

牛顿万有引力定律通过史上“最大”检验

本报讯 在牛顿提出万有引力定律 300 多年后,天体物理学家利用宇宙中最大的天体证实了这一定律。此前,牛顿著名的平方反比定律已在实验室和太阳系中得到了验证。这项近日发表于《物理评论快报》的研究将这一定律拓展到了可能最大的尺度——相距数十亿光年的星系团。

“我们知道万有引力定律在地球及单个星系内的表现都非常出色。”美国耶鲁大学的 Priyamvada Natarajan 说,他们正在宇宙尺度上对其进行检验。

Natarajan 表示,这一结果并不意外,但它同时对另一种理论——修正牛顿动力学(MOND)施加了更大的限制。该理论试图通过调整引力效应解释暗物质的存在,后者是一种看不见的物质,其引力似乎能将星系内的恒星维系在一起。

万有引力定律指出,两个大质量物体之间的引力与它们之间距离的平方成反比。该公式于 1687 年发表于《数学原理》,使牛顿能够解释行星的轨道运动,并与约翰内斯·开普勒提出的 3 条行星运动定律相吻合。一个世纪后,亨利·卡文迪许在实验室中证实了这一定律。他将一个小哑铃悬挂在一根细线上,并让其重物靠近其两端。通过测量细线的扭转程度,他确定了重物之间微小的引力如何随距离而变化。如

今,物理学家对卡文迪许实验进行了改进,以寻找与平方反比定律不符的现象,因为这可能预示着新的短程力作用的存在。

现在,智利阿塔卡马宇宙望远镜(CT)的研究人员将这种检验推向了相反的方向,拓展至可以想象的最大尺度。“星系团实际上是宇宙中最大的结构。”ACT 的合作者、美国宾夕法尼亚大学的 Patricio Gallardo 说。每一个星系团都包含了数百个星系,它们被相互的引力所束缚。一个星系团的质量可达太阳的千万亿倍,跨度可达数千光年。

结合对星系团位置及移动速度的统计测量,研究人员探测了数十万个星系团的引力。美国南加利福尼亚大学的 Kris Pardo 说,就像离太阳越近的行星运动得越快一样,距离越远的两个星系团相对运动的速度也越快。因此,可依据任意两个星系团的相对速度如何随距离的变化而变化,探测引力的本质。

然而,这并非一种简单的过程。因为两个星系团的相对速度不仅取决于它们自身产生的引力,还取决于周围所有星系团的引力。为解决这一复杂问题,研究人员首先从斯隆数字巡天项目中提取了星系空间分布的测量数据,该项目自 2000 年以来已绘制了数百万个星系的图谱。对于这种空间分布,他们用具有可调参数

的广义力定律预测了星系团对的相对速度如何随距离而变化。

研究人员随后将这一预测结果与 ACT 从 2007 年至 2022 年获取的速度数据进行了对比。ACT 测量了宇宙大爆炸的余晖,即宇宙微波背景(CMB),尤其擅长发现星系团。当来自 CMB 的光子穿过星系团时,它们会与后者内部的电子发生碰撞,并根据星系团是靠近还是远离地球而获得或失去能量——这一效应被称为苏尼亚耶夫-泽尔多维奇(kSZ)效应。该效应使星系团很容易被发现,并能直接测量其速度。

为避免宇宙膨胀和空间拉伸暗能量带来的干扰,研究人员聚焦于 56 亿至 77 亿光年外的星系团——这是宇宙时间的一个快照。Pardo 表示,研究团队探测到了低至 10 飞米每平方的加速度,相当于地球引力的千万亿分之一。在 8000 万至 8 亿光年的范围内,引力与距离的 2.1 次方成反比变化,误差在 ±0.3 之间,从而完美证实了牛顿的万有引力定律。

而牛顿定律的胜利是以 MOND 的失败为代价的。后者于 20 世纪 80 年代提出,旨在避免引入暗物质,它并未改变牛顿万有引力定律,而是在极低的加速度下修改了牛顿第二运动定律——力等于质量乘以加速度。但是,如果 MOND 是正确的,那么在最大尺度上,引力将



阿贝尔 370 星系团包含数百个星系。研究人员探测了此类巨型结构之间的引力如何在数十亿光年尺度上变化。图片来源:NASA

与距离成反比,而非距离的平方。Gallardo 表示,MOND 已经难以描述宇宙的演化,而新数据对其又是一次沉重的打击。

Gallardo 说,更重要的是,这项研究展示了用 kSZ 效应测量速度的强大能力。ACT 的继任者、名为西蒙斯天文台的微波望远镜阵列已开始获取数据。它将以更高精度测量 kSZ 效应,为追踪暗能量和宇宙膨胀历史提供工具。“这种方法有更大的应用潜力。”(李木子)

相关论文信息: <https://doi.org/10.1103/rk8v-rcm.3>

国际能源署: 2025 年甲烷排放仍居高位

据新华社电 国际能源署 5 月 4 日发布的《2026 年全球甲烷追踪》报告显示,2025 年全球化石燃料相关的甲烷排放仍处于“极高”水平,且在全球范围内尚无下降迹象。在当前能源危机背景下,治理甲烷排放可以带来重大能源安全利益。

报告说,为了应对全球变暖并改善空气质量,近年来许多国家和企业提出甲烷减排目标。然而,2025 年能源行业甲烷排放接近历史最高水平,显示了减排承诺与实施之间存在明显差距。报告指出,减少甲烷排放还有助于提升能源安全。霍尔木兹海峡航运受阻后,全球液化天然气供应减少约 20%,能源安全已成为各国重要关切。

报告测算,如果部分具有天然气出口能力的国家以及天然气进口国,在其天然气系统中实施相关甲烷减排措施,可在短期内向市场释放近 150 亿立方米天然气。长期来看,全球石油和天然气产业通过减少甲烷排放,每年可向市场释放近 1000 亿立方米天然气。

报告认为,许多甲烷减排方案已经非常成熟且具有成本效益,利用现有技术可减少约 70% 与化石燃料相关的甲烷排放。此外,减少甲烷排放的有效方式之一是治理能源产业上游排放,目前石油和天然气产业上游甲烷排放量占产业排放总量的 80%。

国际能源署首席能源经济学家蒂姆·古尔德表示,设定甲烷减排目标只是治理的第一步,重要的是确保这些目标得到政策、实施规划和实际行动的支持。这不仅是一个气候问题,治理甲烷排放还能带来重大能源安全利益,尤其在当前能源危机导致全球急需额外能源供应的情况下。(罗毓)

小行星也能拥有大气层

本报讯 对一颗位于冥王星外侧遥远天体的观测表明,该天体周围存在一层稀薄的大气层,其形成可能源于冰火山活动,或由彗星状天体的撞击所致。这表明,即便是位于太阳系边缘的相对较小天体,至少在一段时间内也可能拥有大气层。相关研究成果 5 月 4 日发表于《自然-天文学》。

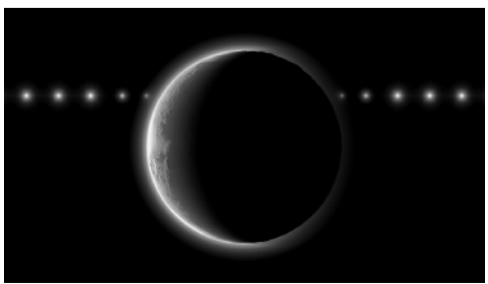
绕行于海王星轨道之外的天体被称为海王星外天体,是太阳系形成过程中的残留物。其中,只有矮行星冥王星拥有被明确探测到的大气层。在这项研究中,日本国立天文台的有松和同事们通过观测恒星掩星现象,即天体从恒星前方经过,对编号为(612533) 2002 XV93 的天体进行了研究。

2024 年 1 月,研究团队利用京都和长野县的专业天文台,以及福岛一位业余天文学家运营的望远镜,在日本三处不同地点观测了这一现象。在某些观测中,当该天体从恒星前方经过时,后者的光线在数秒内逐渐变暗,而非突然变暗。这种现象符合天体周围存在薄层气体,即大气层的预期表现。

研究人员计算得出,该大气层的密度约为地球大气层的五百万至一千万分之一,并推测其可能由冰火山喷发的气体维持,或者属于短暂存在的现象,即由近期彗星状天体撞击后释放的物质所形成。

这一发现挑战了此前“浓密大气层仅形成于较大行星周围”的假设。科学家指出,未来需要进行更多观测,特别是掩星观测或利用空间望远镜的测量,以了解该天体大气随时间的变化,并更好地理解其形成机制。(赵熙熙)

相关论文信息: <https://doi.org/10.1038/s41550-026-02846-1>



2024 年 1 月对恒星掩星的观测显示,星光逐渐变暗又逐渐恢复,这为该海王星外天体周围存在极薄的大气层提供了证据。图片来源:日本国立天文台



螃蟹的横行习性可能起源于 2 亿年前。

图片来源:Shutterstock

科学此刻 螃蟹为何“横行霸道”

一项近日发表于 eLife 的研究汇总形成了迄今最大的关于螃蟹如何运动的数据集。通过对比多个物种,科学家将其特殊的行走方式追溯至约 2 亿年前的共同祖先,为研究螃蟹不寻常的侧向移动提供了新线索。

横行行走是短尾目(真蟹)的标志性特征,它们是十足类甲壳动物中最大的类群。这种独一无二的行走方式为螃蟹带来了重要的生存优势。例如,横行让捕食者难以预判螃蟹的移动方向,从而帮助它们逃生。论文通讯作者、日本长崎大学的 Yuuki Kawabata 表示:“横向运动很可能对真蟹的生态成功起到了关键作用。目前,真蟹约有 7904 个物种,远超过其近亲至尾目、螯虾下目等。它们遍布全球各类生态环境中,包括陆地、淡水和深海。此外,其体形随着时间的推移反复演化,这一现象被称为‘蟹化’。”

虽然大多数真蟹都是横行行走的,但也有些会向前走,由此引发了一系列有趣的问题:横行行走起源于何时?多年来演化了多少次,又退化了多少次?为解答上述问题,Kawabata 团队研究了 50 种真蟹的运动模式。在模拟自然环境的圆形实验池中,他们用摄像机连续录制了每种螃蟹 10 分钟的视频。

随后,团队将观测结果与先前发表的螃蟹系统发育数据相结合,后者利用来自 344 个物种、涵盖大多数主要分支的 10 个基因,构建了真蟹各类群的进化关系。由于行为数据与该系统发育树中的物种无法吻合,研究人员将进化树简化为 44 个属、5 个科和 1 个超科,用亲缘关系近的分类群替代了未直接观测的物种。

在研究的 50 种螃蟹中,35 种主要是横向移动,15 种向前移动。当团队将行为特征映射到进化树上后,规律清晰起来。横行行走似乎只进化过一次,起源于真短尾目基部的一个向前直行的祖先;此后,这一特征在真蟹身上基本保持不变。

Kawabata 解释说:“这一单一事件与蟹化形成了鲜明对比。蟹化在十足类动物中曾反复发生,这说明动物体态可以趋同演化多次,但横行这样的行为变化却十分罕见。”

研究人员认为,这种一次性的横行行走转变可能在真蟹的繁荣壮大中起到了关键作用。横行让螃蟹得以向任意方向快速移动,从而大幅提升避敌能力。不过,在整个动物界中,横行并不常见,可能是因为它会干扰挖洞、交配、觅食等其他重要行为。

作者指出,横行行走是真蟹独有的罕见进化创新,自然界仅有少数其他生物也演化出类似方式,例如蜘蛛、叶蝉若虫等。研究还表明,物种进化成功并非仅由生物创新所决定,环境因素同样至关重要。研究估计,真蟹横行大约起源于 2 亿年前的侏罗纪早期,即三叠纪-侏罗纪大灭绝后不久。这一时期发生了重大环境变迁,如盘古大陆解体、浅海栖息地扩张、早三叠世海洋革命发生,很可能为物种多样化创造了新机遇。(王方)

相关论文信息: <https://doi.org/10.7554/eLife.110015.1>

研究揭示吃东西让免疫细胞更“强大”

本报讯 一项研究发现,一种被称为 T 细胞的免疫细胞似乎能从食物中获得“助力”。这一发现可能为改进免疫疗法指明方向,帮助医生决定何时接种疫苗,并最终揭示饮食如何增强免疫力。4 月 29 日,相关研究成果发表于《自然》。

“俗话说‘发烧要饿,感冒要吃’,我们认为这其中确实有一定的道理。”论文作者、美国匹兹堡大学的免疫学家 Greg Delgoffe 说,研究人员应当重新评估饮食对免疫反应的影响。“我们通常不会问‘你上次是什么时候吃的?吃了什么?’”他说,“实际上,这些信息可能对 T 细胞的活性产生很大影响。”

“我认为这是一项非常令人兴奋的研究。”美国印第安纳大学的免疫学家 Lionel Apetoh 表示,此前关于 T 细胞的研究仅关注饮食的长期干预。

T 细胞是一类负责协调人体免疫反应的白细胞,并在面临威胁时被激活。“免疫系统的激活在能量方面消耗极高。”Delgoffe 说。为探究这一现象,他和同事在受试者一天的第一

餐前采集了血液样本,并在 6 小时后再次采样。在此期间,受试者可以自由进食。随后,研究团队评估了血液中的 T 细胞代谢状况。

研究发现,与禁食一晚相比,T 细胞在吃饭后更容易获取完成高耗能激活过程所需的营养物质。吃饭后,这些细胞能更有效地摄取糖分,拥有更多的脂肪和更高效的线粒体,并最终增强了应对威胁的响应能力。小鼠实验表明,这些细胞的增殖能力更强,并能提供更好的抗感染保护。

进食产生这种效果的确切机制尚不明确,但 Delgoffe 认为,这可能是由于 T 细胞产生蛋白质的能力增强了,从而使其在感染初期更快地被激活。

这种增强作用在一种被称为记忆 T 细胞的 T 细胞亚群中持续了一年多。这些细胞是免疫系统对抗先前感染所建立的长效保护机制的一部分,当遇到身体能够识别的威胁时,它们会迅速分裂。吃东西的小鼠产生的记忆 T 细胞比禁食的小鼠更多,且在初次喂食数周甚至数月后,其代谢活性与产生它们的 T 细胞

相似。“因此,它们始终具备这一优势。”Delgoffe 说,“它们能够提供更持久的保护。”

Apetoh 指出,该研究的一个局限在于参与者的食物摄入量未被精确控制,因而难以确定特定营养素或食物是否影响了最终效果。Delgoffe 承认这一不足,但同时认为这可能恰恰是该研究的优势所在。“我们能确定的是,这种现象每次都会发生。”他说,“吃饭很重要,而且你可以吃任何想吃的东西。”

这些结果有助于提升免疫疗法的效果,例如嵌合抗原受体(CAR)-T 细胞疗法。这种疗法通过基因工程改造受体,增强 T 细胞清除威胁的能力。Delgoffe 和同事发现,源自进食人群的 CAR-T 细胞比从不吃饭的人群中提取的 CAR-T 细胞具有更强的抗癌活性。

为找到造成这一效应的具体食物成分,Delgoffe 和同事计划开展受控饮食研究。这将有助于制定能增强疫苗接种或免疫疗法效果的营养方案。(文乐乐)

相关论文信息: <https://doi.org/10.1038/s41586-026-10432-8>

“小柯”秀

一个会写科学新闻的机器人

《科学》

手性硫平台整合选择性碳-氢胺化

美国威斯康星大学麦迪逊分校的 Jennifer M. Schomaker 团队发现手性硫平台整合了复杂分子和烷烃原料的选择性碳-氢(C-H)胺化。相关成果近日发表于《科学》。

复杂分子与简单烷烃对催化剂调控的 C-H 键官能化提出了截然不同的挑战。高度官能化的复杂分子骨架需要在众多反应位点中实现精准定点修饰,同时兼容各类敏感官能团;而不含导向基团的非活化底物则要求对活性极低、结构高度相似的非活性 C-H 键实现选择性活化。

研究人员通过改造一类经典手性辅基,搭建了一套通用、高选择性、可精准预测的 C-H 胺化反应体系。该体系以银为催化剂、手性硫氮宾为反应前体,攻克了上述两大难题。

该反应体系可对活化 C-H 键实现立体发散式后期胺化,官能团兼容性优异,可在水相条件下稳定进行;同时还能对化工原料实现温和、高选择性的 C-H 胺化。其中,硫结构单元具备模块化、立体结构可控等特点,可作为关键合成枢纽,快速构建多样化化合物库,实现靶向合成与多样性导向合成。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1126/science.aee.3321>

《自然》

中纬度冬季降水的不确定动力响应

瑞士苏黎世联邦理工学院团队报道了中纬度冬季降水的不确定动力响应。近日,相关研究成果发表于《自然》。

已有研究阐述了人为强迫和内部变率对降水趋势的贡献,但观测与模拟结果之间仍存在差异。在北半球冬季,这些差异常被归因于主导观测趋势的非强迫性内部变率。然而,越来越多的证据表明,气候模型低估了降水对人为强迫的总体响应。

研究表明,热力学贡献在气候模型中能够得到较好重现,动力学贡献则可能表现出更显著的差异。该研究将人为强迫产生的热力学和动力学成分与冬季降水趋势(1950-2022 年)中的内部变率分离,以探究它们对趋势差异的贡献。在地中海地区,模型模拟中的人为强迫动力学信号仅能解释约 10% 的观测动力学趋势。

在持续人为排放的情景下,预测的环流响应将增强,并与观测到的趋势模式更加接近。尽管观测记录中的内部变率可能促成了这种相似性,但结果表明,动力学响应在塑造区域冬季降水趋势中的作用尚不确定,不过可能正在显现。气候模型能否可靠再现受强迫影响的大尺度环流响应,仍然是提高区域降水预测置信度的关键。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1038/s41586-026-10474-y>

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

让“膜”法成真

(上接第 1 版)

培养“科学鉴赏力”

在杨正金的科研生涯中,几次关键选择背后的逻辑很明确:追逐前沿真问题。

例如博士毕业后,杨正金坚定地选择前往中国科大做博士后,师从徐铜文。因为他意识到,博士期间主攻的传统化工的汽油脱硫膜材料固然重要,但能源领域的膜材料未来的应用前景更广阔,其中离子膜的研发尤为重要。

还有一次重要的抉择发生在进入中国科大学习的第二年。彼时,为拓展课题组研究方向,徐铜文建议杨正金到国外访问学习一段时间。

杨正金正为离子膜在燃料电池领域的应用而苦恼:膜材料缺乏新意,商业化受限于国外产品的垄断和贵金属材料的高成本。他恰好看到了美国哈佛大学教授 Michael J. Aziz 课题组发表的水系有机液流电池成果。他们创新性地用碳、氢、氮、氧等元素组成的有机小分子替代金属活性物质作为正负极电解质。

“这种新电池同样需要高性能离子膜,而我最擅长的微孔离子膜技术正好可以与之结合。”杨正金敏锐捕捉到了这条出路。

当时杨正金还有前往另一所海外大学学习的机会,能积累一些在顶级期刊发表的经验。

徐铜文的建议坚定了杨正金的决心:“去哈佛。”他给出的理由是,“要跟全世界最厉害的人待在一起。”

到了哈佛大学,杨正金发现身边人并不纠结于细枝末节的改进,而是聚焦可再生能源储能、二氧化碳利用等大问题。他们对全球前沿动态、顶尖团队布局熟稔于心,讨论问题时能从理论推导延伸到实验设计,一口气写满几块黑板。

“这是一种‘科学鉴赏力’,即能判断什么才是真问题,什么才是本质。”杨正金总结道。

回国后,杨正金把这种氛围“搬”进了自己的课题组。他不再只要求学生汇报数据,而是反复追问这个领域的前沿在哪儿、痛点在哪儿、思考是否触及本质,并且鼓励不同背景的学生合作,取长补短。

回头看,正是瞄准前沿真问题的眼界,为杨正金实现原创性突破、做“有用的研究”埋下了伏笔。