

收听黑洞的宇宙哼鸣

(中国原子能科学研究院 周书华 编译自 Neil Cornish, *Physics*, April 16, 2018)

最近对来自外空间的引力波的探测将天文学引领到一个新纪元。至今，激光干涉仪引力波天文台(LIGO)和 Virgo 的团队已观察到来自一些黑洞并合以及一对双中子星并合的引力波。但是所探测到的这些事件只不过是冰山一角。估计在宇宙中质量与恒星质量相当的一对黑洞，每几分钟便发生一次并合。双中子星每 15 秒左右发生一次并合。然而只有少数这种并合发生在足够近处，而能被探测到。澳大利亚 Monash 大学的 Rory Smith 和 Eric Thrane 发明的技术可探测远处并合产生的背景“哼鸣声”，比使用传统方法要快得多。

LIGO 和 Virgo 通过寻找激光干涉仪两端反射镜之间距离(几千米)的微小变化，来探测引力波。当引力波经过时，会使反射镜前后摆动，并产生一震荡信号，对于黑洞并合该信号将持续几分之一秒，对于中子星会持续几分钟。

如果信号有 99.99% 的概率起源于天体物理过程，LIGO 和 Virgo 团

队便认为这信号是引力波信号。至今所报道的 5 个黑洞并合及中子星并合都符合这种条件。通过将这些事件的引力波信号与根据爱因斯坦引力理论的预言做比较，研究人员推断出这些信号源的质量、自旋和在太空中的位置。这种探测还用于推断宇宙各处的黑洞和中子星并合的速率。

LIGO 和 Virgo 探测器当前的灵敏度只够探测宇宙中一小部分具有高置信度的并合。其余大量的并合为阙下事件。例如，LIGO 探测器于 2015 年 10 月获取到一个有希望的事件(LVT151012)。但是分析确定，这事件源于黑洞并合的可能性只有 87%。不足以宣称探测到并合事件。

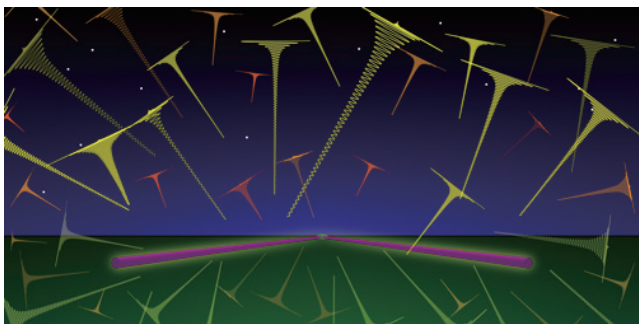
为了完全理解黑洞并合，需要观测大量事件，因而将 LVT151012 得到的有潜在价值的信息舍弃是很可惜的。幸而可能从许多分辨不开的弱信号背景中得到某些信息。LIGO 和 Virgo 探测器的模糊背景，可以告诉我们在宇宙年轻时，在遥远处发生的黑洞并合事件。

传统的从噪声中辨别引力波背景信号的方法是将两个或更多的探测器的输出与交叉关联分析做比较。探测器之间的噪声

是不关联的，所以噪声的贡献在交叉关联分析中平均为零，而引力波信号将保留下来。预计使用交叉分析技术，LIGO 和 Virgo 探测器将足够灵敏，可在几年内探测到引力波背景。

但是，交叉关联技术只适用于随机分布和相互重叠的、形成恒定背景的信号。而源于黑洞并合的信号在探测器中趋向于非重叠的、且具有由黑洞性质决定的特殊分布形状。为此，研究人员提出另一种方法，比传统方法灵敏几千倍。他们建议首先将 LIGO 和 Virgo 的三台干涉仪中每一个的原始数据分成几秒钟的小段。然后联合分析所有干涉仪相同时间段的数据，来确定发生了黑洞并合的概率。所提取出的概率是基于所谓的 Bayesian 奇异来判断一个信号的出现，需要耗时的大量计算求高阶积分。通过足够多的概率测量，可以确定黑洞并合的速率，这信息是不能用传统的交叉关联方法得到的。新的方法还可以用于产生更精细的信息，如黑洞并合速率与质量的关系。

Smith 和 Thrane 估计这种改进的方法只需一天的测量数据就能够给出双黑洞背景的可靠结果，而交叉关联方法则需要约 4 年。但是这种灵敏度的巨大提升需要大大增加计算时间。经计算，所需的计算耗费是 LIGO 和 Virgo 的计算机资源所能满足的。还可能将新的方法推广到用于在探测器中重叠的信号，如持续期长得多的中子星并合。



大多数黑洞并合因太遥远不能在引力波探测器中产生明显的信号。但是较弱信号组成的背景可提供关于整体黑洞布局的信息