

# 用引力波窥探宇宙 还需找到这些源头

本报记者 刘霞



寻找外星人,瑞典科学家想出了一个新办法。近日,瑞典哥德堡大学的科研团队发表论文探讨了外星人掌握制造引力波技术的可能性。他们称,其他先进的外星文明应该会考虑设置引力波发射器,而只要将欧洲航天局计划发射的激光干涉仪空间天线(LISA)引力波探测任务稍做调整,就可以将它变成能捕捉地外文明通信信号的探测器。

这种方法的可行性目前尚不可知。但自激光引力波天文台(LIGO)2015年首次探测到引力波以来,已探测到多次引力波事件,其中包括13次由双黑洞碰撞、2次由双中子星碰撞,以及疑似由黑洞和中子星碰撞产生的引力波。要通过引力波去寻找外星人,显然要对各种波源产生的引力波了然于胸才行。那么,目前人类已经发现了哪些类型的引力波源,还有哪些“隐身”波源有待探索?

## 确认十多例事件,验证理论预言

引力波是时空的涟漪,会在宇宙间留下踪迹。目前,已经现身的引力波源包括成对碰撞的黑洞、双中子星合并,以及疑似黑洞吞噬中子星。

LIGO于2015年9月14日第一次捕获的引力波源正是一对相互碰撞的黑洞,“涉事”黑洞的质量约为太阳质量的30倍。LIGO的三位创始人也因发现引力波而荣获2017年诺贝尔物理学奖。

中科院国家天文台研究员张承民解释道:“这一事件证明,运动的大质量天体的确可以撼动时空并产生引力波,这正如在1915年发表的爱因斯坦广义相对论所预测的那样。不仅如此,这一发现还证明,地球上高精度实验可以探测到这些引力波——而爱因斯坦曾对此持怀疑态度。”

此外,科学家此前曾预言,一对中子星相互绕转碰撞,可能产生引力波。

张承民介绍,中子星是8—25倍太阳质量的大型恒星死亡后,在自身重力的作用下发生坍塌的产物,其密度大得惊人,相当于将全球人口置于人的手心。

2017年8月,LIGO-Virgo(欧洲室女座引力波探测器)团队捕获了第一个此类事件,并于今年4月25日再次得手。而且,通过分

析引力波数据,科学家还揭示了中子星相互绕转碰撞的隐藏细节,包括撞击后产生了金、银和铂等贵金属元素。

另一种可以在时空中产生引力波的合并类似于我们在冰淇淋摊上看见的巧克力香草漩涡:一个黑洞和一个中子星合并成一个新黑洞。LIGO-Virgo团队可能于4月26日看到了这种合并的“蛛丝马迹”,但鉴于信号太弱,科学家们目前还无法对其盖棺论定。

张承民解释道,如果证实该信号的确代表了一个黑洞和一颗中子星相撞,那将证明这两种天体可以“比邻而居”。在合并之前,该黑洞和中子星曾经组成了一个紧密的二元系统,相互绕轨道运行,经历“千里共婵娟”的死亡之舞,最后一起踏入坟墓。

科学家们称,研究这样一个系统有助于梳理构成中子星内部所谓“核面食”的神秘物质。天体物理学家推测,恒星变成中子星时,密集的中子会以不同方式被推移和拉动,导致其形成各种形状。它们类似于不同种类的意大利面食,因此被统称为“核面食”。

张承民说,监控黑洞—中子星合并可以向人们展示,在黑洞的极端引力作用下,附近的中子星会如何变形瓦解,这也是与“核面食”行为有关的一个谜团。

## 寻找“隐身”波源,期待意外惊喜

而截至目前,还有包括中等质量黑洞的碰撞、凹凸不平的中子星、超新星爆发以及宇宙大爆炸等产生的引力波未被人类捕获,科学家们“为伊消得人憔悴”。

迄今为止,LIGO和Virgo探测到的所有黑洞均为恒星级质量,这意味着它们的“体重”通常不到太阳的100倍。而超大质量黑洞的“体重”一般是太阳质量的数百万或数十亿倍,但目前尚不清楚是否存在质量介于这两者之间的黑洞产生的引力波事件。以前的研究已经看到了这种中等质量黑洞的“蛛丝马迹”,但探测到其彼此相撞产生的引力波将是更明确的证据。

表面凹凸不平的中子星也是引力波科学家们向往的目标。2018年10月,美国和加拿大科学家在《物理评论快报》上撰文指出,“核面食”由于强度极高、密度极大,甚至可以堆叠成“山脉”,把部分中子星的外壳顶起来,在其表面形成凸起。在中子星快速旋转的过程中,这些凸起理论上会导致引力波辐射。因此,探测

## 需要更好的技术,还需要点运气

为什么上述几种波源产生的引力波仍未现身呢?

张承民解释道,一方面与我们的技术本身未到位有关。比如,宇宙大爆炸产生的引力波可能会与其他物质产生的引力波混合在一起,“目前的探测器还无法‘揪出’宇宙大爆炸产生的引力波信号”。

此外,纵观科学发展史,很多重大的发明,其实都是“运气”的偶然产物。比如,X光就是德国物理学家威廉·伦琴在实验室中研究阴极射线管的特性时偶然发现的。在寻找引力波源时,科学家们可能也需要更多的运气。

普林斯顿大学的天体物理学家戴维·拉迪斯及其同事在《天体物理学杂志快报》上报告说:“引力波、中微子和来自星系的超新星

到表面有凸起的中子星也成为科学家的目标。当然,与其他大多数引力波不同,表面有凸起的中子星将产生连续的引力波辐射。

此外,LIGO和Virgo也可以从超新星爆发过程中捕获引力波,超新星爆发是大质量恒星生命结束时的一种剧烈爆炸。

张承民表示,我们知道的是,在超新星爆发期间,恒星的中心会发生坍缩,由此产生的中子星从坍塌核的残余那里收集物质,中子星表面的涡流会使其像钟摆一样振动,发出引力波。

除此之外,宇宙大爆炸产生的引力波也是科学家们孜孜以求的目标。一旦探测到它就意味着能比以往任何时候都更深入地了解早期宇宙的历史,以及宇宙膨胀等。

当然,未来也有可能发现科学家们目前还不知道的引力波源。LIGO团队成员、美国西北大学的克里斯托弗·贝瑞说,每当研究人员以新的方式观察宇宙时,他们都会发现一些意料之外的东西,我们相信,探测引力波也是如此。

辐射可以让我们了解恒星的结构,以及驱使恒星爆发的机制。”

但问题在于,天文学家们不知道下一颗超新星何时爆发。拉迪斯说:“根据我们的估算,在银河系大小的星系中,每100年可能只有2次超新星爆发,所以我们需要非常幸运,或者非常有耐心。”

LIGO发言人、威斯康星大学密尔沃基分校的帕特里克·布雷迪说:“引力波天文学的时代已经到来,这个全新的宇宙窗口有望为我们提供一个独特的视角,来逐一揭开宇宙的神秘面纱。”

张承民说:“引力波还有很多谜团有待我们揭开,路漫漫其修远兮,吾将上下而求索。”或许,这也是全球无数引力波科学家的心声。

## 天象早知道

### 仲夏夜里 看木星和太阳唱“对台戏”

李昕

对于北半球中、高纬度地区的朋友来说,6月下旬的暗夜着实短暂,观测夏夜星空和银河的时间有限。不过随之而来的是观测低轨卫星的机会更多了,我们有机会在凌晨观测到国际空间站这样的低轨卫星过境。而且木星将在6月冲日,水星也会迎来最佳的观测机会。



### 木星成深夜最亮的星

所谓冲日,是指在地球上看起来地外行星与太阳的黄经相差180度,近似于地外行星和太阳在地球两侧相向而居。一般来说,地外行星在冲日附近观测条件较好。

作为太阳系质量最大的行星,木星对其他天体的运动有着显著的影响。它距离我们虽有6亿千米之遥,但在地球上观测,多数情况下其视星等都能达到-2等以上。金星虽然更亮一些,但只会出现在黄昏或黎明时分。而作为一颗地外行星,木星有可能出现在午夜,地平高度更高,受大气消光的影响也更小。因此冲日期间的木星往往是深夜最亮的星。

木星的公转周期接近12年,差不多每13个月左右会有一次木星冲日。2019年的木星冲日发生在6月10日,其间它的亮度约为-2.6等,整夜可见。这时的木星位于赤纬较低的蛇夫座天区,如果是在北半球纬度较高的地区观测,其上中天时的地平高度也不算太高,这会对观测的效果产生一定影响。

和其他行星一样,木星的公转轨道也并非一个正圆,轨道偏心率约为0.05,近日点和远日点相差7千万千米。发生在夏季的木星冲日属于远日点附近的冲日。本次冲日木星的视直径约为46”。

### 黄昏时分找水星

与木星这样的地外行星不同,水星的公转轨道在地球内侧,因此它只会出现在太阳两侧一定范围内。在水星大距期间,它与太阳的角距离较大,在日落或日出前会出现短暂的观测机会。2019年水星共有6次大距,而大距期间它与太阳的赤纬关系决定了其中4次在北半球的观测条件都很好。

6月24日这次东大距是今年水星的第二次东大距,届时它与太阳的角距离可达25°。由于此时太阳与水星的赤纬相差不多,在北纬40°地区观测,当天日落时水星的视高度可达16°,观测条件不错。夏至前后,太阳位于金牛座、双子座天区附近,日落方向位于西北方。本次大距期间,水星也是出现在日落后的西北方向,亮度约0.5等。在这片天区附近,还有双子座的北河二、北河三两颗1等左右的亮星,大家不要把它们误认成水星。



6月24日黄昏时分水星和其他亮星相对位置示意图 作者供图

### 牧夫座下起“小雨”

活跃在6月流星雨并不多,其中稍微有点名气的就要属六月牧夫座流星雨了。这个流星雨的活跃期是每年6月22日至7月2日,通常流量很小。1998年,六月牧夫座流星雨曾出现过预料之外的爆发,极大期间的每小时天顶流量(ZHR)为50至100,并且持续了半天左右。另一次记录到的爆发出现在2004年6月23日,当时的ZHR为20至50左右。除此之外,其他年份极大期间的每小时流量都只有个位数了,而2019年也没有关于该流星雨爆发的预期,ZHR很难超过10。

六月牧夫座流星雨的辐射点位置与象限仪流星雨非常接近。在这个季节,其辐射点对北半球中高纬度地区来说几乎是整夜可见的,并在前半夜就能升至较高的高度了。(作者系北京天文馆副研究员)

(本版图片除标注外来源于网络)

# 恒星“点石成金”,中子是个重要角色

## 天闻频道

实习记者 于紫月

计算机芯片所用的硅、航空发动机上抗高温的镍基合金、商场中陈列的黄金、铂金……我们赖以生存的世界是由各种元素构成的,而这些比铁更重的元素(简称超铁元素)起源之迷备受科学家关注。

近日的一项研究通过计算机模拟得出结论,在快速中子俘获过程产生超铁元素的理论模



型中,80%的超铁元素由坍缩恒星产生,其余20%则来自中子星合并。

恒星究竟是如何“点石成金”的?中子在这个过程中又扮演了什么角色?

### 元素形成以铁为界

“目前比铁轻元素的形成机制已明晰,而超铁元素的起源则存在慢速中子俘获过程(s-过程)、快速中子俘获过程(r-过程)和p-过程等多种理论模型。”中国原子能科学研究院核物理研究所实验核物理创新团队研究员李志宏在接受科技日报记者采访时表示。

宇宙大爆炸3分钟后,最原始的核合成开始了。质子、中子、光子、电子等在宇宙中“横冲直撞”。在相互碰撞和结合过程中,氢、氦以及极少量的锂、铍、硼元素诞生了。

后来,部分物质“抱团”逐渐形成了恒星。恒星内部以氢核和氦核为原料,不断进行核反应,生成更重的元素,并释放出能量。

“由于原子核均带正电荷,两核之间的结合需要较高的温度条件以克服同性相斥的库仑力。元素越重,带电量越大,库仑力越大,形成该元素所需的温度就越高。”李志宏举例,当恒星温度超过30亿摄氏度时,才能形成原子序数为14的硅元素,硅元素再与其他核素反应形成更多元素,直到原子序数为26的铁元素为止。

“恒星的核燃烧阶段形成的最重元素为铁

元素,这是因为铁元素的比结合能最高。”李志宏进一步介绍,质子和中子等核子结合成原子核不容易,而将已经形成的原子核拆开也需要能量,这种能量被称为原子核的结合能,而结合能与核子数目的比值被称为该原子核的比结合能,即拆开原子核时,平均到每个核子上所需的能量。比结合能越高,说明原子核越不容易“散架”。

铁元素的结合能最高,这意味着什么?“铁元素为核反应放热和吸热的‘分水岭’,若生成铁之前的元素,反应放热,恒星升温;生成超铁元素,反应吸热,恒星冷却。”李志宏告诉科技日报记者,恒星一旦冷却,便无法再提供足够的温度克服下一个元素合成的库仑力,核反应链便在铁这里“戛然而止”了。

### 中子助力原子核“增重”

恒星核燃烧过程只能形成比铁轻的元素,那么我们周围的金、银、铂等超铁元素从何而来?

在三类主要的超铁元素理论模型中,有两类均与中子有关。李志宏指出,由于中子呈电中性,在参与核反应过程中没有库仑力的困扰,因此学界认为绝大多数的超铁元素是通过铁“种子”俘获中子而产生的,并根据“抓到”中子的相对速度有了快慢之分,p-过程则可以解释30余种无法通过中子俘获产生的丰质子核素(p-核)的谜团。

“慢速中子俘获过程通常发生在红巨星阶段,可产生宇宙中现有超铁元素约一半数量的超铁元素。”李志宏指出,随着红巨星不断燃烧,其内部的碳氧核心可产生中子,成为主要的中子源。当铁原子核抓到中子时,原子核内便不再“稳如泰山”了。在下一个中子被俘获之前,不稳定的铁核将进行β衰变,核内的一个中子转变为质子。元素周期表中位列第27位的钴元素就此诞生。钴核再俘获中子,便可产生更多的重核。“目前学界已通过理论计算及实际谱线观测逐渐证实了该模型的科学性。”

“快速中子俘获过程通常发生在核心塌缩的超新星爆发或两个中子星合并过程中,可产生约一半的超铁元素。”李志宏表示,这两种天体活动中,大量的中子喷射而出,一个原子核会被中子包围起来,因此俘获中子是件迅速且轻而易举的事,从铁“种子”一步步生成铀只需1秒。

大部分元素都能通过以上两种中子俘获过程产生,还有约1%的超铁元素是通过p-过程产生的。目前,科学家还未揭开p-核形成的全部奥秘,其发生过程有待进一步探索。

“核过程研究不仅致力于寻找宇宙元素的起源,还为我们提供了一个‘看见’恒星内部深处的窗口,认识恒星中能量产生的过程以及演化历史。”李志宏看来,这些谜团的探索也会助力人们开发新的核能源,为国防建设和国民经济发展服务。



扫一扫  
欢迎关注  
带你去看耿耿星河  
微信公众号