

## 美国国家科学院发布天文学和天体物理学十年调查报告

美国国家科学院2021年11月4日正式发布题为《21世纪20年代天文学和天体物理学的发现之路》的十年调查报告(简称“十年调查”),确定了2022—2032年美国在天文学和天体物理学领域的科学主题、科学愿景以及优先资助建议<sup>①②</sup>。在NASA、美国国家科学基金会(NSF)、美国能源部(DOE)等机构的资助下,美国国家科学院2018年底牵头组织开展天文学和天体物理学领域第七期十年调查工作。经过为期三年的广泛意见征集和研究,新版十年调查报告正式出炉。

### 1. 科学机遇

目前正处于天文学和天体物理学蓬勃发展的时期,仅过去十年就有6项诺贝尔物理学奖被授予基于天文观测的科学发现(暗能量、引力波、中微子振荡、系外行星的发现、宇宙学、超大质量黑洞)。2010年美国国家科学院发布了《天文学和天体物理学中的新世界和新地平线》的十年调查报告<sup>③</sup>,其中规划的多个宏大科学愿景正在成为现实。

本次“十年调查”围绕三个广泛的科学主题展开,这些主题包含了自21世纪初以来一系列最令人兴奋的新发现和进展,有望解决探索宇宙过程中最根本和最深刻的问题。主题一:系外行星系统,基于对系外行星及其母恒星观测的革命性进展,了解系外行星系统的形成、演变和相互作用,同时表征其宜居性等特性。主题二:新信使和新物理学,充分利用引力波、粒子,跨电磁频谱的天空动态监测,以及从紫外和可见到微波和射频的广域巡天等新观测工具和手段,探测宇宙中若干高能过程,并探讨暗物质、暗能量和宇宙膨胀的性质。主题三:宇宙系统,将对恒星、星系以及与其形成、演化和命运

相关联的气体和高能过程的观测与建模联系起来,开展系统研究。

在这些广泛而丰富的科学主题中,报告提出三大科学愿景,并建议决策者在未来十年进行优先资助。愿景一:开辟通往宜居世界的道路,旨在持续开展类地系外行星的识别和表征等工作,最终获得潜在宜居世界的图像和光谱。愿景二:打开研究动力学宇宙的新窗口,旨在将天基和地基的时间分辨多波长电磁观测与非电磁信号相结合,研究黑洞、中子星等致密天体的性质及与其成因相关的爆发和并合事件,同时利用其引力波特征了解宇宙诞生之初发生了什么。愿景三:揭示星系增长的驱动力,通过研究可以演化为星系的脆弱宇宙气体网络的性质以及气体如何聚集和驱动恒星形成,从而改变对星系起源和演变的理解。

### 2. 主要建议

新投入运行的大型望远镜和任务将实现观测能力的重大飞跃,这些项目和计划旨在响应此前十年调查报告中提出的建议,这些成功开展的项目和计划也成为本次“十年调查”所提出的科学设想的重要基础。最重要的是切实完成这些倡议,并对科学计划给予支持,确保充分发掘美国科学界的潜力。展望未来,报告给出了对天文学和天体物理学领域政府投资的系列建议,为从专业基础研究到大胆的科学前沿研究铺平道路。

#### (1) 开拓前沿的大型计划

针对三大科学愿景,报告给出了需要在未来十年内开始设计和建造的大型天基项目(见表1)和地基项目(见表2)的投资建议。

为了在空间中以可持续的方式实现最雄心勃

<sup>①</sup> <https://www.nationalacademies.org/news/2021/11/new-report-charts-path-for-next-decade-of-astronomy-and-astrophysics-recommends-future-ground-and-space-telescopes-scientific-priorities-investments-in-scientific-community>

<sup>②</sup> Pathways to Discovery in Astronomy and Astrophysics for the 2020s. <https://www.nap.edu/catalog/26141/pathways-to-discovery-in-astronomy-and-astrophysics-for-the-2020s>

<sup>③</sup> <https://www8.nationalacademies.org/onpinews/newsitem.aspx.RecordID=12951>

表1 新建地基大中型计划建议

推荐主题	预期功能	成本评估
继续开展大型天文台计划 <sup>④</sup> 以及技术成熟计划,以期在未来五年开展红外/光学/紫外任务,在未来十年开展远红外/X射线任务	使能未来的前沿项目	未来十年12亿美元
具有高对比度成像能力的近红外/光学/紫外望远镜	使能未来的前沿项目	110亿美元
时域和多信使跟踪计划	保持科学平衡和规模	待定(预计未来十年5~8亿美元)
天体物理学探测器任务	保持科学平衡和规模	成本上限15亿美元

表2 新建地基大中型计划建议

推荐主题	预期功能	资金成本	运行成本
极大望远镜计划	前沿项目	51亿美元总成本中NSF承担16亿美元	0.98亿总成本中NSF承担0.32亿美元
宇宙微波背景天文台第四阶段	前沿项目	DOE和NSF分别承担3.87亿和2.73亿美元	DOE和NSF分别承担0.23亿/年和0.17亿美元/年
下一代甚大阵列	使能开发计划,如有需要则开展后续施工	32亿美元总成本中NSF承担25亿美元	0.98亿总成本中NSF承担0.73亿美元
扩大中型计划	维持项目	中等规模创新计划和中等规模研究基础设施的总经费增加至0.5亿美元	从总经费列支运行成本
用于激光干涉仪引力波天文台升级和未来天文台的技术开发	未来前沿引力波天文台开发计划	—	—
第二代冰立方中微子天文台	前沿项目	—	—

勃和最有远见的想法,同时具备多种类型科学计划所需的广泛能力,需要对大型空间任务的规划、开发和实施方式进行重新思考。大型天文台计划和技术成熟计划(见表1)将为任务概念和技术的共同成熟提供大量的早期经费资助,并在执行过程中进行检查和动态调整。受寻找系外行星生命迹象技术的启发,以及望远镜技术为天体物理学带来的系统性变革能力,报告建议纳入该计划的首个任务是一台大型(约6 m口径)红外/光学/紫外空间望远镜。这项任务有望深刻改变看待人类在宇宙中位置的方式。目前,美国已经在科学和技术上做好迈出这一变革性一步的准备,同时这也是一项只有NASA才能承担的国际引领性任务。如果任务的成熟度按预期推进,报告建议该任务在21世纪20年

代末期前开始制定和实施。为了准备未来的大型战略任务,在开始红外/光学任务成熟计划的五年后,开始推进远红外和X射线大型战略任务的研究和技术研发,预计两项任务的实施成本均在30~50亿美元。

达到衍射极限的自适应光学大型(20~40 m)望远镜在天文观测中具有强大潜力,同时相关项目已经准备就绪。报告优先考虑的前沿地基天文台包括巨型麦哲伦望远镜(GMT)和30米望远镜(TMT)项目,并作为美国极大望远镜协调计划的重要组成部分。

这些天文台将为未来数十年及以远的科学进步创造巨大的机会,有望回答三个优先科学领域中几乎所有重要科学问题。此外,鉴于过去几十年的

<sup>④</sup> 大型天文台计划(Great Observatories)是NASA天文学和天体物理学领域的旗舰级地基天文台计划,1990年至今已发射4颗大型空间望远镜,分别是哈勃空间望远镜(HST)、康普顿伽马射线天文台(CGRO)、钱德拉X射线天文台(Chandra)和斯皮策空间望远镜(Spitzer)。上述任务分别工作在不同的波段,为各自领域做出了极为重要的贡献

科技进步,地基宇宙微波背景研究有望在未来十年迈出一大步。在美国国家科学基金会和能源部的支持下,宇宙微波背景天文台第四阶段(CMBS4)任务将对宇宙学和天体物理学产生广泛影响。

在未来,一直保持世界领先水平的卡尔·扬斯基甚大阵(JVLA)和甚长基线阵(VLBA)射电天文台也必须由灵敏度水平提高约一个数量级的天文台取代。下一代甚大阵(ngVLA)将采用分阶段方法实现这一目标,在开始建设之前完成设计、原型开发和成本研究,并开展多轮评审。

最后,中微子观测对于理解宇宙中一些极高能量过程非常重要,第二代冰立方中微子天文台(Ice-Cube-Gen2)有望在重要的天体物理学问题上取得进展。

(2) 继续发展和平衡投资中小型科学计划

中等规模的任务和项目涉及更广泛的科学主题。考虑到充分利用现有以及未来数十年主要经费投资的必要性,报告建议持续开展若干基本项目(见表1和表2)。在空间方面,最高优先级的持续活动是天基时域和多信使跟踪计划下的小型和中型任务。此外,报告还建议在确定为对实现科学目标非常重要的广泛领域中开展新的系列探测任务竞争。在未来十年,一项远红外任务或一项为补充

ESA 先进高能天体物理望远镜(ATHENA)任务而设计的X射线任务将提供探索者(Explorers)级任务无法提供的强大能力。这一级别的任务成本上限为15亿美元,与大型战略任务相比,其科学目标更加聚焦,约每十年开展一次探测任务。

对于地面项目而言,最优先的维持活动是大幅增加和扩大中型计划,包括增加战略性项目征求以支持报告提出的关键优先事项。报告还强烈建议对先进引力波干涉仪的技术开发予以资助,以升级NSF的激光干涉仪引力波天文台(LIGO),并为未来的大型设施做好准备。

(3) 基础活动

报告同样关注构成天文学和天体物理学研究基础的重要因素,并建议有针对性地开展资助或提供政策支持。

报告提出,人才是研究事业最基本的组成部分。如果缺乏足够的人才,雄心勃勃的设施、仪器和实验以及变革性发现都将无法实现。报告指出,多样性是创新的驱动力,只有最大限度地利用和充分使用最广泛的人才,天文学和天体物理学领域才会产出最多的创新成果。报告建议开展多项重要计划(见表3)以支持处于职业生涯早期的人才,重点强调扩大机会、消除参与障碍、创造避免骚扰和

表3 夯实专业基础

推荐主题	参与机构	新增预算(万美元)
鼓励教职员工多样性并设立针对早期教职生涯的奖项	NSF/NASA/DOE	NSF: 100; NASA: 100; DOE: 50
促进员工发展,鼓励多样性,设立桥梁项目,构建少数族裔服务机构伙伴关系	NSF/NASA	NSF: 150; NASA: 300
资助本科生和研究生实习活动	NSF/NASA/DOE	NSF: 100; NASA: 100; DOE: 100
开设独立博士后奖学金	NSF/NASA	NSF: 50; NASA: 50
反对职场中的歧视和骚扰行为	NSF/NASA/DOE	—
收集、评估并报告人口数据以及与公平相关的指标	NSF/NASA	合计 100
在授予项目资金时充分考虑多样性	NSF/NASA/DOE	—
建立天文台的学术界天文模型	学术界	—
减轻来自卫星星座等源头的射频和光学干扰	NSF/NASA	待评估
参与减缓气候变化的相关行动	学术界	—

歧视的环境、关注政策可持续性和建立问责机制、建立并维护关于资助结果的准确数据等问题。

科学的进步离不开对科研人员的稳定支持。报告指出,加强NSF天文学和天体物理学资助项目是培育研究基础系列建议中的最优先事项。同时,大型巡天和共享公共数据集、大团队研究、机器学习、数值模拟等发挥着日益重要的作用,计算革命将不断改变天文学和天体物理的研究范式,需要对该领域的投资方式进行调整以适应变化的环境,并对几个关键领域开展更健康、平衡的资助,提高现有和未来重大投资的科学回报(见表4)。

在地面和空间运行的设施及其使用者是天文学和天体物理学中科学发现和进步的主要动力。报告建议,必须对空间和地面设施的运行费用提供

充足支持,并在其运行期内开展定期审查,同时维护地面观测设施,使其成为具有现代化先进仪器设备的一流设施(见表5)。

平衡的投资组合应包括对中小型项目的资助。相关项目应是竞争性的,以充分利用学术界的智慧,实现充满活力的天文学和天体物理学计划。这些活动还可以促进科学进步,扩大并提高运行中的任务和天文台的科学回报,并对新发现做出灵活的响应。研究认识到,对基础技术发展提供支持是天文学和天体物理学领域的一项最基本需求,核心的中小型项目不仅可以扩展科学研究的范围,还可以在培养下一代技术专家和仪器专家方面发挥关键作用(见表6)。

(中国科学院科技战略咨询研究院 王海名)

表4 培育研究基础

推荐主题	参与机构	新增预算(万美元)
编制并定期报告研究提案提交和成功率数据	NSF/NASA/DOE	—
扩大“天文学和天体物理学基金”计划	NSF	至2028年每年新增不高于1650
加强并恢复天体物理学理论计划的年度研究提案征集	NASA	至2028年每年新增不高于250
资助重大研究设备和装置建造(MREFC)的相关大型重点项目	NSF	—
加强NSF和NASA资助的美国数据中心之间的协调	NSF/NASA	待评估
加强数据管道开发及地面望远镜数据存档	NSF	待定
增加和改进实验室天体物理学基金的协调	NSF/NASA	约200

表5 维持运行中的投资组合

推荐主题	参与机构
是否兴建新的MREFC设施取决于对运营设施和维持成本的后续规划	NSF
定期对运营设施进行投资组合审查	NSF
与NASA当前规划一致,到2023年结束平流层红外天文学观测台(SOFIA)运营	NASA

表6 培育技术基础

推荐主题	参与机构	新增预算(美元)
扩大天体物理研究和计划(APRA)	NASA	400万
继续开展天体物理学战略技术(SAT)计划,以增强探索者(Explorer)和探测器(Probe)计划相关任务的开发能力	NASA	—
扩大先进技术和仪器(ATI)计划	NSF	从2023年起,每年新增预算逐渐从800万提升至2028年的1400万
评估NASA气球计划以获得最佳平衡	NASA	待评估