

GW190425：迄今所见最重的双中子星系统？

2020年1月6日 [阅读英语原文或其他语言版本](#)

我们发现了什么？

LIGO科学合作组织和Virgo合作组织报道，于2019年4月25日探测到来自双致密星体并合产生的引力波。我们合作组织将此信号命名为GW190425。LIGO由两个引力波探测器组成，一个位于华盛顿州的汉福德，另一个位于路易斯安娜州的利文斯顿。GW190425信号到达的时候，LIGO汉福德探测器暂时处于离线状态，但这一强信号被LIGO利文斯顿探测器捕捉到。位于意大利卡希纳的Virgo探测器当时处于采集数据状态。但由于Virgo的敏感度低于LIGO，尤其是GW190425的源很可能位于Virgo较不敏感的天空区域，该信号仅仅在LIGO利文斯顿探测器中高于探测阈值。尽管如此，Virgo所采集的数据仍能帮助我们理解GW190425的源参数。我们发现这个双星系统的总质量在3.3到3.7个太阳质量之间。基于这个质量范围，最合理的解释是该信号源于5.2亿光年外的一对中子星的并合。该双星系统的总质量，明显大于任何已知的双中子星系统。



图1：对并合产生GW190425信号的双中子星系统的艺术描绘。图片来源：National Science Foundation/LIGO/Sonoma State University/A. Simonnet

背景介绍

GW190425在高新LIGO和Virgo的第三次观测运行（被称为O3）中被探测到，该观测开始于2019年4月1日，并将于2020年4月30日结束。在这次观测运行之前，高新探测器曾先后进行了两次观测运行：O1（2015年9月至2016年1月）和O2（2016年11月至2017年8月），详情请点击[此处](#)。每两次观测运行之间，探测器通过新技术进行升级，以提高敏感度。

在第二次运行观测（O2）中，LIGO和Virgo首次观测到来自双中子星旋近并合的引力波，命名为GW170817。并且在整个电磁频谱中观测到了此次并合撞击产生的电磁对应体。GW190425可能是我们第二次用引力波观测到的双中子星并合。迄今为止，尚未发现与GW190425相关的电磁对应体或中微子信号。但这并不奇怪，此次的源比GW170817更远，因此所预期的电磁信号会更弱。但也许最大的因素是GW190425的定位不够好。事实上，GW190425的源的定位区域大约占整个天空的16%。对常规望远镜跟踪搜索来说，这是一个巨大的天空区域！

何以得知GW190425信号来自宇宙天体？

我们有一系列寻找致密星体并合产生的引力波信号的搜索。这些搜索用一项被称为匹配滤波的技术，将观测到的数据和广义相对论所预言的理论信号进行比对。我们的搜索流水线从LIGO利文斯顿的数据中识别出了GW190425信号。下一步是估算该事件的显著程度，换句话说，我们想知道由于探测器数据中的噪声特性而意外导致这样一个信号的概率，称为误报率。要估算误报率，我们需要将GW190425的强度和背景噪声分布作比对。通过分析搜索分别采集于LIGO利文斯顿、LIGO汉福德和Virgo的数据（O1和O2中采集的169.5天和O3中采集的50天），我们创建了背景分布。我们发现GW190425的误报率是6万9千年一次。图2显示了在总共219.5天的背景数据中，除了已确认探测到的GW170817，GW190425也明显区别于背景分布。

除了搜索背景进行比对之外，我们也对GW190425进行了与先前引力波事件相似的检测程序。这些检查调研了GW190425是否可能由LIGO利文斯顿探测器中某一罕见的瞬时仪器噪声所导致。而我们并未发现任何可导致GW190425的环境或者仪器干扰。

我们为何对GW190425感兴趣？

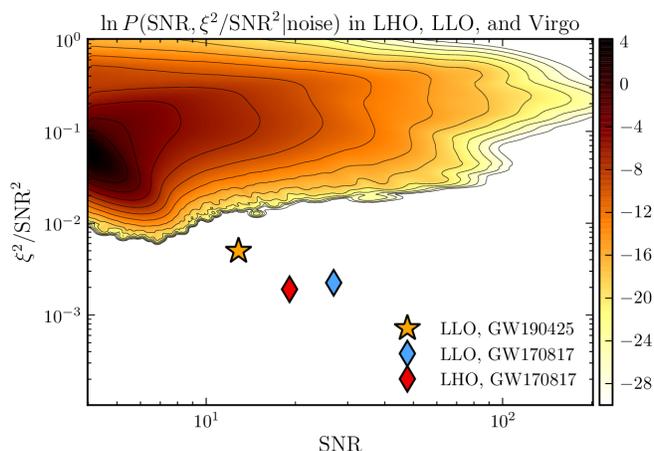


图2：该图显示了LIGO汉福德（LHO），LIGO利文斯顿（LLO）和Virgo的组合SNR- ξ^2 噪声概率函数。SNR（信噪比）量化了信号的强度， ξ^2 测试了信噪比的时间演化与实际来自双致密星体信号的匹配程度。该图显示的是双中子星信号的背景。该背景通过O1和O2的169.5天以及O3的50天数据构造。GW190425所在的位置（金色五角星）没有背景；它显著区别于背景。为了方便比较，蓝色和红色菱形分别显示了LIGO利文斯顿和LIGO汉福德探测器中记录的GW170817信号。

我们发现两个致密星体中较重的一个质量为太阳质量的1.61倍到2.52倍，较轻的那个为太阳质量的1.12倍至1.68倍。这些质量与从其他中子星测得的质量以及超新星爆发模拟所期望的质量相一致。根据电磁观测已知的最重的中子星（PSR J0740+6620）为太阳质量的2.05–2.24倍。对于GW190425而言，我们不能排除其中一个或两个星体都是黑洞。但最直接的解释依旧是这两个星体是中子星。如果是这样的话，我们能从GW190425知道些什么？

我们发现，GW190425在某些方面不像我们银河系中的其他双星中子星。虽然该系统中单个中子星的质量都和已知的那些相似，但总质量却很不相同。图3显示了十个银河系中预期会在宇宙寿命内并合的双中子星系统的质量。我们用正态分布来拟合这10个系统的质量，发现银河系双中子星系统的平均质量大约是太阳的2.69倍，而GW190425双星系统的质量大约是太阳的3.4倍。事实上，它和银河系双星系统平均质量相差5个标准差。这表明GW190425的形成与这些已知的银河系双星有所不同。

我们预期通过两种方式可以使两个中子星形成双星系统。其一被称为“公共包层孤立双星演化通道”。这种方式下，处于双星轨道中的两颗恒星分别经历超新星爆发形成两个中子星，但这一过程独立于其他致密星体。其二被称作“动态形成通道”。这种情况下，已经存在一个双星系统，它可能包含两个中子星，或者一个中子星和一个主序星。接着另一颗中子星加入这一系统，将质量较小的那个星体踢出，而形成由两个中子星组成的新双星系统。GW190425不太可能源自动态通道，因为这种形成方式被认为不会对双中子星并合率有显著贡献。如果GW190425双星是由孤立系统形成的，则可能意味着这两颗中子星是从低金属星生成的。或者，当第一个超新星爆发生成双星系统中第一颗中子星时，来自第二颗恒星（尚未发生超新星爆发）的质量可能会转移到第一颗中子星上并使它变得更重。无论哪一种解释，GW190425的发现都可能表明，存在有目前电磁勘测无法探测到的，轨道周期低于一小时的双中子星系统。

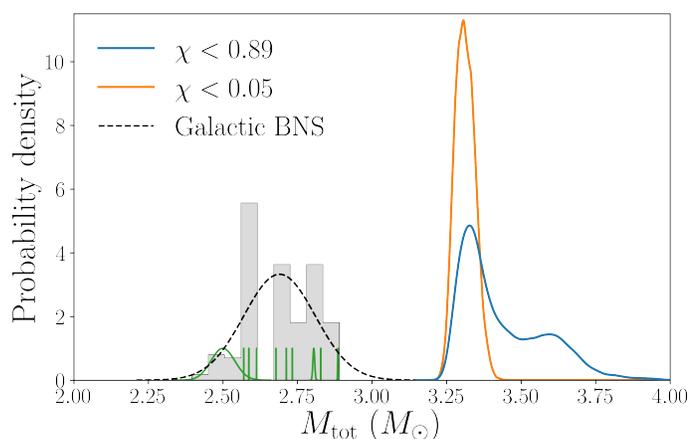


图3：该图显示了在对两个致密星体各自的自旋进行不同假设的情况下（蓝色和橙色曲线），GW190425双星系统可能的总质量分布，还显示了10个银河系中预期在宇宙寿命内并合的双中子星系统的系统总质量。黑色虚线所表示的是用正态分布拟合的银河系双中子星总质量的分布。绿色曲线表示单个银河系双中子星系统（纵坐标重新缩放调节为相同的高度¹）。

我们还尝试判断中子星的转速。遗憾的是，我们的结果未能给出中子星的自旋。他们与银河系中自旋最快的预期会在宇宙寿命中并合的两个双中子星系统（PSR J0737-3039A/B和PSR J1946+2052）相一致。PSR J1946+2052系统包含一个每17毫秒旋转一周的脉冲星。

如果我们将GW190425看作为双中子星系统，并将这一结果与我们观测到的另一个双中子星系统（GW170817）结合起来，我们就能估算每年在宇宙某一体积内碰撞并合的双中子星的数量。我们发现，双中子星的并合率为每年每十亿秒差距的立方（1秒差距=3.26光年）250到2810个。

GW190425可能是第二次通过引力波观测到的双中子星系统，它为我们提供了关于这些奇特星体的更多独特信息。

更多内容

- 请访问我们的网站：www.ligo.org, www.virgo-gw.eu
- 阅读LIGO关于这项发现的新闻稿：ligo.caltech.edu/news/ligo20200106
- [点击此处阅读论文全文](#)

词汇表

- **致密星体**：对密度非常高，非常小的星体（例如中子星，黑洞）的概括性的名词。这里所说的“小”，是指天文意义上的“小”。这些星体都至少承载我们太阳的质量，而浓缩于直径几公里或几十公里之内。
- **双星系统**：两个星体处于互相旋绕的轨道的系统。
- **中子星**：大质量恒星坍缩之后遗留的非常致密的星体。
- **黑洞**：由极度致密的质量导致的，引力非常强以致于包括光在内的任何物体都无法逃离的时空区域。
- **自旋**：衡量物体旋转快慢的量。例如，地球每24小时自转一周。
- **脉冲星**：由它们所发出的电磁辐射脉冲（通常在射电波段）被观测到的中子星。我们所预期存在的一大部分中子星并不能被观测为脉冲星，或者由于它们的电磁辐射不够强，或者是因为他们的电磁辐射的方向并不向着地球。