

2017年空间科学热点回眸

吴季^{1,2}, 杨帆³, 张凤³

1. 中国科学院国家空间科学中心, 北京 100190
2. 中国科学院大学, 北京 100049
3. 中国科学院科技战略咨询研究院, 北京 100190

摘要 空间科学是以航天器为主要工作平台, 研究发生在日地空间、太阳系乃至整个宇宙空间的物理、化学及生命等自然现象及其规律的综合学科。回顾了2017年全球空间科学领域前沿研究进展、重大战略调整以及新发射的、可能对未来空间科学研究产生关键影响的空间任务平台; 盘点了2017年空间科学重大事件, 包括空间平台助力发现双中子星并合产生的引力波、中国率先实现空间量子科技重大突破、“悟空”获得迄今为止最精确的高能电子宇宙线能谱、“卡西尼”土星探测任务落下帷幕、美国重启国家空间委员会并明确重返月球、卢森堡通过空间资源探索和利用法、全球首个中子星探测任务成功发射等。

关键词 空间科学; 2017研究热点; 发展战略

空间科学是以航天器为主要工作平台, 研究发生在日地空间、太阳系乃至整个宇宙空间的物理、化学及生命等自然现象及其规律的科学^[1]。空间科学可划分为空间天文、太阳物理、空间物理、太阳系探测、空间地球科学、微重力科学、空间基础物理、空间生命科学等子领域^[2]。空间科学是基础前沿科学探索的先锋, 是世界主要国家研究部署的重点, 被视为各国角逐科技实力的竞技场, 引领世界科技、经济、社会发展的驱动力。

2017年, 空间科学研究热点前沿备受瞩目, 空间平台助力发现双中子星并合产生的引力波、中国领跑空间量子通信、“悟空”获得迄今为止最精确的高能电子宇宙线能谱、“卡西尼”土星探测任务完美收官等, 不断刷新人类对宇宙的认知, 为人类足迹向深空拓展奠定

基础。美国重启国家空间委员会并决定重返月球, 被视为美国加强空间领导力的风向标, 全球空间探索和科学发现的实施路线可能因之发生重大调整。卢森堡以法律形式保障私营企业对空间资源拥有所有权, 再度引发对这一敏感问题的激烈讨论, 小行星科学探索和资源勘探暗潮涌动。全球首个中子星探测任务、中国首颗硬X射线调制望远镜卫星等成功发射, 推动空间科学可持续发展, 重大突破未来可期。

1 2017年空间科学研究进展

1.1 “悟空”获得迄今为止最精确的高能电子宇宙线能谱
暗物质是宇宙的重要组成部分, 是20世纪末、21世

收稿日期: 2017-12-24; 修回日期: 2018-01-03

基金项目: 中国科学院空间科学先导专项; 国家自然科学基金应急管理项目(71741030); 中国科学院A类战略性先导科技专项(XDA15015700)

作者简介: 吴季, 研究员, 研究方向为微波遥感技术、空间探测技术及空间科学与技术发展政策, 电子信箱: wuji@nssc.ac.cn; 杨帆(共同第一作者), 副研究员, 研究方向为空间科技战略情报、空间科技政策, 电子信箱: yangfan@casipm.ac.cn; 张凤(通信作者), 研究员, 研究方向为科技发展战略与政策, 电子信箱: fzhang@casisd.cn

引用格式: 吴季, 杨帆, 张凤. 2017年空间科学热点回眸[J]. 科技导报, 2018, 36(1): 72-82; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2018.01.008

纪初两大科学谜团之一。2017年暗物质研究高潮迭起。2017年11月,中国科学院宣布中国科学院空间科学战略性先导科技专项的首发星——暗物质粒子探测卫星“悟空”取得首批重大科学成果,获得了世界上迄今最精确的高能电子宇宙线能谱^[3-4]。几乎与此同时,日本宇宙航空研究开发机构宣布,研究人员利用搭载在国际空间站舱外的量热仪型电子望远镜,成功实现了对能量高达3 TeV的宇宙线粒子电子能谱的高精度直接测量^[5-6]。

“悟空”的核心使命是在宇宙线和伽马射线辐射中寻找暗物质粒子存在的证据,并进行天体物理研究。“悟空”于2015年12月17日发射成功,在轨运行的前530天共采集了约28亿颗高能宇宙线粒子,其中包含约150万颗25 GeV以上的电子宇宙线粒子。基于这些数据,科研人员成功获取了目前国际上精度最高的电子宇宙线探测结果。“悟空”的数据初步显示,在约1.4 TeV处存在能谱精细结构,一旦得以确证,将成为粒子物理和天体物理领域的开创性发现(图1)。

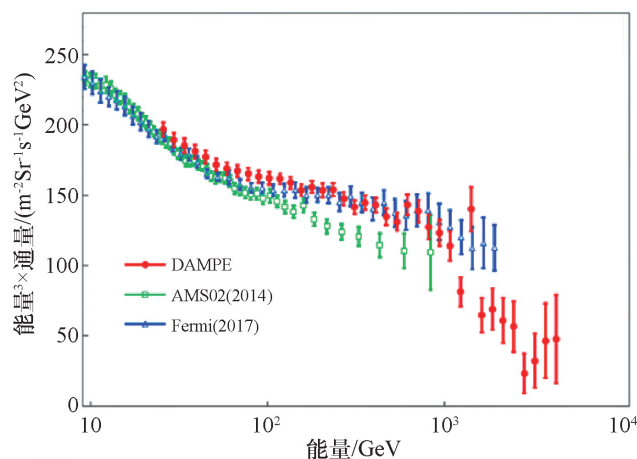


图1 “悟空”(DAMPE)、阿尔法磁谱仪-02(AMS-02)和费米伽马射线空间望远镜(Fermi)测量的宇宙线电子能谱比较
(图片来源:中国科学院)

Fig. 1 High-energy cosmic-ray electrons and positrons measured by Dark Matter Particle Explorer (Wukong), Alpha Magnetic Spectrometer-02 and Fermi Gamma-ray Space Telescope

量热仪型电子望远镜是首个由日本主导的专门用于宇宙线观测的天基任务,于2015年8月运抵国际空间站并于2015年10月正式开展科学观测。研究团队的未来目标是把能量探测极限提高到20 TeV并获得高精度能谱,有助于发现附近的宇宙线源并有望揭示暗物质的性质(图2)。

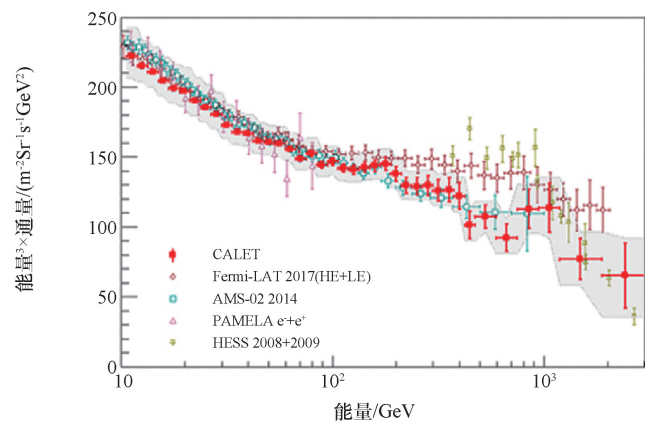


图2 量热仪型电子望远镜(CALET)、费米伽马射线空间望远镜(Fermi-LAT)、阿尔法磁谱仪-02(AMS-02)、用于反物质探索和轻原子核天体物理学的载荷(PAMELA)和高能立体系统望远镜(HESS)测量的宇宙线电子能谱比较
(图片来源:日本宇宙航空研究开发机构)

Fig. 2 High-energy cosmic-ray electrons and positrons measured by Calorimetric Electron Telescope, Fermi Gamma-ray Space Telescope, Alpha Magnetic Spectrometer-02, Payload for Antimatter Exploration and Light-nuclei Astrophysics and High Energy Stereoscopic System

1.2 人类首次探测到双中子星并合事件产生的引力波

包括中国在内的多国科学家于2017年10月16日联合宣布,人类第1次直接探测到来自双中子星并合产生的引力波以及伴随的电磁信号^[7]。这一里程碑事件,正式开启了以多种观测方式为特点的多信使天文学时代^[8]。

2017年8月17日,激光干涉仪引力波天文台(LIGO)和室女座引力波探测器探测到1个新引力波信号,其形式与2个中子星的并合一致。在该信号到达后约2 s,费米伽马射线空间望远镜和国际伽马射线天体物理实验室均探测到了1个短时伽马射线暴事件的高能光脉冲信号^[9]。此后,钱德拉X射线天文台、哈勃空间望远镜、甚大望远镜等多个天基、地基天文台对该区域开展了密集观测。中国南极光学巡天望远镜得到的目标天体光变曲线与巨新星理论预测高度吻合;硬X射线调制望远镜不仅在引力波事件发生时成功监测了引力波源所在天区,还对其伽马射线电磁对应体在百万电子伏特高能区的辐射性质给出了严格限制^[10-11]。这些观测最终证实此次被命名为GW170817的引力波事件由距太阳系约1.3亿光年的2个质量分别为1.1和1.6个太阳质量的中子星并合所产生^[12]。

此次对双中子星并合事件的联合观测至少已经取得了3项重大进展:1) 此前有理论认为时间小于2 s的短时伽马射线暴应该归因于中子星并合形成黑洞的事件,本次的发现支持这一解释。2) 这一事件证实了一类名为千新星(Kilonova)的假想天体的存在。3) 对千新星的进一步观测确认,大部分(甚至有可能是全部)重金属元素由中子星并合事件中的r-过程产生。

受LIGO多次成功探测到引力波,以及“激光相干空间天线-探路者”先导任务顺利完成预期科学目标等重大进展的激励,欧洲空间局(ESA)于2017年6月正式确认将于2034年发射空间引力波探测任务“激光干涉仪空间天线”,总预算高达10亿欧元^[13]。

1.3 哈勃常数之争或改写宇宙学定律

分别采用标准烛光和宇宙微波背景推算方法得出的哈勃常数最新结果差距较大,由此引发天文和物理学界的激烈争论。2017年3月,《Science》网站评论认为,相关争论可能会导致新物理学的诞生^[14]。

2016年4月,诺贝尔物理学奖得主、约翰霍普金斯大学物理学家Adam Riess基于哈勃空间望远镜的观测数据,利用标准烛光方法得出哈勃常数的最新结果为73.24。而根据“普朗克”卫星2013年发布的宇宙微波背景分布图推算出的哈勃常数为67.8,这与Adam Riess的结果相差8%左右(图3)。多数科学家认为这一差别无法用统计学误差来解释。《Science》网站评论认为,如果这种不一致的情况持续下去,将是“现代宇宙学的天空中出现的一个裂缝”,可能意味着目前的理论存在缺失。《Nature》网站评论也认为,如果这两种计算方法均被其他技术验证是正确的,那么宇宙学定律可能需要改写^[15]。

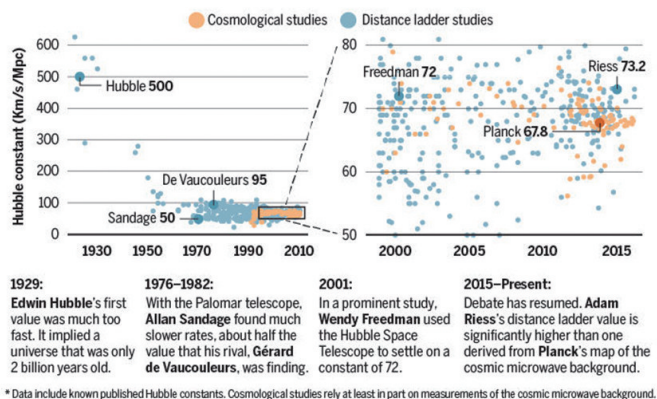


图3 哈勃常数计算结果(图片来源:《Science》)

Fig. 3 Known published Hubble constant

展望未来,采用引力透镜法、重子声学振荡等手段有望进一步验证计算结果。例如,2017年4月首次发现Ia型超新星的引力透镜效应,由于Ia型超新星常被用作“标准烛光”,因此这一发现有助于更精确地计算哈勃常数^[16-18]。

1.4 拥有多个行星的系外行星系统陆续浮出水面

2017年2月,在多个地面望远镜的协助下,“斯皮策空间望远镜”首次发现拥有7颗地球大小的行星围绕单颗恒星运转的恒星系统——TRAPPIST-1^[19-22](图4^[23])。该系统中有3颗行星位于宜居带中,其中的1颗岩质行星上可能存在液态水。2017年12月,谷歌和美国国家航空航天局(NASA)联合宣布,基于“开普勒”空间望远镜的观测数据,通过机器学习技术新发现2颗系外行星,其中1颗属于Kepler-90系统(图5^[24]),使Kepler-90系统的行星数量增至8颗,成为目前在太阳系之外发现的最大的行星世界^[25]。

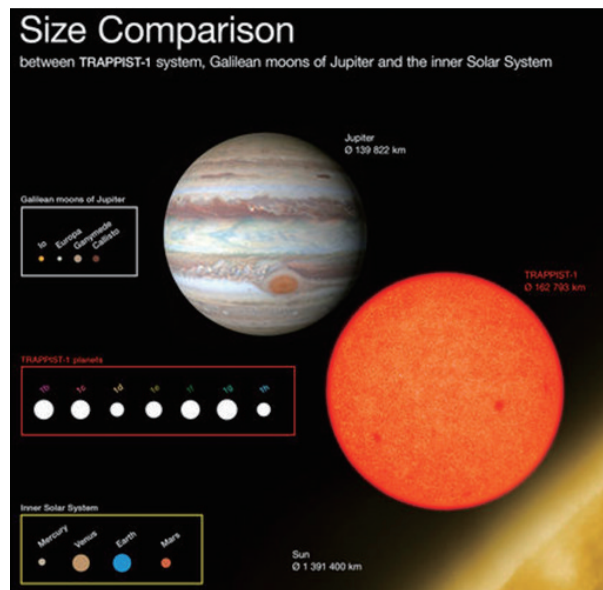


图4 TRAPPIST-1系统,木星的卫星与内太阳系系统的大小比较(图片来源:欧洲南方天文台)

Fig. 4 Size comparison between TRAPPIST-1 system, Galilean moons of Jupiter and the inner solar system

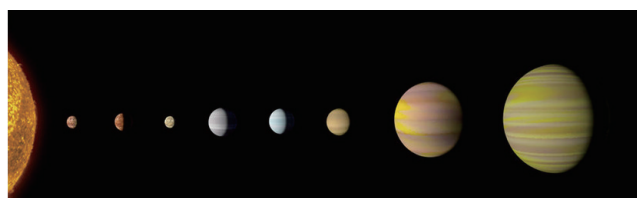


图5 Kepler-90系统(图片来源:NASA)

Fig. 5 Kepler-90 System

截至2017年12月14日,“开普勒”空间望远镜探测到的候选系外行星总数达5011颗,其中有2525颗已被确认为行星^[26]。在这些行星中,有近50颗被认为是位于宜居带、与地球大小类似的类地行星,其中30多颗行星已获得确认。随着越来越多的天体进入视野,人类对于宇宙和自身的了解无疑将踏上一个新台阶。

1.5 “卡西尼”土星探测任务圆满谢幕

2017年9月15日,“卡西尼”探测器(图6)按指令坠入土星大气层,这项规模宏大、时间长达20年的土星探测任务就此终结^[27]。



图6 “卡西尼”土星探测器(来源:NASA)

Fig. 6 Cassini spacecraft

“卡西尼-惠更斯”任务是NASA、ESA和意大利航天局(ASI)合作开展的世界首个土星环绕探测任务,旨在系统探索土星系统。“卡西尼-惠更斯”任务于1997年10月发射,2004年7月抵达土星轨道。“惠更斯”成功在土卫六着陆。“卡西尼”则自2004年起开始科学探测,总计环绕土星飞行293圈,飞越土星卫星162次,拍摄了45万余张照片,研究人员发表了约4000篇科学论文。

“卡西尼”探测任务对土星、土星环和土星卫星的观测发现颠覆了人们的认识,代表性成果包括^[28]:1) 在土卫六表面发现由液态甲烷和乙烷组成的海洋和湖泊,这是首次在地球以外的天体表面观测到大型水体。2) 发现土卫二南极地区喷射液态羽流,并对其直接进行采样。3) 发现土卫二的冰壳之下存在全球性液态水海洋,可能适宜某些形式的生命存在。4) 对土星的大部分卫星首次进行高分辨率成像和近距离科学探测分析。5) 首次拍摄土星日半球和夜半球的闪电。6) 首次对完整的土星北极六边形巨大风暴进行可见光成像。7) 发现新的土星卫星、环和小环。8) 发现土卫三上成因不明的红色条纹。9) 在土星昼夜平分点期间研究日光照射土星环形成的长影,发现土星环的新特征。10) 首次拍摄土星磁层。11) 发现土星磁层的大

部分电离粒子来自土卫二。12) 确定土卫二喷射的羽流是土星E环物质的主要来源。13) 破解土卫八的“阴阳脸”之谜,深色物质来自土卫九剥离出的碎片。

1.6 “朱诺”号首批科学成果揭示全新木星

2017年5月,NASA发布“朱诺”号任务的初步科学成果,描绘了一个复杂、庞大、动荡的世界,颠覆了此前对木星的认知^[29-32]。

“朱诺”航天器于2011年8月5日发射,旨在通过揭示木星的起源和演化来增进对太阳系起源的了解。2016年7月4日航天器进入木星轨道,目前定于2018年7月结束任务。“朱诺”已取得重要发现:1) 图片显示木星两极都拥有多个相当于地球大小的旋转气旋密集地聚集并互相影响(图7)。2) 对木星大气层的探测显示赤道附近暗色的云带可以穿透测量,但其他纬度云带和亮色的云区的结构似乎有所不同。3) 木星磁场的强度比此前模型预测的还要高,形状也更加不规则。4) 木星极光的形成机制与预期不同,其最强极光是由某种目前还缺乏了解的湍流加速过程形成的^[33-34]。5) 木星大红斑直径约为1.6万km,是地球直径的1.3倍,深深穿入大气层约300 km,其底部的温度高于顶部。此外长期观测表明,大红斑可能在逐渐缩小^[35]。



图7 Science封面展示了“朱诺”拍摄的木星南极

(来源:《Science》)

Fig. 7 Science cover shows Jupiter's south pole seen by Juno

1.7 国际空间站研究成果倍受瞩目

2017年7月,第6届国际空间站(ISS)研究和发展大会评选出了4项最受瞩目的研究成果^[36]:1) 在人体研究领域,“从ISS返回时的心脑血管疾病防治”项目首次直接衡量了日常活动减少与约一半的航天员在返回地面时发生的血压控制障碍之间的关联,并观测到由于

血压变化造成的脑血管活动降低;“长期空间飞行导致的心血管健康问题”项目研究日常活动减少对心血管健康的影响,发现6个月的空间飞行后,航天员颈总动脉硬度增加的程度与正常老化10~20年接近。2)在物理科学领域,阿尔法磁谱仪-02已经记录了超过1000亿个高能粒子,并估算出宇宙线的年龄约为1200万年。3)在技术开发与验证领域,激光通信科学光学有效载荷成功验证了天地激光通信能力,并利用自适应光学系统解决了大气湍流影响激光传输的问题。4)在教育和文化活动领域,国家地球和空间科学教育中心于2010年发起“学生空间飞行实验计划”,在美国和加拿大征集遴选在ISS开展的学生实验项目,目前已有近200项学生实验被送至ISS。

2017年7月,NASA评选出4项最佳创新研究工作^[37]:1)2016年,NASA航天员利用MinION微型测序仪在ISS上成功完成首次微重力条件下的DNA测序。2)“从国际空间站测量气旋强度”项目通过在ISS上拍摄照片,测量风暴中心旋眼外的云顶高度,并与其他数据结合,可精确、实时测量强烈的热带气旋强度。3)利用“纳米机架立方体卫星部署器”和“日本实验舱小卫星轨道部署器”从ISS平台释放多颗小卫星,为教育界、工业界和学术界提供了廉价、频繁的小卫星发射机会,促进国际合作。4)“被动热交换先进研究”实验测试几种采用低毒性流体的新型热管设计,可降低散热系统的复杂性并提高其效率,同时无需泵或其他机械装置,无需电力和维修,可用于调节ISS和未来航天器的温度。

1.8 重力勘测和气候试验卫星助力理解地球变化

美德合作的重力勘测和气候试验(gravity recovery and climate experiment, GRACE)任务于2002年3月发射GRACE-1和GRACE-2 2颗卫星,旨在精确测绘地球不断变化的重力场,通过跟踪液态水、冰和固体地球连续运动,提供关于全球地下水、干旱和含水层储量变化等的测量数据,帮助提高环境监测及预报的准确性,为理解地球变化提供新见解。

GRACE任务的设计寿命仅为5年,但在轨运行已超过15年。2017年10月,GRACE-2卫星因电池老化和电量不足终止运行。GRACE-1则将利用剩余燃料按原计划校准并表征加速度计,以获取最大科学回报,预计将于2018年初结束运行。

利用GRACE卫星数据,研究人员在多个方面取得重要研究发现^[38]:1)过去10年,美国地下水抽取量不断

攀升,有1/3的大型地下水盆地正在迅速枯竭。2)格陵兰岛和南极洲的冰盖消融速度极大地超出以往估计。3)区分出水的质量变化和海洋温度变化对海平面变化的影响程度。4)计算冰盖融化及地下水枯竭对地球旋转造成的影响,并帮助确定大地震发生时的瞬时质量变化。

美德合作开发的“GRACE后续任务”(GRACE-FO)计划于2017年12月至2018年2月发射,除搭载与GRACE相似的载荷外,GRACE-FO还将搭载一台新型激光测距仪,用于测量卫星之间的距离。未来10年,GRACE-FO将帮助我们获取准确的全球水循环图。

1.9 美国“在轨碳观测台-2”任务发布阶段性成果

“在轨碳观测台-2”(OCO-2)于2014年7月发射,是NASA首颗用于研究大气CO₂的卫星,通过对大范围地理区域的大气CO₂进行光谱观测,能够以前所未有的精度、分辨率和覆盖范围准确地表征全球CO₂源和汇的季节性周期变化^[39]。2017年10月,《Science》设立特刊,公布OCO-2任务首批重要科学成果:1)在天基监测城市及火山排放方面,研究人员利用OCO-2卫星数据,在数千米尺度上揭示了由人为和自然点源排放造成的大气CO₂的不同结构。2)在厄尔尼诺抑制热带海洋碳释放方面,研究人员描绘了热带大气中CO₂浓度对2015—2016年强厄尔尼诺事件的响应,并分析了与厄尔尼诺相关的陆地大气CO₂浓度变化。3)在测量光合作用的新方法方面,利用叶绿素荧光成像光谱仪进行太阳诱导叶绿素荧光的天基观测,并开展地面和空间观测的验证。

中国在碳观测方面也取得了重大进展。中国自主研发的首颗“全球二氧化碳监测科学实验卫星”数据已经通过国家卫星气象中心网站向社会公众开放共享^[40],标志着中国成为继美国和日本之后、第3个可以提供碳卫星数据的国家。

1.10 中国领跑远距离量子通信

2017年,中国科学院空间科学战略性先导科技专项卫星“墨子”号取得举世瞩目的重大成就(图8)。“墨子”号于2016年8月16日发射升空,至2017年8月提前1年圆满实现全部三大科学目标——在国际上率先实现千公里级量子纠缠分发、从卫星到地面的量子密钥分发和从地面到卫星的量子隐形传态,为中国在未来继续引领世界量子通信技术发展和空间尺度量子物理基本问题检验前沿研究奠定了坚实的科学与技术基

础^[41-46]。“墨子”号也开启了全球化量子通信、空间量子物理学和量子引力实验检验的大门,抢占了国际量子科技创新制高点,成为国际同行的标杆,实现了从“跟跑”到“领跑”的转变。



图8 “墨子”号卫星登上《Science》封面(图片来源:《Science》)

Fig. 8 Quantum Experiments at Space Scale (Mozi satellite)

“墨子”号任务首席科学家潘建伟入选《Nature》杂志评选的2017年度十大科学人物^[47](图9)。《Nature》报道称,在中国,有人称他为“量子之父”,他将中国带到远距离量子通信技术的最前沿。潘建伟团队还因在国际上首次实验实现了反事实直接量子通信,入选《Physics World》评选的“2017年度国际物理学年度十大突破”^[48]。

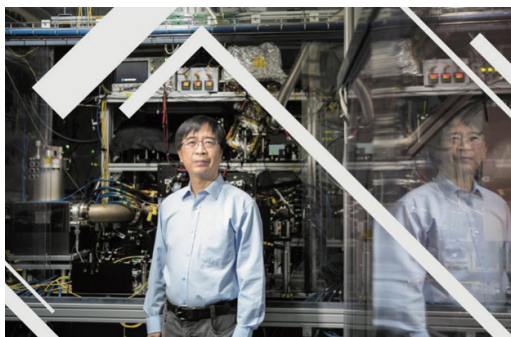


图9 潘建伟入选《Nature》2017年度十大科学人物

(图片来源:《Nature》)

Fig. 9 Pan Jianwei was selected as one of Nature's 10: Ten people who mattered this year in 2017

日本在该领域加速紧追快赶之势。2017年7月,日本情报通信研究机构宣称实现了世界首次基于微卫星的空间量子通信实验,不仅验证了未来利用小卫星建设卫星星座的可行性,更促使超远距离、高保密性量子卫星通信网络研究向前迈进了一大步^[49-50]。

2 发展战略

2.1 美国重启国家空间委员会并确定载人航天下一阶段目标

美国总统特朗普于2017年6月30日签署行政命令,要求重新组建美国国家空间委员会(National Space Council),在国家航天政策和战略的制定与实施监控过程中,充分发挥政府的统筹协调作用^[51-53]。副总统彭斯出任国家空间委员会主席。

美国国家空间委员会成立于1989年,1993年停止运行。新的国家空间委员会的主要职能是为总统提供有关美国国家航天政策和战略方面的咨询建议和辅助工作,具体包括:审议美国政府的国家航天政策(包括长期目标),制定国家航天活动战略;就航天政策和航天相关问题向总统提供建议;对国家航天政策和战略目标的实施情况进行监督和协调;促进美国军事、民用、商业航天部门之间的密切协调、合作以及技术和信息交流;就美国参与国际航天合作提供建议;协调解决重大的航天及航天相关政策分歧。国家空间委员会还特别成立了用户咨询小组,为委员会提供工业界和其他非联邦实体有关航天事务的外部建议。

重启国家空间委员会,被视为特朗普政府确保美国在航天领域处于领导地位的关键举措,有助于促进美国国家航天力量的各个方面——包括国家安全、商业、国际关系、探索及科学——的协调发展,同时也是制定美国航天发展综合战略路径的重大机遇。国家空间委员会的工作促成特朗普签署了第1份航天政策指令。该指令将美国的航天计划重点调整到载人探索和发现上,要求美国重返月球,带动商业航天能力发展,为最终实现载人火星探索奠定基础,担当航天领域无可争议的领导者^[54-55]。这个决定将对人类载人航天活动产生深远影响,可能引发全球空间探索和科学发现实施路线的重大调整。

2.2 卢森堡正式通过空间资源探索和利用法

卢森堡议会于2017年7月13日通过《空间资源探索和利用法草案》。草案明确宣称“空间资源可以被占有”,并规定了授权和监管空间资源探索任务的程序^[56]。这标志着卢森堡成为全球第2个、欧洲第1个以法律形式保障私营企业对其开采的空间资源拥有所有权的国家^[57]。美、卢利用国内法护航小行星采矿的合法性及其未来实质性举措引发世界范围内的极大关注和

激辩。

卢森堡政府于2016年初启动“卢森堡空间资源”项目,旨在将卢森堡定位为欧洲开发和利用空间资源的中心,将小行星商业化开发培育成为国家核心高科技产业,制定法律框架是该项目的核心举措。在开展国内立法的同时,卢森堡还将着力推动国际合作,建立空间资源利用的国际法规和监管框架。同时,卢森堡积极推进空间资源利用领域的国际合作,近期与ESA签署联合声明,将进一步研究空间资源探索和利用技术活动涉及的技术和科学问题。卢森堡政府、卢森堡公法银行机构国家投资信贷公司与美国行星资源公司共同签署价值2500万欧元的投资和合作协议,用于推进在2020年前发射首个商业小行星勘探任务的相关技术开发活动^[58]。

3 任务平台

3.1 中国成功发射硬X射线调制望远镜

空间X射线天文学是空间天文学的重要分支之一,利用空间平台,通过探测宇宙天体波长0.01~10 nm的X射线辐射,进行天体观测和研究。2017年6月15日,中国首颗硬X射线调制望远镜卫星“慧眼”(图10)在酒泉成功发射,将对银河系进行高灵敏度、高频次的宽波段X射线巡天监测,有望取得重大科学突破^[59]。



图10 “慧眼”硬X射线调制望远镜卫星

(图片来源: <http://n.gbtimes.com/18855>)

Fig. 10 Hard X-ray Modulation Telescope (Huiyan satellite)

“慧眼”呈立方体构型,设计寿命为4年,装载了高能、中能、低能X射线望远镜和空间环境监测器等4个探测有效载荷,主要工作模式包括巡天观测和定点观

测。其主要特点包括:1) 基于中国学者原创的探测方法,采用直接解调成像方法,解决了低成本探测器高精度成像问题,实现宽波段、高灵敏度、高分辨率的空间X射线观测。2) 有效载荷种类全、规模大,探测模式多,4个有效探测载荷共计包含25个探测器单机,能段基本覆盖整个X射线谱段,可实现对伽马射线暴的全天监测,将成为国际上在0.3~3 MeV能区面积最大的伽马射线暴探测器。3) 卫星平台服务保障能力要求高,包括热控保障、对地测控与数传保障以及载荷长期工作下的能源保障能力等。

与目前国际上在轨运行的另外7颗X射线天文卫星相比,“慧眼”具备3项突出优势:1) 功能性能强,既能实现定点观测,又能对大天区进行扫描成像,还能监测空间的高能爆发源。2) 探测波段宽,利用3种探测器,实现了1~250 keV的全覆盖。3) 探测面积大,尤其是高能X射线望远镜的探测面积超过了5000 cm²,是国际上同能区面积最大的准直型望远镜。此外,“慧眼”具有独特的研究X射线双星多波段X射线快速光变的能力,预期可以在黑洞和中子星双星的研究中获得许多新成果。

3.2 全球首个中子星探测任务运抵国际空间站

中子星是恒星爆炸性死亡后留下的恒星残余物,由于其极端性质,自1967年发现以来一直吸引着研究人员的关注。迄今为止,人们对中子星的性质仍一无所知,但有关中子星内部物理学的理论和模型早已被提出。2017年6月3日,美国主导的全球首个中子星探测任务——中子星内部构成探测器(NICER)运抵国际空间站^[60]。作为国际空间站上的一个有效载荷,NICER将重点开展中子星高精度测量,检验上述理论模型。

NICER的第2个使命是测试脉冲星导航和X射线通信的可行性。由于脉冲星具有高度周期稳定性,因此可以作为“天文时钟”,像GPS提供原子钟信号一样,提供高精度授时服务。同时,脉冲信号强度不会因为距离地球较远而减弱,因此成为深空导航的绝佳解决方案。NICER将作为探测器,参与2项国际空间站技术验证实验。

3.3 NASA在国际空间站上开展空间天文新实验

2017年8月14日,宇宙线能量和质量探测器成功抵达国际空间站^[61-62]。宇宙线能量和质量探测实验旨在借助天基平台测量高能粒子,研究宇宙线的起源及历史,深入了解宇宙基本结构。设备重约1300 kg,将被

安置在“希望”号实验舱的暴露设施平台上。

宇宙线能量探测和质量实验最初是NASA气球计划的一部分,曾在2004—2016年间7次开展测量任务。研究人员表示,宇宙线能量和质量气球实验实现了191天全天时暴露,创下了天文学气球实验的记录。此次在国际空间站上运行可以增加10倍以上的暴露量,突破了传统直接测量的极限。

宇宙线能量和质量探测器将在轨运行3年,收集的数据可以帮助科学家们研究除超新星遗迹外的其他宇宙线来源、原始宇宙线性质推断和宇宙线能量谱等问题。

3.4 “哨兵”系列对地观测卫星助力“哥白尼”计划实施

2017年3月和10月,ESA先后成功发射“哨兵-2B”和“哨兵-5P”对地观测卫星^[63-64],向实现欧洲“哥白尼”(Copernicus)计划的最终目标——打造全球最全面的地球观测系统稳步推进。

“哨兵-2B”将监测全球森林、湖泊和沿海水域污染,卫星获得的洪水、火山爆发和山体滑坡图像将有助于快速建立灾势图和开展人道主义救援工作。“哨兵-2B”与2015年发射的“哨兵-2A”卫星组成“哨兵-2”观测星座,运行高度790 km,再访周期为5天,两颗卫星协同运行,可以覆盖84°S~84°N的所有陆地、岛屿、内陆和沿海水域,优化全球覆盖率和数据传输。

“哨兵-5P”是“哥白尼”计划系列任务中首颗大气监测卫星,可提供大气痕量气体、气溶胶和云量分布等影响空气质量与气候的信息。“哨兵-5P”可与“环境卫星”的数据相互补充,为“哥白尼”气象监测服务提供每日空气质量预报,服务决策制定。

4 结论及展望

2017年,由于长时间受到美国航天政策未来走向暂不明朗的影响,世界空间领域未来发展路径在不断讨论中可能酝酿重大调整。但就空间科学领域而言,重大突破和前沿进展仍亮点纷呈,中国突破尤为引人关注:“悟空”号获得了世界上迄今最精确的高能电子宇宙线能谱,并在1.4 TeV能谱段发现新的结构;“墨子”号在国际上率先实现千公里级量子纠缠分发、从卫星到地面的量子密钥分发、从地面到卫星的量子隐形传态,实现世界领跑;中国首颗硬X射线调制望远镜卫星“慧眼”成功发射,并在人类第一次直接探测双中子星并合事件产生的引力波这一年度最重大的科学突破

中做出贡献。全世界对“中国空间故事”津津乐道,可谓年度盛事。

展望未来,探测到更多的引力波源,寻找太阳系第9大行星存在的直接证据,中国“嫦娥5号”月球探测任务采样返回,詹姆斯·韦伯空间望远镜(JWST)、激光干涉仪空间天线(LISA)、太阳轨道器(SO)、太阳风-磁层相互作用全景成像卫星(SMILE)、火星生命探测计划2020任务(ExoMars 2020)、木星冰月探测器(JUICE)等先进任务可能带来的新热点和新发现,都值得我们热切期待!

致谢 中国科学院科技战略咨询研究院韩淋、王海名、范唯唯为本文提供了详尽的情报信息和充分的技术支持。

参考文献(References)

- [1] 国家自然科学基金委员会,中国科学院. 未来10年中国学科发展战略——空间科学[M]. 北京: 科学出版社, 2012. National Natural Science Foundation of China, Chinese Academy of Sciences. China's discipline development strategy in the next 10 years—Space Science[M]. Beijing: Science Press, 2012.
- [2] 中国科学院空间领域战略研究组. 中国至2050年空间科技发展路线图[M]. 北京: 科学出版社, 2009. Strategic Research Group on Space Science & Technology of the Chinese Academy of Sciences. Space science & technology in China: A roadmap to 2050[M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [3] 紫金山天文台. 暗物质粒子探测卫星“悟空”获得迄今最精确高能电子宇宙线能谱[EB/OL]. (2017-11-30)[2017-12-22]. http://www.cas.cn/tt/201711/t20171129_4625129.shtml. Purple Mountain Observatory, Chinese Academy of Sciences. Dark matter particle Explorer (Wukong satellite) obtains the most accurate energy spectrum of the high-energy cosmic ray electrons and positrons [EB/OL]. (2017-11-30)[2017-12-22]. http://www.cas.cn/tt/201711/t20171129_4625129.shtml.
- [4] Collaboration D. Direct detection of a break in the teraelectron-volt cosmic-ray spectrum of electrons and positrons[J]. Nature, 2017, 552(7683): 63-66.
- [5] JAXA. The first detection in space of 3 TeV Cosmic Ray Electrons in a high-precision measurement of the electron energy spectrum by CALET on the International Space Station[EB/OL]. (2017-11-07)[2017-12-22]. http://iss.jaxa.jp/en/kiboexp/news/171102_calet_en.html.
- [6] Adriani O, Akaike Y, Asano K, et al. Energy spectrum of cosmic-ray electron and positron from 10 GeV to 3 TeV observed with the calorimetric electron telescope on the International Space Station[J]. Physical Review Letters, 2017, 119(18): 181101.

- [7] 林小春. 关于中子星引力波的十大事实[EB/OL]. (2017-10-17)[2017-12-22]. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2017/10/391261.shtm>.
Lin Xiaochun. Ten facts about the gravitational wave of the neutron star[EB/OL]. (2017-10-17) [2017-12-22]. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2017/10/391261.shtm>.
- [8] Abbott B P, Abbott R, Adhikari R X, et al. Multi-messenger observations of a binary neutron star merger[J]. *The Astrophysical Journal Letters*, 2017, 848(2): L12.
- [9] Cho A. Merging neutron stars generate gravitational waves and a celestial light show[EB/OL]. (2017-10-16) [2017-12-22]. <http://www.sciencemag.org/news/2017/10/merging-neutron-stars-generate-gravitational-waves-and-celestial-light-show>.
- [10] 科普中国. 苟利军: 中国哪两台望远镜参与了这次引力波观测[EB/OL]. (2017-10-17)[2017-12-22]. http://www.guancha.cn/GouLiJun/2017_10_17_431129_s.shtml.
China Science Communication. Gou Lijun: Which two telescopes in China participated in the gravitational wave observation[EB/OL]. (2017-10-17)[2017-12-22]. http://www.guancha.cn/GouLiJun/2017_10_17_431129_s.shtml.
- [11] 引力波来自中子星合并, 中国专家详解发现与观测过程[EB/OL]. (2017-10-18) [2017-12-22]. http://www.guancha.cn/industry-science/2017_10_18_431334.shtml.
Gravitational waves come from the combination of neutron stars, which process of discovery and observation are detail explained by Chinese experts[EB/OL]. (2017-10-18) [2017-12-22]. http://www.guancha.cn/industry-science/2017_10_18_431334.shtml.
- [12] NASA. NASA missions catch first light from a gravitational-wave event [EB/OL]. (2017-10-16)[2017-12-22]. <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-missions-catch-first-light-from-a-gravitational-wave-event>.
- [13] European Space Agency. Gravitationalwavemissionselected-planet-huntingmissionmovesforward[EB/OL]. (2017-06-20) [2017-12-22]. http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Gravitational_wave_mission_selected_planet-hunting_mission_moves_forward.
- [14] Sokol J. A recharged debate over the speed of the expansion of the universe could lead to new physics[EB/OL]. (2017-03-08)[2017-12-22]. <http://www.sciencemag.org/news/2017/03/re-charged-debate-over-speed-expansion-universe-could-lead-new-physics>.
- [15] Castelvechi D. Measurement of Universe's expansion rate creates cosmological puzzle[EB/OL]. (2017-04-11) [2017-12-22]. <http://www.nature.com/news/measurement-of-universe-s-expansion-rate-creates-cosmological-puzzle-1.19715>.
- [16] Kostadinova I. Rare Brightening of a Supernova's Light found by Palomar Observatory[EB/OL]. (2017-04-20)[2017-12-22]. <http://www.caltech.edu/news/rare-brightening-supernovas-light-found-palomar-observatory-54795>.
- [17] European Space Agency. Hubble observes first multiple images of explosive distance indicator[HEIC1710][EB/OL]. (2017-04-20)[2017-12-22]. <http://sci.esa.int/hubble/59029-hubble-observes-first-multiple-images-of-explosive-distance-indicator-heic1710/>.
- [18] Goobar A, Amanullah R, Kulkarni S R, et al. iPTF16geu: A multiply imaged, gravitationally lensed type Ia supernova[J]. *Science*, 2017, 356(6335): 291-295.
- [19] Gillon M, Triaud A H M J, Demory B O, et al. Seven temperate terrestrial planets around the nearby ultracool dwarf star TRAPPIST-1[J]. *Nature*, 2017, 542(7642): 456-460.
- [20] Clery D. Seven potentially habitable Earth-sized planets spied around tiny nearby star[EB/OL]. (2017-02-22)[2017-12-22]. <http://www.sciencemag.org/news/2017/02/seven-potentially-habitable-earth-sized-planets-spied-around-tiny-nearby-star>.
- [21] Witze A. These seven alien worlds could help explain how planets form[EB/OL]. (2017-02-22)[2017-12-22]. <http://www.nature.com/news/these-seven-alien-worlds-could-help-explain-how-planets-form-1.21512>.
- [22] Snellen I A G. Astronomy: Earth's seven sisters[EB/OL]. (2017-02-22) [2017-12-22]. <http://www.nature.com/nature/journal/v542/n7642/full/542421a.html>.
- [23] Clery D. Seven potentially habitable Earth-sized planets spied around tiny nearby star[EB/OL]. (2017-02-22)[2017-12-22]. <http://www.sciencemag.org/news/2017/02/seven-potentially-habitable-earth-sized-planets-spied-around-tiny-nearby-star>.
- [24] NASA. Artificial intelligence, NASA data used to discover eighth planet circling distant star[EB/OL]. (2017-12-15) [2017-12-22]. <https://www.nasa.gov/press-release/artificial-intelligence-nasa-data-used-to-discover-eighth-planet-circling-distant-star>.
- [25] Shallue C J, Vanderburg A. Identifying exoplanets with deep learning: A five planet resonant chain around Kepler-80 and an eighth planet around Kepler-90 [J]. *ArXiv e-prints*, 2017: 1712.05044.
- [26] NASA. How many exoplanets has Kepler discovered[EB/OL]. [2017-12-22]. <https://www.nasa.gov/kepler/discoveries>.
- [27] NASA. NASA's Cassini Spacecraft ends its historic exploration of Saturn[EB/OL]. (2017-09-15)[2017-12-22]. <https://saturn.jpl.nasa.gov/news/3121/nasas-cassini-spacecraft-ends-its-historic-exploration-of-saturn>.
- [28] NASA. CASSINI 1997-2017 legacy[EB/OL]. [2017-12-22]. <https://saturn.jpl.nasa.gov/the-journey/grand-finale-feature>.
- [29] NASA. A whole new jupiter: First science results from NASA's Juno mission[EB/OL]. (2017-05-26)[2017-12-22]. <https://www.nasa.gov/press-release/a-whole-new-jupiter-first-science-results-from-nasa-s-juno-mission>.
- [30] Bolton S J, Adriani A, Adumitroaie V, et al. Jupiter's interior

- and deep atmosphere: The initial pole-to-pole passes with the Juno spacecraft[J]. *Science*, 2017, 356(6340): 821-825.
- [31] Connerney J E P, Adriani A, Allegrini F, et al. Jupiter's magnetosphere and aurorae observed by the Juno spacecraft during its first polar orbits[J]. *Science*, 2017, 356(6340): 826-832.
- [32] Bolton S J, Adriani A, Adumitroaie V, et al. Jupiter's interior and deep atmosphere: The initial pole-to-pole passes with the Juno spacecraft[J]. *Science*, 2017, 356(6340): 821-825.
- [33] NASA. Jupiter's auroras present a powerful mystery[EB/OL]. (2017-09-07)[2017-12-22]. <https://www.nasa.gov/feature/jpl/jupiter-s-aurora-presents-a-powerful-mystery>.
- [34] Mauk B H, Haggerty D K, Paranicas C, et al. Discrete and broadband electron acceleration in Jupiter's powerful aurora [J]. *Nature*, 2017, 549(7670): 66 - 69.
- [35] NASA. NASA's Juno probes the depths of Jupiter's great red spot[EB/OL]. (2017-12-12)[2017-12-22]. <https://www.nasa.gov/feature/jpl/nasas-juno-probes-the-depths-of-jupiters-great-red-spot>.
- [36] NASA. Researchers receive honors for most compelling space station science in 2016[EB/OL]. (2017-07-20)[2017-12-22]. https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/most_compelling_2016.
- [37] NASA. NASA honors researchers behind innovative space station science in 2016[EB/OL]. (2017-07-20)[2017-12-22]. https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/innovation_awards2016.
- [38] NASA. GRACE mission: 15 years of watching water on earth [EB/OL]. (2017-03-15)[2017-12-22]. <https://www.nasa.gov/feature/jpl/grace-mission-15-years-of-watching-water-on-earth>.
- [39] NASA. Orbiting carbon observatory 2 mission overview[EB/OL]. [2017-12-22]. https://www.nasa.gov/mission_pages/oco2/overview.
- [40] 国家卫星气象中心. 专家介绍——许建民[EB/OL]. (2010-11-23)[2017-12-22]. <http://www.nsmc.org.cn/NSMC/Contents/101871.html>.
National Satellite Meteorological Centre. Expert introduction: Xu Jianmin[EB/OL]. (2010-11-23)[2017-12-22]. <http://www.nsmc.org.cn/NSMC/Contents/101871.html>.
- [41] “墨子号”在国际上率先实现千公里级量子纠缠分发[EB/OL]. (2017-06-16)[2017-12-22]. http://www.cas.cn/zt/kjzt/lzwx/zxdt/201706/t20170616_4605332.shtml.
Mozi satellite is the first to realize the quantum entanglement distribution on kilometer level in the world[EB/OL]. (2017-06-16)[2017-12-22]. http://www.cas.cn/zt/kjzt/lzwx/zxdt/2017-06/t20170616_4605332.shtml.
- [42] Yin J, Cao Y, Li Y H, et al. Satellite-based entanglement distribution over 1200 kilometers[J]. *Science*, 2017, 356(6343): 1140-1144.
- [43] Ren J G, Xu P, Yong H L, et al. Ground-to-satellite quantum teleportation[J]. *Nature*, 2017, 549(7670): 70-73.
- [44] Liao S K, Cai W Q, Liu W Y, et al. Satellite-to-ground quantum key distribution[J]. *Nature*, 2017, 549(7670): 43-47.
- [45] 丁佳. “墨子号”实现量子通信“三级跳”[N]. *中国科学报*, 2017-08-10(1).
Ding Jia. Mozi satellite realizes quantum communication "three level jump"[N]. *China Science Daily*, 2017-08-10(1).
- [46] “墨子号”实现星地量子密钥分发和地星量子隐形传态圆满完成全部既定科学目标[EB/OL]. (2017-08-10)[2017-12-22]. http://www.cas.cn/zt/kjzt/lzwx/zxdt/201708/t20170810_4610866.shtml.
Mozi satellite achieves all established scientific goals[EB/OL]. (2017-08-10)[2017-12-22]. http://www.cas.cn/zt/kjzt/lzwx/zxdt/201708/t20170810_4610866.shtml.
- [47] Nature. Nature's 10: Ten people who mattered this year[EB/OL]. (2017-12-18)[2017-12-22]. <https://www.nature.com/immersive/d41586-017-07763-y/index.html>.
- [48] Physics World. First multimessenger observation of a neutron-star merger is Physics World 2017 Breakthrough of the Year [EB/OL]. (2017-12-11)[2017-12-22]. <http://physicsworld.com/cws/article/news/2017/dec/11/first-multimessenger-observation-of-a-neutron-star-merger-is-in-physics-world-in-2017-breakthrough-of-the-year>.
- [49] National Institute of Information and Communications Technology. World's first demonstration of space quantum communication using a microsatellite[EB/OL]. (2017-07-11)[2017-12-22]. <http://www.nict.go.jp/en/press/2017/07/11-1.html>.
- [50] Takenaka H, Carrasco-Casado A, Fujiwara M, et al. Satellite-to-ground quantum-limited communication using a 50-kg-class microsatellite[J]. *Nature Photonics*, 2017, 11(8): 502-508.
- [51] The White House. Presidential executive order on reviving the National Space Council[EB/OL]. (2017-06-30)[2017-12-22]. <https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2017/06/30/presidential-executive-order-reviving-national-space-council>.
- [52] The White House. President trump issues executive order on reviving the National Space Council[EB/OL].(2017-06-30)[2017-12-22]. <https://www.whitehouse.gov/blog/2017/06/30/president-trump-issues-executive-order-reviving-national-space-council>.
- [53] President Trump re-establishes National Space Council[EB/OL]. (2017-06-30)[2017-12-22]. <https://www.space.com/37363-president-trump-national-space-council.html>.
- [54] The White House. Presidential memorandum on reinvigorating America's human space exploration program[EB/OL]. (2017-12-11)[2017-12-22]. <https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2017/12/11/presidential-memorandum-reinvigorating>

- americas-human-space-exploration.
- [55] The White House. President Donald J. Trump will make America a leader in space exploration again[EB/OL]. (2017-12-11)[2017-12-22]. <https://www.whitehouse.gov/briefings-statements/president-donald-j-trump-will-make-america-leader-space-exploration>.
- [56] The Government of the grand duchy of Luxembourg. Exploring New Frontiers: Draft law on the exploration and use of space resources[EB/OL]. (2017-07-13)[2017-12-22]. <http://www.spaceresources.public.lu/content/dam/spaceresources/news/Translation%20of%20The%20Draft%20Law.pdf>.
- [57] SpaceResources.lu. Luxembourg is the first european nation to offer a legal framework for space resources utilization[EB/OL]. (2017-07-13)[2017-12-22]. <http://www.spaceresources.public.lu/en/actualites/2017/Luxembourg-is-the-first-European-nation-to-offer-a-legal-framework-for-space-resources-utilization.html>.
- [58] SpaceResources.lu. the Luxembourg government becomes a key shareholder of planetary resources, Inc., the U.S.-based asteroid mining company[EB/OL]. (2017-11-03)[2017-12-22]. http://www.spaceresources.public.lu/content/dam/spaceresources/press-release/2016/2016_11_03PlanetaryResourcesAgreement.pdf.
- [59] 冯华. 太空多了双“慧眼”[N]. 人民日报, 2017-06-16(12).
- Feng H. Space has added a pair of "eyesight"[N]. People's Daily, 2017-06-16(12).
- [60] Keesey L. NASA to launch first-ever neutron-star mission[EB/OL]. (2017-06-01)[2017-12-22]. <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2017/nasa-to-launch-first-ever-neutron-star-mission>.
- [61] NASA. NASA cargo launches to space station aboard SpaceX resupply mission[EB/OL]. (2017-08-15)[2017-12-22]. <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-cargo-launches-to-space-station-aboard-spacex-resupply-mission>.
- [62] NASA. New mission going to the space station to explore mysteries of "Cosmic Rain"[EB/OL]. (2017-09-01)[2017-12-22]. <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2017/new-mission-going-to-the-space-station-to-explore-mysteries-of-cosmic-rain>.
- [63] European Space Agency. Second "colourvision" satellite for Copernicus launched[EB/OL]. (2017-03-07)[2017-12-22]. http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Second_colour_vision_satellite_for_Copernicus_launched.
- [64] European Space Agency. Air quality monitoring satellite in orbit[EB/OL]. (2017-10-13)[2017-12-22]. http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Air_quality_monitoring_satellite_in_orbit.

Hot topic review of Space Science in 2017

WU Ji^{1,2}, YANG Fan³, ZHANG Feng³

1. National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China
3. Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

Abstract Space science is a multi-disciplinary scientific and technology area to investigate the fundamental processes and natural laws of physics, chemistry and life in solar-terrestrial space, solar system and the universe, using space infrastructure as the main working platform. This paper reviews the major strategic activities, research progresses and new space infrastructures of space science in 2017. The contents include President Trump re-established National Space Council, the Luxembourg parliament adopted the draft law on the exploration and use of space resources, space infrastructures assisted discovery of gravitational waves produced by merging of neutron stars, China achieved a breakthrough in space quantum technology, DAMPE got high-precision measurement results of the electron energy spectrum, Cassini spacecraft ended its historic exploration of Saturn, and the launch of the first ever neutron-star mission.

Keywords space science; research hotspots in 2017; development strategy ●



(责任编辑 王志敏)