

蛋白质折叠有多快？

实时捕捉不到 1 微秒

本报讯 科学家首次直接测量了单个蛋白质折叠所需的时间，令人惊讶的是，蛋白质的序列或大小与折叠成三维结构的时间并无关联。尽管蛋白质的成分更复杂，但它的折叠效率似乎比 DNA 等其他生物分子更高。相关研究成果 3 月 9 日发表于《物理评论快报》。

蛋白质的功能与复杂的三维结构密切相关。例如，部分蛋白质有特定的凹陷或凸起，从而能够锁定细胞受体传递的信号。美国国家糖尿病、消化和肾脏疾病研究所的 Hoi Sung Chung 表示，无论最终的结构多么复杂，蛋白质最初都是一串氨基酸，“就像一根长长的意大利面”，可以用多种方式折叠。蛋白质折叠不当或不完整，可能导致功能异常、疾病或中毒，因此科学家希望了解折叠过程的具体细节。

在一个烧杯中悬浮的相同蛋白质分子最终形成三维结构的时间并不相同，且每个分子在折叠过程中都会经历多次失败。科学家已大

致掌握包括这些失败在内的整个折叠过程需要多少时间，但目前几乎不可能测量折叠行为本身持续的时间——这段冲刺被称为过渡路径时间。

这个过渡期极为短暂，必须在单个分子中进行研究。科学家迄今只能通过人工放慢折叠速度，或观察折叠速度较慢的异常蛋白质，窥见折叠过程。

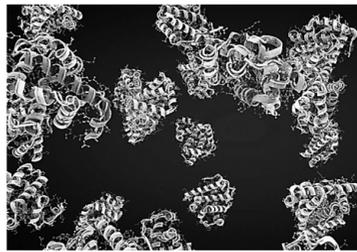
在这项研究中，Chung 团队通过提高单分子荧光光谱法的时间分辨率，直接捕捉到这一过渡期。借助该技术，他们可以通过测量染料标记分子的荧光评估其动力学。

研究人员在氨基酸链的一端连接了红色染料分子，另一端连接了绿色染料分子。这种绿色染料可自行发光，而红色染料只有在接收到绿色染料的能量后才能被激活。在氨基酸链折叠前，只能观测到绿色染料的荧光；当开始折叠时，两种染料分子被拉近，使能量从绿色

分子传递至红色分子，后者随即开始发光。但这种荧光信号太微弱，难以检测，于是他们使用了一种带有纳米级微孔阵列的光导装置，放大了染料信号，进而成功观测到 8 种蛋白质的折叠瞬间。

“这是近年来该领域最重大的进展之一。”美国得克萨斯大学奥斯汀分校的 Dmitrii Makarov 说。为观察蛋白质的折叠行为，科学家必须探测到相对少量的光子，这是一项技术壮举。“真正令人赞叹的是，他们并非只对一种蛋白质完成了观测，而是 8 种，这让我们能够提出更有价值的问题。”

研究发现，这些蛋白质最短的过渡路径时间不足 1 微秒，最长的约为 4 微秒。折叠速度与蛋白质的大小、长度、序列或折叠结构无关，而与折叠蛋白质中氨基酸之间相互作用的数量相关。这类相互作用越多，蛋白质的折叠效率就越高。Makarov 表示，此前的理论模型已



蛋白质折叠成三维结构的时间可能不足 1 微秒。

图片来源: Christoph Burgstedt/SPL

对此做出了预测，如今这一结论得到实验验证，令人振奋。

Chung 指出，研究表明，蛋白质折叠行为的完成速度比 DNA 等其他生物分子快。DNA 仅由 4 种名为碱基的基本单元构成，且每种碱基在最终结构中只能与另一种碱基结合；相比之下，蛋白质由 22 种氨基酸构成，而且可能发生更多的相互作用。他推测，自然选择的结果让蛋白质的折叠速度变得更快。（李木子）

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1103/2q9m-4sc>

科学家为瘫痪患者开发打字设备

本报讯 科学家开发了一种能将大脑中尝试打字的活动转化成文字的设备，有望为瘫痪患者提供比常见交流系统，如眼动追踪系统等更熟悉和容易学习的方法。相关研究成果 3 月 17 日发表于《自然-神经科学》。

过去的研究表明，脑机接口可以通过移动电脑光标、解码语音或手写等手段促进交流。但许多人或许更偏好使用标准键盘。

在这项研究中，美国马萨诸塞州总医院的 Justin Jude 和同事开发了一种脑机接口，在临床研究中将其植入两名四肢瘫痪患者的大脑皮层。他们一人患有肌萎缩侧索硬化症（ALS），另一位则有颈椎脊髓损伤。研究人员让参与者尝试进行打字的手指运动，并用此时的脑活动训练了一个深度神经网络。脑活动由植入参与自主运动的脑区中央回的电极记录。

研究人员随后用这一模型预测了每个参与者试图输入的字符，其中一位参与者可以每分钟打出 110 个字符（22 词），这是健全人智能手机打字速度的 81%，而错误率约为 1.6%。另一参与者能每分钟打出 47 个字符。该装置仅需 30 句的练习即可开始有效工作。

虽然还需要在更多参与者中进行测试，但研究人员认为，这一装置有潜力帮助瘫痪患者快速、准确且更容易地交流。相比语音转文字系统，它也能在交流中提供更多隐私保护。（赵熙熙）

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1038/s41593-026-02218-y>

美国计划推进 4 月实施载人绕月飞行任务

据新华社电 美国国家航空航天局（NASA）近日表示，“阿耳忒弥斯 2 号”载人绕月任务的飞行准备评审已完成，发射准备工作可以继续推进，目前计划不早于 4 月 1 日实施发射任务。

“阿耳忒弥斯 2 号”任务将使用美国新一代登月火箭“太空发射系统”和“猎户座”飞船，将 4 名宇航员送往月球轨道绕月飞行。该任务原计划于今年 2 月实施，但由于两次综合演练中出现技术问题，发射时间被一再推迟。

目前，NASA 计划于 3 月 19 日将“太空发射系统”火箭和“猎户座”飞船从佛罗里达州肯尼迪航天中心的装配大楼运至发射台，为发射做最后准备。能否按计划发射仍取决于剩余准备工作的进展情况。

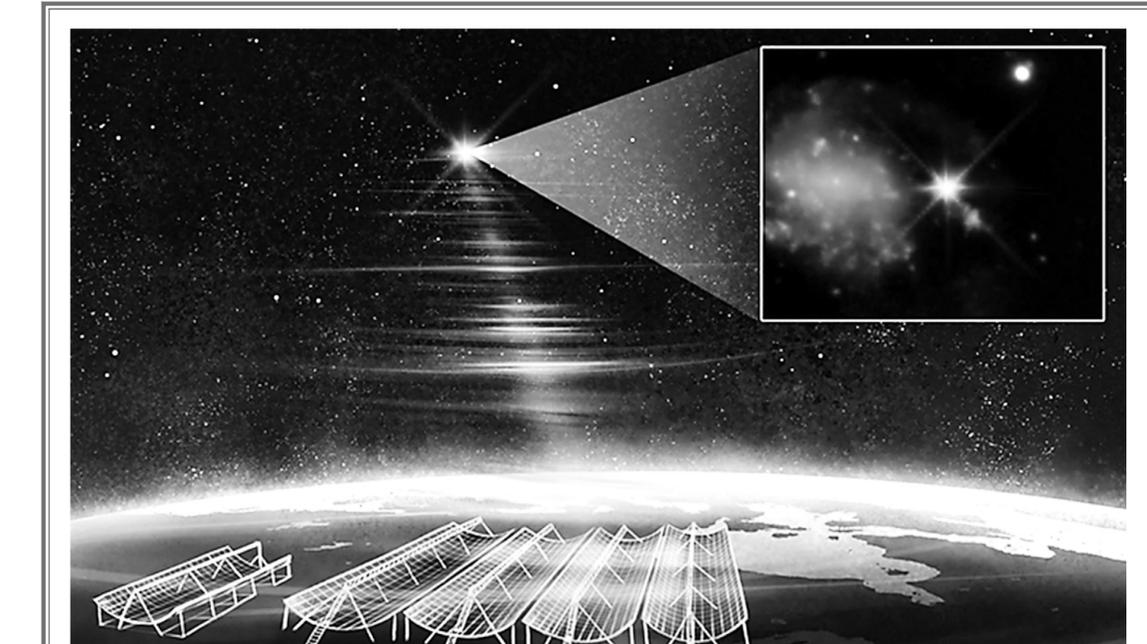
根据原有安排，在载人绕月飞行任务之后，美国将于 2027 年执行“阿耳忒弥斯 3 号”载人登月任务。由于问题频发，NASA 于 2 月底宣布，将“阿耳忒弥斯 3 号”任务改为在近地轨道开展系统及运行能力测试，原定登月任务调整为“阿耳忒弥斯 4 号”，计划于 2028 年实施。（谭晶晶）

教科书错了！科学家揭示人类头发生长奥秘

本报讯 一项研究表明，人类的头发并非像人们长期认为的那样是从根部被挤出来的。相反，科学家发现，毛囊内一个隐藏的细胞网络产生的力能够将头发向上拉。这一发现挑战了几十年来生物教科书中的解释，并有望影响了关于脱发及头发再生的研究。近日，相关研究成果发表于《自然-通讯》。

研究人员用先进的 3D 活体成像技术，对实验室培育的人类毛囊单个细胞进行了观察，发现外根鞘，即包裹毛干的一层组织中的细胞，在产生向上拉力的同时竟然会沿着螺旋路径向下移动。

论文作者、英国伦敦玛丽女王大学的 Inês Sequeira 表示：“我们的研究结果揭示了头发毛囊内部的运作机制。几十年来，人们一直认为头发是由毛球中不断分裂的细胞挤出来的。但我们发现，情况恰恰相反：头发实际是由周围的组织向上拉出来的，就像有



CHIME/FRB 辅助望远镜阵列定位快速射电暴 FRB 20250316A 的艺术构想图。

图片来源: Danielle Futselaar

科学此刻

一个国际天文学家团队发现了迄今最亮的快速射电暴，并将其定位在一个近邻星系。快速射电暴是天文学中最令人困惑的现象之一，这项成果标志着相关研究进入了一个新阶段，有望更好地了解它们的宇宙起源。相关论文最近发表于《天体物理学杂志快报》。

快速射电暴是宇宙中极强的射电能量爆发，可穿越浩瀚的宇宙抵达地球。科学家认为它们由极端天体物理事件产生，但具体成因至今不明。2018 年以来，加拿大氢强度测绘实验望远镜（CHIME）已探测到数千次此类爆发，但要确定它们在天空中的位置依然是一个难题。

这次发现的信号被命名为 FRB 20250316A，编号 RBFLOAT，意为有史以来最亮的射电闪光。科学家借助 CHIME/FRB 辅助望远镜阵列，实现了高精度定位。天文学家运用甚长基线干涉测量技术，将相距遥远的望远镜信号整合，从而以极高精度测定天体在天空中的位置。

“我们非常幸运，精确定位了这一罕见事件的天区位置。”加拿大多伦多大学的 Mattias Lazda 表示，“在探测到它几小时后，其中一个望远镜站点就停电了，而它对判断爆发来源至关重要。”

尽管快速射电暴是已知最强的射电源之一，但它们持续的时间极短。每次爆发通常仅几毫秒至数秒，瞬间亮度超过宿主星系中的所有其他射电信号。2025 年 3 月 16

最亮快速射电暴家在何方

日探测到的 RBFLOAT，持续时间约为 1/5 秒。

“从宇宙尺度看，这个快速射电暴就在我们的‘家门口’。”论文作者、美国麻省理工学院的 Kiyoshi Masui 说，“这意味着我们有机会对一次相当典型的快速射电暴进行详细研究。”

此次爆发之所以异常明亮，部分原因是其源头相对靠近地球。它起源于 NGC 4141 星系的外围区域附近，位于约 1.3 亿光年外的大熊座。研究人员将信号来源缩

小到仅一个 45 光年宽的区域，这比一般的星团还要小。这一精度就像是 1000 公里外发现一个吉他披片一样。

CHIME/FRB 辅助望远镜阵列提供的精确定位，让研究团队得以用詹姆斯·韦布空间望远镜（JWST）开展后续观测。在观测中，他们在 RBFLOAT 的爆发点探测到一个微弱的红外信号。一种观点认为该信号来自一颗红巨星，另一种则推测它可能是与爆发本身相关的衰减光回波。

“JWST 的高分辨率，让我们首次能够分辨出快速射电暴周围的单颗恒星。这为识别能够产生如此强爆发的恒星环境打开了大门，尤其是在以这种精度捕捉到罕见快速射电暴的情况下。”美国哈佛大学的 Peter Blanchard 说。

尽管这是 CHIME 探测到的最亮快速射电暴，但天文学家还没有在同一源头观测到任何重复爆发。“这次爆发似乎不再重复，这与大多数已被深入研究的快速射电暴不同。”加拿大麦吉尔大学的 Amanda Cook 说，“这挑战了该领域的一个主流观点，即所有快速射电暴都会重复，并促使我们重新考虑，至少部分快速射电暴的起源可能更具‘爆发性’。”（王方）

相关论文信息：

<https://doi.org/10.3847/2041-8213/adf62f>

<https://doi.org/10.3847/2041-8213/adf29f>

“小柯”秀

一个会写科学新闻的机器人

《自然》

基因转换使

无性系鱼类的自然选择成为可能

美国密苏里大学的 Wesley C. Warren 团队发现基因转换使无性系鱼类的自然选择成为可能。近日，相关研究成果发表于《自然》。

尽管有明显的劣势，有性生殖依然是一种古老且普遍存在的现象。理论预测，有性生殖带来的等位基因重组，对于自然选择有效作用于单个基因位点至至关重要。因此，纯粹进行克隆生殖的生物体应该会迅速积累有害突变，并最终走向灭绝。然而，许多无性生殖物种的存续时间却远超理论预测的可能范围，例如亚马孙莫莉鱼——一种通过克隆方式繁殖的鱼类，其起源可追溯至 10 万多年前的一次单一杂交事件。

研究表明，尽管亚马孙莫莉鱼积累突变的速度快于其有性生殖的祖先物种，但这并未导致功能性突变衰退，从而打破了理论预期。相反，基因转换通过产生新的克隆谱系，以及消除祖先单倍型之间的杂交不相容性，从而促进了适应性选择与纯化选择。向克隆模式的转变改变了染色体结构，但亚马孙莫莉鱼的无性单倍型依然保留了其祖先物种的差异性突变。

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1038/s41586-026-10180-9>

《自然-物理学》

自我测试

任何量子态或测量的通用方案

比利时布鲁塞尔自由大学的 Shubhayan Sarkar 团队报道了一个自我测试任何量子态或测量的通用方案。相关研究成果近日发表于《自然-物理学》。

量子器件的出现引发了一个重要问题：如何在不自依赖器件本身的情况下验证其量子特性？为在一定自由度范围内以与器件无关的方式表征量子态和测量，研究团队使用了一种名为自测试的技术。尽管已有方案提出可以对所有纯多体纠缠态和实数局域投影测量进行自测试，但针对混合纠缠态、复合测量或非投影测量的认证工作却鲜有开展。

研究团队通过运用量子网络框架，提出了一种能够用于自测试任意极值测量，包括投影测量的方案，进而间接实现对任意量子态（包括混合态）和任意量子测量（包括非极值测量）的自测试。研究人员考虑的量子网络是简单的星型网络，该网络可利用现有技术实现。为达到研究目的，他们还构建了一个新方案，可用于自测试任意多方共享的二维层完备测量集合。

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1038/s41567-026-03181-y>

《中国科学院院刊》

冰川退缩导致

阿拉斯加冰缘湖迅速增长

美国科罗拉多州立大学的 Daniel McGrath 团队发现由于冰川因河床过度加深而退缩，导致阿拉斯加冰缘湖迅速增长。近日，相关研究成果发表于美国《中国科学院院刊》。

近几十年来，全球冰缘湖泊的数量与面积持续扩张，这些湖泊多发育于冰川侵蚀作用形成的冰下盆地。然而，当前对湖泊扩张速率、关键驱动因子及未来最大扩展范围的认知仍较为缺乏。这些问题的重要性在于冰缘湖泊不仅构成灾害风险源，改变水文与生态系统，某些情况下还会加速冰川运动与退缩。

研究人员量化了近期阿拉斯加地区冰缘湖泊的扩张过程，并利用现有冰厚与地形数据绘制了冰下盆地分布图，以此作为预测近期及未来湖泊扩张速率的依据。数据显示，2018—2024 年间，该区域冰缘湖泊面积增加了 156 平方公里（年均 26 平方公里），较 2009—2018 年间的扩张速率提升 50%。自 2018 年以来，80% 的湖泊扩张发生于已绘制出的冰下盆地内。当前与冰缘湖泊相连的盆地面积约 4250 平方公里，表明随着冰川退缩，现有湖泊的扩展潜力可达 4 倍以上。

此外，尚有 14500 平方公里的现有冰川覆盖于未连接湖泊的冰下盆地之上，预示未来可能形成大量新生湖泊。发育冰缘湖泊的冰川消融速率比同等面积的无湖冰川高出 23%~54%，凸显了冰川—湖泊动态耦合作用对阿拉斯加冰川演化进程的关键影响。

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1073/pnas.2513289123>

《科学》

海豹和海狮大脑

支持对声音行为和学习的意志控制

美国埃默里大学的 Gregory Berns 团队发现海豹和海狮的大脑已经进化到能够支持声音行为和学习的意志控制。3 月 12 日，相关成果发表于《科学》。

海豹和海狮都拥有高度发达的自主呼吸控制能力，其中，海豹科动物在此基础上还具备发声学习能力。研究人员利用组织学和离体扩散磁共振成像纤维束追踪技术，揭示了鳍足类动物在系统演化过程中所呈现的一系列累积性神经适应特征，这些特征为该类群的自主发声控制能力提供了神经学基础。

研究发现，海豹和海狮的发声运动皮层和发声脑干核之间有直接联系。此外，海豹的前腹外侧侧脑和发声前运动皮层之间表现出了连接增强的特征——这一神经通路正是鸟类发声学习、人类与鹦鹉模仿行为所依赖的脑神经网络的重要组成部分。

研究证明，海豹科动物拥有一条“听觉—前运动”神经通路，该通路可能与其在发育阶段的叫声学习能力密切相关。

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1126/science.adx9367>



图片来源: Shutterstock

这项研究凸显了生物物理学在现代生物学领域日益扩大的影响。它展示了微观层面的微小机械力如何塑造人体结构的生长与行为。（王钰）

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1038/s41467-025-65143-x>

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