

双中子星并合的信息传来，中国科学家立刻调动相关设备参与观测

南极巡天望远镜瞄准引力波传来的天区

事件回放

今年 8 月 17 日，美国激光干涉仪引力波天文台 (LIGO) 和意大利处女座引力波干涉仪 (VIRGO) 共同探测到的引力波事件 GW 170817，是人类首次直接探测到的双中子星并合产生的引力波事件。

在引力波并合信号发生后 1.7 秒，美国宇航局的费米伽玛射线卫星和欧洲的 INTEGRAL 卫星都探测到了一个极弱的短标伽玛暴，被命名为 GRB 170817A。费米卫星对该伽玛暴的触发时间标定为世界标准时间当天的 12 时 41 分 06.47 秒（北京时间当天 20 时 41 分）。这是人类首次将电磁波信号与引力波信号毫无疑问地联系在了一起。

引力波和电磁信号的同时探测，可以揭示宇宙超铁元素的起源、高精度测量引力波的速度以及检验爱因斯坦等效原理。特别值得一提的是，宇宙中比铁更重的元素的起源是 21 世纪宇宙物理学领域 11 个重大科学问题之一。

这标志着人类正式开启包括引力波、中微子、电磁波、宇宙线等多种手段联合探索宇宙的崭新时代。在这一里程碑事件中，也出现了中国科学家的身影。

在太空中，今年刚发射升空的硬 X 射线调制望远镜卫星及时跟进观测；在南极冰穹 A，我国南极巡天望远镜 AST3-2 也对 GW 170817 开展了密集观测，并获得一大批数据。在这段兴奋、紧张而精彩的过程背后，是我国在空间科学领域提前布局的多年努力——观测一分钟，科研十年功。

■本报首席记者 许琦敏 第一时间 加入全球观测行列

“有个伽玛射线暴事件，听说有引力波观测！赶紧准备光学观测！”北京时间 8 月 18 日 8 时，中科院紫金山天文台研究生孙天瑞接到了该台“高能时域天文团组”首席研究员吴雪峰的电话。孙天瑞和博士生胡镭马上开始根据伽玛射线暴消息网络的 GRB170817A 伽玛波段观测结果，准备观测计划和调整南极巡天望远镜。

位于南极冰穹 A 的南极天文台，是地面上最佳的天文观测站址之一。那里一年 99% 是晴天，冬季有 135 个左右连续黑夜，没有阳光、尘埃、水气等干扰。可那里极限温度低于 -83℃，而且在海拔下只有 0.5 个大气压，空气极其稀薄。所以南极的天文台大部分仪器只能选择无人值守，少量数据由卫星或电缆传回，剩余数据留在本地存储设备上。

中国早在 2007 年就开始在南极建立天文自动观测站，如今已有多台望远镜和设备。胡镭要操控的是 2015 年新投入使用的南极巡天望远镜 AST3-2。

在发现引力波后，LIGO 与全球多家天文机构签订合作协议，一旦发现引力波，就共享相关信息，第一时间共同观测。所以，GW170817 一被观测到，全球就有超过 50 台天文设备，立刻开展精细观测。作为 LIGO 的合作团队之一，AST3 团队也立刻行动起来。

巡天望远镜 几乎贴着地面观测

11 时，王力帆教授从 LIGO 合作方获得了精度很高的坐标：北纬 -23 度 22 分 53.350 秒，赤经 -23 小时 22 分 53.35 秒。

冰穹 A 的地理纬度是 -80 度 22 分，用 AST3 观测 GW 170817，需要把望远镜指向和地面夹角只有 20 多度的方向——AST3 在历年观测中从来没有指向过这么低的位置。要知道，对于巡天望远镜而言，理想的观测角度与地面夹角一般不小于 60°，再怎么样也不会低于 40°。然而，GW 170817 如此之特殊，AST3 团队在得到坐标位置后，本来非常谨慎的运行团队终于在没有任何异议的情况下，立刻停止了所有其它观测计划，对 GW 170817 开始观测。

他们立刻联系负责望远镜建造的中科院国家天文台南京天文光学技术研究所的专家。一个多小时之后，天光所传来消息，他们已经修改软件数据，撤销了望远镜的角度保护，AST3-2 可以尝试低角度观测。

“不得不说，这台望远镜的机械性能真是好！”胡镭说，AST3-2 刚坚持完成了整个极夜长达四个多月的观测，又碰到如此艰巨的任务，AST3 可是全球首个在南极运行的全遥望远镜，“我们真怕它失控或卡在赤纬较低的方向，因为这样到南极夏天，就不可避免地会被太阳直射，损坏设备！”

再晚几天， 这次可能就错过了

8 月 18 日冰穹 A 刚刚结束漫长的极夜。就在数天前，AST3 团队刚得知望远镜旁的太阳能板已捕捉到极夜后的第一缕阳光，这意味着南极最佳的观测时间段实际上已经过去。

尽管有种种不利条件，团队仍然认为这值得一试。北京时间 8 月 18 日 21 时，繁星再一次密布于冰穹 A

的上空，达到了观测条件，胡镭等同学立即开始了观测。从南极传回的图像中，大家清晰看到了宿主星系 NGC 4993！

得益于 AST3-2 稳定的主轴和优秀的机械结构设计，在接下来约两个半小时的窗口期内，望远镜成功地对这片天区进行了连续不间断的观测，共采集了 21 张长曝光图像，正是这段时间的数据，让中国天文学家最终探测到了第一例来自双中子星并合的光学对应体信号。

为了尽可能地记录下对应体亮度随时间的演化，他们的观测一直持续到了 8 月 28 日，尽管后续并没有再观测到相应数据，但这也同样给出了许多观测指标的上限。

“关”掉“路灯” 找出“萤火虫”的光

与观测同步进行的，还有数据的分析和处理。由于南极独特的地理位置，这些图像数据需要依靠速度缓慢的铱星卫星进行传输，传输速度只有每秒几 K 字节，与现代人们熟悉的以兆、吉为单位的传输速率，有着几十万倍的差距。胡镭说，有时候发送一条指令，往往要等好几分钟才能看到回应。

为了节省宝贵的时间和昂贵的通讯费用，科学家必须远程对存放在南极的大量数据及时分析，然后将有效的数据传回进一步处理。事实上，尽管拍摄到了宿主星系，却很难直接从单次曝光的图像中，判断出是否有来自光学对应体的信号，因此科学家使用了图像相减的方式来进行信号探测。这就如同我们难以发现一只停在路灯旁的萤火虫一样，只有当我们关掉这盏灯时，萤火虫才能被看到。

经过几天的数据采集，以及对缓慢的数据传输的等待，胡镭、孙天瑞在国家天文台马斌博士和南京大学梁恩思博士的协助下，调试好了数据分析程序，成功关掉了这盏“灯”，8 月 18 日观测图像中的光学信号也终于浮出了水面——信号所在的天球坐标与 LIGO 合作组给出的双中子星并合的位置完全吻合，其偏差小于一个角秒。自此，可以确认，AST3 已成功探测到来自 GW 170817 引力波事件的光学对应体！

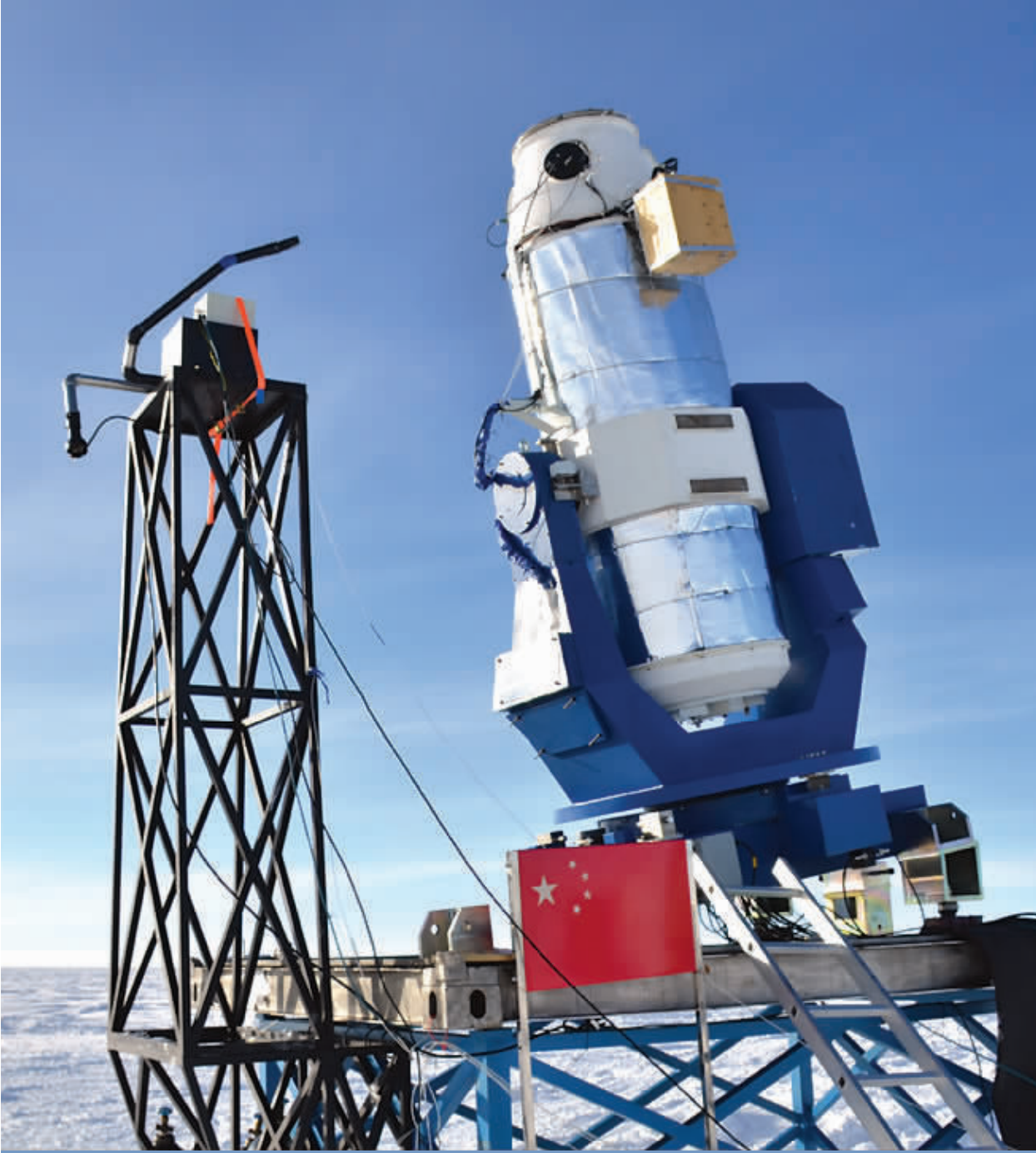
当胡镭在微信里第一次告诉大家，AST3 已经探测到 GW 170817 的光学信号时，整个 AST3 团队都非常激动。AST3 望远镜登上天文观测研究的大舞台，期待中的这一天终于来到了。

为认识双中子星并合提供重要信息

随着数据进一步进行测光处理，AST3 团队很快发现望远镜在引力波信号之后的 1 天左右窗口期内（即 18 日的观测）观测到，目标的 i 波段星等由 17.23 星等降到了 17.72 星等。由于目标源的快速变暗，8 月 18 日之后的图像中没有再探测到信号，但也提供了两个可靠的测光上限。

紧接着，紫金山天文台吴雪峰研究员与南京大学戴子高教授、博士生刘良端和肖笛博士开始尝试利用干新星的半解析模型拟合了 AST3 的观测数据。

通过计算，团队发现这次双中子星并合产生约 1% 太阳质量并以大约光速的 30% 快速运动的抛射物，也可以说是抛出超过 3000 个地球质量的富含中子的物质，这些物质通过快中子俘获过程，核合成重元素，部分形成比铁还重的超重元素。AST3 的观测数据与国际其它望远镜探测得到的数据一起，对我们认识双中子星并合的物理过程提供了非常重要的信息。



南极巡天望远镜 AST3-2 及其实时监测系统

中国硬X射线调制望远镜卫星连夜进入观测状态 天文盛宴，“慧眼”登场

这次双中子星的并合事件，使人类不但听到了天体结合发出的美妙歌声，而且也看到了它们相爱进发的烟花！中国科学院高能物理研究所“慧眼”卫星首席科学家、著名天体物理学家张双南说，这一刻必将载入史册。

在这场全球天文界的盛宴中，我国的“慧眼”卫星——硬 X 射线调制望远镜卫星也华丽登场，参与了 GW170817 电磁对应体的监测，并严格限制了其高能辐射的性质。报告本次历史性发现的论文在正文部分收入了“慧眼”卫星的观测结果，“慧眼”团队的 110 名成员也成为论文的共同作者。

这一科学发现的背后，是“慧眼”团队众多科学家彻夜不眠的辛劳！让我们把时间回溯到今年 8 月 17 日那个令人激动的奇妙之夜。

当天 21 时 28 分，“慧眼”科学应用系统工作群中，一条内容为“刚刚 LIGO 又触发了一个引力波信号”的群消息让劳累一天的“群友”们瞬间激动起来。随后，更为详尽的信息传来，这是一个疑似双中子星并合的引力波事件，同时可能伴随着一个短伽玛射线暴！大家的激情被瞬间点

燃——这意味着“慧眼”也有机会看到它。

在经过简单的分析和讨论后，“慧眼”团队首席科学家张双南当即决定，启动后随观测！此时已过 22 时，除了值班人员外，不少团队成员正在宿舍或家中，其中一些年轻的父母才刚刚照顾完孩子睡觉。可接到通知后，他们没有任何犹豫，第一时间就赶到办公室，迅速投入到紧张的工作中。

22 时 10 分：首席科学家决定启动后随观测，同时启动快速数据处理流程。

22 时 20 分：协调国家空间科学中心任务运控中心和测控系统，启动应急工作流程。

23 时：观测计划制定组、数据分析组和科学组齐聚高能所报告厅四楼会议室。

零时：综合考虑引力波的定位范围以及“慧眼”卫星的观测约束，最终确定观测天区和观测方案。

01 时 15 分：完成观测任务的确认、评估和应急观测计划的制定，并提交国家空间科学中心任务运控中心。

02 时 23 分：“慧眼”卫星飞经三亚测控站，应急观测计划指令成功

上注，开始引力波相应范围天区的后随观测。

这段列表虽然简短，但其内涵却一点也不简单。从“决定下达”到“指令上注”的四个多小时内，任务环环相扣，其间夹杂了大量的讨论、分析和计算。

8 月 18 日凌晨 3 时许，“慧眼”的观测结果终于发布到了伽玛射线暴坐标网络 (GCN) 平台上。经过争分夺秒的彻夜努力，在这场里程碑式的科学大事件中，我国天文学家也有了一席之地！

作为这次发现的主角，“慧眼”卫星拥有着怎样的能力，可以帮助我们完成对引力波电磁对应体（伽玛射线暴）的搜寻？

首先要说明的是，全天监测伽玛射线暴、捕捉引力波并非“慧眼”的唯一科学目标，她还能在 1~250keV 能量范围实现大视场 X 射线巡天成像，对黑洞、中子星等高能天体的短时标光变以及能谱进行研究。

为了实现“慧眼”的主要科学目标，研发团队为她准备了三大“法宝”：高时间分辨、大有效面积以及大视场。高时间分辨有利于对短伽玛射线暴（此次的引力波闪就是这一类伽玛射线暴）的光变进行研究；大有效面积使得“慧眼”的高能望远镜成为 0.2~5MeV 能量范围内最灵敏的伽玛射线暴监测器之一；拥有大视场则意味着能够对出现位置随机的伽玛射线暴进行监测，也才更有可能逮住引力波闪的伽玛射线。正是凭借这些能力，“慧眼”得以同遍布全球的地面和空间望远镜一道，完成此次对 GW170817 的观测任务。

从研制到发射升空，“慧眼”卫星历时 24 年之久，其间有几代科学家的不断完善，最终才打造出这一巡天利器。她不仅缔造了我国空间天文学的发展史，也成功加入到引力波天文学时代的开幕中。我们有理由相信，在“慧眼”团队的努力下，她将见证更加辉煌的未来！

(中科院高能物理研究所慧眼团队供稿)
(本版图片由中科院紫金山天文台提供)

相关链接

【引力波】

引力波是一种不同寻常的波动。简单来说，引力波是当物质的分布随时间发生变化时产生的“时空涟漪”。当引力波从宇宙深处传到地球表面，地球上所有的物质都会随之波动，不管重如泰山或轻如鸿毛都会一起随引力波波动。

1916 年，爱因斯坦在广义相对论中预言了引力波的存在，而引力波是爱因斯坦广义相对论实验验证中最后一块缺失的“拼图”。宇宙中每时每刻都充满着时空涟漪，波长（频率）和幅度各不相同，但只有那些发生急剧变化的天体，才能够辐射有可能被现有科学技术设备探测得到的引力波。这些天体，包括黑洞、中子星等极端致密星构成的双星系统。

2016 年 2 月 11 日，LIGO 宣布探测到来自双黑洞并合的引力波辐射，一举证实了广义相对论给出的黑洞和引力波两大预言，从实验上加深了人类对宇宙和时空的了解，是人类科学史上的一个重要里程碑。

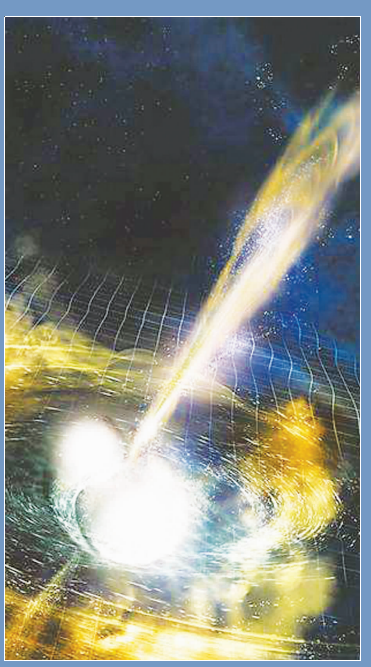
【多信使天文学】

引力波发现的重要和深远的意义，还在于它开启了人类探索宇宙和天体的起源、结构和演化的一个新窗口。对于天文学家来说，研究宇宙和天体的信息载体从电磁波延伸到了引力波，它们与诸多中微子、宇宙线探测设备相结合，带领人类进入多信使天文学的新时代。

然而，引力波信号微弱，探测的难度非常大。特别是目前 LIGO 对引力波源空间方位的定位精度不高。例如，第一例引力波源 GW 150914，LIGO 的空间方位误差达到 600 平方度，相当于 2700 个太阳密密麻麻排列在天空所占的天区大小。

当然，随着地球上其它引力波探测器的联合探测，引力波源的空间定位精度将得到显著改进。这和利用三类以上 GPS 导航卫星达到精确导航的原理差不多。未来，美国 LIGO、意大利 VIRGO 以及日本、印度等其它引力波探测器的联合探测，引力波源的空间定位精度预期将提高到约 10 平方度。

引力波探测结合传统的电磁辐射（从伽玛射线、X 射线，到光学、红外直至射电）探测，既可以检验现代物理的一些基本假设，也可以研究黑洞、中子星等极端致密天体的性质，将极大地提高引力波事件的科学价值。



【中子星并合】

中子星并合(双中子星并合、中子星-恒星级质量黑洞并合)过程中产生强烈的引力波辐射，是 LIGO/VIRGO 等探测器的主要观测对象，也是天文学家最关注的引力波电磁对应体的目标源。中子星双星并合过程中不仅会发射出强引力波辐射，还会抛射出一些高速运动的物质。这些物质内部作用或与中子星外部的星际介质相互作用，可能产生伽玛射线、X 射线、紫外、光学以及射电等辐射。

目前爆发时标短于 2 秒的伽玛暴，普遍认为起源于中子星双星并合事件。中子星并合的过程中向太空中抛射出大量的富含中子的物质，这些物质通过快中子俘获过程产生重元素甚至是宇宙中最重的元素，这些不稳定的重元素随之衰变进而加热外流体，产生为期约一到两周的光学、红外爆发。这个现象由我国学者李立新教授与已故的美国普林斯顿大学玻丹·帕琴斯基 (Bohdan Paczynski) 教授在 1998 年首先提出，目前这类现象被命名为“千新星” (kilonova)，因为这类现象比通常的新星要亮 1000 倍，但比起新星则暗 100 倍。