

Objetivos

Este trabalho têm como objetivo analisar sistemas triplos hierárquicos com foco em obter as características das ondas gravitacionais que emitem.

Ondas Gravitacionais de Sistemas Binários

Consideramos um sistema composto por duas massas, m_1 e m_2 , que podem ser buracos negros ou estrelas de nêutrons, tratadas como massas pontuais. Também assumimos que essas massas seguem uma órbita circular. Assim, podemos simplificar nossa abordagem para um problema de dois corpos com massa reduzida μ .

Assim, podemos escrever as amplitudes das ondas gravitacionais como:

$$h_+(t) = \frac{1}{r} \left(\frac{GM_c}{c^2} \right)^{5/4} \left(\frac{5}{c\tau} \right)^{1/4} \left(\frac{1 + \cos^2 \iota}{2} \right) \cos[\Phi(\tau)],$$

$$h_\times(t) = \frac{1}{r} \left(\frac{GM_c}{c^2} \right)^{5/4} \left(\frac{5}{c\tau} \right)^{1/4} \cos \iota \sin[\Phi(\tau)],$$

Onde:

$$\tau = t_{\text{coal}} - t,$$

Podemos expressar a Potência Radiada Total:

$$P = \frac{32}{5} \frac{c^5}{G} \left(\frac{GM_c \omega_{\text{gw}}}{2c^3} \right)^{10/3}.$$

Podemos relacionar o raio inicial com o tempo de coalescência da binária através de:

$$\tau_0 = \frac{5}{256} \frac{c^5 R_0^4}{G^3 m^2 \mu}.$$

Sistemas Triplo Hierárquicos

Podemos encontrar diversas configurações estáveis em um sistema dinâmico de três corpos. Trataremos o caso conhecido como sistema triplo hierárquico. Como ilustrado na Figura 1, o sistema triplo hierárquico é composto por uma binária interna (*inner*) e uma binária externa (*outer*). A binária interna consiste em objetos cujas massas são m_1 e m_2 , enquanto a binária externa é formada pelo par da binária interna e o terceiro corpo com massa m_3 .

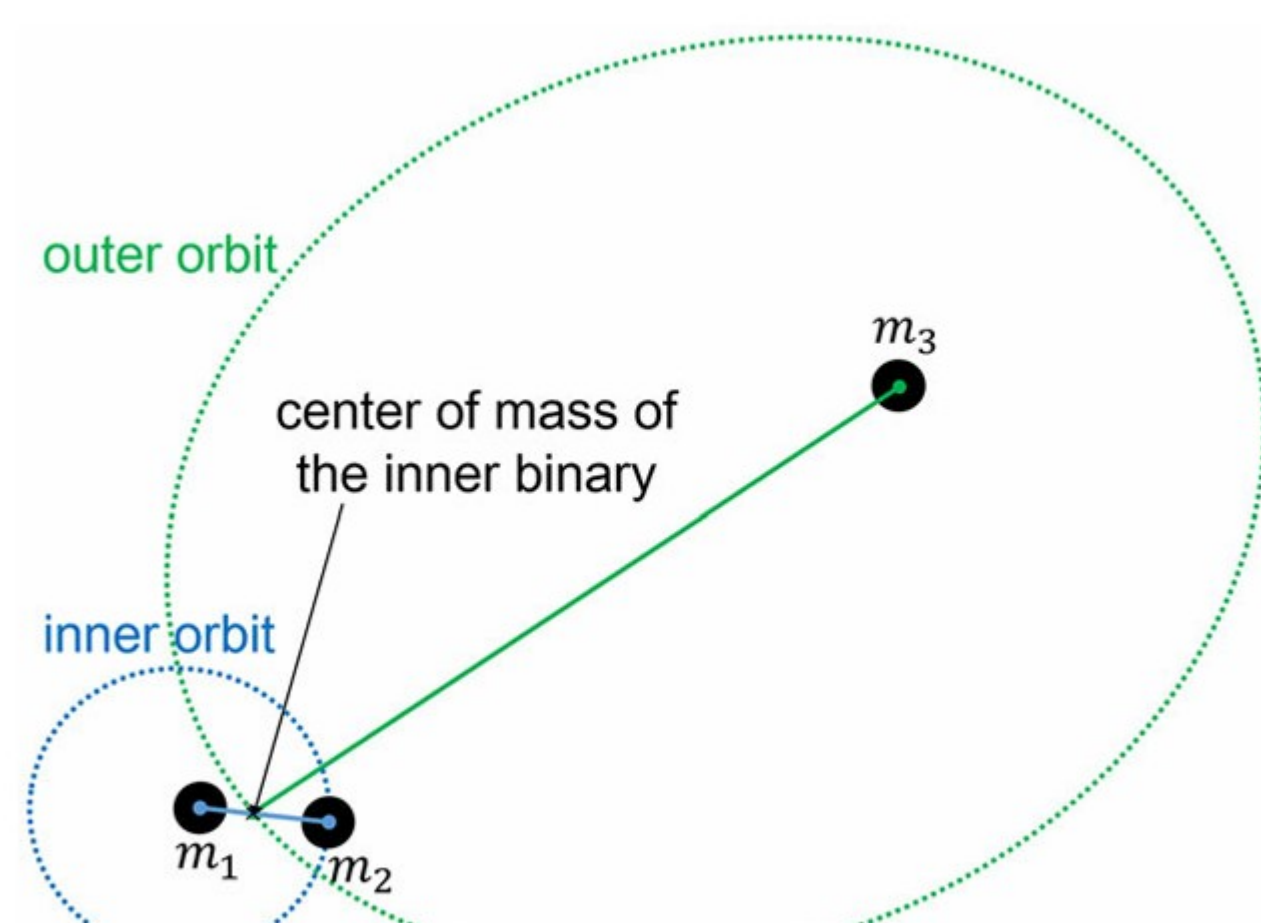


Fig.1: O sistema triplo hierárquico (GUPTA 2020)

Sistemas triplos hierárquicos são comuns em astrofísica. Essa hierarquia baseia-se na suposição de que o efeito gravitacional do terceiro corpo é significativamente menor do que a interação gravitacional entre os dois primeiros corpos.

Para detectar a presença de um companheiro triplo, precisamos observar variações específicas no sinal GW do binário interno. Essas variações podem incluir deslocamento Doppler, redshift gravitacional, atraso de Shapiro e efeitos dinâmicos como a precessão nodal e mudanças na forma orbital. Cada um desses efeitos deixa uma assinatura distinta no sinal GW, permitindo a inferência da presença do companheiro triplo.

Ondas Gravitacionais de sistemas triplos

A Figura 2 mostra a amplitude espectral adimensional do sinal e do resíduo nas linhas azul e vermelha, respectivamente. Especificamente, a curva vermelha mostra a perturbação do sinal devido o efeito de um terceiro companheiro.

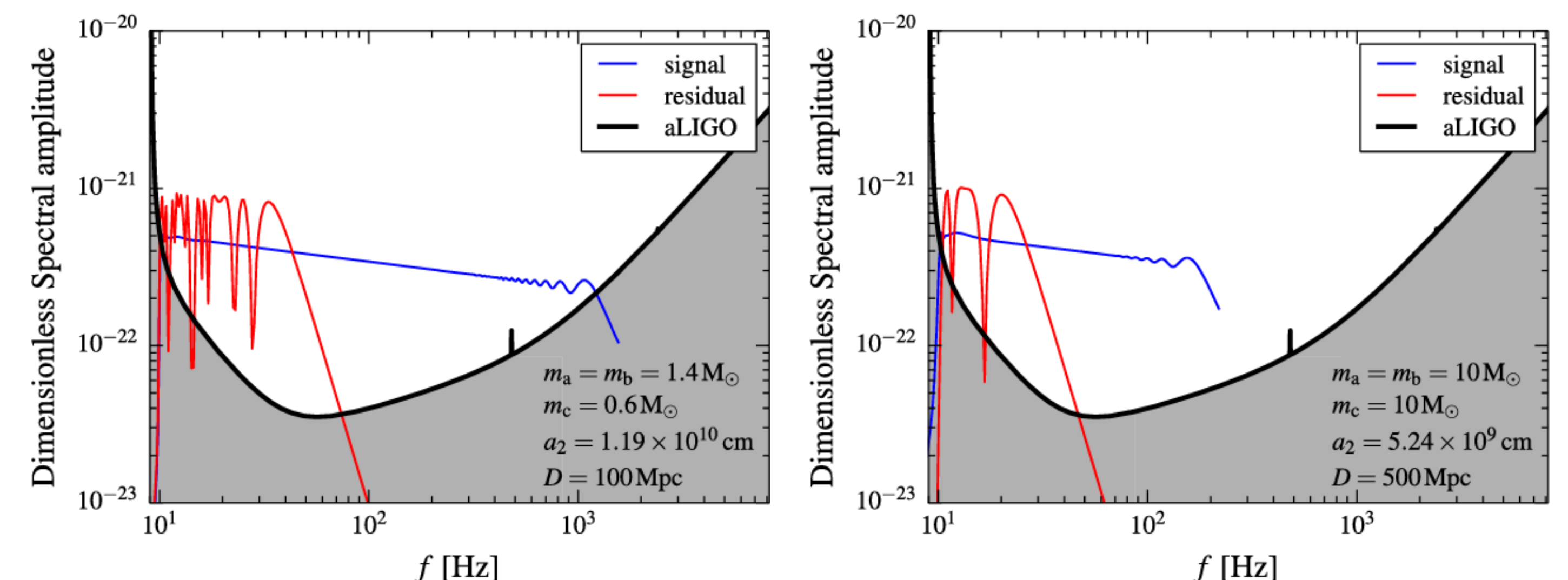


Fig. 2: Amplitude espectral de onda gravitacional adimensional (curva azul) e ruído do AdvancedLIGO (curva negra) mostramos um sistema binário em fusão de (painel esquerdo) duas estrelas de nêutrons de 1,4 Massas Solares com uma companheira anã branca de 0,6 Massas Solares em uma órbita circular com uma separação de $1,185 \times 10^{10}$ cm, localizada a uma distância de 100Mpc da Terra; (painel direito) dois buracos negros de 10 Massas Solares com outro companheiro buraco negro de 10 Massas Solares em uma órbita circular com uma separação de $5,244 \times 10^9$ cm localizada a uma distância de 500Mpc da Terra. As curvas vermelhas mostram a densidade espectral do resíduo entre o sinal e um sinal de referência de um binário em fusão sem companheiro triplo. O sinal avança no tempo da esquerda para a direita; a linha termina quando a binária (interna) atinge a órbita circular mais interna estável ISCO. As fases de coalescência e de ringdown não são mostradas. (Meiron 2017)

Os resultados da literatura indicam que a detecção de companheiros triplos é mais provável em binários de objetos compactos de baixa massa, que permanecem mais tempo na faixa de frequência do LIGO. As assinaturas observadas no sinal GW podem revelar informações cruciais sobre a presença e as características do companheiro triplo.

Referências

GUPTA, P. et al. Gravitational waves from hierarchical triple systems with kozai-lidov oscillation. **Physical Review D**, v. 101, n. 10, may 2020. ISSN 2470-0029. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.101.104053>.

MAGGIORE, M. **Gravitational Waves**. Oxford, Oxfordshire - Reino Unido: Oxford University Press, 2008.

MEIRON, Y.; KOCSIS, B.; LOEB, A. Detecting triple systems with gravitational wave observations. **The Astrophysical Journal**, v. 834, n. 2, p. 200, jan 2017. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.3847/1538-4357/834/2/200>.

Acknowledgment



O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001