



WLA

2021

年度科学盘点

2022年1月

WLA 2021 年度科学盘点

目 录

新冠疫情的持续影响：进展、挑战与反思.....	4
（一）新冠病毒的科学研究进展	
追踪变异病毒.....	4
冠状病毒变种正威胁着疫苗的保护性.....	4
进一步阐明新冠病毒逃逸宿主天然免疫和抗病毒药物的机制.....	5
新冠肺炎究竟有何不同？.....	6
（二）新冠肺炎的药物研发与疫苗接种	
新冠病毒的特效药.....	7
接种疫苗加强针.....	9
机构间携手开发疫苗接种实时进展可视化工具.....	10
只要设计合理，短信也可助推疫苗接种.....	11
（三）疫情下的反思	
科学家在疫情期间竟遭受更严重的舆论攻击乃至威胁谩骂.....	11
疫苗分配系统有待完善.....	13
美国新政府将制定疫情复苏政策，减轻疫情对研究机构的影响.....	14
气候变化与可持续发展.....	15
（一）应对气候变化与碳排放	
里程碑意义的气候峰会与《格拉斯哥气候协议》.....	15
极端天气预警机制.....	17
更可靠的气候模型.....	18
地球模拟装置启用看清地球的未来.....	18
去碳化的兴起.....	19
（二）推动生物多样性和可持续发展	
“昆明宣言”为制定生物多样性框架注入更强动力.....	19
保护原住民就是保护我们自己.....	21
非洲雨林的未雨绸缪.....	22
多数溪流年复干涸.....	23
人工智能（AI）正催生新的科研范式.....	24
（一）人工智能（AI）正在改变结构生物学研究	
DeepMind 发布开源版本.....	24
科研人员发布 RoseTTAFold 工具.....	25
深度学习助力预测蛋白质相互作用.....	26
一种全新 RNA 三维结构预测模型——ARES.....	27
（二）AI 推动理论突破	
用 AI 开启理解电子相互作用之路.....	28
机器学习帮助发掘数学研究中的直觉与创造力.....	29
（三）更智能的绿色技术	
化学创新助力更好的人类未来.....	31
（一）化学合成的新方法和新工艺	

首次实现淀粉全人工合成.....	31
碳氢键 (C-H) 活化——化学合成领域“圣杯”.....	32
半合成生命体——生物化学与医疗.....	34
RNA 和 DNA 的化学合成.....	35
(二) 化学品与农业	
区块链技术——化学创新更具可复制性和可追溯性.....	35
声化学涂层——更安全、耐用的材料.....	36
自己制造肥料的作物.....	36
人工腐殖质——可持续高效农业.....	37
氨的绿色可持续生产.....	38
物理与天文——基础突破与仰望星空.....	39
(一) 深空探测	
火星探测-“祝融”号和“毅力”火星车登陆.....	39
“洞察”号首次揭示火星内部结构.....	40
“毅力”号火星车揭示了火星水文历史与疑似生命证迹.....	41
嫦娥五号带回家的样品改写月球历史.....	42
人造探测器第一次近距离接触太阳.....	42
碘驱动的低成本卫星发动机.....	43
“鸽王之王”詹姆斯·韦伯太空望远镜成功发射.....	44
史上最详细的三维宇宙图.....	45
观测黑洞磁场.....	46
国际联合科研团队对首个恒星级黑洞作出更精确测量.....	47
揭示宇宙电磁爆炸.....	47
(二) 基础原理与技术突破	
缪子反常磁矩实验：冲击标准模型？.....	48
探测到超弱引力场.....	49
魔角扭曲三层石墨烯具有超强的抗磁超导性.....	50
实现激光核聚变里程碑.....	51
EAST 刷新世界纪录，实现可重复 1.2 亿℃燃烧 101 秒.....	52
拓扑绝缘体垂直腔激光阵列可作为单一相干光源.....	52
粒子冷却新技术.....	53
30 年前的奇怪量子效应被三支研究团队证实：首次在超冷费米气体中观测到泡利阻塞现象 (Pauli blocking).....	55
(三) 量子技术与量子计算	
量子纠缠从微观走向宏观.....	56
“九章 2.0”“祖冲之 2.0”加固量子计算优越性.....	57
谷歌悬铃木量子计算机实现首个时间晶体.....	58
量化波粒二象性.....	59
实现对原子核的量子相干控制.....	60
(四) 数学前沿	
《圆盘嵌入定理》拯救四维庞加莱猜想的重要拓扑学证明.....	63
斯梅尔猜想的最新进展.....	63
对无穷大本质的进一步探索.....	64
数论和几何间的“虫洞”连接.....	64

新药研发带来健康新希望	66
治愈艾滋病的曙光.....	66
“摇头丸”可治疗创伤后应激障碍.....	66
单克隆抗体治疗传染性疾病.....	67
首次证明 CRISPR 基因编辑疗法对人类疗效.....	68
靶向蛋白质降解——“细胞机制”改变制药业.....	68
阿尔兹海默症新药争议.....	69
生物新发现与新技术	70
首个可自我繁殖活体机器人.....	70
神经接口实现意念打字.....	71
地球偏心率影响演化进程.....	72
解锁古老泥土 DNA 宝库.....	73
震惊了生物学家！大王花的基因几乎都是“偷”来的！.....	74
史上最详细人脑内部连接图发布.....	75
吹气以诊断疾病.....	76
单细胞代谢组学.....	77
科技政策与伦理治理	78
体外胚胎培养为早期发育研究打开新窗户.....	78
高风险 AI 数据实践.....	79
人工智能的伦理研究有待深入.....	79

新冠疫情的持续影响：进展、挑战与反思

（一）新冠病毒的科学研究进展

追踪变异病毒

在整个 2021 年里，研究人员都在与冠状病毒赛跑，了解新冠病毒变异株的信息。2021 年 11 月底，华盛顿大学全球健康研究所的图里奥·德·奥利维拉教授（Tulio de Oliveira）¹宣布他的团队在南非等地的样本中发现了新的新冠病毒变异株奥密克戎（Omicron）²。此次发现的新冠病毒，在年底引发了新一轮大流行浪潮。在此之前，今年 3 月德尔塔变异株在印度被首次发现后以惊人的速度席卷全球多个地区，死亡和住院数据节节攀升。因此，我们有必要对新冠病毒的变异持续关注 and 追踪。新冠疫情的爆发推动了对测序设施的研究和生产投入。有幸的是这其中的很多工作是在发展中国家完成的。De Oliveira 教授认为这充分体现了全球合作抗疫的重要价值³。

冠状病毒变种正威胁着疫苗的保护性

新冠疫苗在很大程度上能防护 2020 年末和 2021 年初出现的阿尔法、贝塔和伽马变种，但随后出现了德尔塔。

1 <https://globalhealth.washington.edu/faculty/tulio-de-oliveira>

2 <https://www.newyorker.com/news/q-and-a/how-south-african-researchers-identified-the-omicron-variant-of-covid>

3 <https://www.weforum.org/agenda/2021/12/omicron-scientist-explains-genomic-surveillance/>



来源：Shirraaz Mohamed/AP/Shutterstock

数据显示，疫苗通常可以保护感染德尔塔的人免于遭受新冠感染最严重的后果——但疫苗对德尔塔的保护作用不如其他变种。2021年11月下旬，最新的令人担忧的变种奥密克戎出现了。早期数据表明该变种严重破坏了疫苗免疫力，但额外的疫苗剂量及加强注射改善了这种情况。

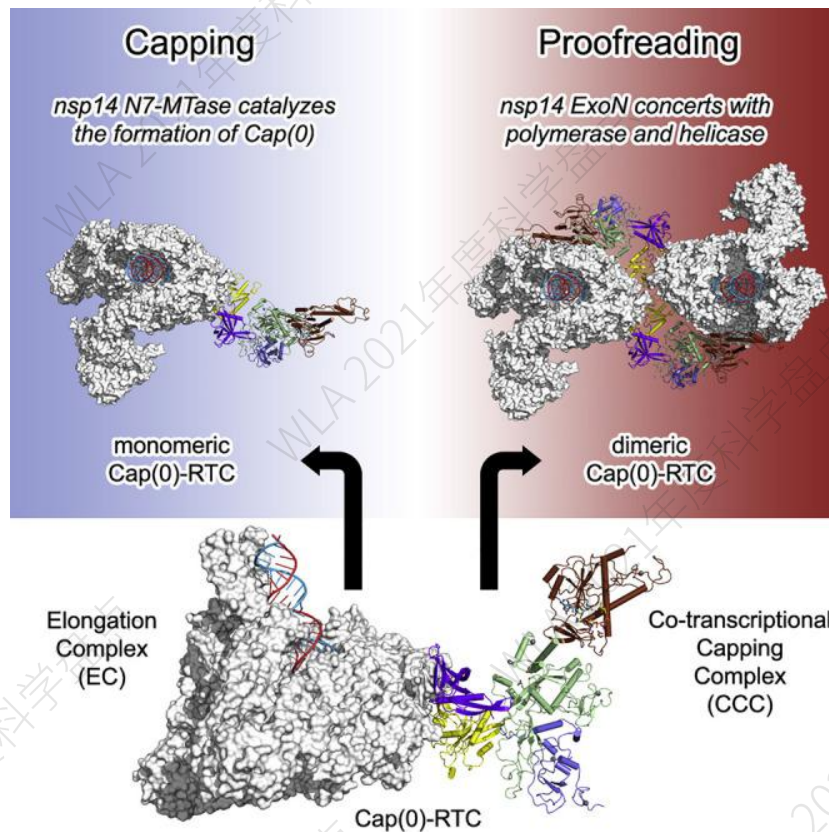
进一步阐明新冠病毒逃逸宿主天然免疫和抗病毒药物的机制

清华大学饶子和院士、娄智勇教授课题组，在国际上首次发现和重构了新冠病毒转录复制机器的完整组成形式^{4,5}。以此为基础，首次明确了病毒 mRNA“加帽”成熟的关键酶分子，回答了冠状病毒研究中近 30 年来悬而未决的问题，并且该分子在各突变株中高度保守，在人体中没有同源物，为发展新型、安全的广谱抗病毒药物提供了全新

4 *Cell*, 184(1):184-193

5 *Cell*, 184(13):3474-3485

靶点。



新冠病毒转录复制复合体的 mRNA 加帽状态与复制校正状态

同时，他们还首次发现病毒以“反式回溯”的方式对错配碱基和抗病毒药物进行“剔除”，阐明了瑞德西韦等药物效果不良的分子机制，为优化针对聚合酶的抗病毒药物提供了关键科学依据。

新冠肺炎究竟有何不同？

新冠肺炎最危险的并发症是重症肺炎，而炎症在其中发挥着关键作用。新冠病毒感染引发的炎症与其他呼吸道感染的炎症不同。美国西北大学医学院的罗根·格兰特（Rogan Grant）等研究者⁶比较了从感染者肺部分离的免疫细胞。与其他原因导致肺炎的人群相比，

⁶ Nature 590, 635–641 (2021)

COVID-19 患者的免疫细胞里有更大比例的 T 细胞和单核细胞。

COVID-19 重症肺炎的一个独有特征是持续时间很长，导致这种持久应答的机制尚未完全阐明。

(二) 新冠肺炎的药物研发与疫苗接种

新冠病毒的特效药

疫苗在抗击新冠肺炎的斗争中发挥了重要作用，抗病毒药物的研发也有了新的进展。研究表明，如果在感染早期服用，甚至可以预防重症和死亡。

美国默克公司 Merck 的治疗新冠肺炎口服胶囊莫努匹拉韦 Molnupiravir 于 2021 年 11 月初在英国获准紧急使用。根据提交给监管机构的最终数据，Molnupiravir 在高风险、未接种疫苗的个体中，可将住院或死亡的风险降低 30%-40%⁷。但是《自然》杂志日前公布的消息显示，新一轮的临床试验数据表示莫努匹拉韦的真实有效率可能大大低于其之前公布的数据。



来源: *Science*

⁷ <https://www.medcom.id/cn/health/read/2021/12/27/23838>

几乎同一时间，辉瑞公司也研发出了抗病毒药物 PF-07321332。如果在出现症状的 3 天内使用该药物，可以降低 89% 的住院治疗率。如果新的 Omicron 变体导致感染人数激增，抗病毒药物会变得更加重要。但这些药物的问题仍然很多，比如抗病毒药物能否减少感染者的传播？⁸

尽管存在不确定性，但科学界对目前的临床结果仍然喜多于忧，认为拥有多种疗法的积极意义在于防止病毒对任何一种疗法产生抗药性^{9、10}。

中国科学院微生物研究所与上海君实生物联合于近日开发了一款用于治疗新冠肺炎注射用药 JS016，通用名为“埃特司韦单抗”。此药物具有我国自主知识产权，目前已经完成国际多中心二期临床试验¹¹，正在积极推进三期临床试验。据中科院微生物研究所组长严景华介绍，“这一单抗体药物来源于新冠康复病人的记忆性 B 细胞。这种记忆性 B 细胞能够产生新冠病毒抗体。我们用单细胞测序的方法获得这种抗体基因，然后进行体外克隆和细胞表达、纯化，再回输到病人体内去，从而起到治疗作用”¹²。

JS016 的安全有效也获得了世界认可。君实生物与礼来公司合作，授权其在大中华区外的市场进行商业化开发。礼来公司将 JS016 抗体与其自有的另一株单抗联合进行了多个三期临床试验，结果显示，该联合疗法对轻到中度并伴有转重症高危风险的新冠肺炎病人而言，能

8 <https://www.nature.com/articles/d41586-021-03074-5>

9 <https://www.nature.com/articles/d41586-021-02783-1>

10 <https://www.sciencemediacentre.org/expert-reaction-to-interim-analysis-of-oral-antiviral-molnupiravir/>

11 <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT04931238>

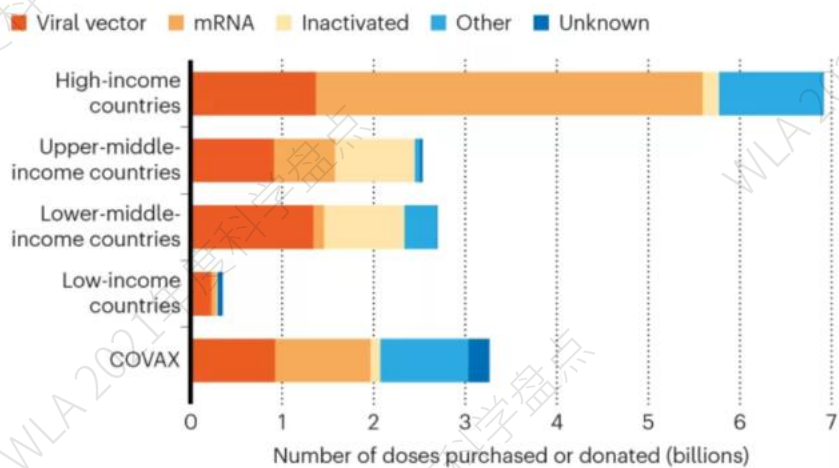
12 <https://new.qq.com/omn/20211121/20211121A03G5L00.html>

显著降低其住院和死亡事件的发生风险(70%~84%)，对死亡病例的保护高达 100%¹³。该联合疗法已获得了美国、欧盟、印度、巴西等 15 个国家和地区的紧急使用授权，是目前三个在国际上使用的新冠抗体疗法之一¹⁴。全球新冠药物研发进展瞩目，多个靶点的联合用药将是未来治疗新冠病毒感染者的一种选择，能有效缓解治疗新冠的压力¹⁵。

接种疫苗加强针

DOSE DISTRIBUTION

Data on how many vaccines countries have acquired are poorly reported. But researchers can track doses purchased by, or donated to, countries — understanding that many of these doses have yet to be delivered. By late August, for example, the international alliance COVAX had delivered only about 230 million doses. High-income countries have purchased the majority of mRNA vaccines.



©nature

来源：Duke Global Health Innovation Center

发达国家开始认真考虑向已经完全接种疫苗的人群注射加强剂。有证据表明疫苗免疫力在高传染性德尔塔变异株面前正在下降，但是注射疫苗通常仍然可以保护人们免于住院和死亡风险。

¹³ <https://investor.lilly.com/news-releases/news-release-details/new-data-show-treatment-lillys-neutralizing-antibodies>

¹⁴ <http://www.chinanews.com.cn/gn/2021/12-05/9622571.shtml>

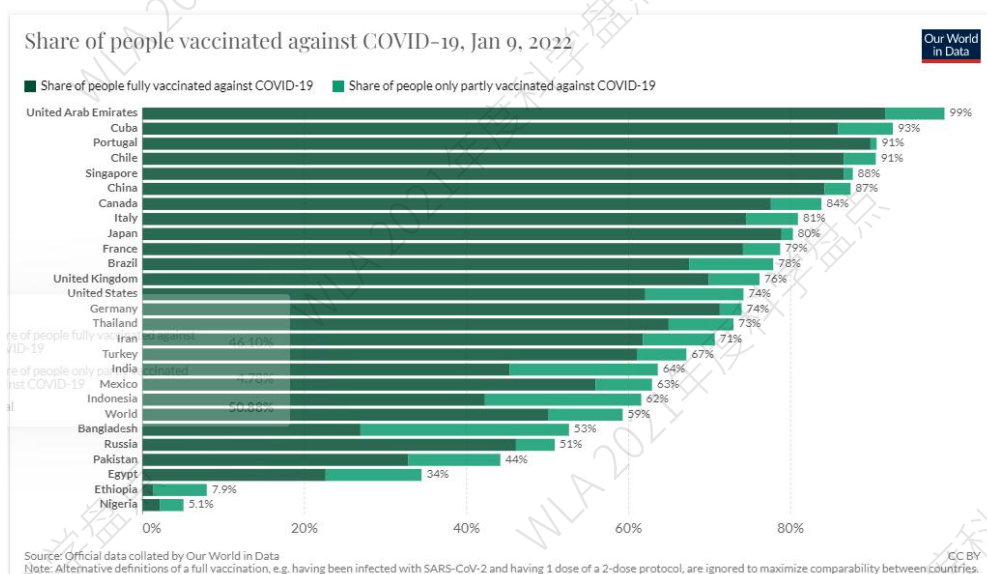
¹⁵ <http://society.people.com.cn/n1/2021/1205/c1008-32299824.html>

随着变体奥密克戎变异株的传播，许多公共卫生研究者们更积极地敦促成年人接种更多疫苗。他们指出，当低收入国家只有 7% 的人接受单剂量疫苗时，变体将在受感染个体中继续演变。他们支持知识产权豁免和其他机制，以增加全球疫苗供应，因此不需要在支持者和公平之间进行权衡。

机构间携手开发疫苗接种实时进展可视化工具

新冠疫情仍未结束，疫苗接种继续全球推进，全球至少有 197 个国家/地区已接种了超过 70 亿剂冠状病毒疫苗。

从大规模疫苗接种开始半年后，各国开始陆续推进第三针/加强剂疫苗接种，以应对突破性感染和不断突变的病毒。基于 Our World in Data（我们世界的的数据）——牛津大学和一个教育慈善机构之间的合作数据¹⁶，显示了每 100 人接种总剂量，主要是第一剂。此信息会定期更新，但可能无法反映每个地点的最新总数或接种的疫苗。



来源：Our World in Data-Coronavirus (COVID-19) Vaccinations

16 <https://ourworldindata.org/covid-vaccinations>

只要设计合理，短信也可助推疫苗接种

美国加州大学洛杉矶分校管理学院的 Hengchen Dai 等研究者¹⁷研究了由医疗机构发送短信能否改变新冠疫苗的接种率。在收到一条简单的短信提醒（内容包括接种预约网址）的人群中，疫苗接种率从 13.9% 上升到 17.1%。如果告知短信接收者已经为其预留了疫苗，接种率则进一步上升至 18.2%。

这一发现带来了新的启示，即成功的助推行为需要具备三大要素：要为目标行为提供便利、要设法提高个人做出目标行为的动力、要鼓励对方采取行动。虽然助推在改变个人行为方面有时非常有效，但设计时应十分谨慎。适当调整对目标人群的干预有时比一刀切的方法更容易成功。

（三）疫情下的反思

科学家在疫情期间竟遭受更严重的舆论攻击乃至威胁谩骂

长期以来，科学家们因其工作性质时而受到网络舆论的攻击，这种情况伴随疫情的到来而变得更为严重¹⁸。不同领域的科学家对 COVID-19 大流行病的不同看法引发了政治分歧，也让我们看到了公众对科学家前所未有的敌意。世界各地处于抗疫第一线的科学家们受到了不同程度的威胁，包括线上和线下的恐吓、抗议，甚至是死亡威胁，许多人甚至为此辞职。

¹⁷ *Nature* 597, 404 - 409 (2021).

¹⁸ <https://www.science.org/content/article/breakthrough-2021#>

例如，美国国家传染病研究所所长、美国总统首席医疗顾问安东尼·福奇（Anthony Fauci），早在2020年8月就被报道说曾多次收到过死亡威胁，他的家人也因此受到牵连¹⁹。在英国政府采取保护措施之前，英格兰的首席医疗官克里斯·惠蒂(Chris Whitty)在公共场合面临骚扰²⁰，示威者们经常出现在他家门口。研究流行病的物理学家克鲁蒂卡·库帕利（Krutika Kuppalli）在开始新工作不到一周的时间就在家中接到死亡威胁的电话²¹。马库斯·拉塞尔达（Marcus Lacerda）是一名临床研究人员，他领导了在巴西玛瑙斯（Manaus）进行的一项大型临床试验，结果显示大剂量氯喹对新冠病毒没有效用，他因此收到了死亡威胁²²。

铺天盖地的言语和行动威胁已经对科学家，乃至整个科学界产生了寒蝉效应（chilling effect）²³。《自然》杂志对321名向媒体谈及该大流行病的研究人员进行了调查²⁴，发现超过一半的人的声誉受到攻击，其中15%的人收到死亡威胁。许多人说，这些经历使他们不愿意再公开讨论科学问题。鉴于他们的专业知识，在疫情还未得到有效控制期间，不仅是科学界，全社会将会为此付出巨大代价。

19

<https://www.npr.org/sections/coronavirus-live-updates/2020/08/05/899415906/fauci-reveals-he-has-received-death-threats-and-his-daughters-have-been-harassed>

20 <https://www.cps.gov.uk/london-south/news/man-sentenced-assaulting-professor-chris-whitty>

21 <https://www.nature.com/articles/d41586-021-02741-x>

22 [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30383-2](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30383-2)

23 指在法律背景下，通过法律制裁的威胁，让公众因为害怕法律后果而犹豫行使其言论自由或其他合法权利。

24 <https://www.nature.com/articles/d41586-021-02741-x>

疫苗分配系统有待完善

联合国艾滋病规划署 UNAIDS 执行主任、联合国副秘书长温妮·拜恩伊玛 (Winnie Byanyima)²⁵ 在 2020 年初就曾指出, 中低收入国家只依靠疫苗捐赠无法实现全民接种。她认为, 确保每个人都能及时获得疫苗的唯一方法, 是鼓励更多的公司加入疫苗生产行列, 并完善疫苗分配系统²⁶。

事与愿违, 疫苗问世后, 辉瑞和 Moderna 等公司紧握专利权, 且大部分疫苗都被富裕国家优先订购或买走。截止目前, 在某些低收入国家, 仅有约 6% 的人注射了第一针²⁷。为此, 世界银行负责人类发展的副行长玛姆塔·穆尔蒂 (Mamta Murthi) 悲观地认为: “这样的情况是绝对不能接受的, 世界上很大一部分无法接种疫苗会对所有人的健康构成威胁”。

2021 年 5 月, 一向强硬捍卫专利权的美国响应了南非和印度提出的放弃新冠疫苗知识产权保护的提议²⁸。虽然企业坚称放弃知识产权无济于事, 反而会阻碍创新, 但很多包括 Byanyima 在内的公卫政策研究者们并不赞同。他们认为, 一个完善、公正、遵循道义的疫苗分配体系才能最终帮助解决这个问题。但他们也明白, 如何在各国之间公平分配疫苗一直都是一个复杂且争议不断的问题, 涉及到舆论、

25 <https://www.unaids.org/en/aboutunaids/unaidsladership/bios/winnie-byanyima>

26

<https://www.project-syndicate.org/commentary/pharmaceutical-monopoly-on-covid-19-vaccines-must-end-by-winnie-byanyima-2021-12>

27

<https://www.worldbank.org/en/news/podcast/2021/07/30/-absolutely-unacceptable-vaccination-rates-in-developing-countries-the-development-podcast>

28 https://pdf.dfcw.com/pdf/H3_AP202105071490235333_1.pdf?1620395557000.pdf

外交、经济、公卫和其他考量²⁹。

美国新政府将制定疫情复苏政策，减轻疫情对研究机构的影响

从病毒大流行的影响中恢复正常将是拜登政府初期的主要任务，包括致力于加快疫苗接种工作，加强公共卫生措施，并提供经济救助³⁰。

在科学家从大流行冲击中寻求恢复正常化的同时，大学预算紧缩正在成为科技工作者就业机会减少的威胁，其中女性是受大流行冲击更为严重的群体，其职业生涯面临令人担忧的障碍。联邦科技部门在为新项目提供资金的同时，也不得不就“如何减轻当前支持的研究机构受到影响”做出决策。国会至今未能为此提供救助资金，但这一想法得到了两党的支持。另外民主党还提议为研究和科学设施提供一次性资金支持，作为更广泛经济刺激措施的一部分。

²⁹ DOI: 10.1126/science.abe2803

³⁰ <https://www.aip.org/fyi/2021/science-policy-2021-10-stories-watch>

气候变化与可持续发展

（一）应对气候变化与碳排放

里程碑意义的气候峰会与《格拉斯哥气候协议》



图片来源：Erin Schaff/New York Times/Redux/eyevine

2021年10月底，世界各国约2.5万人受邀参加在英国格拉斯哥举行的新一届联合国气候变化大会。本次大会包括《联合国气候变化框架公约》（以下简称《公约》）第26次缔约方会议（COP26）等多个相关活动，将就《公约》、《京都议定书》、《巴黎协定》及《公约》附属机构下的国家自主贡献、市场机制、适应、资金、技术、透明度、应对措施、能力建设、农业、航空航海减排等近百项议题开展谈判磋商，重点围绕《巴黎协定》实施细则遗留问题、全球气候目标

及雄心力度等气候治理焦点问题展开对话³¹。格拉斯哥会议的其他进展包括就碳市场和排放报告的规则达成协议。但鉴于联合国的协议没有约束力，碳排放的真正命运将取决于国家层面的行动。

196个国家政府在 COP26 上共同签署了《格拉斯哥气候协议》（Glasgow Climate Pact），一致同意将进一步减少二氧化碳排放量，力争在 2030 年，将全球二氧化碳排放量在 2010 年的基础上减少 45%，以进一步控制全球气候变暖。各国政要以及社会各界领导人在会议上达成共识，即要实现 1.5°C 的目标，需要采取更加雄心勃勃的行动，需要在 10 年内停止目前的排放^{32, 33}。

不过许多人对各国政府是否能够充分履行承诺，积极应对未来的挑战并不抱有很高期望³⁴。

极端天气变得更频繁



31 https://www.mee.gov.cn/ywdt/hjywnews/202111/t20211101_958432.shtml

32 https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cop26_auv_2f_cover_decision.pdf

33 <https://www.ftchinese.com/interactive/53447?exclusive>

34 <https://reliefweb.int/report/world/glasgow-climate-pact-agreed-cop26-it-enough>

来源：Aly Song/Reuters/Alamy

联合国政府间气候变化专门委员会 IPCC 八年来首次对气候科学进行综合评估，描绘了一幅残酷但清晰的地球健康状况图景：如果政府不采取行动制止温室气体排放，已经对全世界社区造成破坏的创纪录的干旱、野火和洪水只会变得更糟。

报告称，与 1850 年至 1900 年的平均水平相比，地球已经升温了 1.1°C，并且按照目前的排放水平可能会在十年内超过 1.5°C。如果升温达到 2°C（政府在 2015 年巴黎协议中承诺避免的上限），以前每 50 年才发生一次的极端温度事件将每隔几年发生一次，增加死亡和破坏的可能性。与此同时，研究人员能够将北美太平洋西北部破纪录的热浪与德国的洪水直接联系起来今年是为人为造成的气候变化，最新研究增加了越来越多的气候归因研究。

极端天气预警机制

伦敦格兰瑟姆气候变化与环境研究所的气候研究员弗里德里克·奥托（Friederike Otto）³⁵等人创建了世界天气归因组织（World Weather Attribution, WWA）³⁶，其初衷是为了快速评估气候变化与极端气候（如极端高温、寒潮、暴雨、干旱和野火等）之间的关系。Otto 和她的团队现在最多会采用 50 个模型来进行气候模拟。他们的研究方法及其研究结果的可靠性如今得到了广泛认可。瑞典隆德大学研究气候适应和治理的社会学家艾米丽·博伊德（Emily Boyd）³⁷评价道，

35 <https://www.eci.ox.ac.uk/people/fotto.html>

36 <https://www.worldweatherattribution.org/>

37 <https://www.lucsus.lu.se/emily-boyd>

“在理解人类活动对气候变化的影响方面，归因研究非常重要。它正在改变我们的思维方式——让我们能以全新的方式思考气候与脆弱性之间的关系”³⁸。

更可靠的气候模型

今年，高温、洪水、飓风等极端气候现象频发，给全球都带来了深刻的影响，也督促人类进行反思。更糟糕的是，气候模型告诉我们，由于地球整体升温，未来，这样的气候现象会出现得更加频繁、更加猛烈。不过，如果因此就把某种特定的极端天气事件归因于气候变化，那显然也是有些草率了。研究人员开发了一种新统计方法³⁹，用于比较理论模型预言的极端气候事件模式与实际观测到的模式，从而为研究极端气候事件与气候变化之间的关系提供工具。相关研究团队用过去的的数据检验了这个模型，推测 2021 年发生在加拿大的极端高温天气可能与气候变化有关。

地球模拟装置启用看清地球的未来、现在、过去

2021 年 6 月 23 日，国家重大科技基础设施“地球系统数值模拟装置”在北京怀柔科学城落成启用。这是中国研制成功的首个具有自主知识产权的地球系统模拟大科学装置。地球系统模拟装置，又称地球模拟实验室，是对地球系统进行数值模拟，即以地球系统观测数据为基础，利用描述地球系统的物理、化学和生命过程及其演化的规律

³⁸

<https://www.lucsus.lu.se/article/ipcc-report-cop26-emily-boyd-comments-what-science-can-do-climate-action-0>

³⁹ <https://physics.aps.org/articles/v14/108>

在超级计算机上进行大规模科学计算。科学家们由此得以重现地球的去、模拟地球的现在、预测地球的未来。

此次新落成启用的地球模拟实验室具备地球表层各圈层的模拟能力，能够更全面地考虑地球系统的各种过程。尤其是在当下最为紧迫的气候变化应对与碳中和领域，该系统能够全方位关注全球生态和生物地球化学过程及其与气候系统的相互作用，并在此基础上建立起“生态—气温—二氧化碳浓度—碳排放量”的清晰关系，对温室气体核算、未来升温预估提供有力的模拟支撑，助力碳达峰、碳中和愿景目标的实现。并且它还将为我国未来在气候与环境领域的谈判提供依据，提升我国的国际话语权。

去碳化的兴起

全球正在努力推动社会、工业各方面的去碳化。各国政府和行业做出了减少碳排放的开创性承诺。在未来三到五年内，履行这些承诺将需要前所未有的技术创新，并将新兴技术的应用规模扩大至工业生产水平，如：大规模能源储存、低/无碳化学来源、振兴铁路运输、碳封存、低碳农业、零排放车辆和动力源，以及在全球范围内商定的达标性监测。

(二) 推动生物多样性和可持续发展

“昆明宣言”为制定生物多样性框架注入更强动力

2020年联合国生物多样性大会（第一阶段）高级别会议在昆明

闭幕。作为此次大会的主要成果之一，“昆明宣言”承诺确保制定、通过和实施一个有效的“全球生物多样性框架”，以扭转当前生物多样性丧失的趋势，并确保最迟在 2030 年在恢复生物多样性上做出更多努力，进而到 2050 年全面实现“人与自然和谐共生”的愿景⁴⁰。

中国生态环境部部长黄润秋在会议上强调，“昆明宣言”的主要目的是集中反映各方的政治意愿，向国际社会发出各方在生物多样性保护领域开展行动的坚强决心和共识。他强调，“昆明宣言”是一个政治性宣言，希望通过宣言为相关磋商进程提供政治推动力⁴¹。

“昆明宣言”凝聚了各方共识，体现了各方采取行动应对生物多样性挑战、共同构筑地球生命共同体的政治决心，对制定和实施“2020年后全球生物多样性框架”发挥引领作用，为后续的磋商和谈判规划方向，提供基础和政治指引。因此，“昆明宣言”的通过将从根本上影响人类社会的未来和地球的命运。

中国科学院华南植物园主任任海认为，“昆明宣言”是为各国在过去履约中存在问题开出的“一剂良药”⁴²。生态环境部卫星环境应用中心主任高吉喜用“凝聚共识、展望愿景、探索路径”这 12 个字概括了“昆明宣言”的内容⁴³。全面落实生物多样性保护不仅仅是对生物的保护，不可能靠单一的措施、单一的行动、单一的国家、和单一的组织实现。中国环境科学研究院研究员李俊生认为“‘昆明宣言’具有时效性、长期性、科学性三个特点”⁴⁴。在新冠肺炎疫情和全球生物多样性锐减尚未

40 <https://news.un.org/zh/story/2021/10/1092712>

41 https://www.mee.gov.cn/ywdt/zbf/202108/t20210818_858184.shtml

42 <https://www.chinanews.com.cn/sh/2021/10-14/9586008.shtml>

43 https://yndaily.yunnan.cn/content/202110/14/content_26496.html

44 http://epaper.cenews.com.cn/html/1/2021-10/14/02B/2021101402B_pdf.pdf

得到改善的大背景下，“昆明宣言”的通过十分及时，它为未来 10 年甚至 20 年生物多样性保护工作提供了指导，同时也使每一步目标的实现都有科学性评估。

保护原住民就是保护我们自己

在英国格拉斯哥举行的联合国气候峰会 COP26 上，多个富裕国家和十多个慈善组织做出了一项史无前例的承诺——提供 17 亿美元来帮助世界各地的原住民保护森林和生物多样性，并通过将碳封存在植物和土壤中来阻止全球变暖。

对于原住民群体来说，这一里程碑很大程度上要归功于菲律宾原住民领袖 Victoria Tauli-Corpuz⁴⁵数十年如一日的工作。Tauli-Corpuz 多年来在全球各地奔波，以说服国际组织、政府、环保人士和慈善基金会相信原住民对于保护森林资源和生物多样性的重要价值⁴⁶。

Tauli-Corpuz 意识到原住民与全世界森林之间的命运紧密交织。在联合国机构工作的 35 年里，Tauli-Corpuz 成为了“堡垒式保育”（fortress conservation）⁴⁷的坚定反对者。她认为，“保护工作的思路必须转变。因为保有地球大部分生物多样性和碳储库的森林也是原住民的家园。原住民以这些森林为家，我们应该与他们合作”。

2014 年到 2020 年间，作为联合国特别报告员的她走遍世界各地，深入了解当地的原住民社区面临的实际困难。在 2016 年提交给联合国的一份重要报告中，她指出，国家公园和自然保护区等传统保护区

45 <https://www.ohchr.org/en/issues/ipeoples/srindigenouspeoples/pages/victoriataulicorpuz.aspx>

46 <https://www.ohchr.org/en/NewsEvents/Pages/DisplayNews.aspx?NewsID=20748&LangID=E>

47 该模型认为自然保护的前提是要隔绝人类

的建立和相关法规的执行，常常会侵犯原住民社区的权利和他们的土地⁴⁸。

非洲雨林的未來存量



来源：Deo D. Shirima

中非雨林是世界上面积第二大的连续雨林。人类活动已经严重威胁到中非雨林及其社会价值，特别是伐木和过度狩猎。当叠加气候变化因素，会对雨林的未來产生何种影响？马克西姆·雷茹-梅尚（Maxime Réjou-Méchain）等人⁴⁹的研究表明：该地区的预期气候变化会对中非雨林构成严重威胁。相比已经受到影响的区域，一些还不太受到人类干扰区域的森林在气候变化中会更脆弱。在已经受到影响的区域，人类干预造成的树木多样性降低影响了森林对气候变化的响

⁴⁸ www.undocs.org/A/71/229

⁴⁹ *Nature* 593, 90 – 94 (2021)

应能力。这项研究提供了可信的证据，足以让使用者和管理者采取积极行动。

多数溪流年干涸



来源：Door Andrea Pavan/PLM Collection/Shutterstock

地表河流和溪流（以下统称河流）是生活中的重要水源，支持着多样而复杂的生态系统。非常流河（并非全年流动的河流）是其中的重要组成部分。但由于非常流河作为地表水源不如常流河稳定，因而对其研究也较少。对此，Messenger 等人⁵⁰开展了一项很有必要的研究，他们按长度计算了全球河流网络中非常流河的总体比例。作者发现，全球 51%-60% 的河流每年至少断流一天，全球河流总长的 44%-53% 每年至少干涸一个月（约 30 天）。研究团队的模型还显示，炎热干旱地区 95% 的河流网每年都会干涸。惊人的是，研究预计在这些干旱地区，主要河流的河段也会出现干涸。

⁵⁰ Nature 594, 391 – 397 (2021)

人工智能（AI）正催生新的科研范式

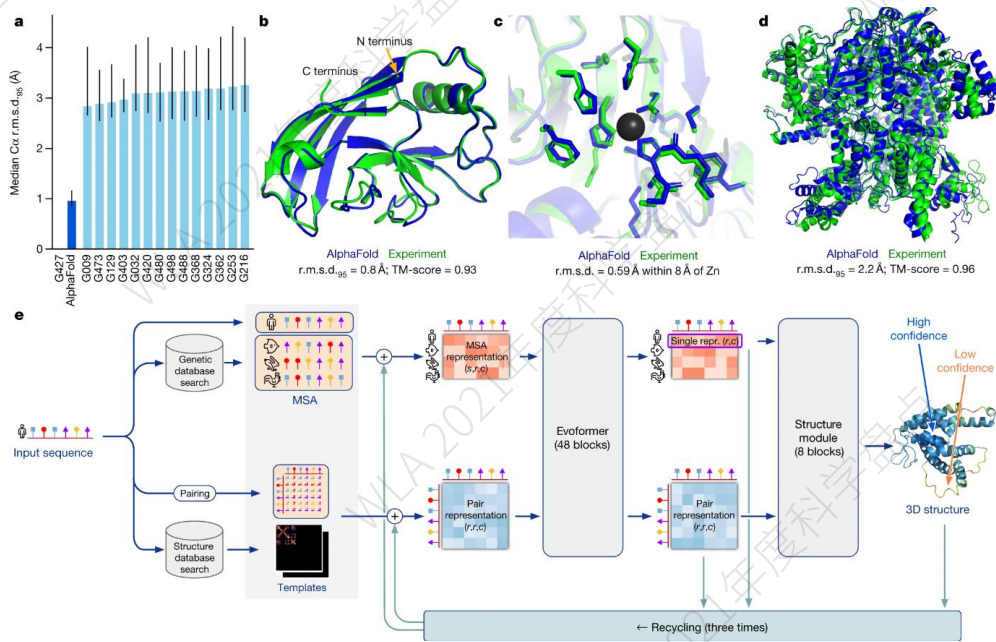
数百年来，实验科学和理论科学是学界的两大基础范式，人工智能驱动的研究正在催生新的科研范式。机器学习能够处理多模态的海量数据，解决复杂场景下的科学难题，带领科学抵达仅靠人力运算无法触及的新领域。2021年，人工智能在生物学、化学、新材料与数学研究等多个方面取得重要进展，让世人看到了人工智能不仅加速可以流程、还将帮助发现新科学规律的潜力。

（一）人工智能（AI）正在改变结构生物学研究

DeepMind 发布开源版本

DeepMind 公司的科学家⁵¹发布了其深度学习神经网络 AlphaFold 2 的开源版本，预测了人类表达的几乎所有蛋白质的结构，以及其他 20 种生物几乎完整的蛋白质组。AI 预测蛋白质结构将实现广泛应用，提供对基础生物学的见解并揭示潜在的药物靶点。“这是迄今为止人工智能系统对推进科学知识做出的最大贡献。”DeepMind 联合创始人兼首席执行官戴米斯·哈萨比斯（Demis Hassabis）告诉 *Nature*。

⁵¹ *Nature* 596, 583 - 589 (2021); *Nature* 596, 590 - 596 (2021).

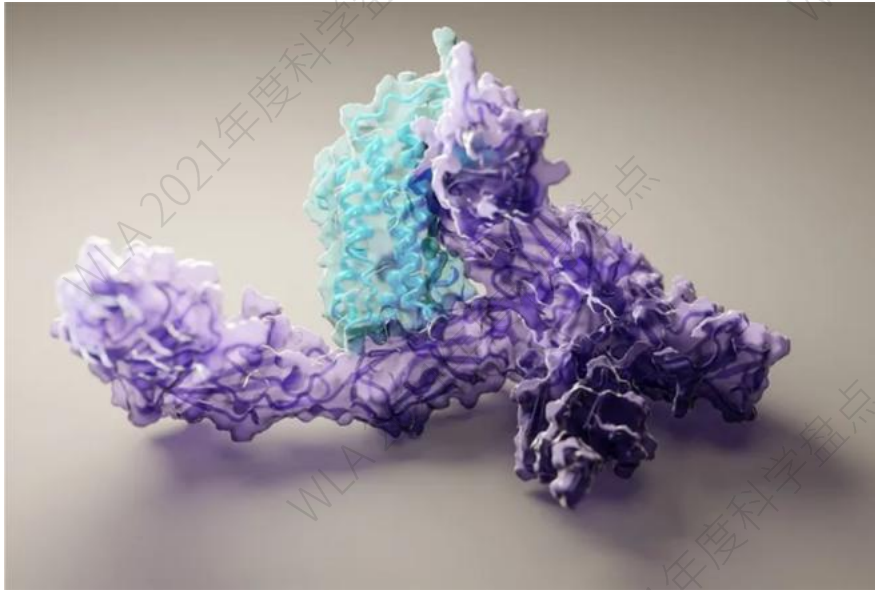


来源: *Nature*

科研人员发布 RoseTTAFold 工具

与此同时，华盛顿大学医学院蛋白质设计研究所的研究人员，研发出一款新的深度学习工具 RoseTTAFold⁵²，不仅拥有媲美 AlphaFold2 的蛋白质结构预测超高准确度，而且更快、所需计算机处理能力更低。从结构上来看，RoseTTAFold 是一个三轨 (three-track) 神经网络，它可以兼顾蛋白质序列的模式、氨基酸如何相互作用以及蛋白质可能的三维结构。在这种结构中，一维、二维、三维信息来回流动，使得网络能够集中推理蛋白质的化学部分与它的折叠结构。研究团队也对外分享了开源代码。

⁵² DOI: 10.1126/science.abj8754.

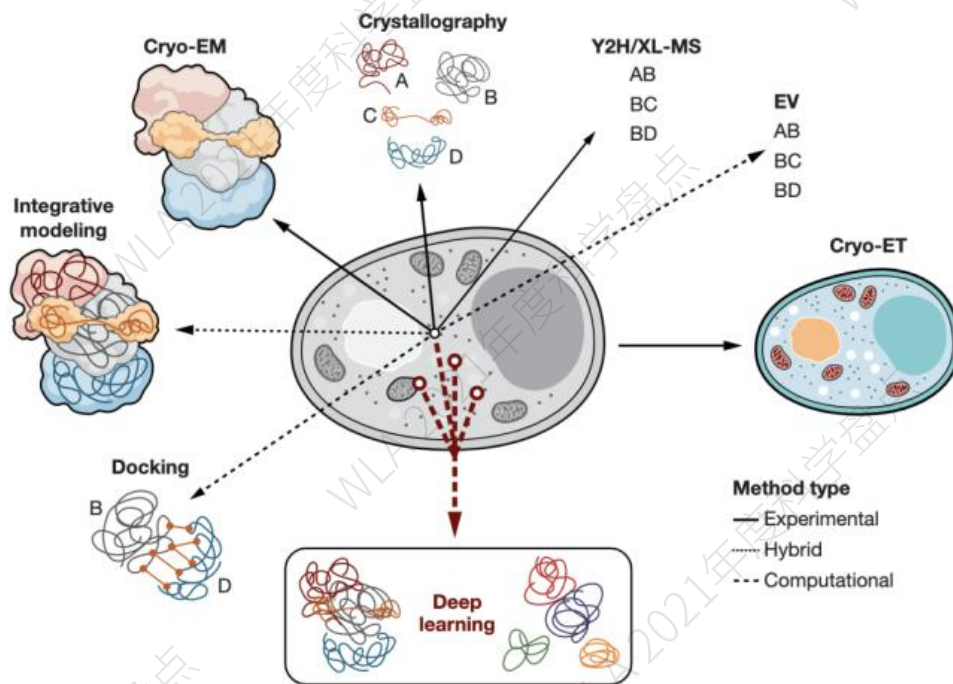


来源: Ian Haydon, UW Medicine Institute for Protein Design

深度学习助力预测蛋白质相互作用

了解大分子相互作用可以更好地理解细胞内部运作。但目前所有可用的方法都有其局限性。大卫·贝克 (David Baker) 教授带领的研究团队, 进一步将 AlphaFold 2 与 RoseTTAFold 相结合⁵³, 成功用于蛋白质-蛋白质复合物结构的预测。在对 830 万对酵母蛋白质进行了筛选后, 他们识别出了 1505 种可能的蛋白质相互作用, 发现了 106 个全新蛋白质复合物以及 806 个全新的蛋白质复合结构。这些新的复合物拥有多达 5 个结构亚型, 在真核生物细胞的几乎所有重要生命活动中发挥着重要作用, 为全面了解蛋白质的生物学功能打下了坚实的基础。

⁵³ <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abm4805>



Cryo-EM, cryo-electron microscopy; cryo-ET, cryo-electron tomography; EV, evolutionary couplings; Y2H, yeast two-hybrid; XL-MS, cross-linking mass spectrometry.

来源: *Science*

一种全新 RNA 三维结构预测模型——ARES

目前, 各大科研机构或药企往往需要耗费巨额资金来确定某个生物大分子的结构。尤其是在 RNA 领域, 目前人类对于 RNA 分子三维立体结构的认知仍旧处于起步阶段。美国斯坦福大学斯蒂芬·艾斯曼 (Stephan Eismann) 等人, 利用目前先进的神经网络技术, 成功开发出了一种全新 RNA 三维结构预测模型——ARES⁵⁴。

与其他传统 AI 算法不同, ARES 的结构框架并不是针对 RNA 结构设计, 而是针对原子结构设计的。通过不断调整参数, ARES 可以深入了解 RNA 上每个原子之间的相对位置以及几何排列, 进而推算出 RNA 最佳三维几何结构, 其准确性远超传统方法。

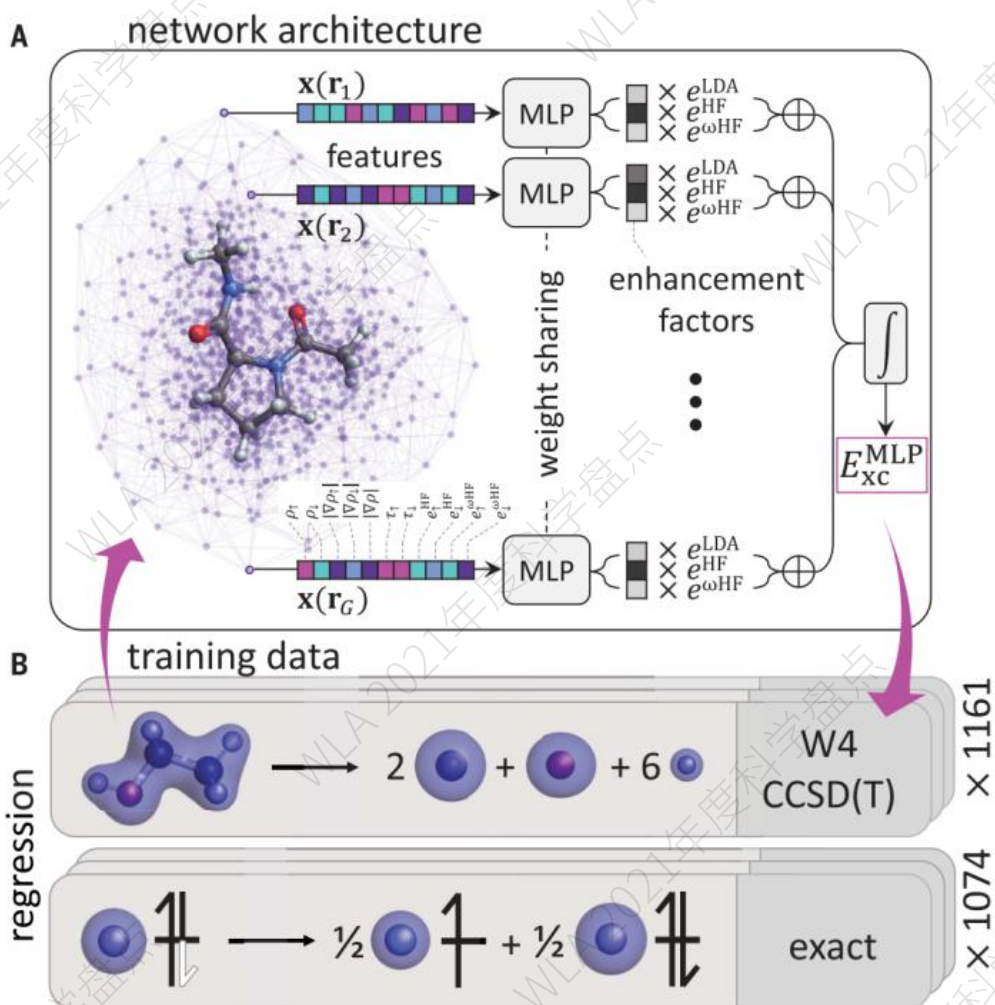
⁵⁴ <http://science.sciencemag.org/content/373/6558/1047>



来源: *Science*

(二) AI 推动理论突破

用 AI 开启理解电子相互作用之路



来源: *Science*

2021 年度 DeepMind 再获突破，用 AI 开启理解电子相互作用之

路⁵⁵。密度泛函理论（Density Functional Theory, DFT）是一种研究多电子体系电子结构的理论方法，但传统 DFT 中存在交换关联泛函近似误差大的缺点。詹姆斯·柯克帕特里克（James Kirkpatrick）等人使用 DeepMind 平台开发了“DM21”（DeepMind 2021）框架，可以利用精确的化学数据和分数电荷约束来训练神经网络，从而构建比先前更精确的电子密度和相互作用图。

机器学习帮助发掘数学研究中的直觉与创造力

自古以来，数学家会通过研究个例来提出新的理论，这种凭直觉去寻找规律的能力也源于人类与生俱来的创造性。DeepMind 开发的一个机器学习框架，该框架已经帮助发现了纯数学领域的两个新猜想⁵⁶。这项研究展示了机器学习可以支持数学研究，这也是计算机科学家和数学家首次使用人工智能来帮助证明或提出纽结理论和表示论等数学领域的复杂定理。

纯数学研究工作的关键目标之一是发现数学对象间的规律，并利用这些联系形成猜想。从 20 世纪 60 年代起，数学家开始使用计算机帮助发现规律和提出猜想，但人工智能系统尚未普遍应用于理论数学研究领域。此次，DeepMind 团队和数学家一起建立了一个机器学习框架，用于协助数学研究。团队还表示，他们的框架能鼓励未来数学和人工智能的进一步合作。

⁵⁵ DOI: 10.1126/science.abj6511

⁵⁶ <https://www.nature.com/articles/s41586-021-04086-x>

(三) 更智能的绿色技术

气候变化是一项涉及众多方面的巨大挑战。今年，材料科学家们在诸多新型材料（如电池、催化剂以及其他环保的能源解决方案）的研发中广泛引入了人工智能⁵⁷。举例来说，科学家现在利用机器学习算法筛选大型化学数据集，搜索那些人类化学家可能忽视的关系。科学家借助这种方式发现了一些新材料，比如可以提高电池寿命的有机化合物。此外，配合这类机器算法一同工作的，还有自动化实验室。实验室中的机器人根据算法结果快速合成并测试候选化学材料。这一领域的研究人员预计，通过人工智能的方法，可以将研发新材料的速度提高 10 倍。

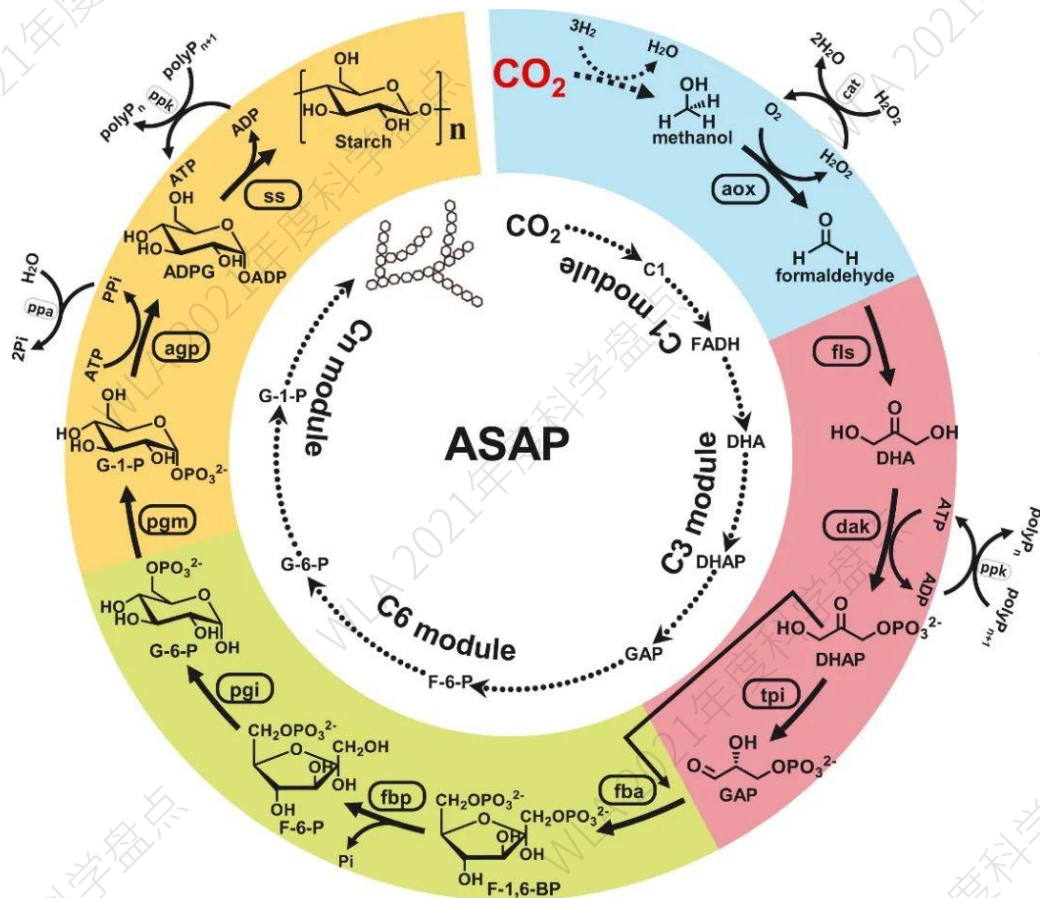
⁵⁷ <https://physics.aps.org/articles/v14/100>

化学的交叉与创新助力更好的人类未来

(一) 化学合成的新方法和新工艺

首次实现淀粉全人工合成

中国科学家在人工合成淀粉方面取得重大颠覆性、原创性突破——国际上首次在实验室实现二氧化碳到淀粉的从头合成⁵⁸。淀粉是面粉、大米、玉米等粮食的主要成分，也是重要的工业原料。目前主要由玉米等作物通过光合作用固定二氧化碳产生。



来源: *Science*

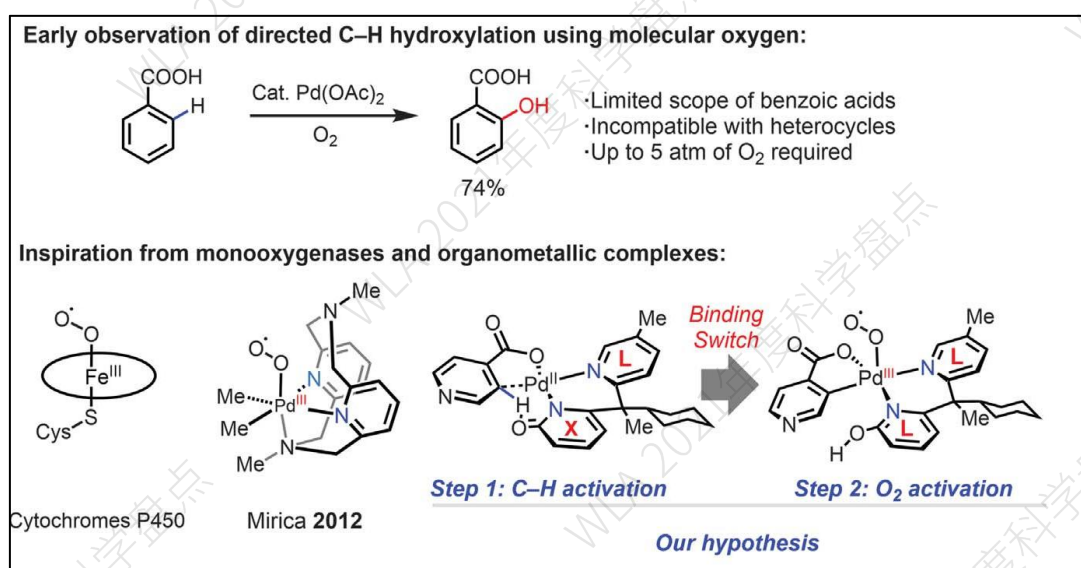
58 <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abh4049>

目前，迫切需要可持续供应淀粉和利用二氧化碳来克服人类面临的重大挑战，例如粮食危机和气候变化。中国科学院天津工业生物技术研究所马延和研究员带领团队，采用一种类似“搭积木”的方式，从头设计、构建了 11 步反应的非自然固碳与淀粉合成途径，在实验室中首次实现从二氧化碳到淀粉分子的全合成。实验室初步测试显示，人工合成淀粉的效率约为传统农业生产淀粉的 8.5 倍。这条新路线使淀粉生产方式从传统的农业种植向工业制造转变成为可能，为从 CO₂ 合成复杂分子开辟了新的技术路线。

碳氢键（C-H）活化——化学合成领域“圣杯”

2016 年麦克阿瑟天才奖获得者、WLA 会员余金权 (Jin-Quan Yu) 教授课题组在过去的数十年里开发了催化 C-H 键活化的钯配合物。在 2021 年，余教授课题组接连发表碳氢键活化突破性进展。

1. 互变异构配体+氧气实现羧基导向的 C-H 键羟基化

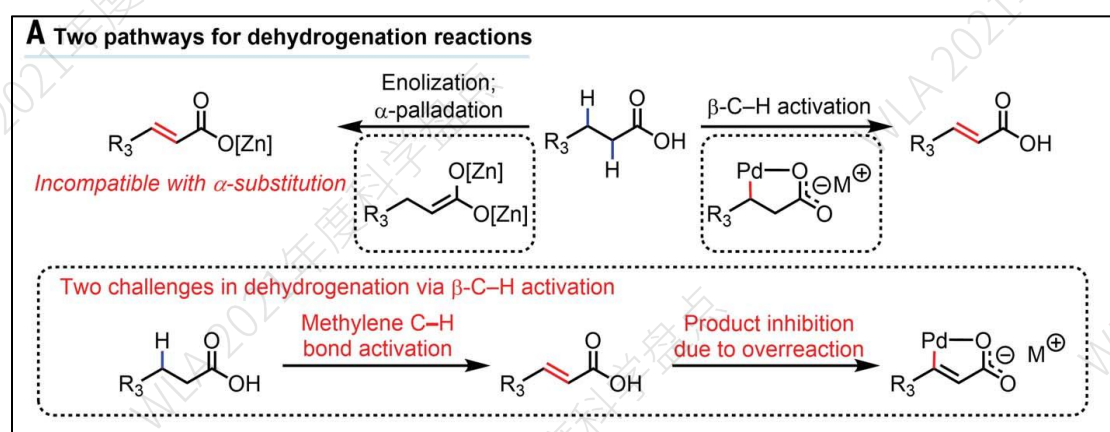


来源: *Science*

苯酚类化合物是天然产物、药物分子的重要结构单元，如何高效地合成苯酚类化合物受到化学家们的广泛关注。余教授课题组研究设计一种双功能互变异构的配体骨架⁵⁹（即在吡啶酮和吡啶配位模式之间切换），这样就有可能利用一种配体基元（吡啶酮）来促进 C-H 键活化，另一种（吡啶）促进 O-O 活化。

该带有双齿吡啶/吡啶酮配体的钯配合物可在氧气为氧化剂的条件下，实现羧酸的邻位 C-H 键羟基化反应。该方法不仅可用于药物分子的后期位点选择性 C-H 键羟基化，而且在药物研发中具有重要的应用价值。

2. 配体控制羧酸导向 C-H 键活化的脱氢反应



合成路径示意图（来源：Science）

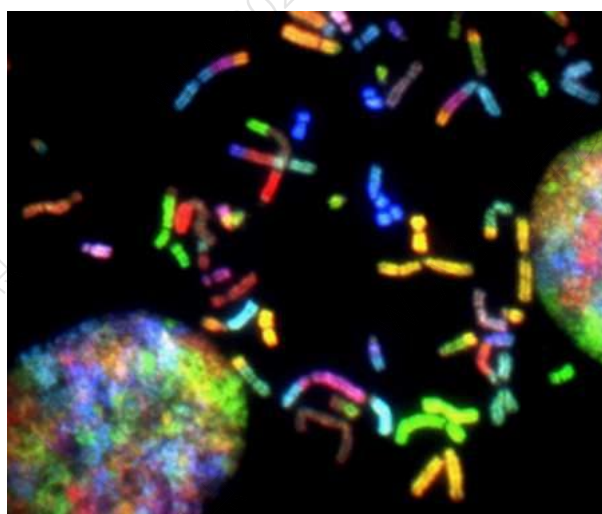
脂肪酸脱氢不仅是体内酶催化重要的转化反应，而且还是大宗化工和精细化工合成中的一个重要过程。开发一种基于亚甲基 C-H 键活化的高效脱氢方法十分必要。然而，非导向基团底物的 C-H 键活化脱氢反应存在巨大的挑战。

余金权教授课题组报道了一种吡啶-吡啶酮配体控制 Pd(II) 催化

⁵⁹ <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abg2362>

的脱氢反应策略⁶⁰，实现了亚甲基或甲基 C-H 键的活化，从而将多种脂肪族羧酸直接转化为 α,β -不饱和酸或 γ -烷基丁烯内酯。这种简单高效地反应将成为制造复杂分子的通用工具。

半合成生命体——生物化学与医疗



来源：IUPAC

2014 年，美国斯克里普斯研究所（The Scripps Research Institute）的研究者成功地开发出含有人造遗传碱基对的工程化菌株，开启了半合成有机体的研究。随后，科学家们进一步扩展了生命密码，使更多人工合成的碱基对在细菌细胞中完成 DNA 复制。携带这些人造核苷酸碱基的大肠杆菌，可以将其转录成非天然氨基酸以及特殊的蛋白质。CRISPR/Cas9 等技术的迅速进步，最大限度地减少了转录过程中可能出现的错误。非天然核苷酸和氨基酸的制备，为靶向治疗提供了新的化学工具。未来，化学家或许会发现其他人造 DNA 碱基，以及合成新的非天然氨基酸，扩大我们对生命体的认知。

⁶⁰ <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abl3939>

RNA 和 DNA 的化学合成



来源：IUPAC

基于 mRNA 的新冠疫苗接种的成功，为未来攻克其他疾病，包括癌症、艾滋病、流感和糖尿病等方面提供了新的途径。经过五十多年的磷酸胺化学的发展，RNA 和 DNA 的合成已实现完全自动化。该技术仍在不断进步，例如使用喷墨打印原理将 DNA 沉积到硅芯片上，并应用于化学、生物技术和医学领域。目前，微软和 Western Digital 等大型 IT 公司目前正在探索化学合成 DNA 用于数据存储的可能性。

(二) 化学品与农业

区块链技术——化学创新更具可复制性和可追溯性

区块链可以存储不同类型的信息，其最重要特征之一是可追溯性，通过加密算法对用户数据进行管理。由于区块链是分散存储的，没有任何个人或团体拥有控制权，输入的数据理论上是永久记录和可访问的。因此，在化学工业上，区块链技术可以实现化学试剂供应链

的持续追踪⁶¹；在实验室，区块链技术可以解决科学实验可重复性的问题。目前，化工公司，如索尔维集团、Evonik、巴斯夫、陶氏杜邦等，正在探索区块链技术在化学生产中的应用。德国科学家 Sönke Bartling 认为，如果将区块链应用于实验记录和数据收集，或许可以颠覆论文出版、项目申请的评估模式，从根本上提高实验数据的可靠性，保护科学家们的知识产权。

声化学涂层——更安全、耐用的材料

在某些条件下，化学品往往表现出令人惊讶的性能，产生以前无法想象的反应能力。在这些现象中，利用声波触发化学反应尤为突出，并应用于抗菌涂层或智能涂层等功能材料的制备。例如，利用声化学技术将抗菌金属纳米颗粒（如银、锌）覆盖于纺织品上，可以杀死99%以上的细菌和病毒，减少医院感染的发生。而且，声化学涂层更加耐用，可以承受多次洗涤仍保持性能。有些声化学涂层检测到致病细菌时，会改变颜色，这使其在食品安全等领域具有应用潜力，可以检测食品状态，延长食品的保质期。

自己制造肥料的作物

全世界每年使用超过 1.1 亿吨的氮肥来提高作物产量。如果作物能够像大豆和黄豆等豆科植物那样，自己捕获氮，以氨的形式将其“固定”在自己身上，会怎么样？作为最重要的新兴技术之一，研究人员

61 IUPAC (2021). “Top Ten Emerging Technologies in Chemistry” <https://iupac.org/what-we-do/top-ten/>

现在的目标是让其他作物，如玉米和其他谷物也能实现自我施肥。

比如说，研究人员正努力模拟豆类和细菌之间的共生分子交流，以创造根瘤——豆类的天然肥料工厂。另一种方法是，使通常定植于谷物根部的土壤细菌（但通常不产生根瘤）学会产生氮化酶，氮化酶是一种将大气中的氮转化为与植物兼容的氨的关键成分。

人工腐殖质——可持续高效农业



来源：IUPAC

有机物分解成腐殖质，是碳循环中仅次于光合作用的第二大过程，也是为土壤提供养分的主要方式之一。然而，该过程产生大量二氧化碳、甲烷等温室气体，据统计，农业、畜牧业和土地利用几乎占所有温室气体排放量的三分之一。化学家们提出了人工腐殖质的设想，该技术可以实现负碳过程。目前，有几种方法可以加速有机物的分解，其中水热腐殖化是最有吸引力的方法之一。该技术模拟了自然

过程，产生与天然腐殖质相当的产品混合物，整个反应易于控制，具有可持续性、高效率、清洁、安全等特点。目前，欧洲的研究所以正致力于开发大规模制备人工腐殖物质的试验工厂，这或许是抵消气候变化负面影响的一个有吸引力的方案。

氮的绿色可持续生产



来源：IUPAC

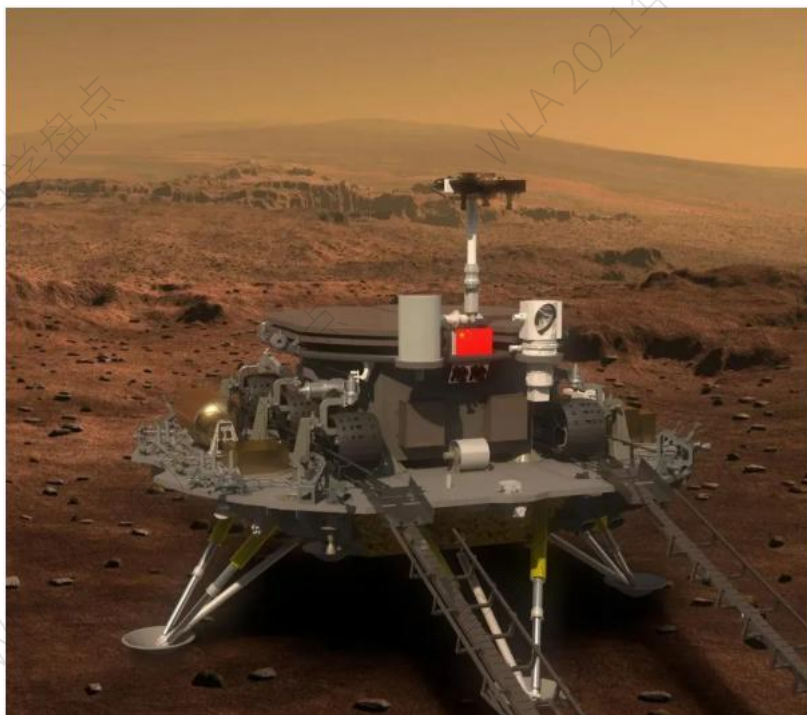
为了满足世界的粮食需求，通常需要为农作物施用由氮生产的肥料。Harber-Bosch 工艺奠定了现代合成氮工业的基础，极大的促进了化肥工业，推动了 20 世纪人口的增长。尽管经过了一百多年的改进，能耗高、大量排放二氧化碳一直是其难以解决的问题。为了改变这一现状，化学家们正在寻找更有效的合成方法，例如受蓝藻中的固氮酶启发，开发出新型的催化剂。另一种方法是通过电化学合成，利用电能打破氮-氮三键，同时从水中获取氢原子，实现工业合成氮。这里的主要挑战是如何降低所需的电势，同时最大限度地提高活性和选择性。尽管到目前为止，该方案还远远没有达到 Harber-Bosch 工艺

的水平，但绿色的愿景、合成氨工业巨大的经济效益都在推动这一领域向前发展。

物理与天文——基础突破与仰望星空

（一）深空探测

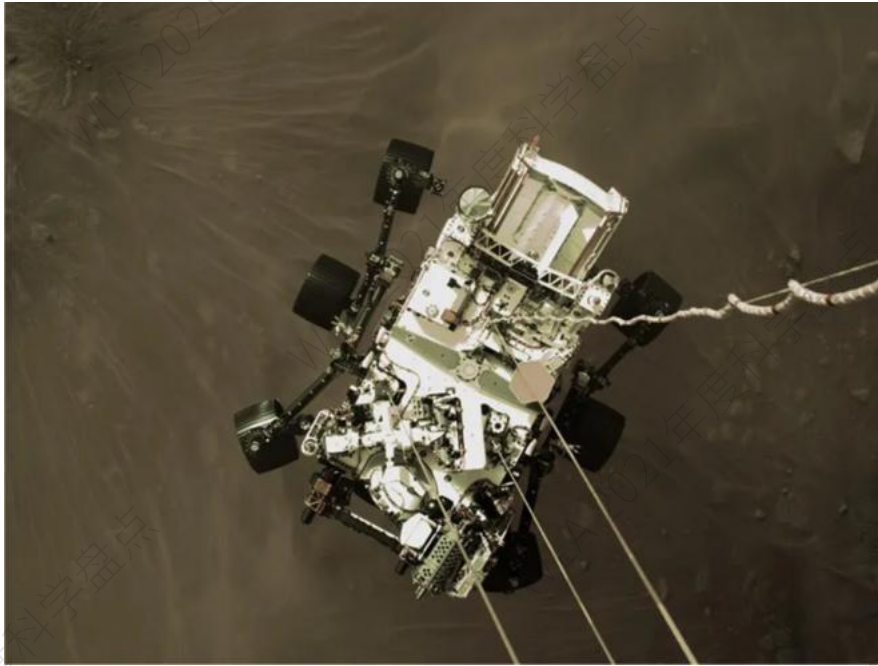
火星探测-“祝融”号和“毅力”火星车登陆



中国首次登上火星

火星探测风险高、难度大，探测任务面临行星际空间环境、火星稀薄大气、火面地形地貌等挑战。同时，火星探测还受远距离、长时延的影响，着陆阶段存在环境不确定、着陆程序复杂、地面无法干预等难点。因此，长期以来，火星探测都是各国航空工作者的梦想。北京时间 2021 年 5 月 15 日 8 时 20 分左右，中国首枚火星探测器“天问”

一号确认成功着陆火星北半球的乌托邦平原，将带领“祝融”号火星车展开火星探测之旅！



来源：NASA/JPL-Caltech

美国宇航局的毅力号火星车于2月18日降落在这颗红色星球上，开启了火星探索的新时代。在着陆后，毅力号部署了一架小型直升机，完成了在另一个世界的首次动力飞行。

“洞察”号首次揭示火星内部结构

美国国家航空航天局（NASA）的“洞察”号火星探测器携带一种被称为内部结构地震实验（SEIS）的六传感器地震仪在火星上降落，其任务是记录地震波穿过火星内部结构的过程，从而得到火星的地壳、地幔和地核相关信息。“洞察”号自降落火星以来，在其着陆点测量了大约 733 次地震⁶²。科学家基于其中 35 次地震的数据，揭示了火

62 DOI:10.1126/science.abj8914

星的内部结构，估计了火星地核的大小、地幔的结构和地壳的厚度。

这也是科学家第一次使用地震数据来探测地球以外行星的内部结构，这是了解火星的形成和热演化的重要一步。在接下来的时间里，随着更多测量数据的出现，研究人员将改进这颗红色星球的模型，进一步揭开火星的神秘面纱。



“毅力”号火星车揭示了火星水文历史与疑似生命证迹

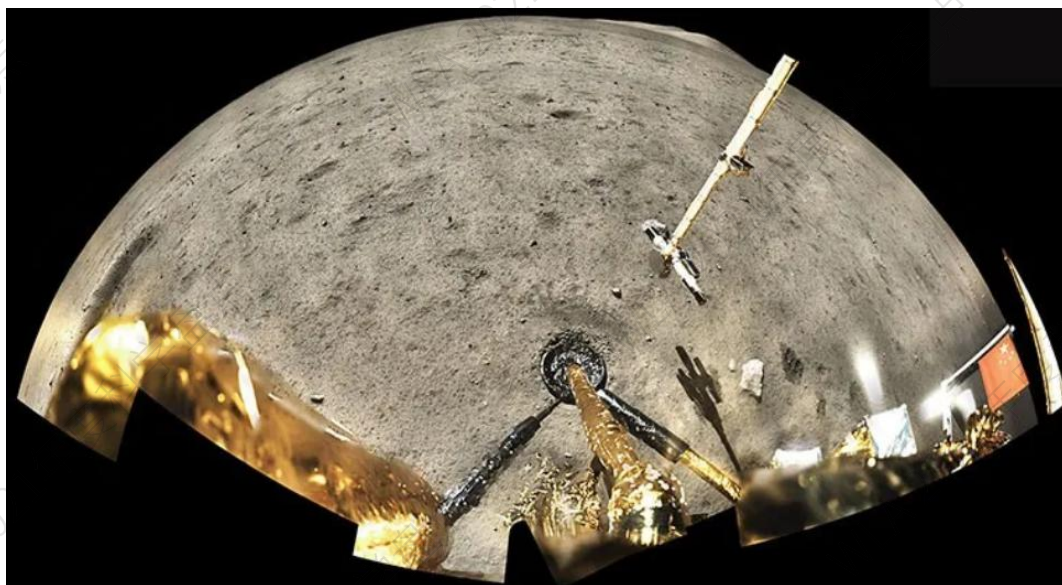
“毅力”号在 2021 年 10 月刊发了关于探测成果的首篇论文⁶³，介绍了火星车在杰泽罗陨石坑的发现——一个古老的三角洲-湖泊系统和洪水沉积物。湖泊底部的沉积物中通常会保存古代水生生物的痕迹。

“毅力”号的主要任务之一是在杰泽罗陨石坑边缘沉积层搜集样本，待运回地球后供研究团队探察，辨识火星是否曾经存在生命，是否留下了“生物印记”。通过分析从火星传回的图片资料，科学家们断

63 DOI: 10.1126/science.abl4051

定这个干涸、荒芜、被风侵蚀的盆地还是湖泊的时候，那条河的入湖口形成了冲积三角洲。通过对沉积物地层的研究可能由此揭开湖泊干涸前一段时期的气候、河流、环境的变化。

嫦娥五号带回家的样品改写月球历史



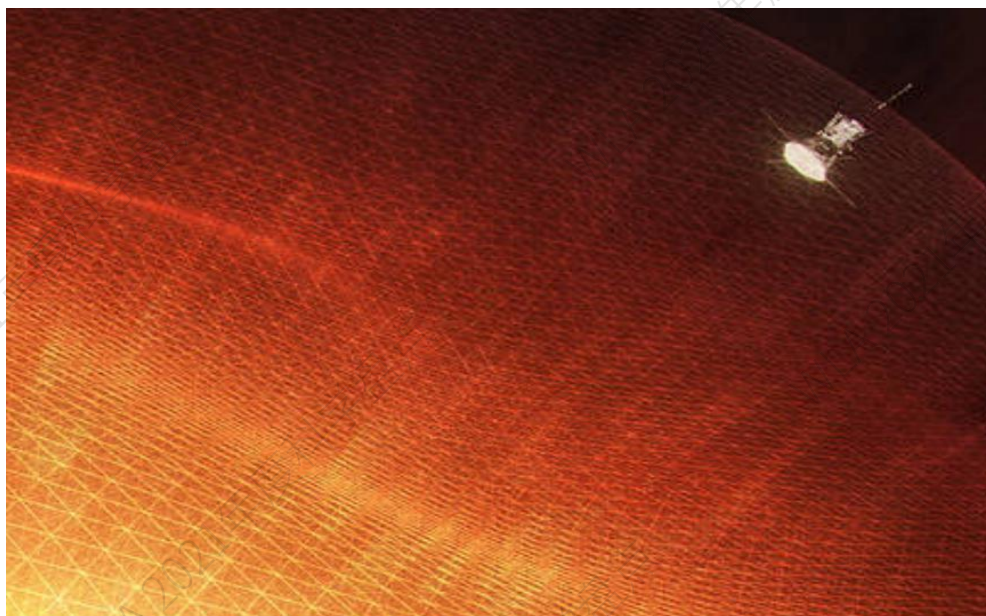
来源：中国国家航天局探月与航天工程中心

嫦娥五号带回了月球样品，其中一些熔岩只有 20 亿年的历史。这是半个世纪以来从月球带回的首批样品，也是中国首次完成的月球采样返回任务⁶⁴。这些样品携带了迄今分析过的最新月球熔岩证据。这项研究 10 月 7 日发表在《科学》上，研究作者之一、英国曼彻斯特大学行星科学家凯瑟琳·乔伊（Katherine Joy）说：“这是目前测年得到的最年轻的月球熔岩流。”这些发现填补了月球地质学的一个重要空白，还能帮助科学家了解其他太阳系天体的历史。

人造探测器第一次近距离接触太阳

⁶⁴ Nature 600, 49 - 53 (2021)

2021年12月14日，美国宇航局宣布“帕克”太阳探测器（Parker Solar Probe, PSP）已经进入太阳日冕⁶⁵，并测量了该区域等离子体湍流以及磁场波动。这是人类历史上第一次有航天器近距离接触太阳。“帕克”太阳探测器的设计目的是在距离太阳表面约650万公里的范围内探究日冕的高温和强磁场形成太阳风的机制，以及它是如何通过太阳系扩展到星际空间的。该探测结果或将解决困扰科学家多年的一系列问题。



美国宇航局帕克太阳探测器进入太阳日冕

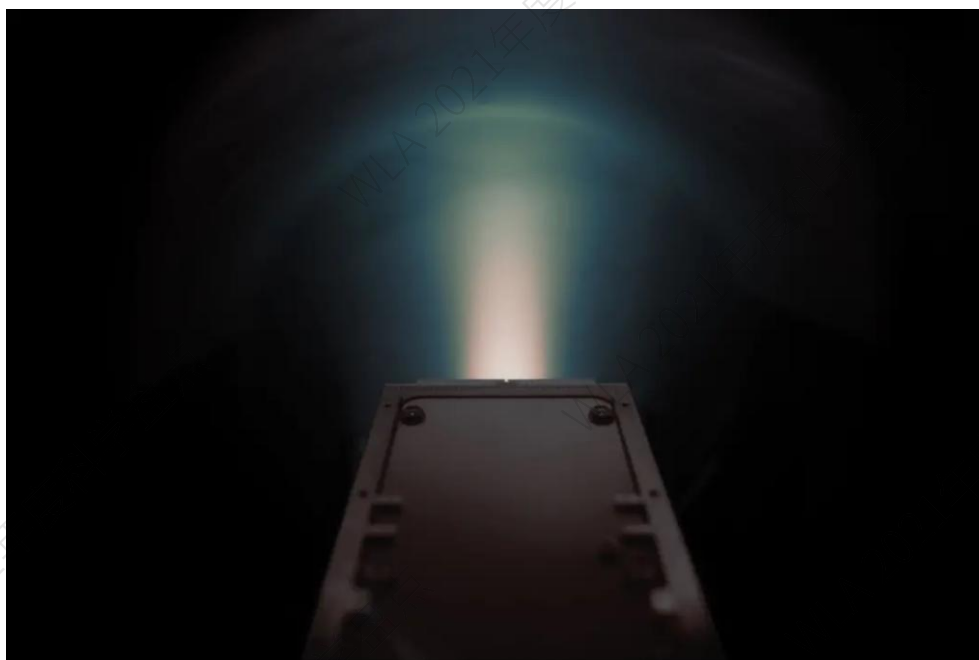
碘驱动的低成本卫星发动机

许多卫星都利用电能加速气体喷气燃料的离子，从而产生推力。然而，气体的选择一直是个问题。Rafalskyi 等人⁶⁶成功演示了碘离子推进剂在太空中的应用——提供了一种比其他气体更便宜和简单的替代选择。这种设计不需要笨重的高压气罐和复杂的供气系统，是一

⁶⁵ DOI:10.1103/PhysRevLett.127.255101

⁶⁶ *Nature* 599, 411 - 415 (2021)

种更为简单、轻便、廉价且高效的推进剂。研究发现，碘等离子体源喷射出的离子束的电流比氙气产生的电流强近 50%。这种推进剂或将彻底改变小型卫星网络系统，因为这些系统比那些单独运行的系统更灵活、更有弹性。



来源：TrustMe

“鸽王之王”詹姆斯·韦伯太空望远镜成功发射



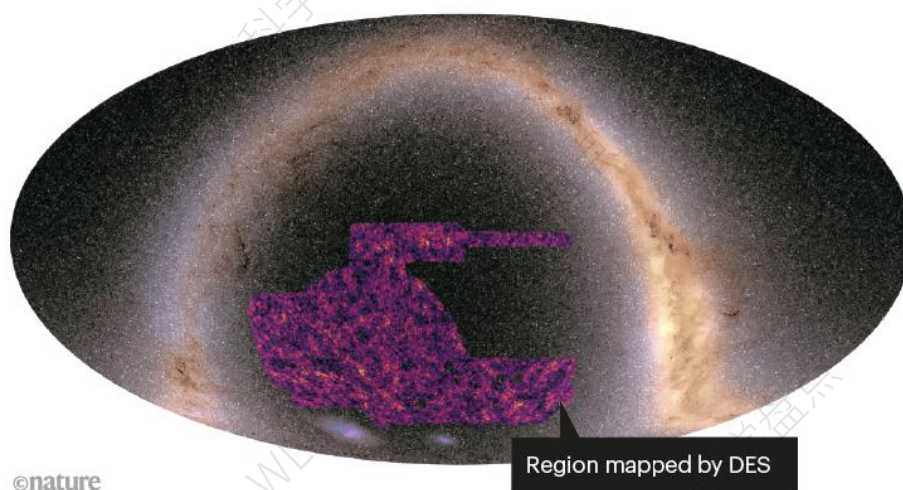
JWST 确认正确释放并进入轨道（来自发射实时画面，蓝色部分是地球）

逾期十余年的詹姆斯·韦伯太空望远镜（James Webb Space Telescope, JWST）终于北京时间 12 月 25 日搭乘阿丽亚娜 5 号运载火箭发射，27 分钟后正式进入预定轨道⁶⁷。韦伯望远镜将在 29 天后到达太阳-地球拉格朗日点 2 (L2)，这是一个在火星方向上距离地球 93 万英里(150 万公里)的重力稳定点，在那里将开始一套不同的上升程序。这项耗资 100 亿美元、历时三十多年、数代科研工作者打造的史诗级望远镜将帮助科学家们观测最古老的恒星和星系，寻找太阳系外生命的证据，解开更多宇宙起源与进化之谜。

史上最详细的三维宇宙图

DARK-MATTER MAP

The Dark Energy Survey (DES) collaboration's detailed map of dark matter covers a large, tank-shaped area in the Southern Hemisphere sky.



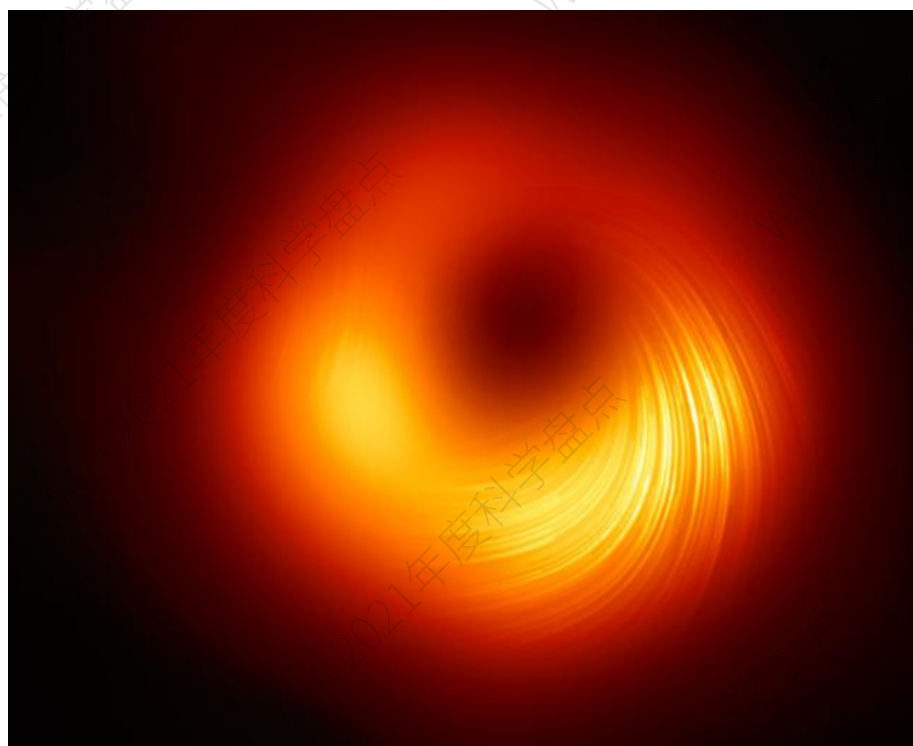
来源：Nature

暗能量巡天（Dark Energy Survey, DES）团队使用位于智利托洛洛山美洲天文台布兰科（Victor M. Blanco）望远镜的一架 5.7 亿像素

⁶⁷ <https://jwst.nasa.gov/content/webbLaunch/whereIsWebb.html>

的相机进行了巡天观测。此次观测覆盖了四分之一的南天天空，拍摄了 3 亿个星系。宇宙学家公布了珍贵的最新测量数据，但仍无法回答宇宙的平滑度为何会超出预期。迄今规模最大的一次南天（southern sky）观测任务重建了宇宙中质量在不同时间和空间的分布。这些令人惊艳的数据证明暗能量在宇宙历史上一直是恒定的。5 月 27 日，DES 团队通过线上新闻发布会以及在线发表的多篇论文公布了这一结果⁶⁸。

观测黑洞磁场



偏振光下的超大质量黑洞 M87* 图像⁶⁹

事件视界望远镜（EHT）得到了第一张显示超大质量黑洞周围区域的光偏振的图像⁷⁰。这种偏振现象表明，在物质加速进入黑洞 M87*

⁶⁸ <https://www.nature.com/articles/d41586-021-01466-1>

⁶⁹ 图中的线代表偏振方向，与黑洞阴影周围的磁场相关。

⁷⁰ DOI:10.1038/s41550-021-01417-w

(该黑洞的质量超过太阳质量的 60 亿倍) 的区域时存在强磁场。进一步的研究或许可以解释一些黑洞如何产生巨大的喷流, 并将物质和辐射喷射到周围的空间等现象。2019 年, 视界望远镜就曾因捕获第一张黑洞阴影照片而创造历史。

国际联合科研团队对首个恒星级黑洞作出更精确测量

2021 年 2 月, 《科学》发布了中国国家天文台等国际联合科研团队对第一个恒星级黑洞的最新精确测量结果⁷¹。自天鹅座 X1 在 1964 年被首次发现以来, 20 世纪 90 年代, 越来越多的观测证据表明这个系统中心的致密星应该是黑洞, 这也是人类发现的首个恒星级黑洞。

在最新的观测研究中, 来自澳大利亚、美国和中国的三个团队分别独立对黑洞的距离、质量、自旋及其演化做了最为精确的测量, 最终得到了天鹅座 X1 黑洞的最新距离为 7200 多光年, 发现此系统包含了一个 21 倍太阳质量的黑洞, 并且黑洞视界面正在以至少 95% 的光速自转, 这是目前人类发现并确认的唯一一个黑洞质量超过 20 倍太阳质量且自转如此之快的 X 射线双星系统。

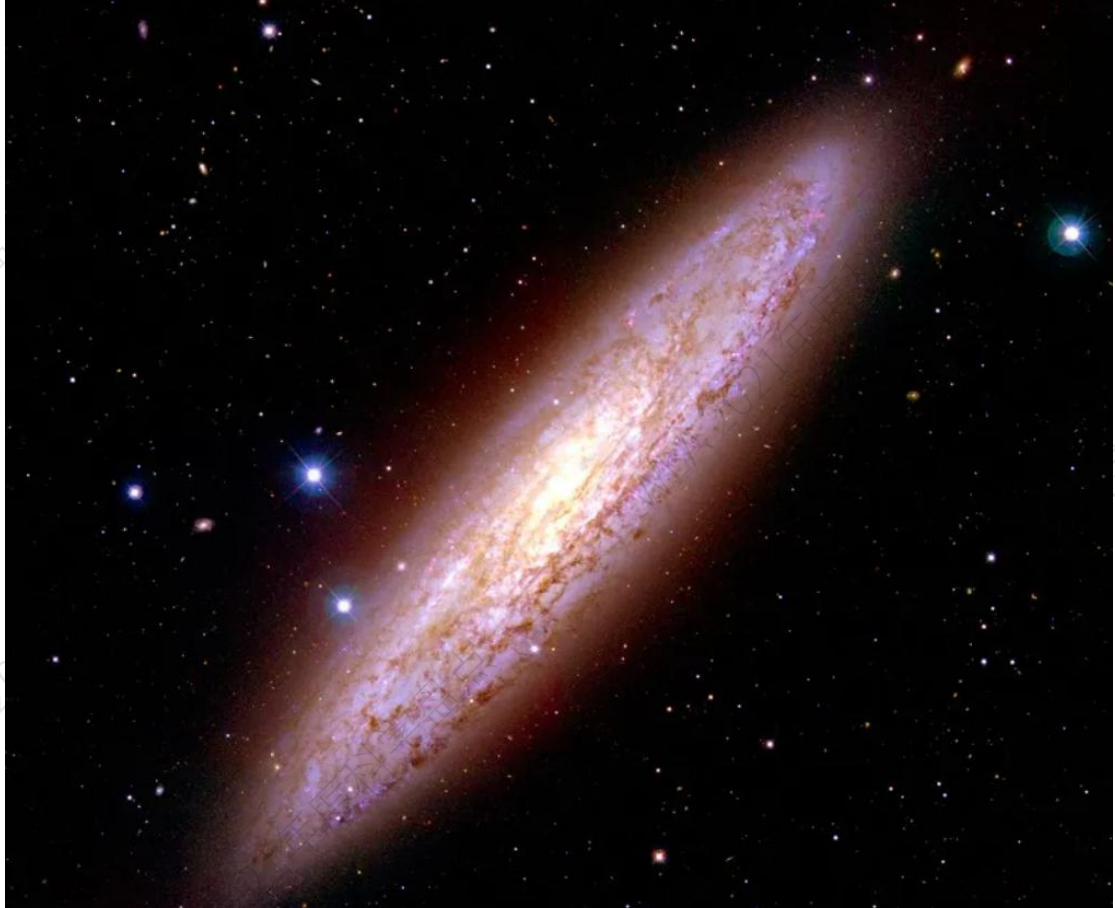
揭示宇宙电磁爆炸

Svinkin 等人 and Roberts 等人⁷²证明了在银河系中的中子星发出的巨大耀斑事件与 2020 年 4 月 15 日探测到的 γ 射线脉冲之间的密切对

⁷¹ DOI: 10.1126/science.abb3363

⁷² *Nature* 589, 207 - 210 (2021)

应关系。其中，Svinkin 等人通过三角测量法定位到附近的 NGC 253 星系（玉夫座星系）。研究人员报道了一次 γ 射线耀斑，它提供了关于中子星内部和周围磁应力如何弛豫的直接线索。



来源：J-C Cuillandre/Canada-France-Hawaii Telescope/Science Photo Library

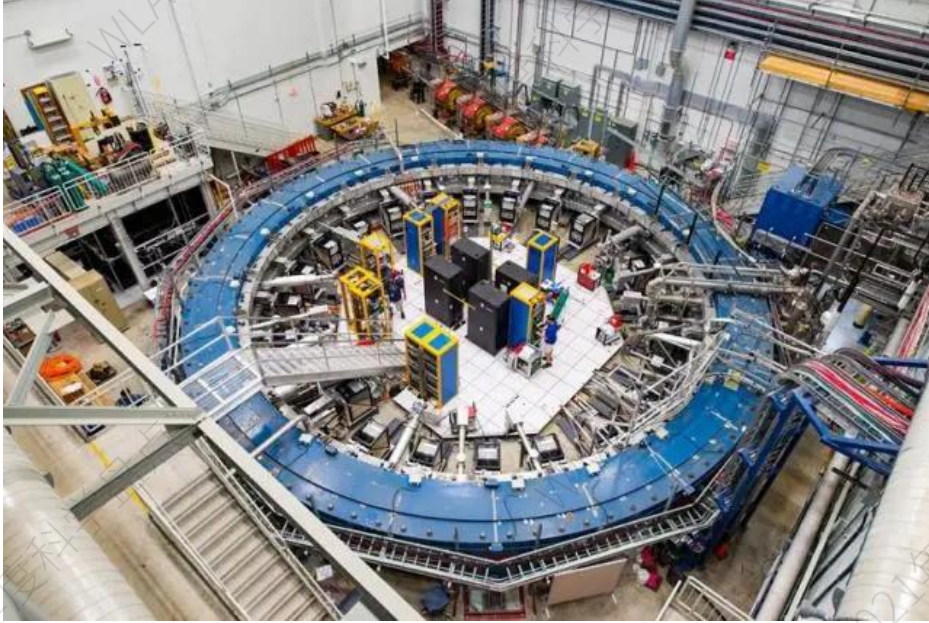
（二）基础原理与技术突破

缪子反常磁矩实验：冲击标准模型？

2021 年 4 月 7 日，费米国家加速器实验室（Fermi National Accelerator Laboratory）缪子反常磁矩实验（Muon $g-2$ collaboration）⁷³的研究数据显示，缪子在绕磁环运动时有一个较大的摇摆幅度，和

⁷³ <https://muon-g-2.fnal.gov/collaboration.html>

标准模型计算出的预测情况不符⁷⁴。这预示着，世界上可能存在新的未知粒子或者作用力。如果这种差异经得起后续实验的检验，那就意味着超越标准模型的全新物理学已经出现。



缪子储存环（来源：Reidar Hahn/Fermilab）

该结果与 20 年前美国布鲁克海文实验室的实验结果一致⁷⁵。此次费米实验室和布鲁克海文实验室的综合测量结果与理论值相差 4.2 倍标准方差，比 5 倍标准方差略小。这已经是一个非常有力的证据，因为出现统计误差的概率仅有四万分之一。

探测到超弱引力场

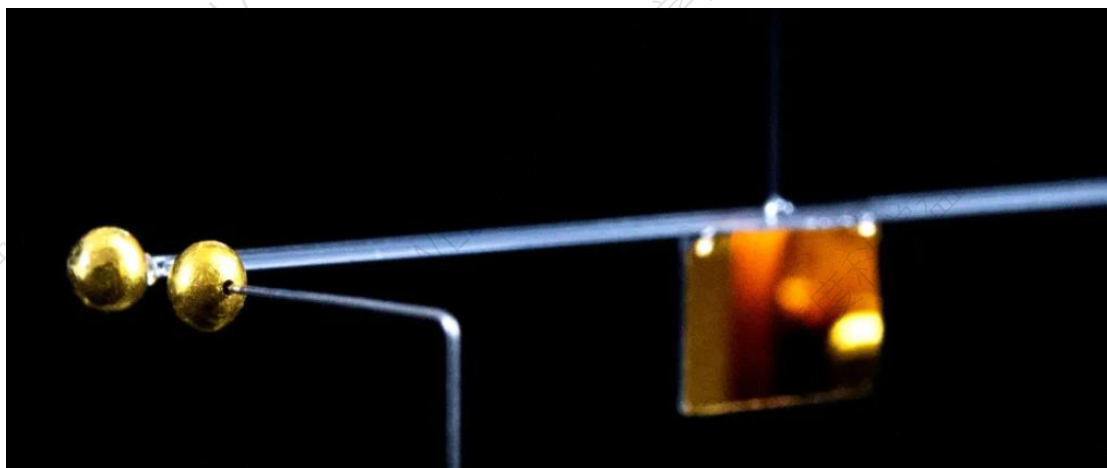
引力是四种已知基本力中最弱的力。Westphal 等人⁷⁶报道了他们探测到两个质量只有大约 90 毫克的物体之间的引力耦合。他们使用了一种微型扭秤，它由一根水平杆组成，中点处的垂直金属丝将其悬

74 <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.126.141801>

75 <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.73.072003>

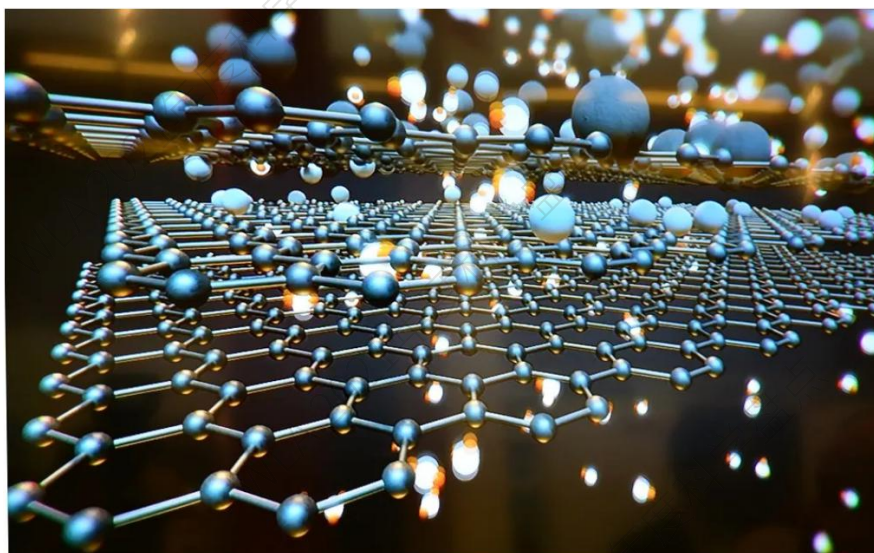
76 Nature 591, 225 - 228 (2021)

挂，需测量的物体位于水平杆的两端。这非常适合检测微弱的力，例如附近物体（源质量）对杆的引力牵拉。这一实验首次证明了牛顿引力定律即使对于如此小的源质量也是成立的。



研究者利用两个 1mm 直径的金球测量引力

魔角扭曲三层石墨烯具有超强的抗磁超导性



来源：pixabay

大多数超导材料会在强磁场环境中失去超导性，然而曹原所在的研究团队发现了“魔角”扭曲三层石墨烯⁷⁷，能在高达 10 特斯拉的强磁

⁷⁷ <https://www.nature.com/articles/s41586-021-03685-y>

场下保持超导性，这大约是传统超导材料承受能力的三倍。这种新材料的抗磁超导性可以极大地改进磁共振成像（MRI）技术。同时，也为未来的量子计算研究提供了希望。

实现激光核聚变里程碑



美国国家点火装置总耗资已达 35 亿美元，科学家终于接近实现点火的终极目标

美国国家点火装置（NIF）的奥马尔·哈利卡恩（Omar Hurricane）、安妮·克里特切尔（Annie Kritcher）等人⁷⁸成功向实现“点火”（核聚变反应产生的能量不小于脉冲激光给点火装置输入的能量）的最终目标迈进了一步。历经 10 年努力，在今年 8 月 8 日终于实现了超过 1.3 兆焦耳（MJ）的当量。这一能量已达触发该过程的激光脉冲能量的 70%，意味着接近核聚变“点火”，即反应产生的能量足以使反应持续下去，这是 NIF 的一个重要目标。一些专家认为这项成果是自 1972

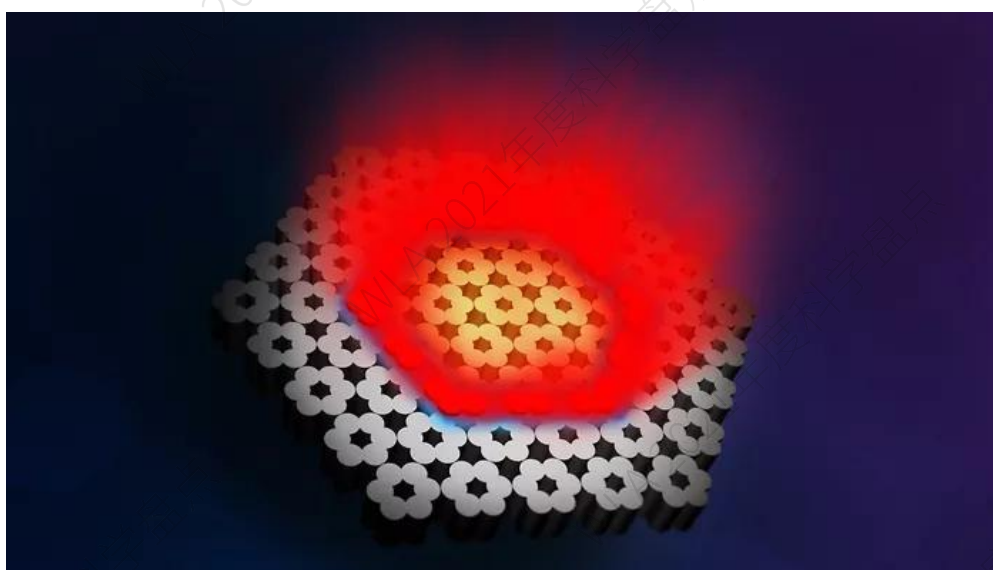
78 DOI:10.1063/5.0047841

年惯性约束聚变诞生以来的最大进展。

EAST 刷新世界纪录，实现可重复 1.2 亿 $^{\circ}\text{C}$ 燃烧 101 秒

2021 年 5 月 28 日，中国科学院合肥物质科学研究院传来喜讯，有“人造太阳”之称的全超导托卡马克核聚变实验装置（EAST）取得新突破，成功实现可重复的 1.2 亿摄氏度 101 秒和 1.6 亿摄氏度 20 秒等离子体运行，创造托卡马克实验装置运行新的世界纪录，向核聚变能源应用迈出重要一步。为了达到聚变实验装置所要求的条件，EAST 团队的科学工作者自主创新，自主设计、研发了大部分具有自主知识产权的关键技术，创造性地完成了 EAST 装置主机的总体工程设计。世界上新一代全超导托卡马克核聚变实验装置在中国率先建成并正式投入运行，为未来清洁能源的利用和发展提供实验研究平台。

拓扑绝缘体垂直腔激光阵列可作为单一相干光源



垂直发射激光器拓扑阵列示意图⁷⁹

⁷⁹ 垂直发射激光器拓扑阵列：沿着拓扑界面(蓝色)的 30 个微激光器作为一个整体，共同发射相干激光(红)

德国维尔茨堡大学 (University of Würzburg) 塞巴斯蒂安·克兰伯特 (Sebastian Klemmt) 和以色列理工学院 (Technion-Israel Institute of Technology) 的莫迪凯·塞格夫 (Mordechai Segev) 及其同事开发了一个由 30 台垂直腔面激光发射器 (VCSELs) 组成的阵列⁸⁰。这项研究利用拓扑学原理确保阵列中每台发射器发射的激光都会流经其他所有发射器, 使 30 束激光的发射频率保持一致, 并整体表现为单一相干光源。这项成就可为后续的大规模、高功率应用铺平道路。

新设计克服了该团队在 2018 年制造的前一代设备的功率限制, 并且在原理上有望实现规模化应用, 即使数百个独立发射器发射的激光整体表现为单一光源。这一发展对于实现大规模相干激光阵列非常重要。

粒子冷却新技术

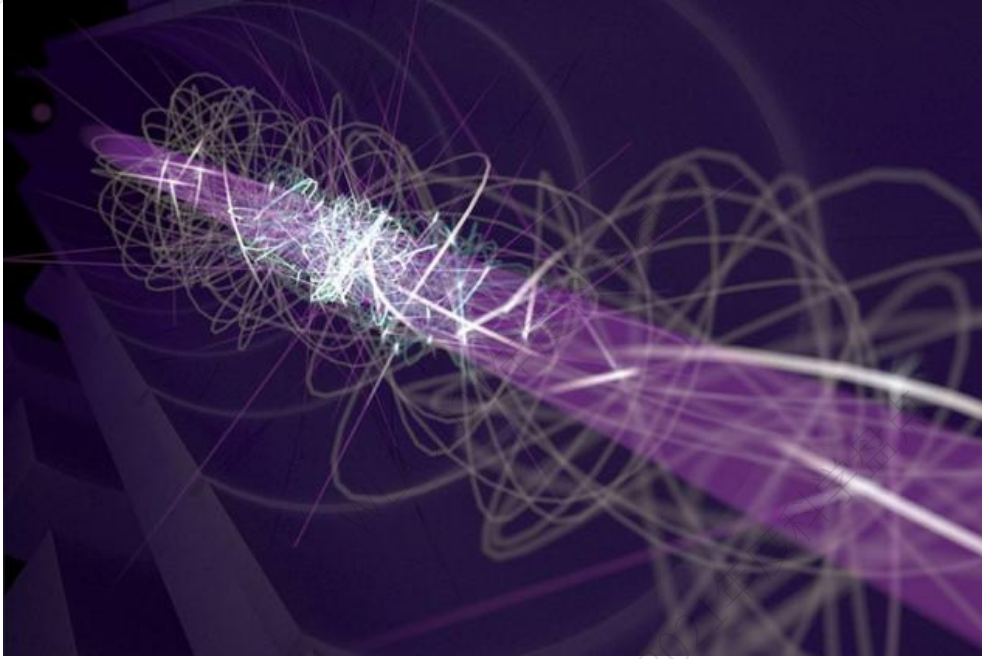
欧洲核子研究中心 (CERN) 反氢激光物理装置 (ALPHA)⁸¹ 和重子反重子对称实验 (BASE)⁸² 的研究人员通过两项独立的研究得到了冷却粒子和反粒子的新方法。这些技术为精确研究宇宙中的物质-反物质不对称性铺平道路。

色)。

⁸⁰ <https://doi.org/10.1126/science.abj2232> (2021)

⁸¹ DOI:10.1038/s41586-021-03289-6

⁸² DOI:10.1038/s41586-021-03784-w



激光冷却前后 ALPHA 磁阱中反氢原子的运动片段。灰色轨道表示冷却之前，蓝色轨道表示冷却之后（来源：Courtesy: Chukman So/TRIUMF）

反氢激光物理装置的研究人员首次证明，可以用激光冷却反氢原子。为此，他们开发了一种能够产生 121.6 纳米脉冲的新型激光，以冷却反原子。新冷却系统的创新之处在于两种粒子类型处于不同空间的阱中，这意味着可以通过电谐振电路在阱与阱之间 9cm 的距离内提供冷却效果。这项新技术可以用于所有带电粒子，甚至是反质子。

未来将有可能进一步冷却粒子的运动，直至绝对零度，并有可能完全控制粒子的所有自由度。目前，BASE 正与一些机构合作开发这些量子操作方法。

30年前的奇怪量子效应被三支研究团队证实：首次在超冷费米气体中观测到泡利阻塞现象（Pauli blocking）



30年前，物理学家预言了一种与费米子有关的物理效应。在由费米子构成的冷气体中，光的散射会受到抑制，这种现象被称为泡利阻塞（Pauli blocking）。它需要非常极端的观测条件——高密度和超低温来获得。

2021年11月18日，美国实验室天体物理联合研究所的克里斯蒂安·桑纳（Christian Sanner）⁸³、美国芝加哥大学的艾米塔·德布（Amita Deb）和尼尔斯·吉尔嘉德（Niels Kjærgaard）⁸⁴、美国麻省理工学院的沃尔夫冈·克特勒（Wolfgang Ketterle）及其同事⁸⁵，这三支研究团队各自独立地在超冷费米气体中观测到了泡利阻塞现象，被同时收录在11月18日的《科学》杂志中。

他们通过采用磁阱捕获原子，然后将原子冷却到接近绝对零度的温度的方法，从而使纯量子力学的阻塞现象得以发生。他们的实验结

83 <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abh3483>

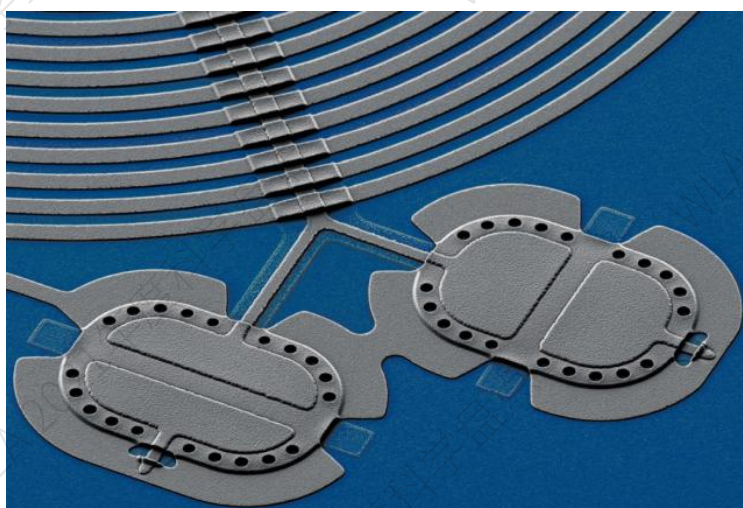
84 <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abh3470>

85 <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.abi6153>

果也惊人的一致：当气体温度低、密度大到足以形成费米海时，气体散射的光明显减少。随着温度逐渐降低、密度越来越高，被原子散射的光也越来越少。这项技术具有潜在的应用前景。或许可以借助这项技术改进基于超冷原子的相关技术，比如光学时钟和量子中继器；而通过证实泡利阻塞确实可以影响原子散射光的能力，科学家或许可以更好地开发抑制光散射的材料，例如在量子计算机中保存数据等。

（三）量子技术与量子计算

量子纠缠从微观走向宏观



美国国家标准与技术研究所科研人员使用的两枚鼓状谐振器

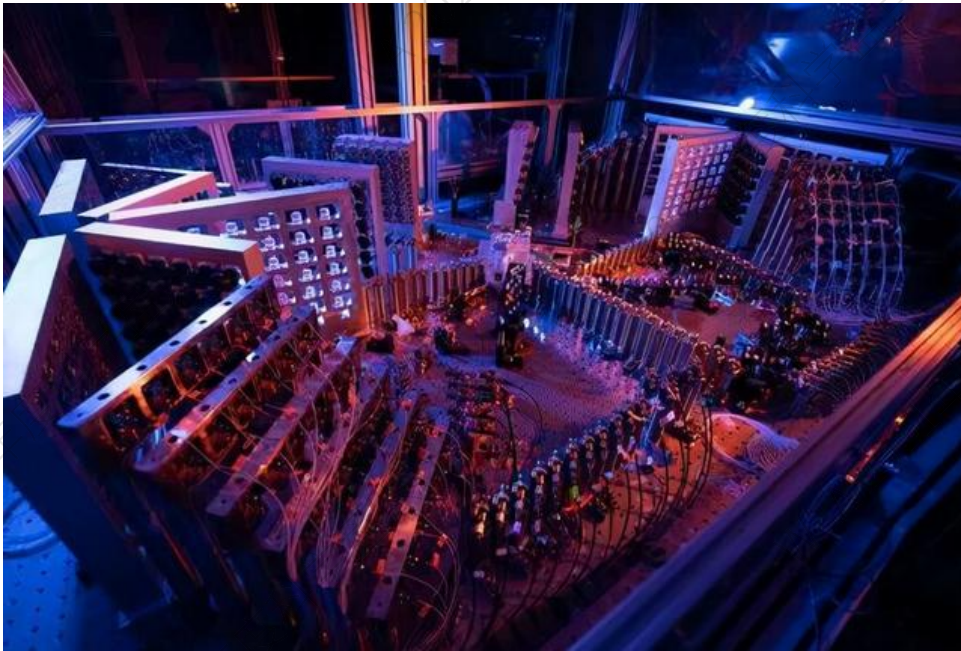
美国国家标准与技术研究所（NIST）的托伊费尔（John Teufel）和科特勒（Shlomi Kotler）团队⁸⁶，以及芬兰阿尔托大学和澳大利亚新南威尔士大学的斯兰帕（Mika Sillanpää）团队⁸⁷分别采用了双量子比特门和选定谐振频率以消除系统噪声的方式，实现了两枚鼓状机械振荡器的宏观纠缠现象。这种宏观纠缠的振荡器有望在应用和基础物

86 DOI:10.1126/science.abf2998

87 DOI:10.1126/science.abf5389

理学中得到广泛应用，以探索经典世界和量子世界之间的边界，将来可能在大规模的量子网络中作为量子传感器或节点执行计算和传输数据。

“九章 2.0”“祖冲之 2.0”加固量子计算优越性



“九章”光量子计算原型机

中国科学技术大学（USTC）的潘建伟、朱晓波、陆朝阳团队在在光子体系中，基于全球首个达到量子计算优越性的“九章”光量子计算原型机研制出了 113 个光子 144 模式的“九章 2.0”⁸⁸，实现了相位可编程功能，对高斯玻色取样问题的求解速度比目前最快的超级计算机快亿亿亿倍（ 10^{24} ），再次刷新世界纪录。在超导体系中，他们成功构建了 66 比特可编程超导量子计算原型机“祖冲之 2.0”⁸⁹，实现了对随机线路取样问题的快速求解，这比目前最快的超级计算机快数万

⁸⁸ DOI:10.1103/PhysRevLett.127.180501

⁸⁹ DOI:10.1126/science.abg7812

倍。“九章 2.0”和“祖冲之 2.0”的出现，使中国成为唯一在两个物理体系（即光子和超导体体系）中实现量子计算优越性的国家。

谷歌悬铃木量子计算机实现首个时间晶体



谷歌悬铃木（Sycamore）量子计算机

2021 年 11 月 30 日，来自斯坦福大学、谷歌量子团队、马克思·普朗克复杂系统物理研究所和牛津大学的研究团队在《自然》杂志上联合发文表示，他们在谷歌悬铃木（Sycamore）量子计算机中成功构建了一种全新的物相——时间晶体⁹⁰。

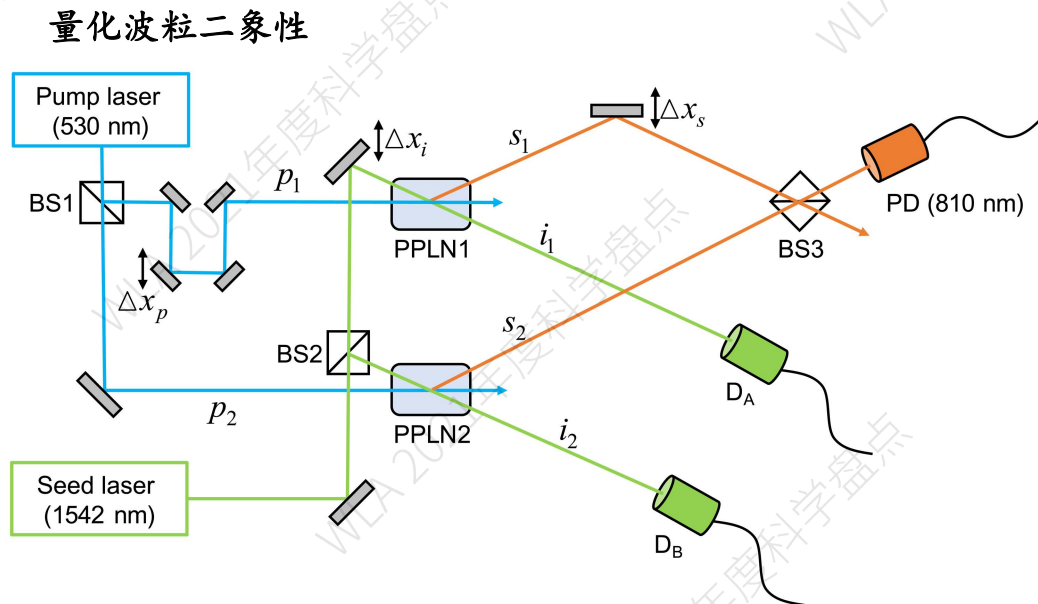
“时间晶体”这一概念由 2004 年诺贝尔物理学奖得主弗兰克·维尔泽克（Frank Wilczek）于 2012 年首次提出，与空间中周期性重复的晶体结构类似，时间晶体在时间上呈周期性重复——它像是一个永动机，在不同状态之间永久循环往复，而不消耗任何能量。

多年来，科学家们对时间晶体存在的可能性进行了理论分析，并

⁹⁰ <https://www.nature.com/articles/s41586-021-04257-w>

一直试图观察时间晶体存在的实验证据。通过悬铃木，时间晶体终于被实验证实，并可能成为近几十年来最为重大的一次物理发现。

这项研究中，该团队将量子计算机作为一个新的实验平台来实现和检测物质，而不是单纯的计算。它的成功不仅意味着创造了新的物相，更开辟了探索凝聚态物理领域新机制的机会。通过量子计算机挖掘粒子相互作用带来的新现象和新特性。大量粒子的交互体系可能比单个粒子的物理性质丰富得多。时间晶体是物质新型非平衡量子相的一个突出例子，目前我们对凝聚态物理的大部分理解都基于平衡系统，量子计算机为我们提供了一个全新窗口，让我们可以了解物理学中的全新非平衡状态。



量化波粒二象性的实验示意图

韩国基础科学研究所的尹太贤 (Tai Hyun Yoon)、赵敏行 (Minhaeng Cho) 团队⁹¹，美国史蒂文斯理工学院的钱晓峰 (Xiaofeng

91 DOI:10.1126/sciadv.abi9268

Qian) 和美国德州农工大学的吉里什·阿加瓦尔 (Girish Agarwal) 团队⁹²分别进行了量化光的波动性和粒子性的实验和理论工作，并证明了光的这两种特性都与光子源的纯度有关。在实验中，Yoon 和 Cho 严格控制由两个铈酸锂晶体发射的成对光子 (“信号光子”和“闲置光子”) 的量子态，通过独立改变每个晶体释放光子的概率，并结合理论计算得出，光子源的纯度与干涉条纹的可见性 (波动性) 和路径可区分性 (粒子性) 有关。2020 年，Qian 和 Agarwal 首次阐明了这种理论机制。

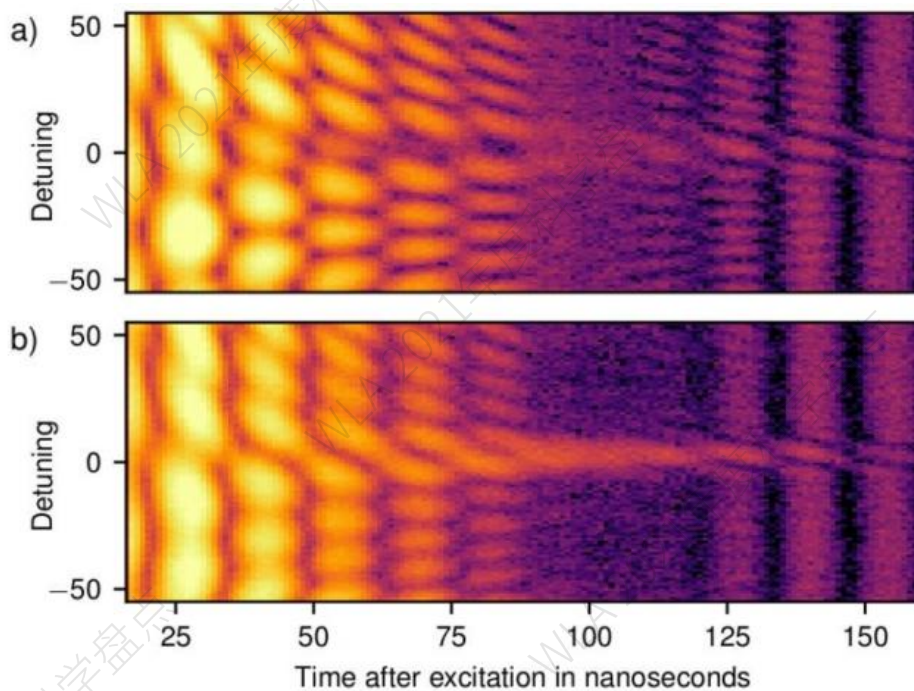
这项成果在量子信息领域大有可为，并且能够让我们重新认识尼尔斯·玻尔 (Niels Bohr) 在 1927 年提出的互补原理 (Complementation principle)，即微观物体具有波动性或粒子性，至于它呈现出的是粒子特性还是波的性质，这完全取决于我们如何去观察它。

实现对原子核的量子相干控制

不论是原子钟、加密通信还是量子计算机，都离不开激光技术对原子壳层电子量子行为的良好控制。德国马克斯·普朗克核物理研究所约尔格·埃夫斯 (Jörg Evers) 领导的团队首次利用 X 射线精确控制了原子核的量子跃迁⁹³。与电子系统相比，核量子跃迁是非常极端的——其能量高出数百万倍，并且非常短暂。新研究成果有望加深科学家对量子世界的认识，并促成超精密核时钟和超大容量核电池的开发。

⁹² DOI:10.1103/PhysRevResearch.2.012031

⁹³ <https://www.nature.com/articles/s41586-021-03276-x>

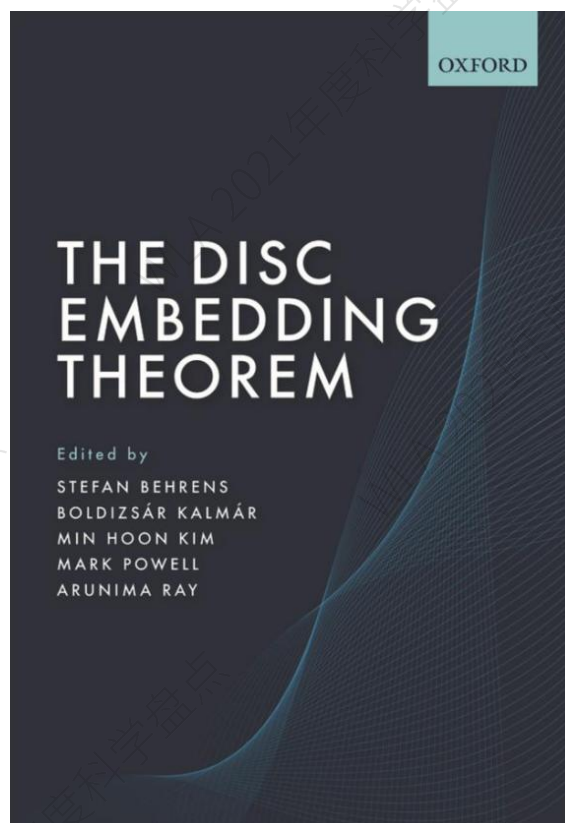


铁原子核释放吸收 X 射线后光的强度（浅黄色：高强度；紫色：低强度）。P1 脉冲（a），P2 脉冲（b）（来源：MPI for Nuclear Physics）

这个团队使用欧洲同步辐射源（ESRF）提供的高能 X 射线脉冲逐次照射样品。第一个脉冲（P1）非常短，并且包含了广泛的频率混合，它会激发原子核的量子跃迁。第二个脉冲（P2）则要长得多，并且具有与量子跃迁精确匹配的能量。由此，P2 就能操控由 P1 触发的量子动力学。通过调整 P1 和 P2 之间的时间跨度实现了铁原子核在相干增强激发和相干增强发射之间的切换。随科学家对动态量子过程的控制越来越精确，将开辟新兴的核量子光学领域。

(四) 数学前沿

《圆盘嵌入定理》拯救四维庞加莱猜想的重要拓扑学证明



《圆盘嵌入定理》

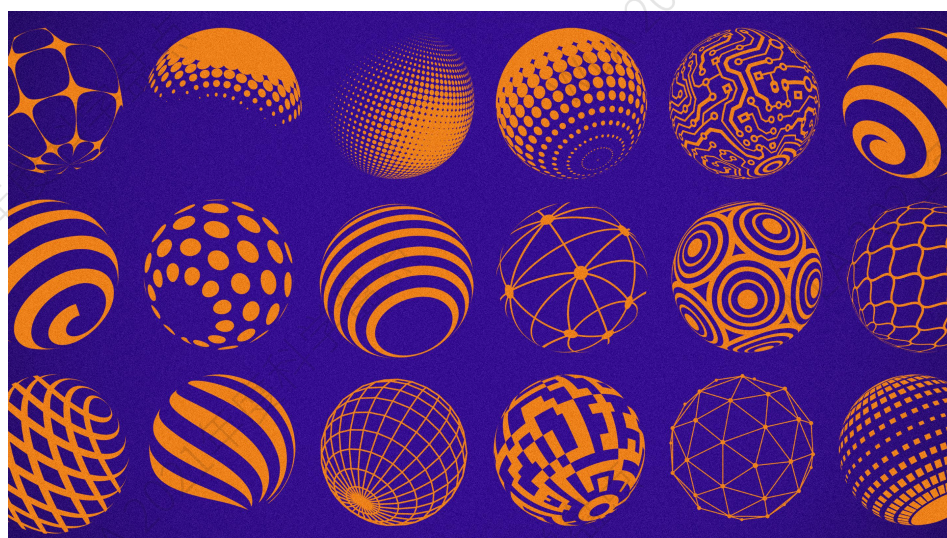
1981年，迈克尔·弗里德曼（Michael Freedman）对四维庞加莱猜想给出了开创性的拓扑学证明⁹⁴。由于年代已久，仅有的几个了解它的数学家年纪越来越大并离开了这个领域，该重要证明一度濒临失传。

今年，比勒费尔德大学的斯蒂芬·贝伦斯（Stefan Behrens），布达佩斯经济技术大学的波尔迪扎尔·卡尔马尔（Boldizsár Kalmár），韩国全南国立大学的金敏勋（Min Hoon Kim），英国杜伦大学的马

⁹⁴ DOI:10.4310/jdg/1214437136

克鲍·威尔 (Mark Powell) 和波恩马克斯普朗克数学研究所的阿鲁尼玛·雷 (Arunima Ray) 共同编辑了一本名为《圆盘嵌入定理》(The Disc Embedding Theorem)⁹⁵的新书, 使用清晰、一致的术语, 以近 500 页的篇幅完整详细地阐述了弗里德曼论证的步骤, 使这个重要但难以理解的数学论证变得易懂, 甚至可以让一个本科生进行阅读并完全理解⁹⁶。

斯梅尔猜想的最新进展



今年拓扑学的另一个重要成就是关于斯梅尔猜想 (Smale conjecture)⁹⁷, 该猜想是关于四维球体的基本对称性是否在某种程度上代表了它所有的对称性。渡边忠之 (Tadayuki Watanabe) 证明了四维球体具有远远超出基本对称性的对称族⁹⁸, 他否定了斯麦尔猜想。从那时起, 数学家们一直加倍努力来寻找这些异常对称性。最近渡边

⁹⁵ DOI:10.1093/oso/9780198841319.001.0001

⁹⁶<https://www.quantamagazine.org/new-math-book-rescues-landmark-topology-proof-20210909/>

⁹⁷ DOI:10.2307/2033664

⁹⁸ [1812.02448] Some exotic nontrivial elements of the rational homotopy groups of $\mathrm{Diff}(S^4)$ (arxiv.org)

和其他人开始理解从第六维开始的偶维球体的所有微分同胚⁹⁹。今年9月，渡边证明了四维及更高偶维球体存在大量的微分同胚族¹⁰⁰，它们正是这些维度球体出现异常对称性的根本原因。

对无穷大本质的进一步探索

无穷大究竟有多大——这是一个多世纪以来一直悬而未决的难题，今年终于取得了重大进展。来自东英吉利大学（University of East Anglia）的大卫·阿斯佩罗（David Asperó）和明斯特大学（Universität Münster）的拉尔夫·辛德勒（Ralf Schindler）的证明¹⁰¹发表在2021年5月的《数学年刊》*Annals of Mathematics*中。他们的研究表明，在无限数学中原来认为具有竞争性的两个公理可以相互推演，从而提高了它们都正确的可能性。最重要的是，在新证明中被归一化的这两个公理表明连续统假设（Continuum Hypothesis）是错误的，进一步激化了支持或是反对连续统假设的论辩。数学界高度赞誉这一发现，认为这是“数学史上最令人兴奋和最富戏剧性的事情之一”¹⁰²。

数论和几何间的“虫洞”连接

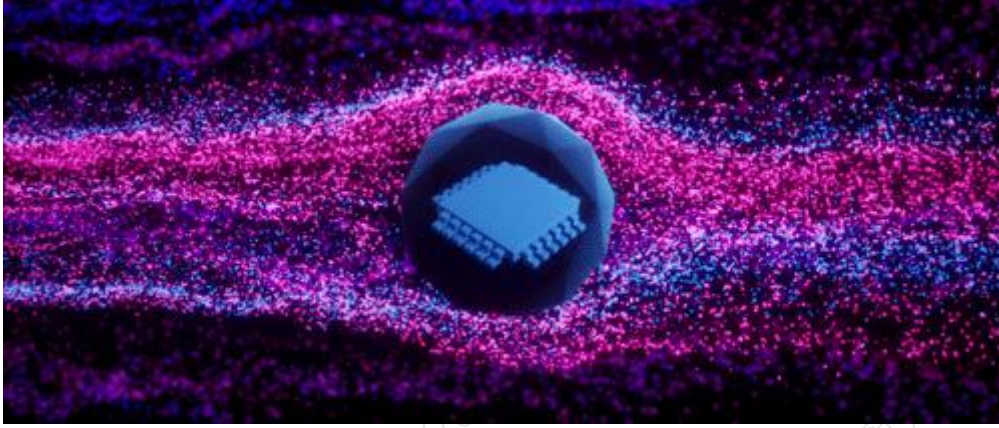
通常情况下，一项伟大的数学进步不仅回答了一个重大的问题，还会提供给人们一个新的探索途径以解决其他问题。

99 微分同胚包含了所有不改变球基本性质的点重新排列的方式。

100 [2109.01609] Addendum to: Some exotic nontrivial elements of the rational homotopy groups of $\mathrm{Diff}(S^4)$ (homological interpretation) (arxiv.org)

101 <https://doi.org/10.4007/annals.2021.193.3.3>

102 <https://www.quantamagazine.org/how-many-numbers-exist-infinity-proof-moves-math-closer-to-an-answer-20210715/>



2010年，洛朗·法格 (Laurent Fargues) 和让-马克·方丹 (Jean-Marc Fontaine) 创建了一个新的几何对象——Fargues-Fontaine 曲线¹⁰³，该曲线的出现完全改变了 p -进制霍奇理论 (p -adic Hodge theory) 的研究状态，也是 p 进 Langlands 纲领几何化实现的强有力工具。2021年2月，当该曲线与来自波恩大学的彼得·肖尔兹 (Peter Scholze) 围绕完形空间的想法相结合时，它被赋予了更广泛的意义¹⁰⁴。作为朗兰兹计划 (Langlands Program，旨在将数学的不同分支，如微积分和几何学联系起来，以回答有关数字的一些最基本的问题) 的一部分，Fargues-Fontaine 曲线进一步连接了数论和几何这两大数学领域。

103 <https://arxiv.org/abs/2010.02292>

104 <https://arxiv.org/abs/2102.13459>

新药研发带来新希望

治愈艾滋病的曙光

艾滋病是一种由人类免疫缺陷病毒（HIV）引起的、危害性极大的传染病。虽然抗逆转录病毒疗法（ART）的不断进步使得艾滋病患者的寿命和预后大大延长，但依旧无法治愈。

在 2021 年，Excision BioTherapeutics 宣布其基于 CRISPR 基因编辑技术的疗法 EBT-101 获得美国 FDA 批准¹⁰⁵，将开始进行艾滋病治疗的人体临床试验。基于 CRISPR 基因编辑技术的疗法则有望取代当前的抗逆转录病毒疗法，实现对艾滋病的“彻底治愈”。

“摇头丸”可治疗创伤后应激障碍



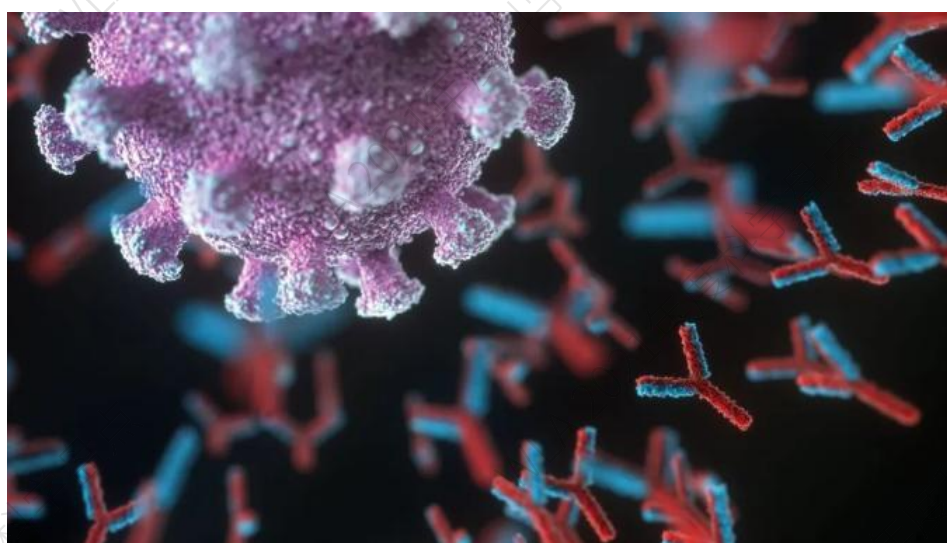
研究人员对创伤后应激障碍（PTSD）使用 MDMA 治疗

¹⁰⁵ <https://www.excision.bio/>

一项临床试验发现,3,4-亚甲基二氧基甲基苯丙胺(MDMA) (“摇头丸”的主要成分),显著减轻了创伤后应激障碍(PTSD)患者的症状。67%的接受 MDMA 治疗的患者不再有 PTSD 症状,而安慰剂组则仅有 32%。

单克隆抗体治疗传染性疾病

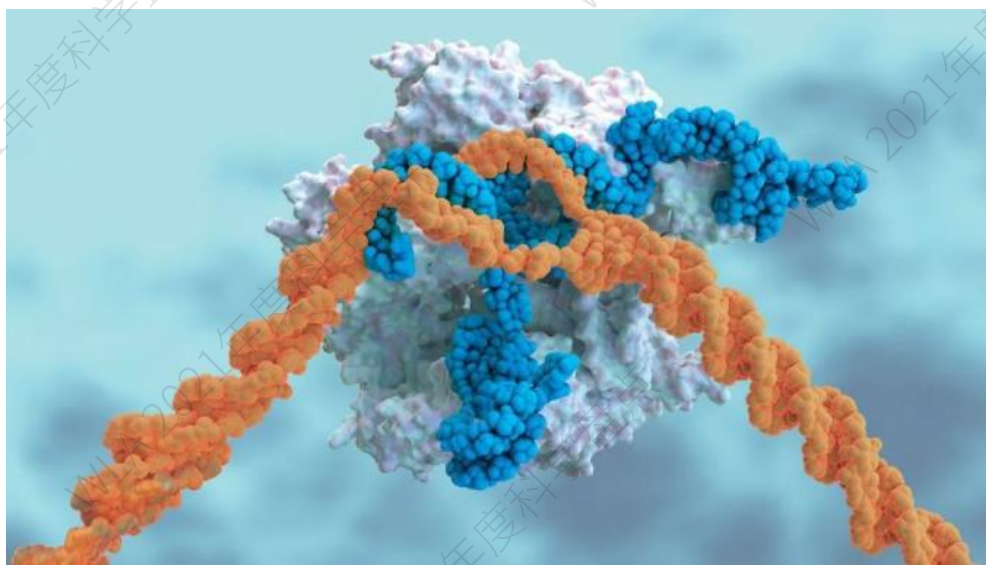
单克隆抗体是由单一 B 细胞克隆产生的高度均一、仅针对某一特定抗原表位的抗体。今年单克隆抗体 (mAb)开始在对抗新冠病毒和其他威胁生命的病原体,包括呼吸道合胞病毒 (RSV)、HIV 和疟疾寄生虫等方面显现出效果。到今年年底,已有 3 种用于治疗新冠病毒的单克隆抗体获得 FDA 紧急使用授权。科学家还正在开发针对流感、寨卡病毒和巨细胞病毒的单克隆抗体。与此同时,中国国家药监局应急批准新冠病毒中和抗体联合治疗药物安巴韦单抗注射液 (BRII-196) 及罗米司韦单抗注射液 (BRII-198) 的注册申请。



单克隆抗体 (红色和蓝色) 攻击新冠病毒 (紫色) 的示意图

首次证明 CRISPR 基因编辑疗法对人类疗效

基因编辑工具 CRISPR 自发明以来，引起了广泛的关注。在 2020 年首次显现出或可治愈镰状细胞病和 β -地中海贫血患者的功能。今年 6 月，美国 Intellia 医药公司和再生元公司科学家在 6 名患有的一种名为转甲状腺素淀粉样变性病的罕见疾病的患者身上测试了他们的治疗方法。结果显示，所有参与者的畸形蛋白质水平均下降，其中两名接受高剂量注射的人的蛋白质水平平均下降了 87%。



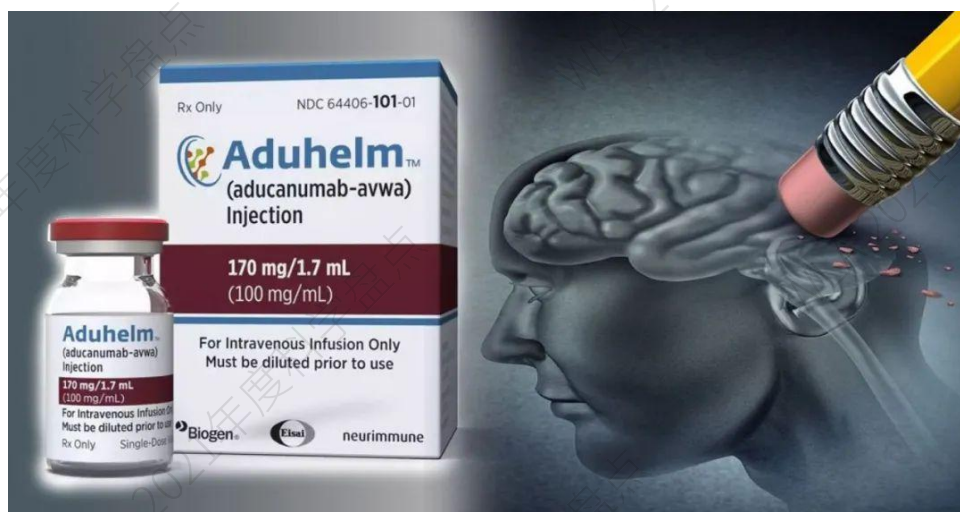
来自 CRISPR 注射的引导。RNA（蓝色）将 DNA 切割酶（白色）引导至其目标（橙色）

靶向蛋白质降解——“细胞机制”改变制药业

靶向蛋白质降解（TPD），是一种在制药行业具有巨大潜力的化学工具。该技术原理很简单，利用我们自己的细胞来消除有害蛋白质。在 TPD 之前，阻断蛋白质的策略主要局限于抑制剂，而 TPD 技术提

供了更多治疗优势，单一降解药物甚至可以通过蛋白酶降解破坏多种致病蛋白。这项研究在癌症治疗中显示出巨大的前景，已经吸引了各大型制药公司的投资，包括睿跃生物、Kymera、Nurix、辉瑞、拜耳、诺华和安进等，并正在催生更多的初创企业。临床试验显示，该技术或许可以彻底治疗与蛋白质积累有关的疾病，如帕金森病和阿尔茨海默病。

阿尔兹海默症新药争议

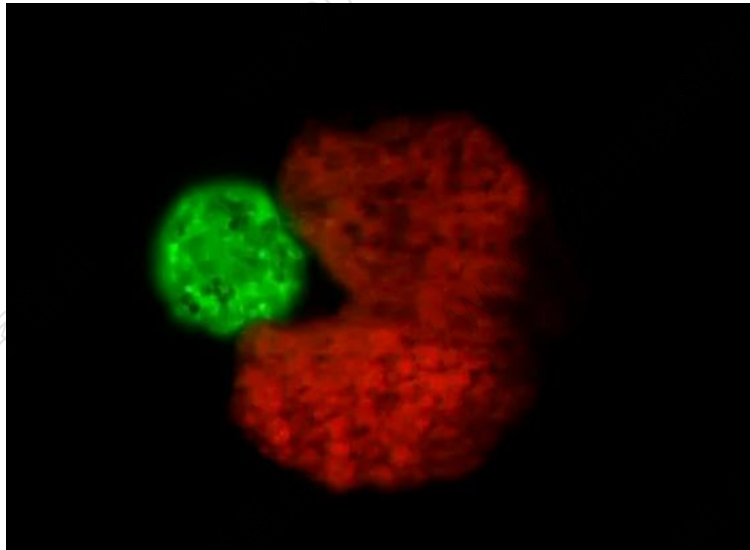


在今年 6 月，FDA 宣布根据“加速审评”政策，批准 Biogen 的 aducanumab 上市，用于阿尔兹海默症的治疗。这是近 20 年来，FDA 首次批准治疗阿尔茨海默病新药，上一次发生在 2003 年。尽管患者们已经开始打听如何获得新药，但科学家们对于新药的有效性还存在着严重的分歧。阿尔茨海默病的确切原因并不完全清楚，而且围绕“ β 淀粉样蛋白是否是阿尔茨海默病患者认知障碍的主要原因”，以及“去除淀粉样蛋白是否会有帮助”，仍有一些争论¹⁰⁶。

¹⁰⁶ https://www.aminer.cn/research_report/61c999a5027b007210438642?download=false?toutiao=1227

生物新发现与新技术

首个可自我繁殖活体机器人



生物已经进化出了多种繁殖方式。如今机器人也能做到自我复制并繁殖后代。近日，来自美国佛蒙特大学、塔夫茨大学和哈佛大学的研究团队研发出了有史以来第一款可自我繁衍的活体机器人¹⁰⁷，它们的外观酷似 80 年代的电子游戏《吃豆人》。这一创造性发现有望在未来为外伤、先天缺陷、癌症、衰老等提供更直接、更个性化的药物治疗。

¹⁰⁷ <https://doi.org/10.1073/pnas.2112672118>

神经接口实现意念打字

Willett 等人¹⁰⁸发明了一种能打字的脑机接口（BCI），有望使瘫痪病人的交流速度赶上他们的思考速度。BCI 通过破译脑活动模式来修复瘫痪者的交流能力。Willett 等人开发了一种能在使用者想象自己写字的同时对字母进行解码的方法。该研究的一位参与者每分钟能准确打出 90 个字符，速度是他之前使用 iBCI 的两倍。



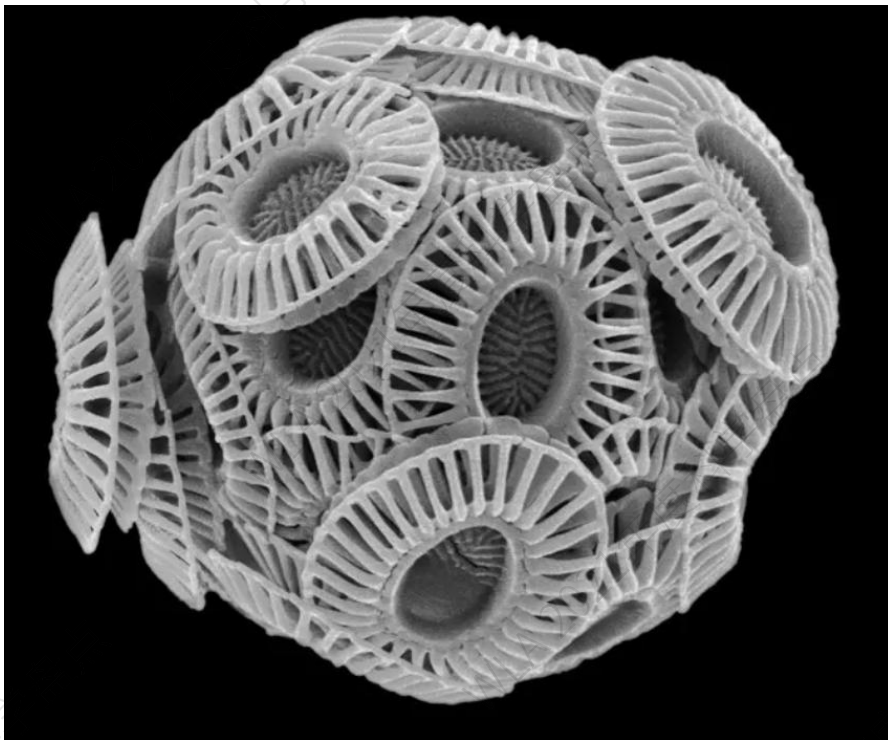
来源：pixabay

研究为侵入式脑机接口的应用打开了新的前景。由于它使用的机器学习技术一直在快速发展，插入最新模型就能解锁未来提升的巨大空间。研究团队已经将他们的数据集免费开放，这也将加速技术发展。最后，该方法让我们离实现快速交流的神经接口更进了一步。

108 Nature 593, 249 - 254 (2021)

地球偏心率影响演化进程

地球每年围绕太阳运行的轨道会出现偏心率变化——即地球轨道在偏正圆和偏椭圆之间的变化。这种偏心率的周期性变化大约每 10 万年和 40 万年发生一次，因受到其他行星的牵引力而产生。Beaufort 和他的同事¹⁰⁹发现了一种现象，这种现象挑战了我们对地球轨道偏心率有哪些影响的理解。作者将方解石这种由单细胞浮游植物产生的复杂结构的表征进行了自动化，进而发现在过去 280 万年的观测中，地球轨道的高偏心率丰富了浮游植物的多样性，反之亦然。探索生命之树演化过程中的轨道变化节奏，无疑将揭示生命、碳循环和气候之间复杂反馈的更多细节。



来源：Steve Gschmeissner/Science Photo Library

109 Nature <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04195-7> (2021)

解锁古老泥土 DNA 宝库

科学家们从洞穴地面的土壤中解锁了一个更大的古代 DNA 宝库。研究人员使用这种“泥土 DNA”来重建世界各地穴居人的身份。

在西班牙的 *Estatuas* 洞穴，核 DNA 揭示了 8 万至 11.3 万年前生活在那里的人类的遗传特征和性别，并表明尼安德特人的一个谱系在 10 万年前结束的冰川期之后取代了其他几个谱系。在美国佐治亚州 *Satsurblia* 洞穴有 2.5 万年历史的土壤中，科学家们发现了来自以前未知的尼安德特人系的女性人类基因组，以及野牛和现已灭绝的狼的遗传痕迹。通过将墨西哥奇基维特洞穴中 1.2 万年前的黑熊 DNA 与现代熊 DNA 进行比较，科学家们发现，在最后一个冰河时代之后，洞中黑熊的后代向北迁徙至阿拉斯加。

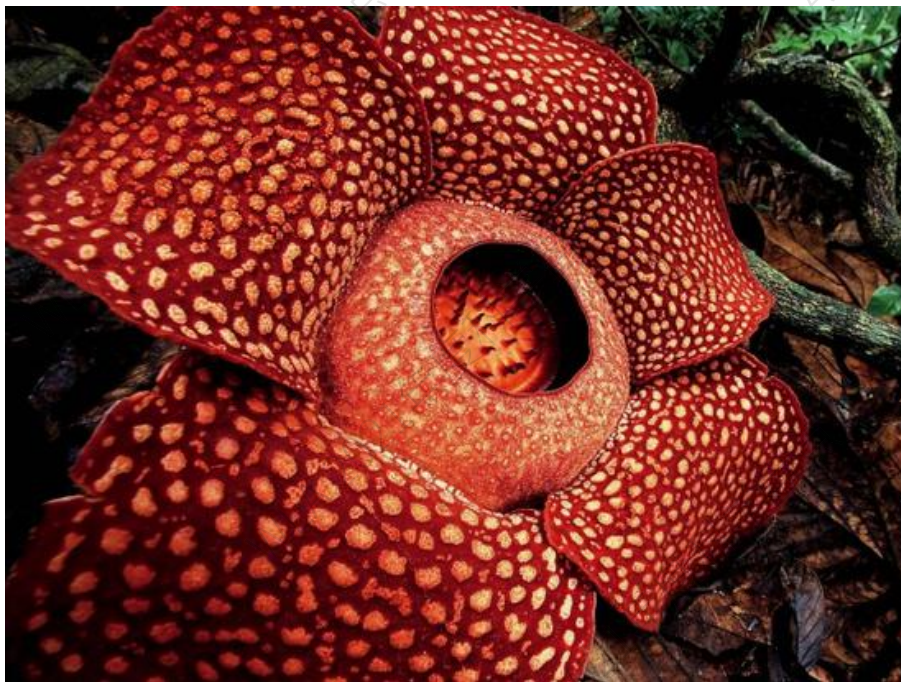


一名研究人员记录了墨西哥奇基维特洞穴中沉积物样本的位置（来源 *Science*）

震惊了生物学家！大王花的基因几乎都是“偷”来的！

从形态到气味再到生存方式，大花草身上隐藏着众多未解之谜。但对科学家而言，大花草最能吸引他们的是隐藏在其基因组中的秘密：无法检测到叶绿体基因组或者其他色素体基因组的存在¹¹⁰。

美国长岛大学布鲁克林分校的生物学家让迈尔·莫利纳（Jeanmaire Molina）及其团队发现大花草科的寄生花（*Sapria himalayana*）不仅不含有色素体基因组，而且它们丢失了 44% 的在植物中广泛存在的保守基因，同时，寄生花的基因组中充斥着许多其他生物的基因，另外，90% 的寄生花的基因都是由大量重复片段构成的，其中大约 60% 的重复片段都是一种可以自由移动的被称作“转座子”的 DNA 片段。



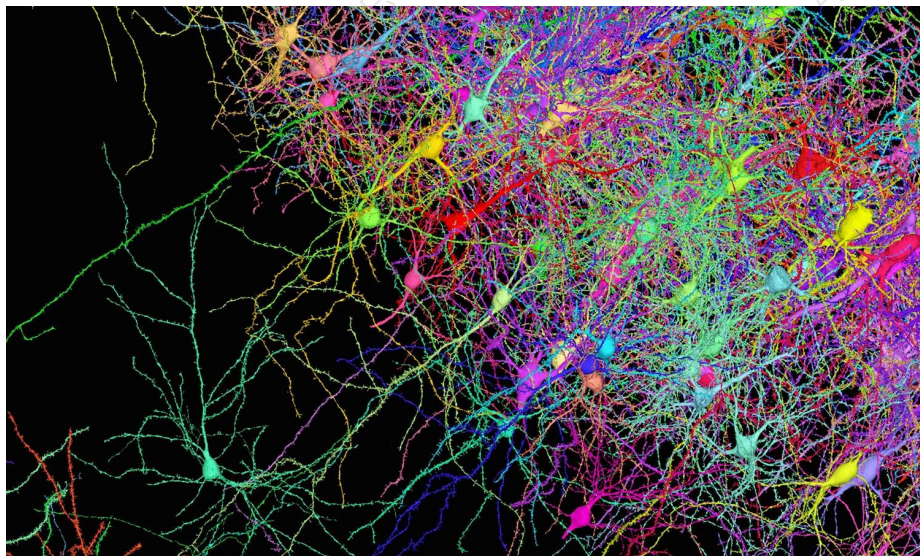
这些怪异的 DNA 体现了当前基因组研究发现的几个最新趋势。越来越明显的是，通过自我复制并在染色体内部和染色体之间转化，

110 DOI:<https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.12.045>

转座子可以重新连接生物体的基因组，并促进物种之间 DNA 的水平转移。这种水平转移似乎比以前认为的要普遍得多，研究人员仍在试图理解它们在进化中的重要性。

史上最详细人脑内部连接图发布

来自哈佛大学的杰夫·利希特曼 (Jeff Lichtman) 和谷歌的研究人员联合发布了第一张部分人脑的连接图¹¹¹。针头大小的组织被保存下来，用重金属染色，切成 5000 片，并在电子显微镜下成像发布人脑神经 3D 连接图。这些保存下来的组织，仅占整个人类大脑的百万分之一。然而，对其进行描述和记载的数据却高达 1.4PB，其中包括了神经细胞、血管等颜色鲜艳的显微镜图像。



Lichtman 一直致力于创建和研究类似的神经全连接图——绘制一张完整或部分完整的活体大脑内所有神经连接的综合图，以了解大脑的主人如何思考、感觉、移动、记忆、感知等。科学家们从蠕虫、

111 <https://doi.org/10.1101/2021.05.29.446289>

苍蝇、老鼠和人类中积累的大量连接组数据，已经对神经科学产生了强大的影响。大规模连接组学可以为神经科学的发展提供空前的动力，其作用堪比快速、简单的基因组测序技术对基因组学的推动作用。

吹气以诊断疾病

测试疾病可能就会像呼气一样简单。新的呼吸传感器可以通过对人类呼吸中包含的 800 多种化合物的浓度进行采样来诊断疾病。例如，人体呼吸中的丙酮含量升高表明病人患有糖尿病。在呼吸化合物流过金属氧化物半导体时，这些传感器会感知到电阻的变化。然后算法会分析传感器的数据。当然，这项新兴技术在得到普及之前还需完善。



通过呼吸检测疾病（来源：路透社）

单细胞代谢组学



来源：IUPAC

随着成像和质谱等设备的发展，以及灵敏度的提高，化学家们可以观察单个细胞的代谢情况，并同时分析几种代谢产物，获得有关细胞途径、生物机制以及细胞样品的独特指纹信息，这为单细胞代谢组学的研究发展提供了可能。特别是在新冠大流行的背景下，单细胞代谢组学展示出巨大的应用潜力，可以帮助科学家更好的解释入侵病毒与细胞之间的相互作用，深入研究病毒的感染过程，为疾病特效药的研发提供了更可靠的实验支持。

科技政策与伦理治理

体外胚胎培养为早期发育研究打开新窗户

一个团队研究了将老鼠胚胎在母鼠体外生长的时间为11天的方案。该研究进展有望为子宫外孕育人类铺平道路。此外，还有科学家设计了被称为“胚泡”的关键胚胎阶段的替代品。一个研究小组从人类胚胎干细胞中复制了胚泡，并诱导了多能干细胞(IPS)。另一项研究发现，转化为诱导性多能性细胞的皮肤细胞会产生囊胚状结构。这些人造胚泡并不是真正的胚胎，但其中一些可作为某些研究的替代方案以减少伦理争议。5月，国际干细胞学会宣布放宽人类胚胎培养“14天规则”，进一步提振了该领域的研究。这样的胚胎可以帮助研究人员更好地了解人类发育的早期阶段。



一只老鼠胚胎在一个旋转的罐子里生长

高风险 AI 数据实践

谷歌团队发表的一项研究结果，通过与印度、东非和西非国家以及美国的 53 位 AI 从业者进行访谈发现，AI 模型越来越多地应用于健康监测、雇员评价、信用评级等高风险领域。数据是构建 AI 系统所必需的关键基础设施。因为数据在很大程度上决定了 AI 系统的性能、公平性、稳健性、安全性和可扩展性。然而矛盾的是，对于 AI 研究人员和开发人员而言，数据方面通常是最不被重视的。

从直觉上看，AI 开发人员认为数据质量很重要。而实际上，大多数组织都没有建立或满足任何数据质量标准，这是因为相对于模型开发任务，数据工作的价值向来被忽视，更别提时间成本了。由此，团队倡议，将数据视为一项“至关重要的工作”，积极关注数据的优质程度——关注数据 **pipeline** 的实践、政治和人的价值观，通过使用流程、标准、基础设施和激励措施来提高数据的质量和地位。

人工智能的伦理研究有待深入

2020 年 12 月，研究人工智能 AI 技术如何扩大对黑人的歧视以及对社会边缘群体造成伤害的前谷歌公司研究员 Timnit Gebru 在受到谷歌对她工作审查后，被谷歌解雇¹¹²。Gebru 于 2018 年加入谷歌，并与玛格丽特·米切尔（Margaret Mitchell）¹¹³（于 2021 年 2 月被谷歌解雇）共同领导了谷歌的 AI 伦理研究团队，研究 AI 对不同人群和社

112 <https://www.wired.com/story/timnit-gebru-exit-google-exposes-crisis-in-ai/>

113 <https://www.m-mitchell.com/>

会可能构成的潜在危害，帮助谷歌产品团队反思技术加剧社会风险，并倡导公司为员工，尤其是少数裔族们提供更友好、多元、包容的工作环境。

Gebru 和 **Mitchell** 被双双解雇的消息震惊了全美数以千计的研究者。他们一起声援 **Timnit Gebru**，批评谷歌公司对她做出的不公正的对待¹¹⁴。

人们为 **Gebru** 和 **Mitchell** 的离开感到惋惜和愤怒的更深层次的原因是，自新冠大流行以来，人们愈发意识到 **AI** 犯的错误以及其可能带来的严重后果不单技术问题，而是整个社会和文化系统中根深蒂固的偏见造成的。

联合国教科文组织的报告指出¹¹⁵，人工智能不仅引爆了第四次工业革命，而且还引发了一场文化革命。不可否认，人工智能必定会改变我们未来的生活方式，而且在某些领域，不可逆转的改变已经发生了。只是我们还没有做好充分的应对准备。例如：政策制定者应该允许人工智能具备哪些能力？在多大程度上具备自主性？政府、法律、社会道德该如何进行干预？以及人类决策的作用和意义何在？可以肯定的是，这些问题今后还会不断增加，并且会越来越严重。为此，联合国教科文组织建议应及早建立相应的法律框架来规范今后在全球范围内的伦理研究工作，以应对正飞速发展的人工智能科技。

114 <https://www.nature.com/articles/d41586-021-00407-2>

115 <https://zh.unesco.org/courier/2018-3/wei-ren-gong-zhi-neng-yan-jiu-zhi-ding-quan-qiu-dao-gui-fan>

