

2023 年天文学热点回眸

杨隽^{1,2}, 赵桐^{1,2}, 宋宇佳^{1,2}, 苟利军^{1,2*}

1. 中国科学院国家天文台, 北京 100012

2. 中国科学院大学天文和空间科学学院, 北京 100049

摘要 回顾了 2023 年天文学领域的重大成果与进展。詹姆斯·韦布空间望远镜产生诸多新发现, 对星系形成、系外行星探索等方面提供了重要数据; “中国天眼”超高的灵敏度使它在短时间内得到足够精确的数据, 率先探测到纳赫兹引力波存在的关键证据; 欧几里得空间望远镜升空并发回了第一批图像, 接过普朗克卫星的接力棒, 继续对宇宙暗能量、暗物质进行探索; 墨子巡天望远镜正式启用, 为北半球光学时域巡天提供了新的支持; 小行星撞击实验分析结果出炉, 为未来的行星防御计划提供了实证基础; 探月热潮再次席卷全球, 印度成为第 4 个成功在月球表面着陆的国家; 观测发现了更多的新系外行星, 拓展了人类对宇宙的认识; 火星全球图像的公开、木星冰卫星探测器的发射, 为太阳系科学研究带来新的进展; 黑洞高清照、全景照发布, 为理解黑洞周围的复杂结构提供了新视角, 宇宙年龄受到质疑, 实际年龄可能加倍。

关键词 天文学; 空间望远镜; 月球探测; 小行星; 黑洞

2023 年对天文学领域是一个充满重大突破和创新成果的年份。在这一年里, 见证了多项里程碑式的科学发现和技术进展, 不仅拓展了对宇宙深层次理解的边界, 还为未来的宇宙探索开辟了新的道路。

詹姆斯·韦布空间望远镜自启动以来, 带来了许多新的发现, 特别是在早期星系形成和系外行星研究等关键领域提供了前所未有的数据。其高分辨率和深空观测能力, 揭示了宇宙最深处的奥秘。

“中国天眼”依旧表现出色, 高灵敏度使得在短时间内获取了极为精确的数据, 特别是在探测纳赫兹引力波存在的关键证据方面取得了突破性进展, 为理解宇宙的引力波背景提供了新的视角。欧几里得空间望远镜的成功发射标志着另一项天文学广域巡天方面的巨大进步, 这台望远镜的首批图像继承了普朗克卫星的使命, 继续深化对宇宙暗能量和暗物质的理解。此外, 墨子巡天望远镜的正式启用,

收稿日期: 2023-12-18; 修回日期: 2023-12-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(12273058)

作者简介: 杨隽, 硕士研究生, 研究方向为恒星级黑洞爆发现象, 电子信箱: yangjun@bao.ac.cn; 赵桐(共同第一作者), 硕士研究生, 研究方向为恒星级黑洞爆发现象, 电子信箱: zhaotong@bao.ac.cn; 宋宇佳(共同第一作者), 博士研究生, 研究方向为恒星级黑洞爆发现象, 电子信箱: songyj@bao.ac.cn; 苟利军(通信作者), 研究员, 研究方向为恒星级黑洞爆发现象, 电子信箱: lgou@nao.cas.cn

引用格式: 杨隽, 赵桐, 宋宇佳, 等. 2023 年天文学热点回眸[J]. 科技导报, 2024, 42(1): 72-86; doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2024.01.004

为全球天文学界特别是北半球的光学时域研究带来了新的动力,不仅加强了对宇宙的观测能力,还为天文学的多领域研究提供了新的机会。小行星撞击实验的成功不仅验证了行星防御技术的实用性,还为未来可能的小行星撞击威胁提供了一个有效的解决方案。该实验的结果详细分析,为未来的行星防御计划奠定了坚实的实证基础。在探月方面,印度成为继美国、俄罗斯和中国之后第4个在月球表面成功实现软着陆的国家,这一成就再次点燃了全球对探月和太空探索的热情。在系外行星的探索领域,观测发现了更多极具特色的新系外行星,不断拓宽了对宇宙的认知和想象。火星全球图像的获取和木星冰卫星探测器的发射,为太阳系内部的科学研究带来了新的突破。科学家进一步获得了黑洞的高清和全景图像,提供了关于这些神秘天体周围复杂结构的新见解。此外,关于宇宙年龄的新理论挑战了传统观点,提出宇宙的真实年龄可能是之前估计的2倍,这一假设如果得到证实,将重塑对宇宙历史和发展的整体认识。

1 詹姆斯·韦布空间望远镜的新成果

詹姆斯·韦布空间望远镜(James Webb Space Telescope, JWST, 简称韦布空间望远镜)是目前世界上最强大的红外望远镜。他的科学目标包含4方面:寻找宇宙中第一批恒星,研究星系的演化,观察恒星的生命周期,研究行星系统和生命起源^[1]。在2023年,韦布空间望远镜发现超出预期的大质量早期星系群,加深了对系外行星 TRAPPIST-1b 的认识,探测到了宇宙中最古老的星系团、在早期星系中发现了复杂的有机分子,在原行星盘中探测到了甲基阳离子,还发现了暗星的候选天体。

韦布空间望远镜在美国东部时间2021年12月25日07:20搭乘欧洲空间局(European Space Agency, ESA)阿丽亚娜5型火箭,从法属圭亚那库鲁的圭亚那航天中心(Le Centre Spatial Guyanais, CSG)发射升空,最终抵达距离地球150万km的日地拉格朗日点L2处。它携带了4种科学仪器,分别是近红外照相机 NIRCam、近红外光谱仪 NIRSpec、近

红外成像仪和无缝光谱仪 NIRISS,以及中红外仪器 MIRI。在这些仪器的帮助下,韦布空间望远镜产出了大量宝贵科学成果^[1]。

利用韦布空间望远镜,科学家发现了一个独特的大质量星系群,这些星系的质量超出了目前对早期星系的质量预期,相关研究成果于2023年2月22日发表在《Nature》^[2]。它们的红移 z 介于7.5~9.1,处于宇宙大爆炸后5亿~7亿年。这些星系的质量均高于100亿倍太阳质量,甚至可能存在质量约为1000亿倍太阳质量的大星系。此前由于仪器限制,在红移 $z>6$ 处发现大质量星系十分困难,而韦布空间望远镜的这一发现对早期星系形成提供了新认知。

3月31日,《Nature》刊登了一篇关于系外行星 TRAPPIST-1b 的研究^[3],这颗地球大小的行星曾被认为具有宜居性,然而通过韦布空间望远镜的观测,并未探测到大气层的存在。这项发现使预计的宜居系外行星潜在数量进一步减少。此前,哈勃空间望远镜也对这颗系外行星进行过探测,同样未发现大气层存在的迹象。研究团队评估了 TRAPPIST-1b 的热辐射,数据显示其辐射与 TRAPPIST-1 恒星入射通量的再辐射高度一致,且这些再辐射仅来自行星的白天半球。该结果表明,TRAPPIST-1b 的大气层可能极其稀薄或完全不存在,并且未检测到二氧化碳或其他大气组分的吸收迹象。

美国航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)于4月24日宣布,韦布空间望远镜发现了宇宙中迄今为止已知的最古老的星系团^[4]。这个星系团由7个星系组成,红移 $z=7.9$,即处在宇宙大爆炸后约6.5亿年的时期(图1)。根据

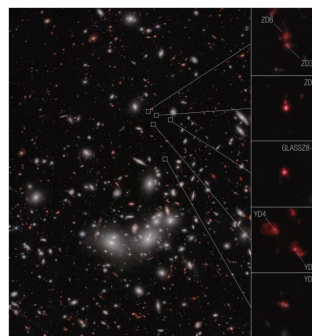


图1 原星系团的JWST图像

(图片来源:NASA, ESA, CSA, Takahiro Morishita(IPAC))

收集到的数据,天文学家计算了这个星系团的未来演化趋势,预计它的大小和质量将增长到与现代宇宙的最大星系团——彗发星团相当的地步,成为最大的星系团之一。

6月5日,《Nature》发表了韦布空间望远镜的一项发现,在宇宙大爆炸后不到15亿年的一个星系中发现了复杂的有机分子多环芳烃^[5]。多环芳烃通常会在产生大量紫外辐射的年轻恒星附近形成,而后参与形成星际尘埃,并对其他新恒星的形成产生影响。这项发现表明,宇宙早期的星系已经开始制造恒星。然而,在这个星系中多环芳烃分布并不均匀,具体原因仍待揭晓。该研究团队正在计划观察更多的遥远星系,搜索其中的多环芳烃,以更好地理解早期宇宙中的恒星形成过程。

6月26日,《Nature》发表了一篇关于韦布空间望远镜的研究成果,该研究在一个年轻恒星系统 d203-506 内的一个原行星盘中探测到了甲基阳离子^[6]。甲基阳离子是有机反应中常见的碳化合物分子,而碳化合物构成了目前所有已知生命的基础。d203-506 距地球 1350 光年,正在遭受附近年轻恒星的紫外辐射轰击。科学家普遍认为,紫外辐射会对有机分子造成破坏,但此次的发现表明,紫外线或许为甲基阳离子的生成提供了必要的能量。该研究对系外生命的搜寻提供了又一条新的线索。

7月11日,美国柯盖德大学 Cosmin Ilie 课题组与得克萨斯大学 Katherine Freese 等在《Proceedings of the National Academy of Sciences》发表论文^[7]。论文中提到,在韦布空间望远镜的观测数据中,研究团队发现了几个可能是暗星的候选天体,其观测数据与暗星的理论预测相当吻合。暗星是理论提出的一种早期恒星,形成于早期星系的中心,由暗物质湮灭供能,而不是依靠核聚变。暗星能够增长到 1000 万倍太阳质量,亮度高达太阳的 100 亿倍。在观测数据中,研究团队发现了 3 颗符合暗星特征的星体。

詹姆斯·韦布空间望远镜的一系列发现,充分展现了其作为全球最先进红外望远镜的实力。它描绘了一个更加丰富多彩的宇宙图景,不仅深化了我们对宇宙早期演化的理解,还更新了对行星系统

和生命起源的现有认知,为未来的天文学研究开辟了新的道路。

2 “中国天眼”带来的新发现

“中国天眼”正式名称为 500 米口径球面射电望远镜 (five-hundred-meter aperture spherical radio telescope, FAST),坐落于中国贵州省黔南布依族苗族自治州。自 2016 年建成以来,FAST 凭借自身卓越的灵敏度与极强的探测能力产生了许多重要的科学成果,成为中低频射电天文领域的利器。现在 FAST 项目已进入成果爆发期,2023 年依旧发布了多个重要成果^[8],发现了轨道周期最短的脉冲星双星系统,获得了纳赫兹引力波的关键证据,观测到了微类星体中的低频射电准周期振荡现象。

6月21日,《Nature》在线发表一项 FAST 重要发现,FAST 团队科学家发现了一个名为 PSR J1953+1844 (M71E) 的双星系统,轨道周期仅 53 min,是目前发现的轨道周期最短的脉冲星双星系统^[9]。此发现补充了蜘蛛类脉冲双星演化中缺失的关键一环。蜘蛛类脉冲双星是指,在双星系统中有一颗是脉冲星,其从伴星吸收物质,逐渐加速自身转速,行为就像自然界中雌性蜘蛛吃掉雄性伴侣以供养自身一样,它们便被命名为蜘蛛类脉冲星。由蜘蛛类脉冲星演化理论分析得到,双星的轨道周期会经历慢—快—慢的过程,此前探测中发现了许多处于演化前期与末期的双星(分别被称为“红背”与“黑寡妇”),但尚未发现处于它们演化中间状态的双星。此次发现补充了这个空白^[10]。此外,M71E 双星系统轨道面近乎朝向地球,这是罕见的情况,有希望在未来发现更多信息^[9]。

中国的脉冲星计时阵列团队通过分析 FAST 观测 3 年 5 个月的数据,得到纳赫兹引力波存在的关键证据,置信度高达 4.6σ ,研究成果于 6 月 29 日发表在《Research in Astronomy and Astrophysics》^[11]。纳赫兹引力波是一类振动速度极慢的引力波(图 2),其周期可长达数年,波长高达几光年,因此其观测极具挑战性。目前探测纳赫兹引力波的唯一方式是利用复数的自转极其稳定的 ms 脉冲星构成计

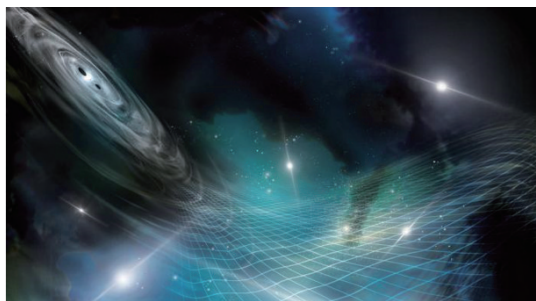


图2 纳赫兹引力波艺术图

(图片来源:Aurore Simonnet/NANOGrav Collaboration)

时阵列,通过比较其中的微小差异来发现纳赫兹引力波。目前全球存在6个主要的区域脉冲星定时阵列:帕克斯脉冲星定时阵列、欧洲脉冲星定时阵列、北美纳赫兹引力波天文台、印度脉冲星定时阵列、南非脉冲星定时阵列和中国脉冲星定时阵列。在中国脉冲星定时阵列发表成果的同时,其他组织也陆续发表了类似的成果,这表明人类打开纳赫兹引力波探测宇宙的新窗口只是时间问题。此次发现虽然尚未达到物理学的 5σ 标准,但无疑是振奋人心的。该项成果也被列入《Science》2023年十大科学进展^[12]。

7月27日,《Nature》报道了FAST的又一重大成果。一国际合作研究团队利用FAST对微类星体GRS 1915+105进行射电波段的连续光变与偏振监测,首次观测到微类星体中亚秒级低频射电准周期振荡现象,并发现该准周期振荡现象与黑洞系统的相对论性喷流直接相关。微类星体是由一颗高致密星(中子星或黑洞)与一颗普通恒星组成的双星系统,其中致密星吸积伴星的物质产生高温吸积盘与相对论性喷流,在观测上表现为间歇性或长期变化的X射线与射电辐射。GRS 1915+105作为微类星体,其黑洞以接近光速自转,具有丰富的X射线光变特征与间歇性射电喷流,但其喷流的动力学和快速光变的起源仍然是一个谜。FAST对这一黑洞射电辐射准周期振荡现象的发现,对于理解黑洞喷流的动力学和光变起源具有重要意义,打开了黑洞射电观测与研究的新思路^[13]。

FAST至今已累计发现800余颗脉冲星,其中有GC脉冲星44颗^[14],CRAFTS脉冲星188颗^[15],GPPS脉冲星637颗^[16],这些发现展示了FAST在射

电天文学领域的卓越性能和贡献。随着时间的推移,预期FAST将继续提供更多高质量的科学成果。

3 欧几里得空间望远镜升空

2023年7月1日17:12,欧洲空间局的欧几里得空间望远镜(Euclid space telescope,图3)搭乘SpaceX猎鹰9号火箭,从美国佛罗里达州卡纳维拉尔角发射,目的地是距地球150万km的日地拉格朗日点L2^[17]。这台望远镜的任务目标是解决宇宙学中最重要的一些问题:宇宙网的结构和历史是什么?暗物质的本质是什么?宇宙的膨胀是如何随时间变化的?暗能量的本质是什么?我们对引力的理解是完整的吗?由于宇宙中暗物质、暗能量的组成及演化与宇宙的几何形状密切相关,这项任务便以古希腊数学家欧几里得命名。欧几里得空间望远镜高约4.7m,直径约3.7m,由服务模块和有效载荷模块两大部分构成。其中有效载荷模块包括1个直径1.2m的望远镜和2个科学仪器,2个科学仪器分别为1个可见波长相机(可见光仪器)和1个近红外相机/光谱仪(近红外光谱仪和光度计)。服务舱搭载了卫星系统,包含发电和配电、姿态控制、数据处理电路、推进器、遥控和遥测以及热控制设备^[18]。

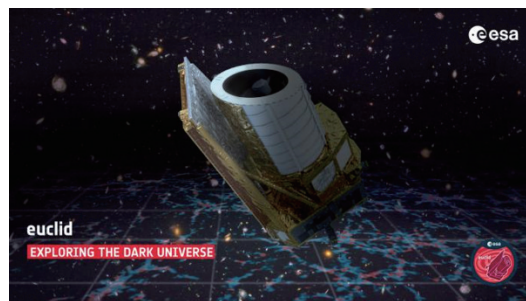


图3 欧几里得空间望远镜

(图片来源:ESA)

为深入探索宇宙膨胀的细节、宇宙结构如何形成、理解暗物质与暗能量的本质,欧几里得空间望远镜需要观测100亿光年范围内的数十亿个星系,横跨1/3的天空,绘制详细的宇宙物质分布图^[18]。为此,欧几里得空间望远镜具备了许多前所未有的优势。相较于韦布空间望远镜能够观察到遥远宇

宙的细致情况,欧几里得空间望远镜可以看得更快更广。

在单次观测中,欧几里得空间望远镜捕捉的天空数据量是韦布 NIRCam 相机的 100 倍以上。这意味着在 6 年的时间里,欧几里得空间望远镜能够以所需的清晰度覆盖 1/3 的天空。

欧几里得空间望远镜处于太空中,没有地球大气层的干扰,拍摄的图像相比地面望远镜清晰至少 4 倍。为适应其科学目标,欧几里得空间望远镜的光学系统更擅长拍摄大视场的宇宙图像。它的主镜尺寸小于哈勃空间望远镜,因此在细节分辨上略逊一筹,但分辨率足以实现它的科学目标。在欧洲空间局普朗克卫星对宇宙微波背景辐射的研究基础上,欧几里得空间望远镜将会进一步探索暗能量与暗物质,发掘宇宙的奥秘。

除了预定的科学目标之外,欧几里得空间望远镜还支持宇宙学以外的多种科学研究。通过它在近红外波段观察到的数十亿个星系的数据,天文学家可以从中获取许多方面的信息,这些信息有助于研究例如星系的合并历史与演化,还能够为恒星群、冷恒星、超新星、变星、系外行星、流星体等方面的研究提供宝贵的资料。除此之外,通过观察背景星系的放大、扭曲等,欧几里得空间望远镜还可以对研究星系中心巨大黑洞提供数据。通过对弱引力透镜效应以及星系集群效应的研究,欧几里得空间望远镜还能测试关于原初黑洞存在性的理论^[19]。

11 月 7 日,欧几里得空间望远镜首次公布了拍摄到的宇宙全彩图像(图 4)。此前从未有过望远



图 4 欧几里得空间望远镜拍摄的马头星云

(图片来源:ESA/Euclid/Euclid Consortium/NASA, image processing by J.-C. Cuillandre(CEA Paris-Saclay), G. Anselmi)

镜能够在如此广阔的一片天空上拍摄如此清晰的天文图像,并观察到如此遥远的宇宙。

这些图像展现了欧几里得空间望远镜强大的观测能力。从明亮的恒星到暗淡的星系,欧几里得空间望远镜都能够捕捉到天体的全部细节,即便放大遥远的星系,也依然清晰可见。

欧几里得空间望远镜的任务期限是 6 年。在发射后的几个月内,科学家和工程师们一直在紧张地测试和校准其科学仪器。在 2024 年初开始常规科学观测之前,团队再对航天器进行最后一次微调。期待未来欧几里得空间望远镜能带来对宇宙的新认知^[17]。

4 墨子巡天望远镜正式启用

2023 年 9 月 17 日,由中国科学技术大学和中国科学院紫金山天文台联合研制的巡天望远镜正式投入使用。这架望远镜全称为宽视场巡天望远镜(wide field survey telescope, WFST),绰号“墨子”(图 5)。

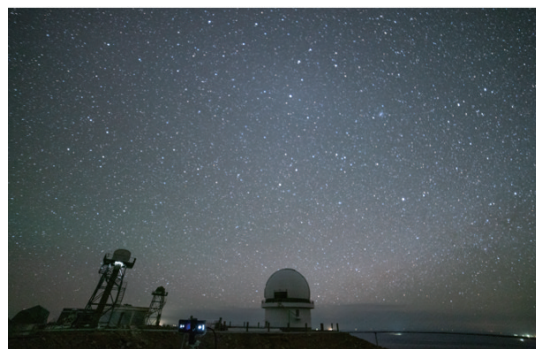


图 5 墨子巡天望远镜

(图片来源:中国科学技术大学)

WFST 的科学目标主要包括 4 方面:(1) 利用其高灵敏度观测北天区,捕捉时域事件,如引力波事件的电磁对应体、刚爆炸几小时的超新星、潮汐瓦解事件等;(2) 发现并跟踪 100 万个太阳系内天体,提供太阳系的全色视图,理解太阳系的动力学演化,寻找柯伊伯带及更远处的行星或其卫星;(3) 提供高精度的天体光谱测量,涵盖至 r 波段亮度仅有 25 等的天体,准确绘制银河系及邻近宇宙,

例如恒星的分布、旋臂结构等;(4) 通过6年的巡天数据,积累叠加图像,显著提升对银河系、星团和宇宙学的理解^[20]。

墨子巡天望远镜位于青海省海西蒙古族藏族自治州的冷湖附近,安置在海拔4200 m的赛什腾山顶。冷湖是一个绝佳的高质量天文观测地点,为时域天文学提供了理想的观测环境。这里晴夜的时间占比达70%,适合进行光度测量,视宁度中值低至0.75 arc sec。当地夜间温度变化中值仅为2.4℃,且55%的夜晚降水量水汽低于2 mm,地表空气非常稳定^[21]。这使得WFST将成为北半球光学时域巡天能力最强的设施之一。

WFST的主镜直径为2.5 m,具有高达3°的宽视场。它的光学系统包括主镜、5个校正透镜、大气色散补偿器和6个光学波段(u、g、r、i、z和w)的滤光片。望远镜配备了主动光学系统,能在视宁受限的条件下运行。其成像阵列由9个9K×9K的电荷耦合器件(charge-coupled device, CCD)组成,每个像素大小为10 μm,安装在主焦点平面上,有效视场约为6 deg²^[22]。

在过去10年,天文学家开发了众多宽视场望远镜以进行时域观测,例如位于美国加利福尼亚州的茨威基暂现源设施(Zwicky Transient Facility, ZTF)。尽管相比之下WFST的视场较窄,但它能比ZTF更深入地观测宇宙,发现更微弱或更遥远的天体。WFST也将会与位于智利即将启用的大口径全天巡视望远镜(Large Synoptic Survey Telescope, LSST)互补,分别负责北天区和南天区的时域巡天观测。此外,西半球已经有不少望远镜,而WFST地处东半球,它的建立能够覆盖更多的观测时段,增强天文学家连续数晚监测天体的能力,这对于追踪快速变化的天体(如接近地球的小行星)尤为关键^[23]。

自2023年9月启用以来,WFST已在近地小行星观测方面显示出强大的能力。2023年11月22日,国际小行星中心发布公告确认WFST新发现2颗近地小行星——2023 WX1和2023 WB2,这是由墨子巡天望远镜首次新发现的近地小行星。这2颗小行星均在11月18日首次被观测到,并迅速确

定了其轨道。2023 WX1的预估直径约170 m,轨道与地球的最近距离为0.0416天文单位,大约是地月距离的16倍^[24]。

总体而言,WFST的科学目标非常宏大和多样,它将在监测快速变化的天体、跟踪太阳系内天体、精确绘制银河系的结构等多方面发挥重要作用。通过这些目标的实现,WFST预期为天文学领域带来许多新发现和更深入的理解。

5 小行星撞击实验新结果

双小行星重定向测试任务(Double Asteroid Redirection Test, DART)是NASA发起的一项极具创新的任务,旨在测试针对近地天体的防御策略(图6)。该任务的关键目标是,假设有小行星撞击地球时,我们是否能有效地改变小行星轨道,使地球免受威胁。DART是世界上第一个对小行星进行的大规模、高速撞击实验,对行星防御研究具有里程碑意义。



图6 DART任务艺术想象图

(图片来源:NASA/Johns Hopkins APL/Steve Gribben)

该探测器于美国东部时间2021年11月24日1:21发射,并已于2022年9月26日成功撞击目标——李小星(Dimorphos)小行星,这是李大星(65803 Didymos)小行星的一个天然卫星^[25]。这次撞击取得了显著的成功,2022年10月11日,NASA宣布李小星的轨道周期缩短了约32 min,远远超过了预期设置的73 s。这次撞击所获得的数据同样是一笔宝贵的财富,可以评估和完善未来遇到小行星撞击威胁时我们能够采取的防御措施。2023年4月20日,小行星测试团队在《Nature》发表了5篇关于该

实验的研究论文,宣布了该实验带来的一系列研究成果,并且证实了该防御策略的可行性。

第一篇论文对 DART 任务进行了详细的介绍,该任务测试了应用于小行星偏转的动能撞击技术^[26]。此次任务的目标是双小行星系统李女星中的次级成员,即小行星李女星。论文中详细描述了探测器成功撞击李女星的过程,包括撞击的时间线、撞击的地点等相关信息。研究证实,动能撞击器技术能够有效执行小行星防御任务。此外,研究发现对于直径约半英里的小行星,不需要进行前置侦察任务就能够实现拦截。这对于将这项技术推广到实际应用方面有着重大意义。

DART 任务成功实施后,科学家对目标小行星的轨道周期变化进行了深入研究^[27]。研究人员通过不同的方法进行了相互独立的观测,结果表明 DART 的撞击导致李女星的轨道周期缩减了(33.0 ± 1.0) min,远超预期的 73 s。如此显著的轨道周期变化表明,除了 DART 撞击带来的动量变化外,通过撞击产生的喷出物也为小行星额外提供了大量的动量。这一结果再次证明了撞击技术作为小行星防御手段的可靠性,成功演示了通过高速撞击改变小行星轨道的可行性。

DART 不仅成功改变了李女星的轨道周期,还揭示了小行星在精确已知条件下撞击产生尾巴的过程^[28]。研究团队通过哈勃空间望远镜,对 DART 撞击后 15 min 到 18.5 d 的李女星喷出物进行了细致观测,对喷出物的演变过程进行了详细研究。观测结果表明,喷出物的运动首先由李女星双星系统以及弹射尘埃之间的引力相互作用主导,随后转由太阳辐射压力主导。研究还发现,低速喷出物通过持续的尾流分散,其形态与此前观察到的被撞击后产生尾巴的小行星一致,说明尾巴是由于撞击产生的。这些关于喷出物演变的研究为理解自然撞击对小行星造成的影响提供了重要基础。

另一篇论文中,研究人员还测定了动能撞击传递给小行星的动量^[29]。基于双星轨道周期的变化,李女星沿轨道方向的速度瞬间减少了(2.70 ± 0.10) mm/s。这一结果表明,撞击产生喷出物的后坐力大幅度地改变了小行星的动量。计算结果还表明,

与 DART 撞击小行星本身的动量相比,逃逸的撞击喷出物转移给李女星的动量要大得多。在改变小行星动量这一方面,喷出物起到了重要的作用,进一步证实了 DART 改变小行星轨道的高效性。

最后一篇论文中,研究团队对比分析了 DART 撞击前后李女星的光学观测结果^[30]。研究人员发现,撞击时的最大亮度增加了(2.29 ± 0.14) 星等,随后在(23.7 ± 0.7) d 内逐渐恢复到撞击之前的亮度。该研究还基于尘埃颗粒的大小估算了喷出物的质量下限,约为李女星质量的 0.3%~0.5%。此外还观测到喷出物在撞击时刻颜色变红的现象,后续又恢复到原来的颜色。这些宝贵的观测数据得益于全球公民科学家使用望远镜所做的贡献。

这 5 篇文章从不同方向进行研究,组成了对 DART 撞击小行星(李女星)任务后续结果的全面分析:具体包括轨道周期变化、动量转移、喷出物演化、光变曲线和颜色变化等多方面的研究成果。这些观测结果是测试动量撞击技术实现小行星防御必需的一部分。DART 任务的圆满完成,不仅实现了小行星防御的技术验证,还提供了人造撞击改变小行星轨道的相关知识,为未来的行星防御计划提供了实证基础。

6 月球成为探索焦点

月球作为地球的天然卫星以及人类探索太空的第一站,一直是科学研究的热点。2013 年,中国成功发射了“嫦娥三号”月球探测器,携带“玉兔号”月球车在月球上实现了软着陆,这是自 1976 年苏联的 Luna 24 任务以来首次软着陆月球^[31]。10 年后,探月热潮再次席卷全球。日本公司 ispace 的 HAKUTO-R Mission 1(M1)、俄罗斯的 Luna 25 任务以及印度的 Chandrayaan-3 任务,都在争夺月球探索的新高地。此外,中国公布了载人登月计划的初步方案,目标是将宇航员送上月球表面,进一步加深对月球的理解和探索。

ispace 是日本一家上市公司,主要致力于开发航天器及相关技术。HAKUTO-R Mission 1 于 2023 年 4 月 25 日尝试在月球的阿特拉斯环形山着

陆。M1搭载了阿联酋的Rashid探测车,于2022年12月11日从佛罗里达州的卡纳维拉尔角搭乘SpaceX的猎鹰9号火箭升空,并于2023年3月21日进入月球轨道。如果这次任务成功,M1将成为第一个完成月球着陆的商业任务,同时也标志着日本与阿联酋首次登陆月球^[32]。但着陆器在下降过程的最后几百米,进入了自由落体状态,最终在距离月球表面约90 m时与地面团队失去了联系,未能成功着陆。尽管M1的着陆尝试没有成功,但ispace团队仍从中获得了宝贵的经验和数据,为他们未来的月球探索任务奠定了基础^[33]。

自1976年的Luna 24任务后,俄罗斯便停止了探月工程,直到47年后才开启新一轮Luna 25探月任务。Luna 25探测器被设计为可以在月球表面停留长达12个月,目标是在月球南极附近的博古斯瓦夫斯基环形山着陆,探索可能存在的大量水冰。2023年8月10日,Luna 25从俄罗斯东部的东方航天发射场发射,原定计划于8月21日在月球南极着陆^[34]。月球南极在科学研究和战略上都极具价值,这次任务不仅对俄罗斯的太空计划具有重要意义,同时也是国际社会对月球南极进行科学研究和资源开发所迈出的重要一步。8月19日,Luna 25在试图降低绕月轨道时与地面失去联系,俄罗斯联邦航天局(Roscosmos)后续确定Luna 25探测器因撞击月球表面而“不复存在”。尽管Luna 25任务失败了,但俄罗斯计划中的Luna 26(轨道飞行器)和Luna 27(着陆器)2个后续任务仍可能继续进行^[35]。

这些月球探测任务的结果突显着在月球上成功着陆的难度。失败是在太空探索历程中难以避免的一部分,但它们最终却是实现成功的关键步骤。印度曾于2019年发射了Chandrayaan-2,目标之一是在月球表面成功软着陆并释放探测车,但着陆器在距离月面2.1 km高处失去信号,后续确认着陆器坠毁。这次的失败为印度空间研究组织(Indian Space Research Organisation, ISRO)提供了宝贵的经验^[36],在Chandrayaan-2的经验基础上,ISRO对接下来的Chandrayaan-3任务进行了一系列改进,包括采用更精确的运行偏差判断与着陆地形评估算法,添加更多的太阳能电池板,增加燃料载量等,

并额外加强支撑腿的稳定性,还选择了更大的着陆区域^[37]。2023年7月14日,Chandrayaan-3于印度萨迪什·达万航天中心发射升空^[38]。8月23日,Chandrayaan-3成功按计划在月球南极附近着陆(图7),使印度成为继美国、苏联和中国之后,第4个成功在月球表面着陆的国家,也是首个在月球高纬度地区(距离南极约600 km)着陆的国家^[39]。这一成就不仅是印度对空间技术的重大突破,也是全球太空探索领域的重要成就。即使面对挑战和失败,持续的努力和改进依旧能够带来显著的成果。这些经验对于未来的月球探索及其他深空任务有着重要的参考价值。

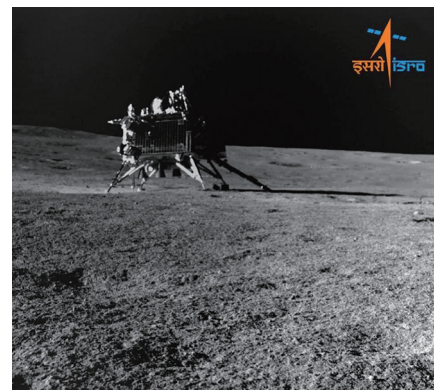


图7 由Pragyan月球车拍摄的Vikram着陆器
(图片来源:ISRO)

2023年7月12日,中国载人航天工程办公室公布了中国载人登月计划的初步方案^[40]。这一消息是在武汉举行的第九届中国(国际)商业航天高峰论坛上由中国载人航天工程项目副总设计师张海联宣布的。中国计划在2030年前成功将宇航员送上月球,进行科学探索;同时计划在月球上建立一个科研试验站,执行更加系统化的月球探测和技术试验。按照初步的登月方案,航天部门拟采用2枚运载火箭,分别运送月面着陆器和载人飞船至月球轨道,2者分别负责月球探测与航天员运载。抵达月球轨道后,两艘飞船将在环月轨道上进行交会对接,航天员将从载人飞船转移到月面着陆器,随后降落至月面预定区域进行科学考察与样本采集。任务完成后,航天员将乘坐着陆器,返回环月轨道与载人飞船再次对接,最终携带样品乘坐飞船返回

地球。为实现这一宏伟的任务,科研人员正致力于研发长征十号运载火箭、新一代载人飞船、月面着陆器、登月服、载人月球车等关键装备,突破其中的关键技术。这一计划的实施将是中国航天史上的重要里程碑,同时也将为全球的太空探索事业贡献重要力量。

7 系外行星研究进展

凌日系外行星勘测卫星(Transiting Exoplanet Survey Satellite, TESS),又名“苔丝”,是NASA天体物理学探测器任务所发射的探测器,旨在发现天空中最亮的矮星周围轨道上的数千颗系外行星。其任务是对太阳系周边进行为期2年的调查,监测恒星亮度的变化以发现可能存在的行星凌日,该任务已于2020年7月4日结束。“苔丝”现在处于寻找银河系其他太阳系外行星的新任务中。目前“苔丝”已发现7021颗系外行星候选体,其中410颗已确认^[41]。

在2023年确认的行星中,包括1颗新的热木星TOI-778b^[42],以及8颗新的超级地球TOI-238b、TOI-771b、TOI-871b、TOI-1467b、TOI-1739b、TOI-2068b、TOI-4559b、TOI-5799b^[43]。除此之外,经由“苔丝”最初发现,后来经过其他望远镜进一步观察,2023年还发现了一个罕见的六行星共振的星系HD 110067^[44]。

TOI-788b是“苔丝”通过凌日法发现的,它是木星的1.37倍大,质量约是木星的2.8倍。它到主星的距离只有0.06个天文单位,比水星的轨道还小,只需4.63 d便可绕行一周,估算它的表面温度可达1288℃。研究团队发现,TOI-778 b与其主星的赤道几乎在同一个平面上,他们认为这可能说明TOI-778 b的演化过程相对平静,没有出现混乱动荡的时期^[42]。

在8颗新发现的超级地球中,它们的质量分布在地球质量的2.7~4.4倍,半径则分布在地球半径的1.4~1.8倍。研究人员发现,其中6颗属于被称为“基石行星”的区域,这使它们成为进行下一步研究的绝佳候选。在系外行星科学中,基石行星是指那些有助于帮助解释系外行星总体数量的行星,具

体是指能够帮助解释系外行星分布在1.5~2倍地球半径处的缺失这一问题的行星。除了TOI-771b与TOI-4559b,其余6颗超级地球都处于此范围。尽管TOI-771b与TOI-4559b不属于基石行星,但研究人员也发现,这2颗超级地球很适合使用詹姆斯·韦布空间望远镜进行大气透射研究。研究团队对这8颗超级地球都进行了大气层模拟,发现有存在水、二氧化碳与甲烷的可能,这使研究人员对它们产生更浓厚的兴趣^[43]。

HD 110067的前2颗行星是“苔丝”发现的,它们的轨道周期分别为9.1与13.7 d。随后欧洲空间局的系外行星特征分析卫星(CHaracterising EXO-Planets Satellite, CHEOPS)发现了第3颗行星,轨道周期为20.5 d。除此之外,剩余的4次凌日在研究人员的努力下,发现分别对应于轨道周期为30.8、41.1与54.7 d的3颗行星。如此一来,HD 110067的行星间拥有完美的轨道共振,前4颗行星间的轨道共振比为2:3,后3颗行星间的轨道共振比为3:4(图8)。这样的轨道共振是罕见的,并且也很不稳定,受到外界扰动便会被破坏。因此研究人员推断,HD 110067可能自数十亿年前形成以来便一直保持这个不稳定的轨道共振结构直至今日^[44]。

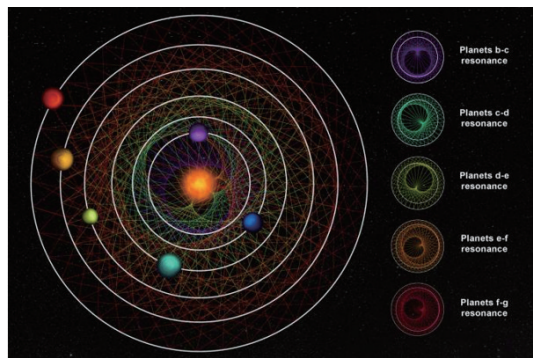


图8 HD 110067系统的6颗行星由于它们的共振链而共同创造了一个令人着迷的几何图案
(图片来源:Thibaut Roger/NCCR PlanetS)

除了“苔丝”之外,韦布空间望远镜也在系外行星的探索中贡献了一份力量。通过红外相机, JWST探测到了许多系外行星,包括下石英雨的行星WASP-17b^[45]与有着硅酸盐沙云的蓬松行星WASP-107b^[46]。

WASP-17b 是一颗热木星, 距离地球 1300 光年。韦布空间望远镜在分析 WASP-17b 大气层 5~12 μm 红外光谱时发现了石英形态的二氧化硅的特征吸收, 这是科学家首次在系外行星的大气中发现纯二氧化硅而非硅酸盐。石英是地球上常见的矿物之一, 而在 WASP-17b 上, 石英以粒度 10 nm 的气溶胶形式存在于大气中。WASP-17b 的大气温度约为 1500 $^{\circ}\text{C}$, 但气压只有地球大气压的 1/1000, 这为石英晶体从大气中析出创造了条件^[45, 47]。

WASP-107b 是一颗类似海王星的系外行星, 轨道半径只有 0.055 个天文单位, 环绕主星一周只需 5.7 d。它的质量与海王星相近, 却有着木星的体积, 这使得它相当“蓬松”, 韦布空间望远镜的中红外仪器可以看到 WASP-107b 的大气层更深处, 获得更多信息。观察发现, WASP-107b 的大气中具有水蒸气、二氧化硅与硅酸盐云。硅酸盐在地球上沙子的主要成分, 而在 WASP-107b 中, 硅酸盐在星球深处被蒸发, 到高层大气中凝结为沙子的雨滴, 而后落下, 就像地球上的水循环一样^[46, 48]。

对系外行星的探索总能一再更新对地外世界的认识, 拓宽人们的想象力。TESS、JWST 等天文探测仪器还在继续带来新数据, 未来的系外行星探索也将持续进行下去。

8 太阳系内的新视野

2023 年在太阳系内的科学研究领域也产生一系列突破性的成就。加州理工学院发布了目前最高分辨率的火星全球影像, 揭示了这颗红色星球的更多细节。中国成功制作了基于天问一号探测器数据的首张火星全球影像图, 进一步扩展了对火星的认识。此外, 欧洲空间局发射木星冰卫星探测器, 计划对太阳系内最大的卫星木卫三进行深入研究。

2023 年 4 月, 加州理工学院研究人员发布了一幅全新的火星全球影像, 这是使用 NASA 的火星勘测轨道飞行器 (Mars Reconnaissance Orbiter, MRO) 的数据制作的, 开发过程花费了成千上万小时, 是迄今为止创建的分辨率最高的火星全球图像。尽管 MRO 最初的设计寿命仅为 2 年, 但它实际运行

时间远远超出预期, 自 2006 年抵达火星后, 至今仍在继续执行任务^[49]。

这幅拼接图像是由 MRO 的背景相机拍摄的约 11 万张图像组成, 每个像素覆盖近 25 m^2 的火星表面。图像展示了火星的悬崖、撞击坑和尘埃带等细节, 像素总数达到了惊人的 5.7 万亿。如果将这幅图像打印成正方形, 边长达到约 200 m, 足以覆盖 2 个足球场。这张火星全球图不仅细节丰富, 而且向公众开放, 任何人都可以在线查看和使用它, 从而更深入地了解火星的地貌和特征^[50]。

2023 年 4 月, 国家航天局和中国科学院联合发布了首次火星探测火星全球影像图。这是基于 2020 年发射的天问一号火星探测器的详细观测成果。天问一号探测器在 2020 年 7 月 23 日发射后, 经历了 202 d 飞行, 最终成功进入火星环绕轨道。2021 年 5 月 15 日, 着陆巡视器在目标区域着陆, 随后祝融号火星车开始了表面探测任务。截至 2021 年 8 月 15 日, 祝融号行驶了 2000 m 左右, 完成了既定的 90 个火星日的探测任务, 并继续执行额外的拓展任务。至 2022 年 6 月 29 日, 天问一号环绕器完成了对火星的全球遥感探测, 目前已运行超过 1000 d, 状态良好, 并继续进行科学探测, 积累原始数据。这标志着中国火星探测任务在环绕、着陆和巡视探测方面均取得了圆满成功^[51]。

中国发布的火星全球影像图是彩色的, 并按照制图标准, 分别制作了火星东西半球的正射投影图、鲁宾逊投影图和墨卡托投影加方位投影图。这些图像的空间分辨率为 76 m, 为火星探测工程和科学研究提供了高质量的基础底图。这一成果为全球科学界提供了宝贵的数据资源, 有助于深化对火星地貌和环境的了解。

除此以外, 欧洲空间局于 2023 年 4 月 14 日发射了木星冰卫星探测器 (Jupiter Icy moons Explorer, JUICE), 这是一个开创性的任务, 将是首次有航天器长期环绕其他行星的卫星运行 (图 9)。JUICE 的主要目标是研究木星的 3 颗伽利略卫星: 木卫二、木卫三和木卫四^[52]。

JUICE 的航行轨迹非常曲折。为到达木星, 它将利用引力弹弓效应进行多次加速, 包括 2025 年

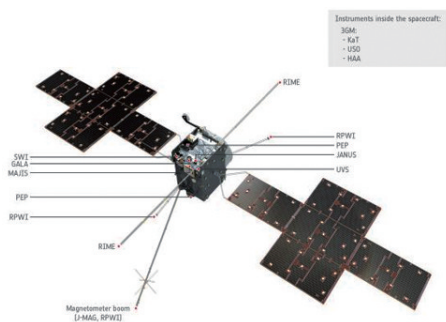


图9 JUICE卫星上的仪器
(图片来源:ESA/ATG medialab)

绕金星一次,以及在2026年和2029年再次绕地球2次,最终预计2031年抵达木星。在到达木星后,计划对木卫四和木卫二分别进行21次和2次的飞越探测,然后进入木卫三的500 km高度轨道,至少运行9个月。

对木卫三的研究是JUICE任务的重点之一。该卫星十分独特,它是太阳系中最大的卫星,也是目前已知的唯一拥有自己磁场的卫星。科学家认为,木星的一些冰卫星虽然表面主要由水冰构成,但下方可能隐藏着液态水海洋,这为生命的存在提供了潜在的环境。JUICE配备的激光高度计将用于制作地形图,这是验证海洋存在的关键测试之一。此外,由于木卫三在其轨道上与木星的距离存在微小的变化,它在潮汐力作用下会发生拉伸和压缩,这可能导致表面高达10 m的上下摆动。总的来说,JUICE任务是欧洲空间局对木星卫星的重要探索,将提供有关这些卫星的重要信息,尤其是关于它们冰层下潜在海洋的研究,为太阳系科学研究带来新的突破。

9 黑洞的新照片

在黑洞研究领域,2023年科学家也取得了一系列重要突破,进一步揭示了这些神秘天体的秘密。普林斯顿高级研究所的研究团队开发了新算法,重建了M87黑洞的高清图像,能够更精确地观察黑洞的特征。中国科学院上海天文台研究员路如森带领的国际团队,创造了黑洞的第一张“全景照”,提供了黑洞周围复杂结构的新见解。哈佛史

密松天体物理中心团队发现了目前已知最遥远的黑洞,为理解宇宙早期超大质量黑洞的形成和演化提供了关键线索。

回顾2017年,事件视界望远镜(Event Horizon Telescope, EHT)运用了甚长基线干涉仪(very long baseline interferometer, VLBI)技术,在1.3 mm波段成功获取高精度观测数据,这是首次获取M87星系和银河系中心黑洞视界范围的图像。M87是一个邻近的射电星系,对于研究黑洞的吸积和喷流过程十分重要。虽然EHT的望远镜阵列遍布全球,但其分布较为分散,这给干涉成像技术带来一定难度。

为解决这个问题,普林斯顿高级研究所的一个研究团队利用2017年EHT数据,开发了一种新颖的图像重建方法,称为主成分干涉建模(principal-component interferometric modeling, PRIMO)。该团队的研究成果已在2023年4月《Astrophysical Journal Letters》发表^[53]。PRIMO算法通过在超过3万张基于广义相对论磁流体动力学模拟的高分辨率黑洞吸积图像上进行训练,有效克服了毫米波干涉测量中稀疏阵列的挑战,实现了M87黑洞的高清图像重建。采用这种方法,研究人员获得了一个更清晰、更详细的黑洞环形图像,直径约41.5 mas,相较于以前的图像更为精确。

路如森研究团队对M87黑洞的阴影、吸积盘及相对论性喷流进行了同步成像,创造了黑洞的第一张“全景照”。这一重要发现于2023年4月底在《Nature》发表(图10)^[54]。该研究基于2018年EHT对M87的3.5 mm波长观测,清晰地展示了M87的

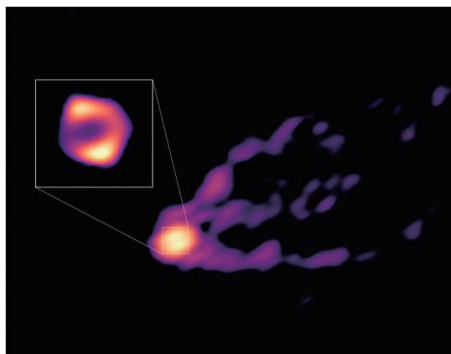


图10 M87黑洞射电核
(图片来源:R.-S. Lu (SHAO), E. Ros(MPIfR), and S. Dagnello(NRAO/AUI/NSF))

致密射电核。本次观测利用了全球毫米波 VLBI 测量阵列,并联合阿塔卡马大型毫米/亚毫米阵列和格陵兰望远镜。成像结果显示了一个直径为 8.4 倍史瓦西半径的环状结构,相比在 1.3 mm 波长下观测到的环,直径大了 50% 左右,并显示环的外缘也更大。

图 10 中可以看到 3 股喷流从射电核中喷射出来。核心区域显示为一个微弱的环状结构,其南北两侧的亮度显得更亮。这项研究成果提供了关于 M87 黑洞周边复杂结构的新见解,特别是关于黑洞吸积和喷流形成的细节。“以前我们曾在单独的图像中分别看到过黑洞和喷流,但现在在一个新的波段拍摄了黑洞和喷流的全景图”,路如森解释道,“之前看到的环状结构在 3.5 mm 波长变得更大、更厚。这表明在新的图像中可以看到落入黑洞的物质产生了额外的辐射。这使我们能够更全面地了解黑洞周围的物理过程”^[55]。

哈佛史密松天体物理中心的研究团队近期发现了目前已知最遥远的黑洞,成果在 2023 年 11 月发布于《Nature Astronomy》。研究人员使用钱德拉 X 射线天文台和詹姆斯·韦布空间望远镜的数据,确定了一个位于类星体 UHZ1 中心、红移 z 约为 10.3 的超大质量黑洞。UHZ1 距离地球约 132 亿光年,那时宇宙的年龄仅为现在的 3%,大约是宇宙大爆炸后 4.7 亿年^[56]。UHZ1 位于 Abell 2744 星团后方,由于引力透镜效应,UHZ1 显得更亮并成为可观测对象。根据对 UHZ1 的光谱研究,发现这个类星体的热亮度约是 5×10^{45} ergs/s,中心黑洞质量估计在 1000 万到 1 亿倍太阳质量之间。这个黑洞质量占所在星系总恒星质量的 10%~100%,与银河系中心黑洞质量相比(大约占银河系恒星总质量的 0.1%),这一比例显得异常巨大^[57]。这一发现对于理解第一批超大质量黑洞的形成和演化至关重要,为重种子起源假说提供了有力支持。假说认为,宇宙早期超大质量黑洞可能直接源自气体云的塌陷。

10 宇宙年龄的重估

宇宙的年龄一直是天文学和宇宙学中最根本

的问题之一。传统的观点认为,自宇宙大爆炸以来,已经过了大约 137 亿年。然而,2023 年这一长期被广泛接受的观点受到了挑战。加拿大科学家 Gupta 提出,宇宙的年龄应该修正为 267 亿年,是之前预估值的 2 倍^[58]。韦布空间望远镜的观测证实,在宇宙大爆炸早期就已经存在星系,并且其数量密度比目前的星系形成模型给出的预期要高,而这些模型是通过哈勃空间望远镜的观测结果来建立的^[59]。正如美国科学记者 Alexandra Witze 在《Nature》的一篇新闻文章中所说,“这些发现令天文学家眼花缭乱,它们揭示出,恒星和星系的形成和演化比任何人预期的都要早得多^[60]。”这些令人惊讶的观测结果与理论预测的巨大差距使问题变得更加尖锐,因此 Gupta 提出,需要修改现有的星系形成模型以及宇宙学模型来解决该问题,他提出了一个新的扩展模型,通过修改度规并且添加一个新的“耦合常数”,重新计算了宇宙学方程,并将光子疲劳假说纳入考虑范围,最后得到的预测结果与韦布空间望远镜观测结果相符,并且将宇宙的年龄延长到了 267 亿年。这一新模型提供了足够的时间来形成我们观测到的距离遥远的巨大星系,解决了“不可能的早期星系”的问题^[58]。

天文学就是这样一门与众不同的物理学科,观测和理论相辅相成,二者无法脱离。当最先进的理论无法完全解释观测结果时,科学家就要绞尽脑汁提出各种可能的解决办法。无论是看上去奇怪的理论还是已经过时的理论,都有可能重新在未来大放异彩。

11 结论

2023 年的天文科研领域也收获颇丰。韦布空间望远镜、“苔丝”与“中国天眼”等探测设备继续发掘宇宙潜藏的奥秘,为人类带来更多星系演化、系外行星性质、纳赫兹引力波源等方面的信息;随着欧几里得空间望远镜与墨子巡天望远镜等新设备的加入,人类将从更多视角观察宇宙的更多细节。随着数据与知识的累积,人们对宇宙的理解也不断更新,观测数据的解析结果展现出许多未知而

美丽的景色,震撼人心的同时又催促理论家做出更恰当与精确的建模。

除了探索广袤的宇宙,人类也没有忽视对太阳系中邻居的观察。对月球的研究逐步推进,载人登月项目也在按部就班进行之中。随着对各大行星的探索逐渐深入,它们都在人类的注视下缓缓揭开神秘的面纱。与此同时,人类也没有忘记与美丽伴生的危险,对小行星的研究将为相应的防御措施提供坚实基础,保障人类继续生活在这个美丽的地球上。

参考文献 (References)

- [1] Quick Facts | Webb[EB/OL]. (2023-07-19)[2023-12-19]. <https://webbtelescope.org/quick-facts>.
- [2] Labbé I, Van Dokkum P, Nelson E, et al. A population of red candidate massive galaxies 600 Myr after the Big Bang[J]. *Nature*, 2023, 616(7956): 266-269.
- [3] Greene T P, Bell T J, Ducrot E, et al. Thermal emission from the Earth-sized exoplanet TRAPPIST-1 b using JWST[J]. *Nature*, 2023, 618(7963): 39-42.
- [4] Morishita T, Roberts-Borsani G, Treu T, et al. Early results from GLASS-JWST. XIV. A spectroscopically confirmed protocluster 650 million years after the Big Bang [J]. *The Astrophysical Journal*, 2023, 947(2): L24.
- [5] Spilker J S, Phadke K A, Aravena M, et al. Spatial variations in aromatic hydrocarbon emission in a dust-rich galaxy[J]. *Nature*, 2023, 618(7966): 708-711.
- [6] Berné O, Martin-Drumel M-A, Schroetter I, et al. Formation of the methyl cation by photochemistry in a protoplanetary disk[J]. *Nature*, 2023, 621(7977): 56-59.
- [7] Ilie C, Paulin J, Freese K. Supermassive dark star candidates seen by JWST[J]. *Proceedings of the National Academy of Science*, 2023, 120(30): e2305762120.
- [8] 周思同. “中国天眼”成中低频射电领域观天利器[N]. *科技日报*, 2023-08-30(6).
- [9] Pan Z, Lu J G, Jiang P, et al. A binary pulsar in a 53-minute orbit[J]. *Nature*, 2023, 620(7976): 961-964.
- [10] Roberts M S E. Surrounded by spiders! New black widows and redbacks in the Galactic field[J]. *Proceedings of the International Astronomical Union*, 2013, 291: 127-132.
- [11] Xu H, Chen S, Guo Y, et al. Searching for the Nano-Hertz stochastic gravitational wave background with the Chinese pulsar timing array data release I[J]. *Research in Astronomy and Astrophysics*, 2023, 23(7): 075024.
- [12] 2023 breakthrough of the year[EB/OL]. (2023-12-14)[2023-12-19]. <https://www.science.org/content/article/breakthrough-of-the-year-2023>.
- [13] Tian P, Zhang P, Wang W, et al. Subsecond periodic radio oscillations in a microquasar[J]. *Nature*, 2023, 621(7978): 271-275.
- [14] FAST GC pulsar discoveries[EB/OL]. (2020-12-27)[2023-12-19]. <https://fast.bao.ac.cn/cms/article/65>.
- [15] FAST-CRAFTS pulsars[EB/OL]. (2023-06-27)[2023-12-19]. http://groups.bao.ac.cn/ism/CRAFTS/202203/t20220310_683697.html.
- [16] The FAST Galactic Plane Pulsar Snapshot survey[EB/OL]. (2023-11-28)[2023-12-19]. <http://zmtt.bao.ac.cn/GPPS/GPPSnewPSR.html>.
- [17] ESA. Euclid's first images: The dazzling edge of darkness[EB/OL]. (2023-07-11)[2023-12-19]. https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Euclid/Euclid_s_first_images_the_dazzling_edge_of_darkness.
- [18] ESA. Euclid overview[EB/OL]. (2023-07-01)[2023-12-19]. https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Euclid_overview.
- [19] ESA. Frequently asked questions about Euclid[EB/OL]. (2023-07-01)[2023-12-19]. https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Euclid/Frequently_asked_questions_about_Euclid.
- [20] What's WFST?[EB/OL]. (2023-09-01)[2023-12-19]. <https://wfst.ustc.edu.cn/zh/about/whats/>.
- [21] Deng L, Yang F, Chen X, et al. Lenghu on the Tibetan Plateau as an astronomical observing site[J]. *Nature*, 2021, 596(7872): 353-356.
- [22] Wang T, Liu G, Cai Z, et al. Science with the 2.5-meter Wide Field Survey Telescope (WFST)[J]. *Science China Physics, Mechanics, and Astronomy*, 2023, 66(10): 109512.
- [23] Gemma C. China's powerful new telescope will search for exploding stars[J]. *Nature*, 2023, doi: 10.1038/d41586-023-03013-6.
- [24] 墨子巡天望远镜发现首批近地小行星[EB/OL]. (2023-11-22)[2023-12-19]. <https://wfst.ustc.edu.cn/zh/news-and-meetings/news/20231122/20231122>.
- [25] 宋宇佳, 杨隽, 冯叶, 等. 2022年天文学热点回眸[J]. *科技导报*, 2023, 41(1): 66-78.
- [26] Daly R T, Ernst C M, Barnouin O S, et al. Successful kinetic impact into an asteroid for planetary defence[J]. *Nature*, 2023, 616(7957): 443-447.

- [27] Thomas C A, Naidu S P, Scheirich P, et al. Orbital period change of Dimorphos due to the DART kinetic impact [J]. *Nature*, 2023, 616(7957): 448–451.
- [28] Li J Y, Hirabayashi M, Farnham T L, et al. Ejecta from the DART-produced active asteroid Dimorphos[J]. *Nature*, 2023, 616(7957): 452–456.
- [29] Cheng A F, Agrusa H F, Barbee B W, et al. Momentum transfer from the DART mission kinetic impact on asteroid Dimorphos[J]. *Nature*, 2023, 616(7957): 457–460.
- [30] Graykowski A, Lambert R A, Marchis F, et al. Light curves and colours of the ejecta from Dimorphos after the DART impact[J]. *Nature*, 2023, 616(7957): 461–464.
- [31] Yutu (rover)[EB/OL]. (2023-11-04)[2023-12-19]. [https://en.wikipedia.org/wiki/Yutu_\(rover\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Yutu_(rover)).
- [32] Naddaf M. Private Moon mission prepares for historic landing attempt[J]. *Nature*, 2023, doi: 10.1038/d41586-023-01423-0.
- [33] Conroy G, Naddaf M. Private ispace Moon landing fails: Researchers are investigating[J]. *Nature*, 2023, 617(7959):18–19.
- [34] O’Callaghan J. Russia launches first Moon mission in half a century: What it means for science[J]. *Nature*, 2023, 620(7974): 477.
- [35] O’Callaghan J. Russian Moon lander crash: What happened, and what’s next?[J]. *Nature*, 2023, doi: 10.1038/d41586-023-02659-6.
- [36] Chandrayaan-2[EB/OL]. (2023-12-08) [2023-12-19]. <https://en.wikipedia.org/wiki/Chandrayaan-2>.
- [37] Padma T V. India lands on the Moon! Scientists celebrate as Chandrayaan-3 touches down[J]. *Nature*, 2023, 620(7976): 927–928.
- [38] Padma T V. India shoots for the Moon with Chandrayaan-3 lunar lander[J]. *Nature*, 2023, doi: 10.1038/d41586-023-02217-0.
- [39] India’s Moon landing is a stellar achievement—and a win for science[J]. *Nature*, 2023, 620(7976): 921.
- [40] 中国载人登月初步方案公布 计划2030年前实现登月开展科学探索[EB/OL]. (2023-07-12) [2023-12-19]. https://www.gov.cn/govweb/yaowen/liebiao/202307/content_6891365.htm.
- [41] Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) [EB/OL]. (2018-04-01) [2023-12-19]. <https://exoplanets.nasa.gov/tess>.
- [42] Clark J T, Addison B C, Okumura J, et al. Spinning up a daze: TESS uncovers a hot jupiter orbiting the rapid rotator TOI-778[J]. *The Astronomical Journal*, 2023, 165(5): 207.
- [43] Mistry P, Prasad A, Maity M, et al. VaTEST III: Validation of 8 Potential Super-Earths from TESS Data[J]. *arXiv e-prints*, 2023, arXiv:2311.00688.
- [44] Luque R, Osborn H P, Leleu A, et al. A resonant sextuplet of sub-Neptunes transiting the bright star HD 110067[J]. *Nature*, 2023, 623(7989): 932–937.
- [45] Grant D, Lewis N K, Wakeford H R, et al. JWST-TST DREAMS: Quartz clouds in the atmosphere of WASP-17b[J]. *The Astrophysical Journal*, 2023, 956(2): L29.
- [46] Dyrek A, Min M, Decin L, et al. SO₂, silicate clouds, but no CH₄ detected in a warm Neptune[J]. *arXiv e-prints*, 2023, arXiv:2311.12515.
- [47] Webb detects tiny quartz crystals in the clouds of a hot gas giant[EB/OL]. (2023-10-16) [2023-12-19]. <https://www.nasa.gov/missions/webb/webb-detects-tiny-quartz-crystals-in-the-clouds-of-a-hot-gas-giant>.
- [48] JWST peers into the atmosphere of a fluffy exoplanet[EB/OL]. (2023-11-15) [2023-12-19]. <https://www.mpia.de/news/science/2023-15-wasp107b-jwst>.
- [49] New interactive mosaic uses NASA imagery to show Mars in vivid detail[EB/OL]. (2023-04-05) [2023-12-19]. <https://mars.nasa.gov/news/9375/new-interactive-mosaic-uses-nasa-imagery-to-show-mars-in-vivid-detail>.
- [50] CTX global mosaic[EB/OL]. (2023-04-01) [2023-12-19]. <https://murray-lab.caltech.edu/CTX/V01/SceneView/MurrayLabCTXmosaic.html>.
- [51] 付毅飞. 中国首次火星探测火星全球影像图发布[N]. *科技日报*, 2023-04-25(2)
- [52] Castelvetti D. Jupiter mission will be first to orbit moon of another planet[J]. *Nature*, 2023, 616(7957): 420–421.
- [53] Medeiros L, Psaltis D, Lauer T R, et al. The image of the M87 black hole reconstructed with PRIMO[J]. *The Astrophysical Journal Letter*, 2023, 947(1): L7.
- [54] Lu R-S, Asada K, Krichbaum T P, et al. A ring-like accretion structure in M87 connecting its black hole and jet[J]. *Nature*, 2023, 616(7958): 686–690.
- [55] 天文学家首次对黑洞阴影和强大喷流一起成像[EB/OL]. (2023-04-26) [2023-12-19]. https://shao.cas.cn/2020Ver/xwdt/kyjz/202304/t20230426_6746069.html.
- [56] NASA discovers record-breaking supermassive black hole over 13 billion light-years away[EB/OL]. (2023-11-08) [2023-12-19]. <https://scitechdaily.com/nasa-discovers-record-breaking-supermassive-black-hole-over->

- 13-billion-light-years-away.
- [57] Giant black hole is one of the earliest ever seen: With clues for how these weird objects form[J]. *Nature*, 2023, doi: 10.1038/d41586-023-03475-8.
- [58] Gupta R P. JWST early Universe observations and Λ CDM cosmology[J]. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2023, 524(3): 3385–3395.
- [59] Boyett K, Trenti M, Leethochawalit N, et al. A massive interacting galaxy 525 million years after the Big Bang [J]. arXiv e-prints, 2023, arXiv:2303.00306.
- [60] Witze A. These six distant galaxies captured by JWST are wowing astronomers[J]. *Nature*, 2023, 619(7968): 16–17.

Top astronomy events in 2023

YANG Jun^{1,2}, ZHAO Tong^{1,2}, SONG Yujia^{1,2}, GOU Lijun^{1,2*}

1. National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China
2. School of Astronomy and Space Science, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract This article reviews the major achievements and advances made in the field of astronomy in 2023. The James Webb Space Telescope produced many new discoveries and provided important data on many aspects, such as galaxy formation and exoplanet exploration. The ultra-high sensitivity of the Five-hundred-meter Aperture Spherical Radio Telescope (FAST) allowed it to obtain sufficiently accurate data in a short period of time and become the first to detect a key evidence of nanohertz gravitational waves. The Euclid telescope was launched and sent back the first batch of images, took over the baton from the Planck satellite and continued to explore dark energy and dark matter of the universe. The Wide Field Survey Telescope (WFST) was put into operation, providing new support for optical time-domain survey in the Northern Hemisphere. The results of the asteroid impact experiment were released, providing an empirical basis for the future planetary defense plan. Lunar exploration fever was once again sweeping the world, and India became the fourth country to successfully land on the lunar surface. Observations discovered more new exoplanets and expanded our understanding of the universe. The publication of global images of Mars and launching probes into Jupiter's icy moons brought new progress to the scientific research of our solar system. High-resolution and panoramic images of black holes were released, providing a new perspective for understanding the complex structures around black holes. The age of the universe was questioned, the actual age might be doubled.

Keywords astronomy; space telescope; lunar exploration; asteroids; black hole ●



(责任编辑 傅雪)