

又见引力波 时空起涟漪



编者按 引力波,是由黑洞、中子星等碰撞产生的一种时空涟漪,宛如石头丢进水里产生的波纹。百年前,爱因斯坦广义相对论预言了引力波的存在,但直到2015年人类才首次探测到引力波。通过引力波,人们有可能了解宇宙早期的样貌。此次,人类第5次探测到引力波,并首次观测到引力波电磁对应体,这将开启引力波天文学的新时代。

这一次,我们看见了引力波源头

本报记者 徐玢

传言终获证实。北京时间10月16日22时,激光干涉引力波天文台(LIGO)和处女座(Virgo)引力波探测器合作组织联合召开发布会,宣布再次探测到时空的涟漪。

这是人类第5次探测到引力波。然而,科学界的兴奋之情甚至不亚于第一次探测到引力波的时候。因为与之前4个信号不同,这次探测到的引力波信号GW170817来自1.3亿光年外两颗合并的中子星,而且是全球多地科学家第一次同时观测到引力波与其电磁对应体。

迄今最强的引力波信号

“这是我们迄今观测到强度最强的引力波信号,比第一次观测到的双黑洞引力波信号要强得多。”LIGO科学合作组织爆发源分析组联席主席、英国格拉斯哥大学教授、北京师范大学特聘专家Ik Siong Heng表示,它与之前的双黑洞绕转产生的引力波信号非常类似,但持续时间更长。“探测器中GW170817信号持续时间超过1分钟,之前的双黑洞合并引力波信号只有1秒左右。”

8月17日,LIGO与Virgo的三台探测器先后接收到引力波信号GW170817。在探测到引力波信号GW170817后的1.7秒,美国国家航空航天局(NASA)的费米卫星探测到了一个伽马射线暴GRB170817A。在之后不到11个小时内,位于智利的Swope望远镜报告在长蛇座星系NGC4993中观测到明亮的光学源。在接下来的几周里,无数望远镜将目光对准这片天区,记录下这一事件发生之前100秒至之后几周的信号。

根据这些记录,科学家复原出故事发生的过程:在距离地球1.3亿光年的长蛇座星系NGC4993中,两颗中子星互相绕转。在合并前约100秒时,它们相距400公里,每秒绕互相绕转12圈,并向外辐射引力波。它们越转越近,直至最终碰撞在一起,形成新的天体,

并发出电磁辐射。

中子星是恒星演化末期形成的一类致密天体。虽然它的半径只有十几公里,质量却与太阳相当。中子星到底有多硬?其内部物质以何种状态存在?这些一直是科学家感兴趣的问题。

根据观测到的引力波信号,科学家估算出两颗中子星的质量、半径,并对其密度给出了保守的估计,帮助排除了那些对于中子星密度估计过低的理论模型。“引力波信号GW170817的演变,尤其是接近合并阶段的信号演变,受到中子星自身性质的影响。如果中子星更致密一点,或者更稀松一点,引力波的信号都会不同。”Ik Siong Heng说。

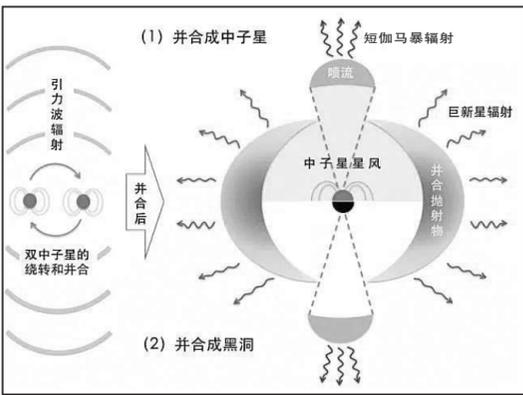
期待中的电磁对应体

“这个结果来得太快,本以为要在2020年左右才能观测到第一例双中子星合并。”中科院紫金山天文台研究员吴雪峰在接受科技日报记者采访时难掩兴奋。

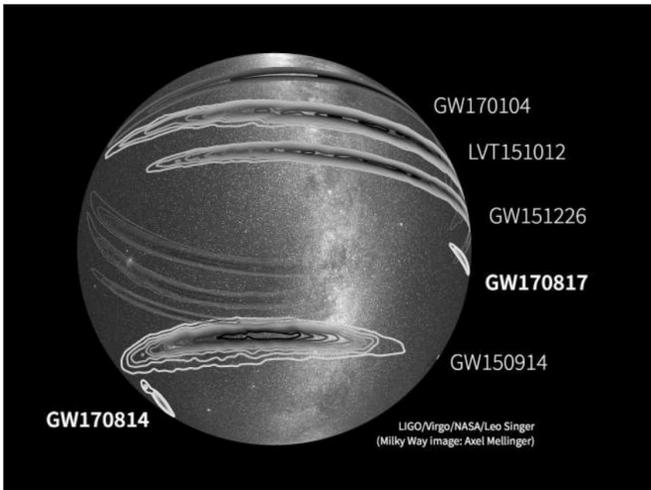
与双黑洞合并不同,双中子星合并过程不仅向外辐射出引力波,还会在多个波段发出电磁辐射,从而被望远镜观测到。那些在发出引力波的同时,又被望远镜观测到的天体被称为引力波的电磁对应体。

天文学家为何对引力波的电磁对应体如此感兴趣?“引力波都是一次性的,无法重复观测。其电磁对应体则不是这样。”北京师范大学天文系副教授高鹤解释,“此外引力波信号自身存在一定缺陷,比如信号十分微弱,信号源的定位误差非常大,仅仅利用引力波探测无法确认信号来自哪里。”高鹤说,只有实现了引力波与电磁波的联合探测,才可以验证引力波源的天体物理起源,并对其天体物理性质开展进一步的研究。

在8月17日探测到的合并中,科学家尚不清楚,最终是形成了更大质量的中子星,还是黑洞。但已知的是,新天体约为2.74倍太阳质量,而在这个过程中损失的质量,主要转化成引力波和电磁波,辐射向宇宙各个方向。



双中子星合并后发出短伽马暴和巨新星辐射的示意图。图片来源网络



迄今为止,已知的引力波源区域在天空的分布图。有了Virgo的帮助,定位引力波源头的精度更高。图片来源LIGO官网

发现金银等元素诞生地

科学家对这次观测兴奋不已,还因为观测到双中子星合并与短伽马射线暴直接联系在一起,并首次观测到巨新星现象,让科学家能够深入了解双中子星合并的物理过程。

所谓伽马射线暴,是天空中某一个方向伽马射线辐射突然增亮的现象。根据伽马射线暴持续时间长短或短于2秒,可分为长暴与短暴。科学家认为,短伽马射线暴源自双中子星合并或中子星与黑洞合并,但一直没有找到直接观测证据。

巨新星则是1998年北京大学教授李立新(当时为普林斯顿大学博士生)与普林斯顿大学已故教授Bodhan Paczynski合作提出的构想。“双中子星合并时向外抛射的物质会通过快中子过程形成金、银等重元素,并形成光学和近红外辐射。”李立新说,这些辐射现象比超新星的亮度暗100倍,被称为巨新星或千新星。

在此次观测中,科学家捕获了引力波信号、短伽马射线暴信号以及光学信号。后续分析证明这些信号互相关联,均来自双中子星合并。我国在南极大陆安装的南极巡天望远镜AST3也捕获了合并的光学信号。

“有多名学者对巨新星理论进行过完善,这次的观测结果非常吻合完善后的理论构想。”李立新说。

“8月份,南极的冬天刚刚过去,目标天体的地平高度较低,每天有2个小时左右的观测时间。8月18日起,我们进行了10天的观测,获得了目标天体的91幅图像,并最终得到目标天体的光变曲线,与巨新星理论预测高度吻合。”吴雪峰表示。2013年以来,科

学家已经发现多个巨新星候选体,此次是首次直接观测到巨新星。

“理论上所有双中子星合并都会形成巨新星。但通常它们比较暗弱,因此能不能看到取决于它们与我们的距离。”李立新说,幸运的是,这两颗中子星离我们并不遥远。

检验宇宙规律的新信使

引力波与电磁波携带着天体不同类型的信息。引力波及其电磁对应体的发现,有助于科学家结合不同信息研究天体的性质,并检验宇宙的基本规律。

例如哈勃常数,它是衡量宇宙膨胀速度的重要参数。目前,可通过测量Ia型超新星、重力声波震荡、宇宙微波背景等多种方式得到其数值。然而,随着探测精度的提高,测量的分歧越来越明显。例如通过测量临近Ia型超新星得到的哈勃常数数值,明显大于普朗克太空卫星通过宇宙微波背景观测得到的哈勃常数数值。引力波及其电磁对应体的发现,将提供测量哈勃常数的独立渠道。“可以通过引力波波形得出波源的距离,由电磁波对应体提供红移信息,根据距离红移关系测量哈勃常数。”北京师范大学天文系教授朱宗宏说。

在最新的观测中,LIGO科学合作组织进行了这个尝试,得出的哈勃常数数值为70公里/秒/百万秒差距。“由于测量过程需要用到引力波的波形信息,目前这一测量并不准确。”朱宗宏说,“未来结合引力波方法,有望将哈勃常数的误差限制在1%以内,这个精度远高于光学波段的测量精度。”

(科技日报北京10月16日电)

“看”和“听”,引力波探测“耳聪目明”

本报记者 刘园园

北京时间16日22时,在天文学界传得沸沸扬扬的“重大发现”终于水落石出。

美国国家科学基金会召开新闻发布会宣布,美国激光干涉引力波天文台(LIGO)和处女座(Virgo)引力波探测器于8月17日首次发现双中子星合并产生的引力波信号。

“这是天文学家期待已久的发现!”中国科学院高能物理研究所的熊少林是我国慧眼望远镜伽马暴与引力波电磁对应体项目组负责人,他评价,这次引力波探测事件在天文学和物理学中都具有“划时代”的意义。

从2015年9月到今年8月,科学家先后4次探测到引力波信号,均来自双黑洞合并事件。

与之前相比,此次引力波事件最大的不同就是同时产生了电磁信号。“熊少林在接受科技日报记者采访时介绍,黑洞在合并时‘黑漆漆一片’,除了引力波信号之外不会产生任何电磁信号——包括射电信号、可见光、红外光、X射线、伽马射线等等。”

中国科学院国家天文台研究员张承民告诉科技日报记者,其根源在于,黑洞属于能量集团,而中子星属于物质结构,所以后者在合并时不仅可以产生引力波,还可以造成电磁



信号爆发。

正因如此,世界各地几十台地面和空间望远镜纷纷上场,对此次引力波事件进行了一次历史上规模罕见的联合观测。于是,人类第一次同时探测到引力波和它的电磁对应体。

“人类过去一直在用传统望远镜观测宇宙,凭借‘看’的手段认识宇宙。2015年LIGO为观测宇宙打开第二扇窗口,人类终于能够‘听’见宇宙的涟漪。但二者一直是孤立的,没有结合起来。”熊少林说,如今人类终于得以将“看”和“听”两种手段结合起来,“双剑合璧”探测引力波。

熊少林介绍,LIGO发现引力波信号具有重要的历史意义,但从探测的角度来看,引力波信号也有不完美之处。那就是,引力波探测器可以大概得知引力波事件所在区域,但无法精确定位其位置。而传统望远镜以电磁信号为研究手段,与引力波信号可形成互补关系,丰富了研究宇宙的信息。

“无论是引力波信号,还是电磁信号,在天文学中都被称为‘信使’。”熊少林说,此次引力波探测事件的重要意义在于,它标志着多信使天文学时代的到来。除了上述两种信使,还有中微子和宇宙射线。

“将来可以期待同时从4个维度研究同一个宇宙事件,这更是天文学家的梦想。”熊少林说。

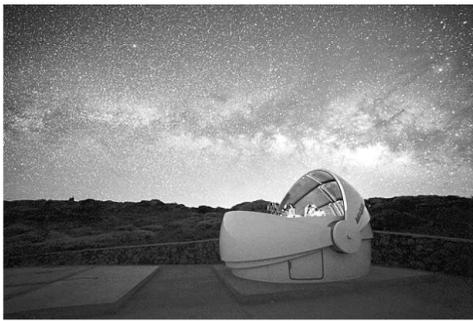
“中子星的质量一般相当于一两个太阳,与黑洞的质量相差十倍,所以双中子星合并产生的引力波信号更加微弱。”张承民介绍,由于中子星质量更小,所以双中子星合并时轨道收缩更慢,引力波持续时间更长。

幸运的是,此次发生合并的双中子星位于编号为NGC4993的星系,距离地球仅1.3亿光年,产生的引力波信号和电磁信号都非常强。它的引力波信号持续了100秒左右。

捕获双中子星合并产生的引力波信号,本身对天文学研究也有重要意义。张承民告诉记者,双中子星系统是恒星演化到晚期的产物,在宇宙中数量较多,它们可能构成了引力波的背景噪声,可在研究宇宙早期演化方面发挥重要作用。

10月3日,2017年诺贝尔物理学奖颁发给3位美国科学家,以表彰他们为LIGO探测器建设和引力波发现所作出的突出贡献。

“将引力波信号和电磁信号结合起来进行天文研究,空间十分广阔,其中涉及的重要科学问题相当之多。”熊少林说,如果让他预测,这一领域未来肯定还会产生诺奖级别的发现。(科技日报北京10月16日电)



位于西班牙帕尔马的引力波瞬态光学观测器将追踪引力波波源处的闪光。

据英国《自然》杂志近日报道,目前,随着科学家捕捉引力波等天体现象的能力与日俱增,全球天文学领域掀起了一股风潮:一些小天文台也在携手捕捉引力波波源处的信号,包括电磁辐射甚至中微子在内的物质粒子等,弥补大型望远镜的不足,共同揭示宇宙隐藏的奥秘。

直接瞄准波源

这些设施的主要目标是,搜寻源于美国激光干涉引力波天文台(LIGO),或欧洲处女座(Virgo)引力波探测器探测到引力波之处的闪光信号。尽管这些小型望远镜常常预算有限,但它们仍然可以作为一线“哨兵”,冲在前面进行探测,提供独特的信息,弥补引力波探测器和其他大型天文学探测器的不足。

俗话说,船小好掉头。这些小型望远镜能够快速移动,对准引力波波源,这一点非常关键。此外,在引力波波源处的闪光消散之前,天文台可能只有几天时间来对其进行研究。英国华威大学天文学和天体物理学小组的天文学家丹尼·斯蒂格斯特说:“你需要查看天空很多地方,而且,你没有很多时间来做这件事情。”因此,小型望远镜就派上用场了。“一旦知道看向何处,我们就可以动员全世界的望远镜对准此处。”

天空“巡视员”

斯蒂格斯特目前正领导一个英澳合作项目,目的是在西班牙拉帕尔马建造引力波瞬态光学观测器(GOTO)。这一观测阵列最初只有4台小型自动光学望远镜,但最终会增至8台甚至16台望远镜。迄今为止,这一项目的投资额已超过100万美元。

而墨西哥国立自治大学的艾伦·沃特森和同事建造同类望远镜网络耗资更少。他们在塞拉利昂圣佩德罗马蒂尔建造的,只由一对机器人望远镜组成的十度瞬态光学成像仪,耗资仅35万美元。法国和澳大利亚随后可能会加入进来,望远镜的数目将增至6台。

包括GOTO在内在建的一些小型望远镜网络专门为了追踪引力波信号,其中大多数是自动望远镜,在无人干预的情况下,这些设备会使用机器学习算法,发现“蛛丝马迹”后互相提醒,指向天空特定的区域,搜寻引力波波源处发出的闪光。

而其他项目则从现有的合作项目脱胎而来,它们能非常熟练地搜寻到太空望远镜发现的可见光和伽马射线暴,也能娴熟地追踪其他转瞬即逝的现象,比如超新星爆发或地球擦肩而过的小行星等。

有些“大名鼎鼎”的望远镜则是“旧瓶装新酒”,翻修后被派上了新用场,其中包括位于加州帕洛马山天文台的埃德温·哈勃曾使用过的一台望远镜。这台1.2米望远镜目前已成为全球瞬变发生中继观测台(GROWTH)的一部分。GROWTH由位于全球各地的17台望远镜组成,能随着地球的不断旋转对某个天体进行持续不间断的追踪。

荷兰内梅亨大学的天体物理学家保罗·格魯特所在的团队,也是欧洲处女座引力波探测器团队的一部分。目前,格魯特正领导一个由荷兰政府资助的项目Black-GEM。这一项目将由位于智利拉西拉天文台的3台望远镜组成,成本约为710万美元,它会持续不断地为南部天空拍照,积累图像数据库。如果科学家探测到引力波,

BlackGEM将在数小时内扫描相关天体区域,自动将新获得的图像与历史图像进行比对,从而获得新发现。

连成多信使天文网

也有其他科学家借助小型望远镜追踪

助你享受引力波「视听盛宴」 追寻伴生信号,全球望远镜在行动

本报记者 刘霞

探索其他知名粒子,比如中微子或宇宙射线等。

天体物理学多信使天文台网络(AMON)项目创建于2016年,目的是联合多种信使(光子、宇宙射线、中微子、引力波)的天文台建立一个共享、联合观测、实时联合分析网络。

去年9月22日,AMON出师大捷,获得了重大发现——它对“冰立方中微子天文台”探测到的高能中微子作出了反应。冰立方中微子天文台是目前世界上最大的中微子观测台,永久性地将探测器埋入南极冰层下,将会捕获灾难性的天体物理事件(如恒星爆炸和伽马射线爆发)中产生的难以捉摸的宇宙中微子。

当时,在AMON研究人员查看中微子来源时,发现一个已知的类星体正在闪光。类星体由围绕一个位于遥远星系中央的超大质量黑洞旋转的炽热物质组成。理论学家认为,此类活动可能会产生过量中微子,但迄今为止,科学家还没有捕捉到源于此的高能中微子。

未来,研究人员希望能同时探测电磁辐射、引力波以及物体粒子这3种信号。有科学家认为,这就好比一次让人们看见、“听见”,甚至“品尝”某个天文物理学事件,从而更好地揭示宇宙潜藏的秘密。(科技日报北京10月16日电)



工程师们在南非天文台安装BlackGEM项目的原型。

图片来源:《自然》杂志官网