

## 从二元黑洞合并中观测引力波

B. P. Abbott等人\* (LIGO科学合作和Virgo合作) (2016年1月21日收到; 2016年2月11日发表)

2015年9月14日09:50:45

UTC, 激光干涉仪引力波天文台的两个探测器同时观测到瞬态引力波信号。该信号在35至250 Hz的频率范围内向上扫过, 峰值引力波应变为 $1.0 \times 10^{-21}$ 。它与广义相对论预测的一对黑洞的吸气和合并以及由此产生的单个黑洞的衰荡的波形相匹配。在匹配的滤波器信噪比为24的情况下观察到信号, 并且估计每203000年的误报率小于1个事件, 相当于显著性大于5.1。源位于 $410 \times 160 - 180$

Mpc的光度距离, 对应红移 $z = 0.09 \pm 0.03 - 0.04$ 。在源坐标系中, 初始黑洞质量为 $36 \times 5 - 4 M_{\odot}$ 和 $29 \times 4 - 4 M_{\odot}$ , 最终黑洞质量为 $62 \times 4 - 4 M_{\odot}$ , 其中 $3.0 \times 0.5 M_{\odot} - 0.5 M_{\odot}$ 在引力波中辐射。所有不确定性都定义了90%的可信区间。这些观测结果证明了双星质量黑洞系统的存在。这是首次直接探测到引力波, 也是首次观测到二元黑洞合并。

内部: 10.1103/PhysRevLett.116.061102

## 一. 引言

1916年, 在广义相对论场方程最终公式化的第二年, 阿尔伯特·爱因斯坦预测了引力波的存在。他发现线性化的弱场方程有波动解: 以光速传播的空间应变横波, 由源的质量四极矩的时间变化产生[1, 2]。爱因斯坦明白引力波振幅在地球上显著的; 此外, 在1957年的教堂山会议之前, 关于引力波的物理实在性一直存在重大争论[3]。

同样在1916年, 史瓦西发表了场方程[4]的解, 后来被理解为描述黑洞[5, 6], 1963年克尔将该解推广到旋转黑洞[7]。从20世纪70年代开始, 理论工作导致了对黑洞准正态模的理解[8-10], 在20世纪90年代, 高阶后牛顿计算[11]先于对相对论两体动力学的广泛分析研究[12, 13]。这些进步, 再加上过去十年中数值相对论的突破[14-16], 使得对二元黑洞合并的建模和对其引力波形的准确预测成为可能。虽然现在已经通过电磁观测确定了许多黑洞伴随物[17-19], 但以前还没有观测到黑洞合并。

\* 文章末尾给出了完整的作者名单。

由美国物理学会根据知识共享署名3.0许可条款发布。这项工作的进一步分发必须保持对作者和已发表文章的标题、期刊引用和DOI的归属。

Hulse和Taylor[20]发现的脉冲双星系统PSR

B1913-16以及Taylor和Weisberg[21]随后对其能量损失的观测证明了引力波的存在。

这一发现, 以及新兴的天体物理学理解[22], 使人们认识到, 直接观测引力波的振幅和相位将有助于研究其他相对论系统, 并为广义相对论提供新的检验, 特别是在动态强场机制下。

探测引力波的实验始于20世纪60年代韦伯和他的共振质量探测器[23], 随后是国际低温共振探测器网络[24]。干涉探测器最早是在20世纪60年代初[25]和70年代[26]提出的。对这种探测器的噪声和性能的研究[27], 以及改进它们的进一步概念[28], 提出了具有显著提高灵敏度潜力的长基线宽带激光干涉仪的建议[29-32]。到21世纪初, 一组初始探测器已经完成, 包括日本的TAMA

300、德国的GEO

600、美国的激光干涉仪引力波天文台(LIGO)和意大利的Virgo。从2002年到2011年, 这些探测器的组合进行了联合观测, 在演变为全球网络的同时, 为各种引力波源设定了上限。2015年, 高级LIGO成为第一个开始观测的更敏感的高级探测器网络[33-36]。

在爱因斯坦和史瓦西的基本预测一个世纪后, 我们首次直接探测到引力波, 并首次直接观测到二元黑洞系统合并形成一个黑洞。我们的观察为我们提供了独特的途径