯特大学近日发布的一项研究显示,通过可穿戴设备对人体激素水平进行 24 小时连续监测,可发现常规检测可能遗漏的异常激素波动,这或许有助更早诊断一种常见但容易被忽视的高血压病因——原发性醛固酮增多症。

曼彻斯特大学介绍说,原发性醛固酮增多症是一种激素紊乱疾病,是继发性高血压最常见的病因,还会增加心脏病、中风、糖尿病等疾病风险。由于人体激素水平会随时间变化,加上目前诊断过程较为复杂,一些患者可能迟迟无法确诊。

高血压分为原发性高血压和继发性高血压。其中原发性高血压占高血压患者的 90%以上,目前尚难根治但大部分能被控制,而继发性高血压是由疾病引起的血压升高,只要筛查出病因,便可进行针对性治疗。

来自曼彻斯特大学、布里斯托大学等机构的研究人员开展了一项概念验证研究,让参与研究的 60 名原发性醛固酮增多症患者佩戴一种约手机大小、固定在腰部的轻型设备,在居家正常活动和睡眠状态下,每 20 分钟检测一次激素水平,连续监测 24 小时。

结果显示,这些患者的醛固酮水平并非始终维持在较高水平,而会反复出现短时分泌激增。研究人员发现了此前未被揭示的相关激素夜间高分泌现象。

研究人员说,现有检测可能因此漏诊部分患者。他们发现,即使在一些病情最严重的患者中,也会有某些时段的醛固酮水平低于确诊该疾病所采用的最低阈值。

研究人员还发现,对于病因来自单侧肾上腺异常的患者,这种激素异常波动尤其明显;在手术切除异常肾上腺后,相关异常模式随之消失,进一步表明这种激素波动与疾病本身存在关联。

团队认为,未来对这类疾病的诊断或可从单一时间点的血液检测,转向对人体激素昼夜节律尤其是夜间变化的动态监测。不过,他们强调,还需开展进一步研究,以确定动态激素检测在临床诊疗中的最佳应用方式。

相关研究成果已发表在美国《科学-转化医学》杂志上。

(张家伟)



金星可能曾拥有一颗卫星。

图片来源:NASA images/Shutterstock

科学此刻

金星可能曾有一个“月亮”

金星没有卫星。但预印本平台 arXiv 近日公布的一项模拟研究显示,它在近 20 亿年的时间里可能拥有过一颗卫星,直到最后将其吞噬。厘清这一过程,有助于了解金星过去的宜居性。

在太阳系早期,许多大型天体可能撞击过金星并形成了一颗卫星,其过程可能与月球的形成类似。

“金星极有可能经历过一次能形成卫星的撞击事件。”美国加州大学河滨分校的 Stephen Kane 说。因此,金星如今没有卫星就显得很不寻常。于是,Kane 和同事模拟了金星如果真的拥有卫星会发生什么。结果发现,几乎所有情况下,这颗卫星都会被金星吞噬,在今天不复存在。

金星的自转相对于太阳十分奇特,它的公转周期为 225 天,而自转周期却长达 243 天。这可能是由于其厚重的大气层减缓了自转速度。相比之下,地球更快的自转会将角动量传递给月球,使其每年远离地球几厘米。Kane 解释道:“对金星来说,情况恰好相反。卫星会向内而不是向外转移角动量,导致轨道最终灾难性崩溃。”

研究人员发现,在模型的上限条件下,一颗质量约为月球一半的卫星可能围绕金星存在了 17 亿年。如果它的质量达到月球的两倍,由于更强的潮汐效应,它仅能存在 3000 万年。一旦卫星到达距离金星约 1.5 万公里的位置时,就会遇到所谓洛希极限的边界。“在这里,金星的引力会将卫星撕碎,进而将其吞噬。”Kane 说,卫星碎片暂时会在金星周

围形成一个环,最终坠入大气层。

美国圣路易斯华盛顿大学的 Paul Byrne 认为,该模型很有研究价值,但难以证实。“这一观点极难验证,因为几乎没有留下任何遗迹。”Byrne 说,这是因为金星表面不断被火山活动所重塑。

不过 Kane 表示,未来的金星表面探测任务可能包括一个地震仪,这是一种通过测量地震波研究行星内部结构的设备,可以用于寻找被吞噬的卫星埋藏在地下的证据。“这会为我们提供大量信息。”

如果金星确实曾拥有卫星,后者或许对金星的宜居性产生了影响。此前研究认为,金星表面曾存在海洋。这颗卫星可能与金星失控的温室效应有关。在这一过程中,金星因未知的原因失去了全部的水,最终形成了一层厚重且致命的大气层。

“如果金星早期确实宜居,那么核心问题是这一时期为什么结束了。”Kane 表示,一颗卫星撞击金星可能会导致大部分的水蒸发,这与金星失控的温室状态有关。

(方子逸)

相关论文信息:

<https://doi.org/10.48550/arXiv.2608.25036>

用了 200 年的本生灯真能“消毒”吗

本报讯 长期以来,许多科学家一直用本生灯来净化实验室的空气和环境。人们认为,它的火焰会产生对流,将携带微生物的颗粒从实验台带走。然而,一项近日发表于《微生物学光谱》的研究认为,作为几十年来全球生化实验室的主力,本生灯不仅无法清除工作空间中沾染细菌的颗粒,甚至还会加剧污染。

论文作者、美国普罗维登斯学院的微生物学家 Hannah Gavin 表示,生物学家对本生灯的看法本就存在分歧。一些人坚信本生灯能够为研究区域消毒,但也有研究人员对此表示怀疑。这项研究可能会引发这种低技术含量设备在现代实验室中是否仍有用武之地的争论。

大约两个世纪前,研究人员开始使用本生灯。尽管历史悠久,但 Gavin 在科学文献中找不到任何证明本生灯能净化周围环境的实验证据。她说,正是这种信息空白“使得关于本生灯的各种假设、理论甚至传说得以传播”。

为彻底弄清本生灯能否清除有害细菌,Gavin 和同事培养了一种名为暗红戈登氏菌的菌株。这种亮橙色的细菌在培养皿中很容易被发现,且通常不会污染实验室。Gavin 团队进行了一系列实验:通过向空气中喷洒含有暗红戈

登氏菌的液体,或抖动沾有该菌的干毛巾,将它们散播到实验台上方的空气中。在故意污染了工作区后,研究人员立即点燃本生灯,并在旁边放置了一个培养皿;在另一个受污染的工作区中,他们在一个未点燃的本生灯旁放置了一个培养皿。研究人员让容器保持敞开状态,以便细菌有机会沉降在其表面,之后再将其重新盖好。

研究人员改变了本生灯的大小、细菌污染水平和其他实验条件,发现在每一次实验中,点燃的本生灯旁的培养皿中的细菌水平等于或高于未点燃本生灯旁的培养皿中的细菌水平。唯一一次点燃本生灯旁培养皿中细菌较少的实验,是因为释放到空气中的细菌数量比大多数现代实验室中的细菌数量高出了“几个数量级”。

对美国马萨诸塞大学的系统生物学家 Amir Mitchell 而言,这些结果印证了他长期以来对本生灯效用的怀疑。在他的实验室里,只有一半的工作台配有本生灯,是否使用这些设备则由每位实验室成员自行决定。“如果它真有什么好处,那也是微乎其微的。”他说。

Mitchell 指出,实验室里的本生灯数量已经



本生灯。图片来源:Alfonso Fabio Iozzino/Alamy

在减少。许多研究人员转而使用更环保、更安全且无需燃气管道的替代方案,如便携式燃烧器或电热板。

不过,一些科学家仍将继续使用他们信赖的本生灯。智利千年综合生物学研究所的酵母系统生物学家 Felipe Munoz-Guzmán 表示,本生灯能够高效地对金属工具进行消毒,这是他的实验室保留它的原因。虽然生物学实验室的一些工具是塑料的且已预先消毒,但对金属仪器进行消毒可以减少实验室产生的废物量。“对一名酵母生物学家而言,本生灯是无可替代的。”

(文乐乐)

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1128/spectrum.01028-26>