

通过引力波探测原初黑洞

报告人：陈祖成

导 师：黄庆国

中国科学院理论物理研究所

2021 年 5 月 20 日



中国科学院大学

University of Chinese Academy of Sciences





引力波相关文章

- ① Probing primordial-black-hole dark matter with scalar induced gravitational waves
Phys.Rev.D 100 (2019) 8, 081301
Chen Yuan, **Zu-Cheng Chen**, Qing-Guo Huang
- ② Measuring the tilt of primordial gravitational-wave power spectrum from observations
Sci.China Phys.Mech.Astron. 62 (2019) 11, 110421
Jun Li, **Zu-Cheng Chen**, Qing-Guo Huang
- ③ Log-dependent slope of scalar induced gravitational waves in the infrared regions
Phys.Rev.D 101 (2020) 4, 043019
Chen Yuan, **Zu-Cheng Chen**, Qing-Guo Huang

引力波相关文章



- ④ [Extraction of gravitational wave signals with optimized convolutional neural network](#)
Front.Phys.(Beijing) 15 (2020) 1, 14601
Hua-Mei Luo, Wenbin Lin, **Zu-Cheng Chen**, Qing-Guo Huang
- ⑤ [Scalar induced gravitational waves in different gauges](#)
Phys.Rev.D 101 (2020) 6, 063018
Chen Yuan, **Zu-Cheng Chen**, Qing-Guo Huang
- ⑥ [Non-tensorial Gravitational Wave Background in NANOGrav 12.5-Year Data Set](#)
[arXiv:2101.06869 \[astro-ph.CO\]](#)
Zu-Cheng Chen, Chen Yuan, Qing-Guo Huang



原初黑洞相关文章

- ① [Merger Rate Distribution of Primordial-Black-Hole Binaries](#)
Astrophys.J. 864 (2018) 1, 61
Zu-Cheng Chen, Qing-Guo Huang
- ② [Stochastic Gravitational-Wave Background from Binary Black Holes and Binary Neutron Stars and Implications for LISA](#)
Astrophys.J. 871 (2019) 1, 97
Zu-Cheng Chen, Fan Huang, Qing-Guo Huang
- ③ [Distinguishing Primordial Black Holes from Astrophysical Black Holes by Einstein Telescope and Cosmic Explorer](#)
JCAP 08 (2020) 039
Zu-Cheng Chen, Qing-Guo Huang
- ④ [Pulsar Timing Array Constraints on Primordial Black Holes with NANOGrav 11-Year Dataset](#)
Phys.Rev.Lett. 124 (2020) 25, 251101
Zu-Cheng Chen, Chen Yuan, Qing-Guo Huang



提纲

- ① 引言
- ② 原初双黑洞的并合率
- ③ 原初双黑洞产生的引力波背景
- ④ 总结

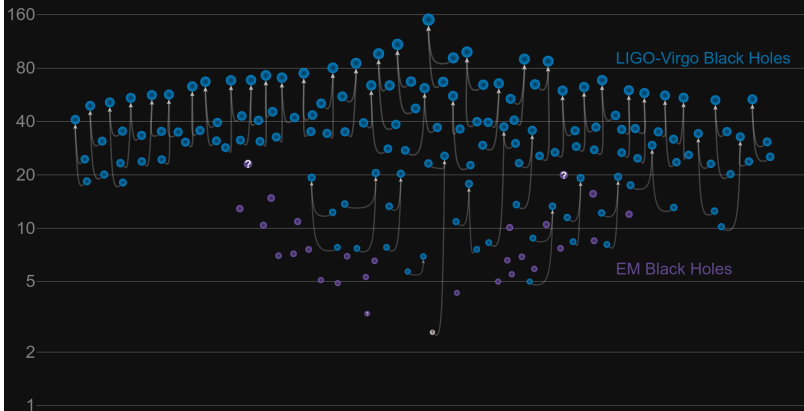


提纲

- 1 引言
- 2 原初双黑洞的并合率
- 3 原初双黑洞产生的引力波背景
- 4 总结

Masses in the Stellar Graveyard

in Solar Masses



GWTC-2 plot v1.0
LIGO-Virgo | Frank Elavsky, Aaron Geller | Northwestern

LIGO-Virgo 的引力波探测告诉我们

- 宇宙中有很多双黑洞 (BBH)。
- 这些双黑洞可以在哈勃时间内并合。
- 黑洞是有质量分布的。

未解之谜

- 这些黑洞的起源是什么？
- 以及是如何成对的？
- 为什么引力波探测到的黑洞的质量要比 X 射线探测到的黑洞的质量大很多？

一个可能的解释是原初黑洞。

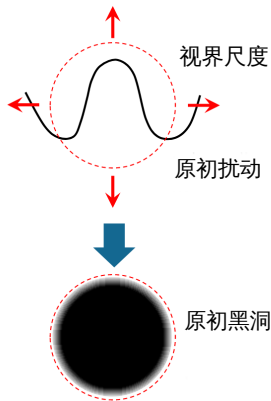


原初黑洞 (Primordial Black Hole, PBH)

- 原初黑洞是在宇宙早期由于原初密度扰动坍塌而形成的黑洞。 *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 152 (1971) 75
- 原初黑洞的质量可以跨越很多个数量级

$$m_{\text{PBH}} \sim \frac{t}{G} \sim 10^{-18} \left(\frac{t}{10^{-23}} \right) M_{\odot} \quad (1)$$

- 未蒸发掉的原初黑洞可以作为暗物质的候选者。
- 原初黑洞可以解释 LIGO-Virgo 探测到的黑洞。





提纲

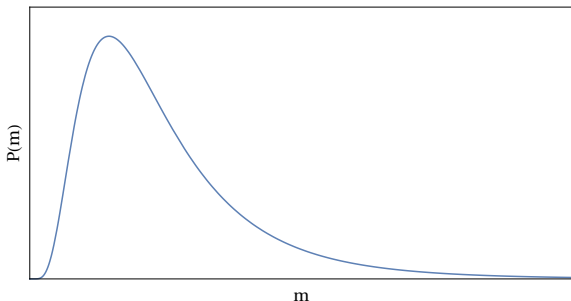
- 1 引言
- 2 原初双黑洞的并合率
- 3 原初双黑洞产生的引力波背景
- 4 总结



研究动机

- 为了解释引力波探测到的双黑洞，需要知道原初双黑洞的并合率分布。
- 引力波探测到的黑洞是有质量分布的。
- 考虑任意的原初黑洞的质量谱 $P(m)$

$$\int P(m)dm = 1.$$





小结

- 计算了原初黑洞具有一般质量谱时，原初双黑洞的并合率分布。
- 证实原初黑洞可以解释 LIGO-Virgo 探测到的双黑洞事件。
- 证实绝大多数的冷暗物质不是由恒星级质量的原初黑洞构成的。



提纲

- 1 引言
- 2 原初双黑洞的并合率
- 3 原初双黑洞产生的引力波背景
- 4 总结



研究动机

- LIGO-Virgo 目前只能探测到红移 $z \lesssim 2$ 的双黑洞并合事件。
- 所有双黑洞并合产生的引力波信号会叠加形成随机引力波背景。
- 除了探测单个原初双黑洞产生的引力波外，还可以探测原初双黑洞产生的随机引力波背景。

小结



- 计算了原初双黑洞产生的随机引力波背景。
- 此引力波背景可以被 LIGO 设计阶段和 LISA 探测到。
- 如果此引力波背景没能从 LISA 的噪音中扣除掉，将会构成 LISA 的额外噪音，从而降低 LISA 的探测能力。



提纲

- 1 引言
- 2 原初双黑洞的并合率
- 3 原初双黑洞产生的引力波背景
- 4 总结



总结

- 计算原初黑洞具有一般质量谱时，原初双黑洞的并合率分布；证实恒星级质量的原初黑洞无法构成绝大部分冷暗物质。
- 计算了原初双黑洞产生的随机引力波背景，并发现此背景可以被 LISA 探测到。如果此背景没能从 LISA 噪音中扣除掉，将会构成 LISA 的额外噪音，从而降低 LISA 的探测能力。
- 探讨如何通过 ET 和 CE 来区分原初黑洞和天体物理黑洞。通过定向搜寻包含至少一个亚太阳质量黑洞的双黑洞系统，估算了 f_{PBH} 的可探测极限。并预测了 ET 和 CE 能够探测到的双黑洞事件数目随红移的分布，从而来区分原初黑洞和天体物理黑洞。
- 在 NANOGrav 11 年的数据中搜寻伴随原初黑洞形成而产生的标量诱导引力波。由于没有发现引力波信号，所以在 $0.002 \sim 0.7 M_{\odot}$ 的质量区间， $f_{\text{PBH}} < 10^{-6}$ 。

展望



- 用 LIGO-Virgo 最新的数据 GWTC-2 来重构原初黑洞质量谱 $P(m)$ 以及拟合原初黑洞模型。
- 考虑原初黑洞和天体物理黑洞同时存在的情况。
- 在 NANOGrav 12.5 年的数据中搜索引力波信号：
 - 标量诱导引力波
 - 其它极化模式的引力波

谢谢！