

# 2016年天文学热点回眸

傅雪<sup>1</sup>, 刘国卿<sup>2</sup>

1. 《科技导报》编辑部, 北京 100081
2. 清华大学天体物理中心, 北京 100084

**摘要** 天文学是研究各种天体或天体系统的位置、运动、起源及演化的学科。回顾了2016年天文学领域的研究热点、重大进展和重大事件。盘点了人类首次探测到引力波、最亮超新星爆发、从超软X射线源发现相对论性高速喷流、发现最近行星及寻找“太阳系第九大行星”等研究进展;介绍了世界最大单口径射电望远镜落成、暗物质探测卫星“悟空”发射等重大事件。

**关键词** 天文学;研究热点;重大进展;重大事件

“我们的征途是星辰大海”,仰望星空,几乎每个人心中都有一个宇宙梦。中国古代伟大诗人屈原在《天问》中提出,“上下未形,何由考之?冥昭瞢暗,谁能极之?冯翼惟象,何以识之?明明暗暗,惟时何为?”在强烈好奇心和求真理渴求的驱动下,人类一直没有停止过对宇宙的探索。

天文学是研究各种天体或天体系统的位置、运动、起源及演化的学科。近几十年,天文学得到了迅猛发展,但仍有许多问题没有得到解答。主要问题集中在:两暗(暗物质、暗能量)、一黑(黑洞)、三起源(宇宙起源演化、天体起源演化、生命起源)。目前研究前沿热点有,超新星的爆发机制<sup>[1-2]</sup>, Ia型超新星的前身星,超大质量黑洞起源及其在宿主星系演化关系,星系中棒结构的形成,环境对星系中中性氢的影响,冷或温暗物质及如何观测验证,银盘旋臂的结构、形成和演化,快速射电暴(FRB)的起源以及太阳系外行星的探寻等。

## 1 研究进展

### 1.1 首次直接探测到引力波

2016年2月11日,美国科研人员宣布,他们利用激光干涉引力波天文台(LIGO)(图1)首次直接探测到引力



(a) 位于华盛顿州的汉福德探测器



(b) 位于路易斯安那州的列文斯顿探测器

图1 两台相距3000 km的引力波探测器(来源:LIGO)

波。这一消息瞬间引爆全球,全世界都为之欢欣鼓舞。此次发现不仅证实了广义相对论对引力波的预言,还将为人类认识宇宙开启一个新的观测“窗口”,为宇宙探索增添了新的观测手段。这一划时代的发现开启了引力波物理、天文学及宇宙物理研究的新纪元。

据科研人员推断,这次探测到的引力波是由2个黑洞并合产生(图2),这2个黑洞的初始质量分别是29倍和36倍太阳质量,并合成1个62倍太阳质量高速旋转的黑洞,亏损的3个太阳质量以引力波的形式释放到宇宙空间,经过13亿年的漫长旅行,2015年9月14日被地球上的精密仪器探测到(图3)。

科学家花费了数月的时间验证数据并通过审查程序,宣布了这个讯息<sup>[3]</sup>。2016年6月16日,LIGO合作组宣布他们于2015年12月26日探测到了第2个引力波信号<sup>[4]</sup>。

100年前,爱因斯坦基于广义相对论预言了引力波的存在<sup>[5]</sup>,认为聚集成团的物质或能量的形状或速度突然改变时,会改变附近的时空状态,就像涟漪一样,以光速在宇宙传播。由于引力波产生的时空扭曲非常微小,因此非常难以探测到。人类首次探测到引力波,不仅是技术的进步,还是整个基础物理发展的体现。

同电磁波一样,引力波也有不同的

收稿日期:2016-12-25;修回日期:2017-01-04

作者简介:傅雪,编辑,研究方向为凝聚态物理学,电子信箱:fuxue@cast.org.ac.cn

引用格式:傅雪,刘国卿. 2016年天文学热点回眸[J]. 科技导报, 2017, 35(1): 30-35; doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2017.01.004

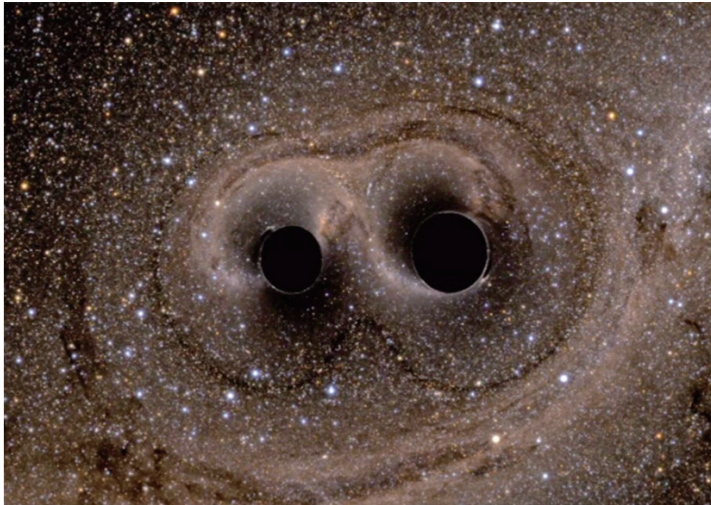
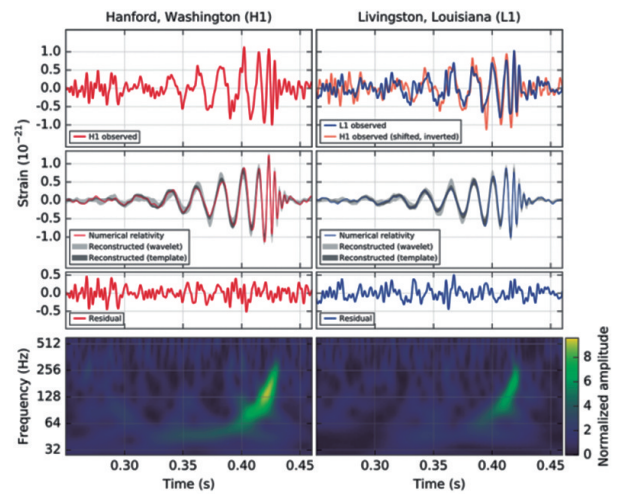


图2 2个黑洞并合的模拟图  
(图片来源:SXS collaboration)



上部为2个观测站探测到的曲线,下部是与理论相比较的拟合结果  
图3 LIGO的2个观测站探测到的GW150914引力波事件

波段,因此针对不同天体物理与宇宙起源的引力波信号,有不同的探测手段(表1)。除了美国的LIGO,目前世界上开展或计划开展的引力波探测项目还有,德国和英国合作的GEO600、法国和意大利合作的VIRGO、日本的TAMA300、KAGRA及计划中的LIGO-India、澳大利亚计划中的AIGO、印度计划中的LIGO-India、欧洲eLISA等(图4),这种全球引力波探测网络,将有利于提高确定引力波源位置及更准确估计它们物理性质的能力。

中国也在加紧引力波探测项目的进展,目前有阿里实验计划、空间引力波探测计划、脉冲星测时阵(PTA)、引力波波源电磁对应探测项目等,相信中国在空间科学研究、高端空间技术和科学卫星的整体水平上会有一个质的飞跃。

### 1.2 夜空中最亮的星——发现有史以来最强的超新星爆发

超新星是某些恒星在生命终点的剧烈爆发现象,可用于检验当前的恒星演化理论,一直是不同天文学分支汇聚研究的焦点<sup>[6]</sup>。2016年,一颗名为ASASSN-15lh极亮超新星的发现震惊了天文学界(图5),这是迄今为止观测到的最强超新星爆发,由于它辐射的能量太高,目前的超新星理论难以对它的爆发机制和能量来源给予令人满意的解释。此次发现对超新星爆发理论提

表1 探测引力波的方法

引力波信号源	频率/Hz	探测手段	相应研究机构/项目
原初引力波——产生于宇宙大爆炸时宇宙时空剧烈的暴胀过程	频率最低,波长跟整个宇宙尺度差不多	通过宇宙微波背景辐射寻找。即通过研究原初引力波可能对微波背景辐射造成的影响,间接探测引力波。	阿里实验计划 美国哈佛史密松天体物理中心
大质量黑洞合并时产生的引力波	$10^{-6} \sim 10^{-8}$	校准后的毫秒脉冲星。即利用地面上的大型地面射电望远镜作为探测器来观测。	500 m口径球面射电望远镜(FAST) 脉冲星测时阵(PTA) 平方公里射电阵(SKA)
中子星碰撞、超新星爆发	$10^{-5} \sim 1$	空间卫星阵列	欧洲空间局eLISA 中国空间引力波探测计划
中子星、恒星级黑洞等致密天体组成的双星系统并合	几十~几千	地面激光干涉装置	LIGO GEO VIRGO TAMA

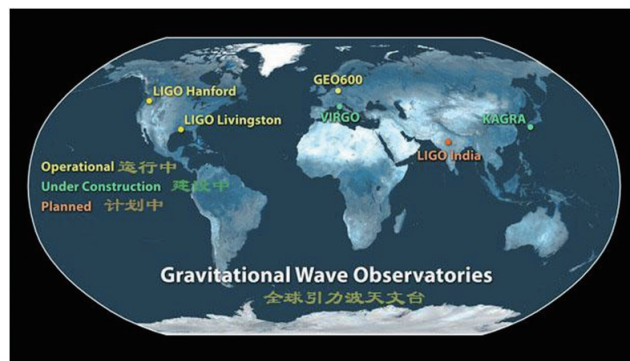


图4 全球引力波天文台分布



图5 史上最亮超新星 ASASSN-15lh 爆发的想像图  
(图片来源:北京天文馆)

出了一个全新挑战,可能会引发对极亮超新星整体的理论创新和更多的观测,并对理解贫氢极亮型超新星的爆发环境具有重要意义,有望为天文学家揭开极亮型超新星的爆发之谜提供重要线索<sup>[7]</sup>。

这颗超新星是由美国俄亥俄州立大学牵头,包括北京大学科维理天文与天体物理研究所在内的国际项目团队发现的。这项研究成果以北京大学东苏勃为第一作者、通讯作者发表在2016年1月15日出版的《Science》杂志上<sup>[8]</sup>,《Scientific American》、《Nature》、《New Scientist》等媒体做了报道<sup>[9-11]</sup>。

ASASSN-15lh 超新星与地球的距离为38亿光年,属于罕见的“极亮型超

新星”家族中的一员,达到的最高光度比太阳要强5700亿倍,比普通超新星亮200倍,是整个银河系千亿颗恒星总光度的20倍左右(图6)。

目前解释极亮超新星能源机制最为流行的理论之一是磁中子星模型。在这个

模型中,恒星爆发后会在中心遗留一颗有着极强磁场并飞速自转的中子星,这颗磁中子星的剧烈磁化星风可将爆炸抛射物加热到高温从而产生辐射。ASASSN-15lh 的红移  $z=0.2326$ ,其绝对星等  $M_{\mu, AB}=-23.5\pm 0.1$ ,热光度  $L_{bol}=(2.2\pm 0.2)\times 10^{45} \text{ ergs}\cdot\text{s}^{-1}$ ,具有几个贫氢超亮超新星的典型特征,其能量来源和前体当前还很少了解。自发现后的4个月时间里,ASASSN-15lh 辐射了  $(1.1\pm 0.1)\times 10^{52} \text{ ergs}$  的能量,相当于太阳以现在的强度照耀900亿年,如此之高的能量刚好超过了磁中子星理论模型所允许的上限。而另一种可能解释是,ASASSN-15lh 的辐射是由极高质量恒星爆发产生的数十倍太阳质量的放射

性元素衰变导致的。

### 1.3 首次从超软X射线源发现相对论性高速喷流

吸积致密天体如何形成相对论性重粒子喷流是天体物理学中的一个谜团。中国科学院大学天文与空间科学学院教授、国家天文台研究员刘继峰的团队在国际上首次从超软X射线源发现相对论性高速喷流,此发现打破了天文学界以往的认识,揭示了黑洞吸积和喷流形成的新方式,这是在黑洞研究领域的又一突破性的重大天文发现<sup>[12]</sup>。

以往公众认知的黑洞只能吞噬物质,其实,黑洞在吞噬物质的过程中有时也会产生向外的喷流。黑洞如何吞噬物质及喷流如何形成一直是天体物理学中的重大前沿问题。研究人员对位于M81星系附近的一个超亮超软X射线源的光谱测量(图7),结果显示其H $\alpha$ 发射线展现出存在蓝移,这是相对论性重粒子喷流的特征,其喷流的速度达到了光速的17%,这与对微类星体SS433观测到的结果相当。这种相对论性粒子喷流不可能源自白矮星,也不可能源于一个黑洞或中子星。这种此前天文学家普遍认为黑洞吞噬物质后不能产生超软X射线谱态,且只有在X射线低硬谱态或甚高谱态下才会产生相对论性喷流。这种非预期的相对论性喷流刷新了以往的粒子喷流形成的

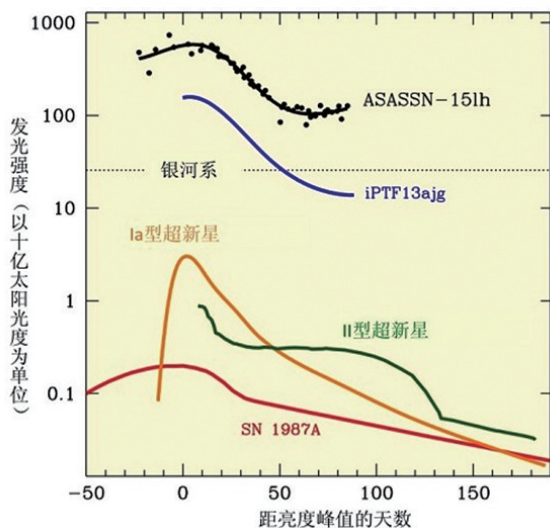


图6 ASASSN-15lh 超新星光度随时间变化的曲线  
及与其他超新星的比较  
(图片来源:全天自动超新星搜索项目团队)

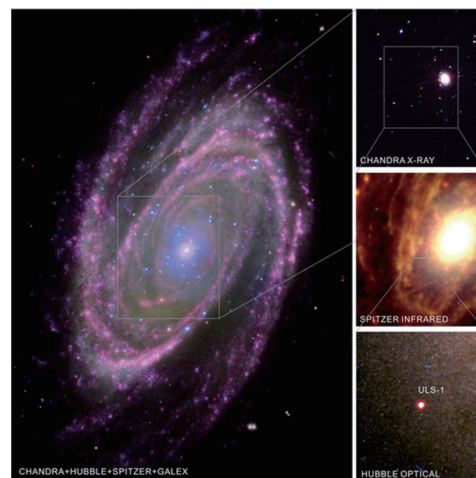


图7 旋涡星系M81中的极亮超软X射线源位置  
(由Hubble空间望远镜、GALEX紫外望远镜、Spitzer红外望远镜、Chandra X射线望远镜的图像合成)  
(图片来源:中国科学院国家天文台)

理论,但有可能被一个长期推测的具有浓厚外流的超临界吸积黑洞模型所解释。

#### 1.4 发现已知最近的系外行星

2016年初,英国伦敦大学玛丽皇后学院天文学家 Guillem Anglada Escudé 在比邻星的宜居带发现小型岩石行星——比邻星 b(图 8),这是迄今发现的 3500 颗系外行星中,最接近地球的 1 颗,该论文发表在《Nature》杂志上<sup>[13]</sup>,再次激起寻找地外生命的希望。但 2016 年 12 月,另一位天文学家 Dimitra Atri 称,该行星上的生命可能被所绕恒星的电子辐射摧毁,超级耀斑将它置于“灭绝水平”的辐射中<sup>[14]</sup>。



图 8 比邻星 b 想象图  
(图片来源:环球科学)

比邻星 b 围绕太阳系外最近的恒星比邻星运行,距离太阳只有 4.22 光年。虽然其与所绕恒星相距只有地球和太阳间距离的 5%,且 11.2 天就能完成一个轨道周期,但比邻星 b 所绕恒星非常暗淡,辐射能量比太阳小得多,因此温度足够温和,大约在  $-90^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ ,适合液态地表水存在。尽管条件应该能够支持生命的存在,但是其磁场仍是决定性因素。由于比邻星 b 运行轨道距离所绕恒星太近,比水星与太阳之间的距离还小,任何恒星耀斑(图 9)都可能对其表面产生巨大影响。Dimitra Atri 模拟了从恒星发出的耀斑对其轨道行星产生的影响,他认为,虽然耀斑辐射不足以完全消灭比邻星 b 上的所有生命形式,但还是会定期“扫荡”,造成频繁的“灭绝级别事件”。因此行星的强磁场和良好的大气屏蔽对星球生命具有重要意义,有了这两个因素,再强的恒星耀斑对原始生物圈的影响都要减弱。同时,Dimitra Atri 与同事认

为,行星表面演化的生命必须在其外层组织变硬后才可能抗辐射,其最新研究转向了生活在地球表面以下 2.8 km 处的一种棒状细菌,可以在没有光、碳或氧气的极端环境中生存,他们仅从放射性铀中获得能量。事实证明,要找到一个可居住的外星世界可能相当困难,或许随着未来几年更先进技术出现,我们可以最终确认这些所谓的宜居星球否真正适合居住。



图 9 系外行星和超级耀斑  
(图片来源:百家号)

#### 1.5 寻找“小九”

2006 年,冥王星从太阳系的行星行列中被“开除”,“降级”为矮行星,太阳系的九大行星变成了八大行星,但对“太阳系第九大行星”的搜寻,一直没有停止过。10 年后,“冥王星杀手”Mike Brown<sup>[15]</sup>及同事 Konstantin Batygin 等在《The Astronomical Journal》杂志中提出,在太阳系柯伊伯带之外可能还有另一颗比冥王星大 5000 倍的行星<sup>[16]</sup>,该文的 Altmetric 指数高达 4319。一时间,寻找“小九”又引起了大家的关注和讨论。

推断中的这颗行星(图 10)大约是 10 倍地球质量,公转一周需要 1~2 万地球年。研究人员称,在 45 亿年前太阳系的幼年时期,这颗巨大的行星被推出



图 10 “太阳系第九大行星”模拟  
(图片来源:IPAC)

了太阳附近的行星形成区。早期太阳系里的气体减缓了这颗行星的速度,使它最终进入一条遥远的椭圆轨道,在那里一直潜伏到今天。

太阳系是否真的有“第九大行星”?这一直是国际天文学界扑朔迷离的谜题之一,对“小九”的搜寻也持续了几个世纪之久,甚至前几年也出现过类似报道,这次的证据是最强有力的一次。即使如此,这也仅是一种科学推断,最终仍需要望远镜等直接观测证据证明其存在。

若“第九大行星”确实存在,那将是意义非凡的重大发现。它将刷新人类对太阳系天体结构的已有认知,对人类理解太阳系的基本结构、了解太阳系的起源和演化,具有极为重要的科学意义。

## 2 天文仪器

### 2.1 世界最大单口径射电望远镜在贵州落成

射电望远镜在天文观测史上可谓立下汗马功劳。20 世纪 60 年代天文学取得“四大发现”——脉冲星、类星体、宇宙微波背景辐射和星际有机分子,都与射电望远镜有关。

2016 年 7 月 3 日,世界最大单口径射电望远镜(five hundred meters aperture spherical radio telescope, FAST)在中国贵州落成(图 11),其口径 500 m,主反射面面积达 25 万  $\text{m}^2$ ,由近 46 万块三角形单元拼接而成。因此能以很高的灵敏度巡视宇宙中的中性氢、观测脉冲星、探测星际分子,以期揭秘宇宙的起源和演化。

被大家爱称为“观天巨眼”的 FAST 具有 4 项“独门绝技”:1) 大口径之最。射电望远镜的口径越大,灵敏度越高。理论上 FAST 能接收到 137 亿光年以外的电磁信号,这个距离接近于宇宙的边缘。2) 巨眼灵活。FAST 在观测天体时,会随着天体的方位变化,在其 500 m 的球冠状主动反射面上实时形成一个 300 m 直径的瞬时抛物面,并通过这个抛物面来汇聚电磁波。3) 毫米级精度,心细如发。500 m 的结构,每

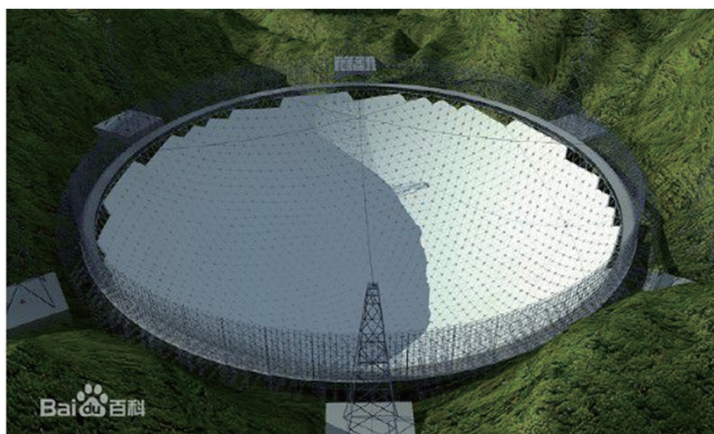


图 11 FAST(图片来源:百度)

处加工精度都被控制在 1 mm 以内。  
4) 深空猎手。FAST 能够冲出银河系, 寻找新星, 特别是快速旋转、密度极高的脉冲星, FAST 期望第 1 年就找到 50~80 颗银河系外的脉冲星, 还有可能观察到早期宇宙的蛛丝马迹——中性氢云团的运动。FAST 加盟大口径望远镜家族, 将大大推进人类认识宇宙的速度。未来, FAST 关键技术成果还可应用于诸多相关领域, 如大尺度结构工程、公里范围高精度动态测量、大型工业机器人研制以及多波束雷达装置等<sup>[17]</sup>。

## 2.2 暗物质探测卫星“悟空”

暗物质是 21 世纪粒子物理、天体物理和宇宙学共同研究的热点问题, 也是笼罩在物理学和天文学上空的“乌云”。目前, 整个宇宙中, 人类可以“看”到的物质不到 5%, 95% 以上的是看不见的物质——暗物质和暗能量, 人们知道它的存在, 但不知道它们是什么。暗物质涉及宇宙产生和演化的一些最基本问题。美国国家研究理事会将“什么是暗物质”列为 21 世纪与宇宙相关的重大前沿科学问题之首。

为了“拨云见日”, 2015 年 12 月 17 日, 中国科学卫星系列的首发星——暗物质粒子探测卫星“悟空”发射升空, “悟空”(英文名 DAMPE) 是目前世界上观测能段范围最宽、能量分辨率最优和粒子鉴别能力最强的暗物质粒子探测卫星。它由卫星平台和 4 个有效载荷组成, 分别是塑闪阵列探测器、硅阵列探测器、BGO 量能器和中子探测器, 共

同构成一个高能粒子探测器望远镜<sup>[18]</sup>。

“悟空”在太空中遨游了 1 年, 中国科学院紫金山天文台副台长、暗物质粒子探测卫星首席科学家常进, 给出了“悟空”的成绩单: 4 个有效载荷 100% 正常工作; 在粒子的电荷测量、能量测量、方向测量、粒子鉴别等方面都取得了重要进展, 全面实现或超过了设计指标。迄今已完成全天区覆盖 2 次, 共探测有效事例 18 亿个。目前正在积累足够的科学数据, 希望在不久的将来能够获得突破性成果(图 12)。我们也希望在盘点 2017 年科技进展时, “悟空”会为我们带来惊喜。



图 12 中国科学院国家空间科学中心空间科学任务大厅(图片来源:新华网)

## 3 结论

2016 年, 除首次探测到引力波外, 对天文学领域来说并不是一个“丰收

年”, 或许一个地球年对宇宙的年龄来说, 只不过是“沧海一粟”。值得一提的是, 在国际重大科学进展和事件中, 越来越多的出现了中国的身影, 不仅体现了中国科学技术的进步、国力的增强还有国家对基础科学研究的日渐重视。

人类不停的在寻找地球的“小伙伴”, 但依然没有找到任何地外生命的迹象, 不由得让我们反思, 地球生命诞生的环境是如此神奇, 有水、氧气、地磁场、适宜的温度, 连太阳系在银河系的位置也是独特而适宜的。因此在仰望星空的同时“脚踏实地”, 珍爱我们唯一的地球, 在满天繁星的指引下, 去找寻人类和生命的真正意义与使命。

茫茫宇宙、广袤星空如此令人着迷, 人类从来都没有停止探寻宇宙的脚步, 宇宙也慷慨地回应着勇于探索的人们。无论如何, 2016 年是值得历史铭记的一年, 或许, 多年以后星舰文明远航之时, 面对浩瀚星海, 将会回想起 2016 年 2 月 11 日, 人类公布首次探测到引力波信号的那个遥远夜晚。

**致谢:** 中国科学院上海天文台沈志强研究员、中国科学院理论物理研究所张元仲研究员、中国科学院国家天文台姜晓军研究员提供帮助。

## 参考文献 (References)

- [1] Fowler W A, Hoyle F. Neutrino processes and pair formation in massive stars and supernovae[J]. *Astrophysical Journal Supplement*, 1964, 9(9): 201.
- [2] Buras R, Rampp M, Janka H T, et al. Improved models of stellar core collapse and still no explosions: what is missing[J]. *Physical Review Letters*, 2003, 90(24): 241101.
- [3] Abbott B P, Abbott R, Abbott T D, et al. Observation of gravitational waves from a binary black hole merger[J]. *Physical Review Letters*, 2016, 116(6): 061102.
- [4] Abbott B P, Abbott R, Abbott T D, et al. GW151226: Observation of gravitational waves from a 22-Solar-Mass binary black hole coalescence[J]. *Physical Review Letters*, 2016, 116(24): 241103.
- [5] Simon D. Näherungsweise integration der feldgleichungen der gravitation[M]//Albert Einstein. Akademie-Vorträge: Sitzungsberichte der preußischen akademie der wissenschaften 1914-1932. Manhattan: Wiley Online Library, 2006: 99-108.
- [6] Buras R, Rampp M, Janka H T, et al. Improved models of stellar core collapse and still no explosions: What is missing[J]. *Physical Review Letters*, 2003, 90(24): 241101.
- [7] 北京大学新闻中心. 北京大学东苏勃研究员率团队发现有史以来最强的超新星爆发[EB/OL]. (2016-01-13)[2016-12-20]. [http://pkunews.pku.edu.cn/xxfz/2016-01/13/content\\_292629.htm](http://pkunews.pku.edu.cn/xxfz/2016-01/13/content_292629.htm).
- [8] Dong S, Shappee B J, Prieto J L, et al. Astronomy. ASASSN-15lh: A highly super-luminous supernova[J]. *Science*, 2016, 351(6270): 257-260.
- [9] Scientific American. Found: The most powerful supernova ever seen[EB/OL]. (2016-01-14)[2016-12-22]. <https://www.scientificamerican.com/article/found-the-most-powerful-supernova-ever-seen>.
- [10] Cowen, Ron. Brightest-ever supernova still baffles astronomers[EB/OL]. (2016-01-14)[2016-12-22]. <http://www.nature.com/news/brightest-ever-supernova-still-baffles-astronomers-1.19176>.
- [11] New Scientist. We've found the brightest ever supernova but can't explain it[EB/OL]. (2016-01-14)[2016-12-22]. <https://www.newscientist.com/article/dn28772-weve-found-the-brightest-ever-supernova-but-cant-explain-it>.
- [12] Liu J F, Bai Y, Wang S, et al. Relativistic baryonic jets from an ultraluminous supersoft X-ray source[J]. *Nature*, 2015, 528(7580): 108-110.
- [13] Anglada-Escudé G, Amado P J, Barnes J, et al. A terrestrial planet candidate in a temperate orbit around Proxima Centauri[J]. *Nature*, 2016, 536(7617): 437-440.
- [14] Atri D. Modeling stellar proton event-induced particle radiation dose on close-in exoplanets[J]. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2016 (465): 34-38.
- [15] Mike Brown. How I killed pluto and why it had it coming[M]. New York: Spiegel & Grau, 2012.
- [16] Batygin K, Brown M E. Evidence for a distant giant planet in the solar system[J]. *Astronomical Journal*, 2016, 151(2): 22.
- [17] 人民网. “中国天眼”知多少[EB/OL]. (2016-09-26)[2016-12-27]. <http://military.people.com.cn/n1/2016/0926/c1011-28740254.html>.
- [18] 济南网. 国家重点研发计划“基于暗物质粒子探测卫星的科学研究”项目启动会在南京举行[EB/OL]. (2016-11-11)[2016-12-22]. <http://www.jinan0531.com/article-26974-1.html>.

## Looking back 2016 significant events in astronomy

FU Xue<sup>1</sup>, LIU Guoqing<sup>2</sup>

1. The Editorial Department of 《Science & Technology Review》, Beijing 100081, China
2. Tsinghua Center for Astrophysics, Tsinghua University, Beijing 100084, China

**Abstract** Astronomy is a science of the position, motion, origin and evolution of various celestial bodies or celestial bodies. This paper reviews the research hotspots, major progresses and significant events of astronomy in 2016. The contents include the first detection of gravitational waves, the brightest supernova discovered recently, planets, looking for "the ninth planet", and new astronomical instruments—FAST and DAMPE.

**Keywords** astronomy; research hotspots; significant progress; major events

(责任编辑 陈广仁)