

# 宇宙深处的“闪灵”

■本报实习生 池涵 记者 李晨

随着加拿大氢强度测绘实验(CHIME)项目新发现的13个快速射电暴(FRB)在《自然》杂志上发表,快速射电暴(FRB)一跃成为“网红”。然而,关于快速射电暴起源的解释一时众说纷纭,甚至有大众科学爱好者将重复射电暴解读为外星人。

日前,中科院紫金山天文台博士生张松波及其导师吴雪峰研究员以及澳大利亚合作团队又从Parkes望远镜的历史数据中挖掘出了新的快速射电暴事件。他们的成果以“快讯”形式发表在《国际天文学会》(皇家天文学会)月报》上。

## 微波炉还是天文现象

快速射电暴刚被发现时可有这么火爆。它第一次被发现是在2007年,现为美国西弗吉尼亚大学物理与天文学系教授的Duncan Lorimer与合作者在研究澳大利亚64米望远镜Parkes 2001年记录的数据时,发现了一个时间非常短,但是能量很强的信号。

这个信号有多强呢?吴雪峰说,相当于太阳在几个月内辐射的能量在几毫秒的时间内释放出来。

同时,通过测量这个事件的色散量,Lorimer等人发现该事件可能来自银河系外遥远的宇宙深处。

什么是色散量呢?国家天文台研究员、“天籟计划”首席科学家陈学雷对《中国科学报》解释道,我们通常认为是真空的宇宙里其实有稀薄的等离子体,当无线电波穿过等离子体时会发生一定程度的色散。一个天文事件距离我们越遥远,无线电信号遭遇的等离子体中的自由电子数量一般也越多,因此我们观察到它时测量出的色散就越大。而通过对Lorimer事件375 cm<sup>3</sup>pc的色散量计算得出的距离远在银河系边界以外。

当时,由于射电频率的观测非常容易受到人为因素干扰,科学家们对这个发现非常谨慎。2011年,曾有澳大利亚科学家研究了前一年发现的16个类似快速射电暴的信号,发现这些信号都是中午吃饭时间记录的,而且都是大气层内发出来的。吴雪峰告诉《中国科学报》,原来它们竟然是微波炉突然被拉开了磁控管造成的!

闹了这样一出乌龙,很多人更加不相信快速射电暴了。Lorimer的妻子、同是美国西弗吉尼亚大学物理与天文学系教授的Maura McLaughlin回忆,Lorimer曾在讲座时被人面对面地公开挑战:“咱们这有多少人信快速射电暴?举个手!”

然而此后,一个又一个快速射电暴事件被世界各地的望远镜发现,特别是位于波多黎各的美国阿雷西博望远镜2012年观测到的一处快速射电暴,在后来的三年间又重复出现了10次。这些信号不是微波炉发出来的,它们来自距地球30亿光年的银河系外。

直至2018年9月底CHIME望远镜通过观测,在几周内接连发现了13个快速射电暴,还观察到一个新的重复信号,这才有了开头关于快速射电暴的讨论在朋友圈刷屏的一幕。此时公布的快速射电暴事件约80例,其中绝大多数可能来自银河系外。

中科院紫金山天文台副研究员魏俊杰认为,全天空每天至少有几百例甚至几千例快速射电暴事件,与超新星爆发率相当。

人们终于认识到,快速射电暴不仅是自然发生的天文事件,而且具有重要的科学意义。

## 银河系外的神秘信号

论文第一作者张松波介绍道,此次



澳大利亚联邦科学与工业研究组织(CSIRO)的ASKAP望远镜阵列探测快速射电暴想象图。图片来源:OzGrav, Swinburne University of Technology/ICRAR

“如果有更多的快速射电暴被精确定位,它们的红移能够被准确测量,那么结合快速射电暴的红移和色散量信息,我们可以测量宇宙的重子数密度、限制宇宙学参数和暗能量状态方程、限制宇宙再电离历史、检验物理学基本原理,等等。此外,快速射电暴物理起源的研究对我们了解致密星物理、恒星形成与演化等具有重要价值。”

发现的事件是已发现的快速射电暴中脉冲宽度最长的一个(24.3±1.3毫秒),第九个色散超过1000 cm<sup>3</sup>pc(1187±14 cm<sup>3</sup>pc),并且与Lorimer发现的快速射电暴来自同一批Parkes数据,是利用优化的脉冲星搜索软件包(PRESTO)和澳大利亚联邦科学与工业研究组织(CSIRO)的高性能计算集群,进行了更大色散范围的数据挖掘得到的。

张松波告诉记者,目前寻找快速射电暴的方式主要有档案库数据搜索和望远镜实时监测两种。现在搜寻快速射电暴的主力望远镜(如Parkes、ASKAP、CHIME等)都已经配置了快速射电暴实时监控系统,一旦有比较明显的快速射电暴类似信号触发,研究人员将会迅速对此信号进行进一步的验证。同时,对于观测到的新数据和数据库中的历史数据,通过更好的射电干扰信号消除和更新更详细的搜寻方式,也能够寻找到新的快速射电暴信号。

魏俊杰告诉《中国科学报》,如果有更多的快速射电暴被精确定位,它们的红移能够被准确测量,那么结合快速射电暴的红移和色散量信息,我们可以测量宇宙的重子数密度、限制宇宙学参数和暗能量状态方程、限制宇宙再电离历史、检验物理学基本原理,等等。此外,快速射电暴物理起源的研究对我们了

解致密星物理、恒星形成与演化等具有重要价值。

## 脉冲星、黑洞还是“星震”?

对于快速射电暴的解释,除了大众此前广为关注的可能是高等外星人向地球发射的信号以外,吴雪峰告诉记者,目前已经提出的快速射电暴的物理模型有二三十种之多。

据吴雪峰团队博士生邓灿敏介绍,总的来说快速射电暴的模型可以分为两类:可重复暴发模型和非可重复暴发模型。

对于可重复暴发,最流行的模型是中子星的活动。例如重复快速射电暴有可能是年轻脉冲星的超级巨脉冲。快速射电暴信号与银河系中的蟹状星云脉冲星的巨脉冲非常相似。不过目前的困难是快速射电暴的能量要比一般的巨脉冲高几个量级,但也不排除年轻的脉冲星可以产生足够强大的超级巨脉冲。

重复快速射电暴也有可能是磁星(有超强磁场的中子星)的巨磁暴产生。就像我们银河系内的磁星那样,磁星磁层的活动会导致磁能的快速释放而产生耀发,耀发的能量要比快速射电暴的能量高几个量级,仅需要极少部分的能量转化为射电辐射就可以产生快速射

电暴。

此外,脉冲星和小行星的碰撞,以及靠近超大质量黑洞的脉冲星受到黑洞外流的袭击,也在理论上被用以解释快速射电暴。

而最主流的非重复快速射电暴模型是双致密星并合,包括白矮星、中子星和黑洞两两之间的并合。双致密星并合过程中磁层的相互作用、磁偶极辐射和电偶极辐射所释放的能量有可能会转化成射电辐射,都有可能产生一次性的快速射电暴。此外,致密星的塌缩,例如白矮星塌缩成中子星,中子星塌缩成奇异星或者黑洞也有可能产生一次性的快速射电暴。

总的来说,在众多模型中,虽然目前不确定哪个模型是正确的,但天文学家们大多相信快速射电暴应该是与致密星密切相关的。

陈学雷认为,小而致密的中子星很适合解释小而强烈的快速射电暴。在最近的研究中,陈学雷也和研究生王维扬、北京大学天文学系教授徐仁新以及美国内华达大学拉斯维加斯分校物理和天文学教授张冰的团队一起提出了“星震”模型。

他们发现,重复快速射电暴的强度分布规律类似于地球地震的规律,弱震很多,强震很少。而且,每一次的信号实际上是由若干个连接紧密的小信号组成的,这些小信号有频率从高到低的“漂移”现象。陈学雷认为,这是脉冲星表面发生了一种类似于“板块运动”的事件,释放的高能粒子从脉冲星内部向外运动并聚集,最终以快速射电暴的形式释放能量形成的。

## 瞄准FRB的“天眼”

陈学雷认为,在对快速射电暴的观测中,我国需要解决“灵敏”和“视场”两个问题。

首先,因为快速射电暴的闪烁时间很短,在毫秒级,因此观测它的望远镜要实现更高的时间分辨率并能够记录激增的大量数据。

在这方面,魏俊杰告诉记者,我国自主研发的“天眼”FAST是世界上最大的单口径射电望远镜,其灵敏度比德国波恩100米望远镜高约10倍,其综合性能比美国的阿雷西博300米望远镜高约10倍,“天眼”将在未来20—30年保持世界一流设备的地位。“天眼”能同时接收频率在70MHz—3GHz之间的射电信号,完全有能力探测到快速射电暴信号。

此外,由于单天线望远镜存在视场小的问题,很多出现在其他位置的FRB事件就被错过了,而装备独特接收机的望远镜阵列如澳大利亚SKA探路者(ASKAP)和加拿大的CHIME可以实现大视场。ASKAP采用“相控阵馈源(PAF)接收机”,可以使每个天线相当于30 deg<sup>2</sup>视场;CHIME则配备“1024双极化射电接收机”,能形成250 deg<sup>2</sup>的宽视场,在探测FRB方面被寄予厚望。

邓灿敏向《中国科学报》介绍,目前FRB领域最期待解决的是快速射电暴宿主星系和电磁对应体的搜寻,即将重复暴和非重复暴宿主星系和对应体作直接对比,揭示它们是否有同一起源,这项研究可以揭示快速射电暴的形成环境和起源。目前ASKAP已经对一部分快速射电暴精确定位,CHIME由于其强大的探测能力,有望在一两年内观测到成千上万个快速射电暴,其中必定有一部分是重复暴,由于其重复性,也有希望对其精确定位,不久将迎来重大突破。此外,由于CHIME预期观测到数量较大的快速射电暴,大样本的统计、在宇宙学中的应用等研究也将如火如荼地展开。

相关论文信息:

DOI:10.1093/mnras/stz023

在加拿大自治领天体物理射电天文台里,科学家仍需要老式的技术:便笺簿和笔。人们需要关掉数码相机和手机,把它们藏在一个装有法拉第笼的屏蔽房间里。法拉第笼是一种金属网,可以防止杂散的电磁信号逸出。这一切的目的是防止该天文台最新的射电望远镜——加拿大氢强度测绘实验(CHIME)受到任何干扰。

也许普通人乍一看,CHIME似乎跟快速射电暴(FRB)毫无关联,但事实却非如此。

## FRB探测小能手

在1月一个晴朗寒冷的日子里,加拿大温哥华英属哥伦比亚大学科学工程师Nikola Milutinovic站在CHIME一个百米长的凹槽型碟形天线前,寻找其反射表面的雪,这些雪通常会透过金属网,但有时也会沾在网上。

白雪覆盖的小山环绕着CHIME,并使这里不受附近城镇的手机信号塔、电视发射机,甚至微波炉的干扰。“如果你在火星上打手机,CHIME就能探测到。”Milutinovic说。

当然,CHIME的猎物既没有那么微弱,也没有那么近。该望远镜比其他领先的射电天文台更小更“简单”,也更便宜。但幸运的是,它正适合探索天文学中引人注目的谜题:来自遥远宇宙的信号——FRB。

FRB指宇宙中突然出现的无线电波短暂且猛烈释放的现象,持续时间通常只有几毫秒,却能释放出巨大能量。FRB于2007年被首次发现,是天体物理学研究中最有趣的谜团之一。FRB在天空中随处可见,然而天文学家并不能确定它们来自哪里、是什么引起的。

而且,FRB还闹过一个著名的“乌龙事件”。

21年前的一天,澳大利亚新南威尔士州的帕克斯射电望远镜(Parkes)突然接收到了一种异常强烈的无线脉冲信号。而且,自那以后,这里的科学家会陆续探测到该信号。于是,天文学家开始对这个名为“perytons”的信号展开细致搜寻工作。

大家将目标锁定在了FRB上,自1998年以来,对perytions的搜寻工作成为该研究团队的主要任务。在经历了多年寻找后,研究人员终于鉴别出了这些奇异信号的来源:设备休息室中的一台微波炉。

《中国科学报》曾报道称,澳大利亚墨尔本斯威本科技大学的Emily Petroff表示,由于这种脉冲信号的频率与微波炉相近,因此他们将“元凶”锁定为微波炉,但最初未能证实。

经过若干次实验后,Petroff团队发现,只有在那台微波炉还在运行时,强行打开炉门,微波炉突然停止工作,就会从炉门泄漏出一些微波辐射,而同时,望远镜的天线正好朝向那边。

2015年发表于arXiv预印本服务器上的这份报告终于为17年的研究画上了句号:这个申请了无数经费的神秘信号perytions,其实就是微波炉。

有专家称,微波炉里的电磁波同样属于无线电信号,虽然微弱,但还是能够干扰到望远镜的正常信号采集分析。于是,就像Milutinovic介绍的,CHIME也考虑到了微波炉的影响。

## 数十次的“邂逅”

目前仍处于起步阶段的CHIME,因探测到多个FRB而闻名大噪,这使已知的FRB总数超过60。

今年1月,CHIME在《自然》发表两篇论文,描述了发现的13个FRB,并重点介绍了其中一个代号为FRB 180814.J0422+73的重复FRB,这就是所谓的“神秘信号”。

“神秘信号”之所以引发关注,是因为它的重复特征:研究人员探测到6次重复信号,并且似乎源于同一位置。

已知的另一个重复FRB是在2012年首次出现的。它似乎起源于距离地球约25亿光年的一个星系。但这个由位于波多黎各的阿雷西博射电望远镜发现的代号为FRB 121102的重复FRB,当时并未引起如此轰动。

“到目前为止,人们只发现了一个重复FRB。而FRB 180814.J0422+73的出现意味着我们可能有机会探测到更多重复FRB和可供研究的资源,这能帮我们揭晓它们来自哪里、是什么原因造成的等谜题。”CHIME团队成员、英属哥伦比亚大学天体物理学家Ingrid Stairs告诉《中国科学报》。

此外,CHIME还探测到迄今为止已知的最低频率FRB。它的波长是400兆赫,打破了之前700兆赫的记录。此前用其他望远镜进行的观测并没有发现这些较低波长的FRB。

温哥华市英属哥伦比亚大学天文学家Deborah Good表示,研究较低频率的FRB以及它们的辐射在到达地球的途中是如何散射的,可以揭示更多关于产生射电暴的环境的信息。

专家表示,2018年夏天,在短短3周里,CHIME总共探测到13次FRB,充分证明了这台新型望远镜的

# 「简单」望远镜与「远古」的邂逅

■本报记者 唐岚



随着地球的转动,CHIME的凹槽扫过天空,捕捉到短暂的无线电磁脉冲,并将信号集中到顶部的天线上。图片来源:ANDRE RENARD

能力。与此同时,它还处于调试前阶段,仅以部分功率运行。

## 你从哪里来?

即便观测到多个FRB,但仍几乎没有多少理论可以解释它们。

仅仅一个瞬间,事件就结束了,也没有留下任何余晖让天文学家去研究,于是人们无法确定它们的起源。

从脉冲的性质中,研究人员可以确定的为数不多的事情之一是,它们来自银河系以外的地方。

天文学家还认为,产生FRB的物质必须足够紧凑,才能产生如此短而有力的脉冲,在遥远的距离外被观测到。因此,中子星、黑洞或者其他更奇特的东西都可能是“候选人”。

更奇怪的是,FRB可以重复出现。这种重复可能会排除爆炸、合并或其他一次性灾难性事件。

因此,科学家需要的是数量:更多FRB,尤其是更多重复FRB。

在探测到的13个FRB中,大多数都显示出“散射”的迹象,这一现象揭示了关于无线电波源周围环境的信息。CHIME团队观察到的散射量使他们得出结论,FRB的来源是高能天体,更有可能位于具有特殊特征的位置。

多伦多大学天文学家Cherry Ng说:“这可能是某种类似超新星残骸的密集星团,或者在星系中心、黑洞附近。但它必须在某个特殊的地方,才能让我们看到所有的散射。”

但美国哈佛大学天文学系主任Abraham Loeb在接受媒体采访时表示,目前还不能解答FRB的详细机制是什么。

回到欧肯娜山谷,这个造型奇特的望远镜背后是一支热爱它的团队。“工作”是这里最重要的词汇之一。

“每个人都把自己的手放在这架望远镜上。”Milutinovic说。在监测电脑系统的同时,Milutinovic还跟环保工作人员一起把两只在望远镜上安家的幼鸮以及其他鸟类转移到安全地点。偶尔,他还要接待响尾蛇的拜访。

无论如何,一旦CHIME的调试阶段在今年晚些时候结束,科学家认为它每天可以发现20多个FRB。“在一年内,它将成为FRB的主要发现者。”哈佛大学天体物理学家Edo Berger说。



世界上最大的单口径射电望远镜——FAST“天眼”望远镜。

郭刚制版