

这一年，我们奋勇攀登科技高峰

◎本报记者 陆成宽

嫦娥六号带回世界首份月背样品，光子的分数量子反常霍尔态首次实现，自研水冷磁体创造世界纪录……回望2024年，我国科学家面向世界科技前沿攻坚克难，留下了一个个闪光的中国足迹。

这一年，广大科技工作者推动科学研究向极宏观拓展、向极微观深入、向极端条件迈进、向极综合交叉发力，不断突破人类认知边界，为加快实现高水平科技自立自强勇立新功。

爱因斯坦探针卫星成功发射

获得首张全天X射线天图

1月9日15时03分，我国在西昌卫星发射中心使用长征二号丙运载火箭，将爱因斯坦探针卫星发射升空，卫星顺利进入预定轨道，发射任务获得圆满成功。这是继“悟空”“墨子号”“慧眼”“实践十号”“太极一号”“怀柔一号”“夸父一号”之后，中国科学院空间科学先导专项研制发射的一颗空间科学卫星。

爱因斯坦探针卫星是我国首颗大视场X射线天文卫星。它主要在软X射线波段开展高灵敏度实时动态巡天监测，系统性地发现宇宙高能暂现和剧变天体，监测已知天体的活动性，探究其本质和物理过程。

发射成功3个多月后，卫星首批在轨科学探测图像发布。这批图像包括宽视场X射线望远镜指向银河系中心的观测图像、宽视场X射线望远镜首次报告的暂现源图像、后随X射线望远镜对蟹状星云观测图像以及后随X射线望远镜对梅西耶87椭圆星系的观测图像等。

10月31日，中国科学院举办爱因斯坦探针卫星成果发布会。科技日报记者从会上获悉，自1月9日成功发射以来，该卫星探测到多种类型的暂现天体，并捕捉到几何可能的新类型暂现源，成功获取了由我国自主研发设备观测到的首张全天X射线天图。

当天，中国科学院还举行了爱因斯坦探针卫星在轨交付仪式，并正式将该卫星命名为“天关”卫星。“天关”一词源于我国北宋至和元年司天监观测并记录的“天关客星”超新星爆发。将卫星命名为“天关”，体现了我国在超新星爆发观测记录方面的深厚渊源和对世界天文学的卓越贡献。”中国科学院国家天文台研究员、“天关”卫星首席科学家袁为民说。

叶绿体基因“转录机器”构造破解

补上细胞“CPU”最后一块拼图

破解叶绿体基因“转录机器”的构造，是科学界公认的世界性难题。中国科学院分子植物科学卓越创新中心张余团队和华中农业大学周菲团队联手破解了这一难题。他们成功解析叶绿体基因“转录机器”的冷冻电镜结构，揭示了叶绿体基因“转录机器”的“装配部件”“装配模式”和“功能模块”。北京时间3月1日，该成果以封面文章的形式在线发表于《细胞》。

RNA聚合酶是细胞中的“中央处理器（CPU）”，它们“读取”细胞“硬盘”DNA，然后输出各种生命“操作”。科学家发现三域（真细菌域、古细菌域和真核生物域）生物有9类基因“转录机器”，其中8类的结构机制被成功破解，叶绿体基因组内的细菌型质体编码RNA聚合酶（PEP）成为最后一块未被解析的“CPU”拼图。

张余团队与合作者利用叶绿体转化技术，在烟草叶绿体基因“转录机器”上引入特征性的“捕获标签”，通过纯化烟草内源的叶绿体基因“转录机器”，并利用单颗粒冷冻电镜技术，最终揭开了叶绿体基因“转录机器”的真面目。

国际同行认为，这项研究为进一步探索叶绿体基因“转录机器”工作模式、理解叶绿体基因表达调控方式、改造叶绿体基因表达调控网络打下了基础。该研究在合成生物学应用方面也有广阔应用前景，为植物叶绿体生物反应器的效率提升提供了着手点；同时，还为光合作用系统基因表达水平的提高提供了新思路，有望助力植物实现高效碳汇。

光子的分数量子反常霍尔态首次实现

有望助推“第二次量子革命”

量子模拟实验有了重大突破。5月6日，中国科学院在京召开新闻发布会宣布，利用“自底

而上”的量子模拟方法，中国科学院院士、中国科学技术大学教授潘建伟团队在国际上首次实现光子的分数量子反常霍尔态，为高效开展更多、更新奇的量子物态研究提供了新路径。相关论文发表于《科学》。

霍尔效应是指当电流通过置于磁场中的材料时，电子受到洛伦兹力的作用，在材料内部产生垂直于电流和磁场方向的电压。这个效应由美国科学家霍尔在1879年发现，并被广泛应用于电磁感测领域。反常霍尔效应是指在没有外部磁场的情况下观测到相关效应。

分数量子反常霍尔效应备受学术界关注，处于分数量子反常霍尔态的物质具有重要的观测研究价值。传统研究采用的是“自顶而下”的方法，研究者从已经存在的材料出发，利用其固有结构和性质来实现量子霍尔态。而“自底而上”的方法则是人工构建量子系统，从最基本的组件开始逐步搭建出所需的复杂结构。潘建伟团队利用“自底而上”的方式，基于自主研发的超导高非简谐性光学谐振器阵列，实现了光子间的非线性相互作用，并进一步在此系统中构建出作用于光子的等效磁场以构造人工规范场，从而实现了光子的分数量子反常霍尔态，为开展量子领域相关研究提供了优质的研究平台，有望助力推进“第二次量子革命”。

诺贝尔物理学奖得主弗拉克·维尔切克对这项研究给予高度评价。他说：“这种‘自底而上’的途径是一个‘非常有前途的想法’，这是一个令人印象深刻的实验，为基于任意子的量子信息处理迈出了重要一步。”

六角冰有了原子级分辨率

刷新对冰结构及预融化机制认知

冰表面长啥样？原子级分辨率图像揭晓答案。利用自主研发的国产qPlus型扫描探针显微镜，北京大学教授江颖、徐莉梅及中国科学院院士王恩哥联合研究团队首次获得了六角冰（自然界最常见的冰）表面的原子级分辨率图像。相关论文5月22日发表于《自然》。

冰是由水分子按照不同方式堆叠而成的晶体，其中最常见的是形成六角冰（Ih）的六角堆叠方式。在这种堆叠方式中，两个水分子相互连接形成六边形，进而拼接成一个平面，不同平面间的分子通过氢键连接。过去，科学家认为在常规条件下，冰表面只存在这一种堆叠方式。

此次，qPlus型扫描探针显微镜展现的景象却出乎预料。“我们看到在六角冰表面不仅有六角堆叠方式，还有立方堆叠方式。”江颖说，这是人类首次在冰表面观察到这种堆叠方式。

同时，研究团队还发现，在-153℃左右，这两种堆叠才会形成规则的三角晶格，处于真正的晶体状态。随着温度升高，三角晶格会越来越不规则，最后变成无序状态。在0℃以下，甚至-100℃时，冰已经开始融化。王恩哥认为，这项研究刷新了长期以来人们对冰表面结构和预融化机制的传统认知，为冰科学研究打开了新的原子尺度视角。

《自然》杂志审稿人评价，该发现将对大气科学、材料科学等多个领域产生深远影响。

嫦娥六号带回世界首份月背样品

提供月球早期演化研究一手资料

6月25日，携带着“月背土特产”的嫦娥六号返回器载誉归来，在内蒙古四子王旗预定区域安全着陆，标志着人类航天器首次月背采样返回任务圆满完成。

6月28日，国家航天局在京举行探月工程嫦娥六号任务月球样品交接仪式。经初步测算，嫦娥六号任务采集月球背面样品1935.3克。这些珍贵的月背样品，不仅填补了月球背面研究的历史空白，更为研究月球早期演化提供了一手资料，也为理解月球背面与正面地质差异开辟了新视角。

嫦娥六号探测器由轨道器、着陆器、上升器、返回器组成。嫦娥六号探测器副总设计师李天义介绍，轨道器主要负责“去”，飞到月球背面去和返回地球；着陆器主要负责“下”，落到月球背面预选区域并进行样品采集；上升器主要负责“上”，携带采集的样品从月球背面飞起来；返回器主要负责“回”，携带月壤返回地球。

嫦娥六号任务自发射后历经53天，11个飞行阶段，突破了月球逆行轨道设计与控制、月背智能快速采样、月背起飞上升等关键技术，并搭载4台国际载荷，开展了务实高效的国际合作。

9月17日，我国科学家在《国家科学评论》发表嫦娥六号返回样品的首篇研究论文，阐述了返回样品的物理、矿物和地球化学特征。

以RNA为媒介的基因精准写入实现

助力创新肿瘤等疾病治疗方法

基因编辑技术是面向未来的技术，以CRISPR为代表的基因编辑技术，基本实现了对基因的“单个修改”，即单碱基和短序列尺度的精准编辑。那么，能不能发明一种新的基因编辑技术，实现大片段基因的精准整合？

来自中国科学院动物研究所的生物学家，开发了一种具有自主知识产权的基因编辑新技术，首次实现以RNA为媒介的基因精准写入，为新一代基因疗法的发展提供基础。相关论文7月8日发表于《细胞》。

基因工程技术是现代生物技术发展的前沿，有广泛应用。“如何针对应用场景的需求，实现大片段基因尺度的DNA在基因组的高效精准整合，仍然是整个基因工程领域亟须突破的难题。”论文共同通讯作者、中国科学院动物研究所研究员李伟说。

在这项研究中，科研人员基于自然界存在的R2逆转座系统，结合基因组数据挖掘和大分子工程改造等手段，开发了以RNA为媒介进行大片段基因精准写入的R2逆转座子工具。该工具能够在多种哺乳动物细胞中实现大片段基因高效精准整合，成功实现了以RNA为媒介的功能基因在多种哺乳动物基因组的精准写入。

这一突破，意味着人们可以通过外源功能基因的精准写入，来干预涵盖不同位点多种突变谱的基因所导致的遗传缺陷等疾病。该技术有望为遗传病、肿瘤等疾病的治疗带来更高效、更安全、更低成本的全新治疗方案。

三千年中原人群“一脉相承”获证实

扩展中华文明演化研究的遗传学视角

来自厦门大学等单位的科研人员，成功提取了从西周、春秋、唐代至明清时期中原地区的38个古人基因组并完成了测序工作，系统论证了3000年来中原地区人群遗传稳定性。相关论文7月发表于《科学通报》。

在这项研究中，科研人员将新测序的中原古人样本与之前已发表的中原新石器时代古人、现代河南汉族基因组数据合并在一起，开展跨时间尺度下的群体遗传学分析。

研究发现，自新石器时代晚期以来，中原地区未出现明显的人群遗传结构改变，未受到印欧、匈奴和鲜卑等人群的显著影响，人群遗传呈现相对稳定性。研究中发现的唯一遗传离群值是一个可以追溯到明清时期的个体，该个体遗传特征与一些现代中国南方少数民族人群相对同质。鉴于所有古代中原样本和今天生活在中原的汉族人群都没有表现出如此高比例的东南亚血统，研究人员认为该离群个体不太可能代表明清时期中原地区的主要遗传谱系，更可能是来自华南的移民，比如历史上清政府曾派遣大批被称为“闽营”的福建军民到中原进行开垦。

这项研究填补了中原人群3000年来古基因组数据的空白，拓展了对中原人群历史的认识，为探索中华民族的形成以及中华文明的演化提供了遗传学视角。

首次在月壤中发现分子水

打开月球资源开发利用新可能

月球上是否存在水，对月球演化研究和资源开发至关重要。7月23日，记者从中国科学院物理研究所获悉，基于嫦娥五号月球样品，我国科研人员发现了月球上一种富含水分子和铍的未知矿物晶体——六水氯化镁铍。这一发现标志着首次在月壤中发现了分子水，同时揭示了水分子和铍在月球上的真实存在形式，这为

未来月球资源的开发和利用提供了新的可能性。相关论文在线发表于《自然·天文学》。

在这项研究中，科研人员对嫦娥五号月球样品进行了精细的单晶衍射和化学分析，在其中发现了一种富含水分子和铍的透明矿物晶体，水分子的质量占该矿物总质量的41%。科研人员还分析了该矿物的同位素成分和形成条件。结果表明，该矿物的氯同位素组成和月球样品相近，不是来自地球污染或火箭尾气。

“这种富水矿物的发现为我们揭示了月球上水分子存在的一种形式——水合盐。与易挥发的水冰不同，这种水合物在月球高纬度地区非常稳定。”论文共同第一作者、中国科学院物理研究所副研究员金士锋说，这意味着，即使在广阔的月球阳光照射区，也可能存在这种稳定的水合盐。

自研水冷磁体创造世界纪录

为探索新现象提供强大实验条件

9月22日，安徽合肥传来好消息：中国科学院合肥物质科学研究院强磁场科学中心自主研发的水冷磁体成功产生42.02万高斯的稳态磁场，打破了2017年美国国家强磁场实验室水冷磁体创造的41.4万高斯的世界纪录，成为国际强磁场水冷磁体技术发展新的里程碑。地球磁场约为0.5高斯，42.02万高斯相当于地球磁场的80多万倍。

稳态强磁场磁体分为三种类型：水冷磁体、超导磁体、由水冷磁体和超导磁体组合的混合磁体。水冷磁体是科学家最早使用的磁体类型，磁场调控灵活快捷，且具有能够产生磁场强度迄今远高于超导磁体的优势，为物质科学研究提供了可靠和高效的实验条件。

强磁场科学中心学术主任、研究员匡光力将稳态强磁场技术的发展形象地比作乒乓球赛场上的竞技，“水冷磁体、超导磁体都是‘单打高手’，混合磁体是‘混双组合’，2022年我们曾以综合优势获得‘混双冠军’，今天我们有了新突破，拿下一项‘单打冠军’”。

稳态强磁场是开展物质科学前沿研究所需的一种极端实验条件，是推动重大科学发现的“利器”，强磁场技术已成为国际科技竞争的重要领域。这一磁体的成功研制，将为科学家探索新现象、揭示新规律提供

强大的实验条件，也将为我国建设更高场强的稳态磁体打下关键技术基础。

猪肾移植猕猴体内存活184天

取得异种器官移植重大突破

11月29日，记者从华中科技大学同济医学院附属同济医院获悉，该院器官移植研究所教授陈刚团队在异种器官移植领域取得重大突破。团队首次在国内实现将基因编辑猪肾移植至猕猴体内，最终移植肾成功存活超过半年。这标志着我国异种移植研究迈出关键一步。

在解决移植器官短缺的问题上，医学界一直在探索将动物器官用作移植来源。然而，异种器官移植常出现难以完全避免的免疫排斥反应及血栓形成问题。以基因编辑猪作为器官供体，实施异种移植，已成为前沿生物技术研究的重点方向。

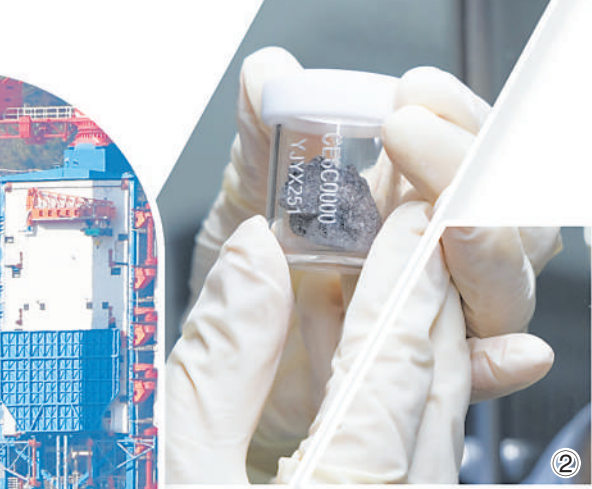
据了解，陈刚团队近5年集中实施了20余例新型基因编辑猪到猕猴的肾移植动物实验。今年5月10日，在经过动物实验的伦理批准后，他们以一头基因编辑猪为供体，将单个猪肾移植给猕猴，最终移植肾在猕猴体内存活184天。

移植后5个月内，猕猴移植的猪肾功能完全正常，各项生理指标也基本正常，之后出现逐渐加重的蛋白尿，病理分析证实发生了新生异种抗体介导的慢性排斥反应。

陈刚表示，接下来团队将继续致力于开发更有效的手段，来减少或消除排斥反应的发生，以期早日实现临床应用的目标。这项成就不仅代表着中国科研人员在国际生物医学前沿取得重要进展，也为解决全球范围内器官短缺难题带来新希望。



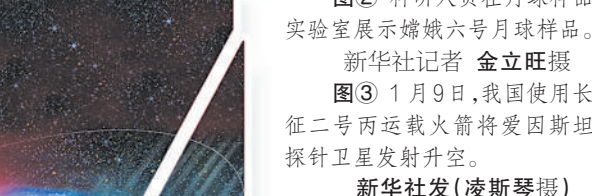
图① 6月25日，嫦娥六号返回器安全着陆。



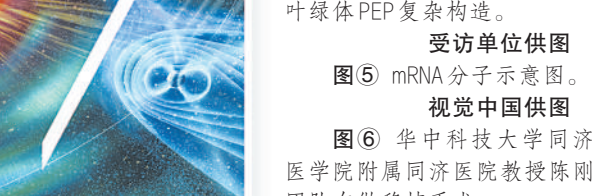
图② 科研人员在月球样品实验室展示嫦娥六号月球样品。



图③ 1月9日，我国使用长征二号丙运载火箭将爱因斯坦探针卫星发射升空。



图④ 《细胞》封面展示的叶绿体PEP复杂构造。



图⑤ mRNA分子示意图。



图⑥ 华中科技大学同济医学院附属同济医院教授陈刚团队在做移植手术。



图⑦ 地球磁层示意图。

年终盘点