



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

MECANISMOS DE GERAÇÃO DE ONDAS GRAVITACIONAIS EM ANÃS BRANCAS DE ALTA ROTAÇÃO

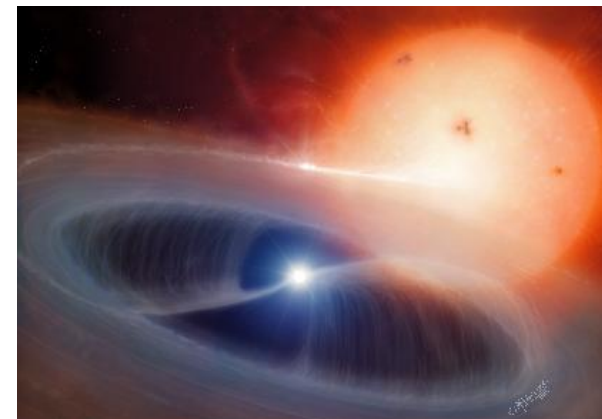
Manoel Felipe Sousa
manoel.sousa@inpe.br

Orientadores:
Dr. José Carlos Neves de Araújo e Dr. Jaziel Gourlart Coelho

São José dos Campos, SP, 09 de abril de 2019

Fonte Astrofísica de Interesse: Anãs Brancas de alta rotação

- Anãs brancas (ABs) incomuns que emitem pulsos de energia com período de rotação de poucos segundos a minutos;
- Geralmente encontradas em sistemas binários;
- Apresentam um forte campo magnético (10^6G a 10^9G para a superfície da estrela)
- Sistemas a serem estudados:
 - **AR Scorpii**: AB com período de giro de 118,2 s e $B_s \approx 10^8\text{G}$;
 - **AE Aquarii**: AB com período de giro de 33,08 s e $B_s \approx 10^7\text{G}$;
 - **RX J0648.0 – 4418**: AB com período de giro de 13,18 s e $B_s \approx 10^8\text{G}$;
- **Soft Gamma Repeaters (SGRs) e Anomalous X-ray Pulsars (AXPs)** descritos como ABs rápidas e magnéticas



Objetivo da Pesquisa

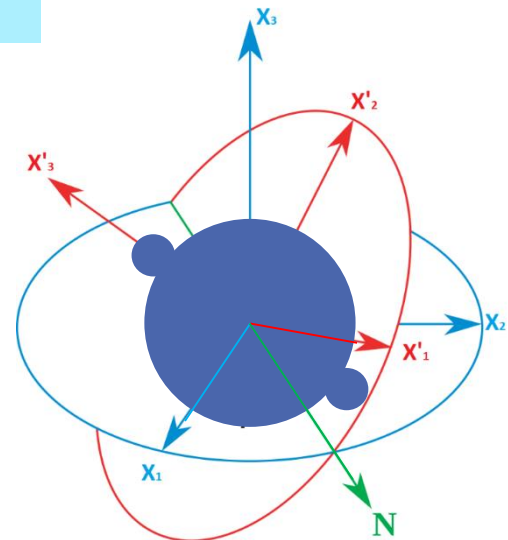
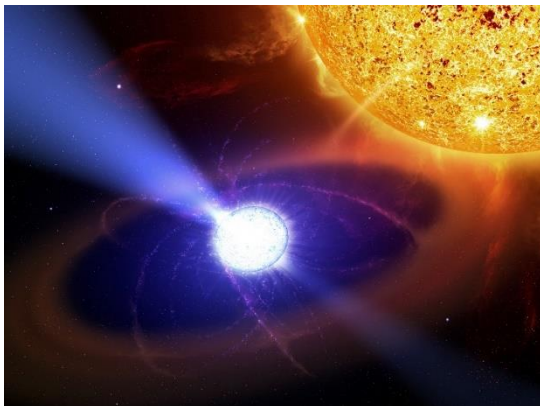
- Estudar os mecanismos de geração de radiação gravitacional para essas anãs brancas através de 2 processos:
 - **acrecção de matéria:** amontoado de massa na superfície da estrela que foi acumulada nos polos magnéticos que, por sua vez, estão desalinhados com o eixo de rotação da estrela;
 - **Deformação da estrutura:**
 - distorção da estrutura da estrela em razão do forte campo magnético quando este se apresenta desalinhado com o eixo de rotação da AB;
 - Deformação na estrutura da estrela quando os Soft Gamma Repeaters (SGRs) e Anomalous X-ray Pulsars (AXPs) são descritos como ABs rápidas e magnéticas.

Ondas Gravitacionais devido ao Acréscimo de matéria

- Reduzimos o sistema à uma esfera grande com duas esferas menores de matéria no eixo x'_3 .

$$L_{GW_{ac}} = -\frac{8}{5} \frac{G}{c^5} \delta m^2 R^4 \omega^6 \sin^2 \theta (16 \sin^2 \theta + \cos^2 \theta).$$

$$h_{0_{ac}} = \frac{2G}{c^4} \frac{\delta m R^2 \omega^2}{r}.$$



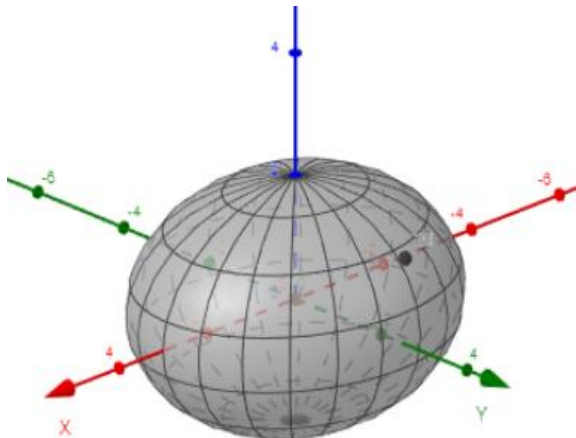
Ondas Gravitacionais em razão da deformação magnética

- Radiação gravitacional para o caso em que a AB é triaxial e possui um momento de inércia para um elipsóide.

$$\epsilon = \frac{35 B^2 R^4}{24 GM^2} \quad \begin{array}{l} \text{(Chandrasekhar e Fermi, 1953)} \\ \text{(COELHO et al., 2014)} \end{array}$$

$$h_{0_{def}} = \frac{28\pi^2 B_s^2 R^6 f_{rot}^2}{3c^4 rM}$$

$$L_{GW_{def}} = -\frac{98 B_s^4 R^{12} \omega_{rot}^6}{45 c^5 GM^2}$$

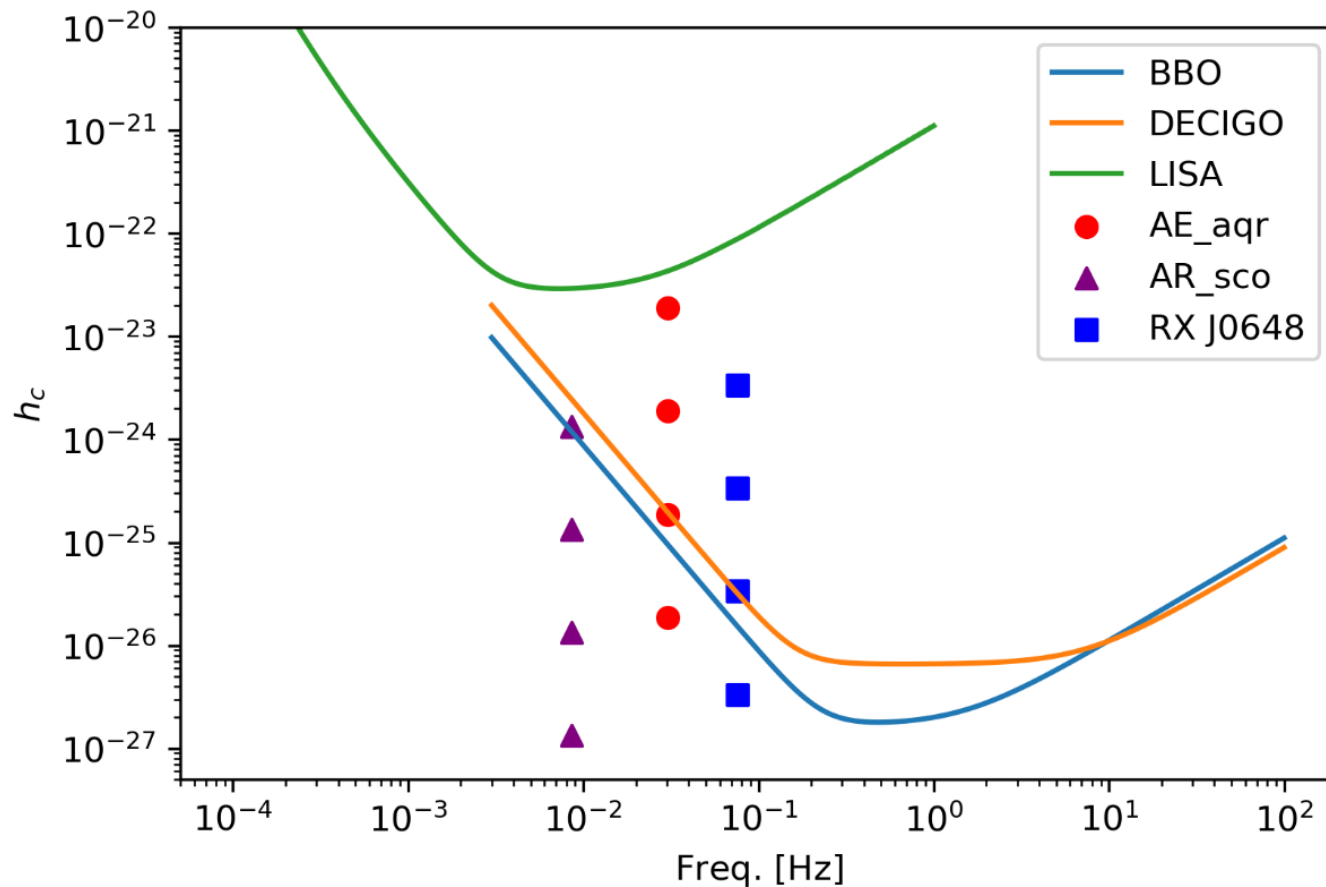


- Ou se inferirmos uma eficiência η_{df} , tal que $L_{GW} = \eta_{df} L_{sd}$ para a luminosidade gravitacional, escrevemos:

$$h_0^{sd} = \left(\eta_{df} \frac{5 G I_3 \dot{f}_{rot}}{2 c^3 r^2 f_{rot}} \right)^{1/2}$$

Resultados do Mecanismo: Acreção de Matéria

AE Aqr, AR Sco e RX J0648 localizadas na curvas de sensibilidade dos detectores espaciais LISA, BBO e DECIGO para valores diferentes de massa acretada: (10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6}) M_{\odot} apresentadas de cima para baixo. Adotamos razão sinal-ruído SNR = 8 e tempo de integração de $T = 1/3$ ano.



Resultados do Mecanismo: Acreção de Matéria

Massa necessária para explicar *spindown* da AB em razão da emissão de OGs

SISTEMAS	L_{sd} (10^{33} erg/s)	δm_{sd} ($10^{-2} M_{\odot}$)
AE Aqr	19,28	0,98
AR Sco	3,11	17,1
RX J0648	9,53	0,24

Eficiência do mecanismo para 4 valores de massa acretada

AE AQUARI	
δm (M_{\odot})	η_{acr} ($L_{GW_{acr}}/L_{sd}$)
10^{-3}	$1,02 \times 10^{-2}$
10^{-4}	$1,02 \times 10^{-4}$
10^{-5}	$1,02 \times 10^{-6}$
10^{-6}	$1,02 \times 10^{-8}$

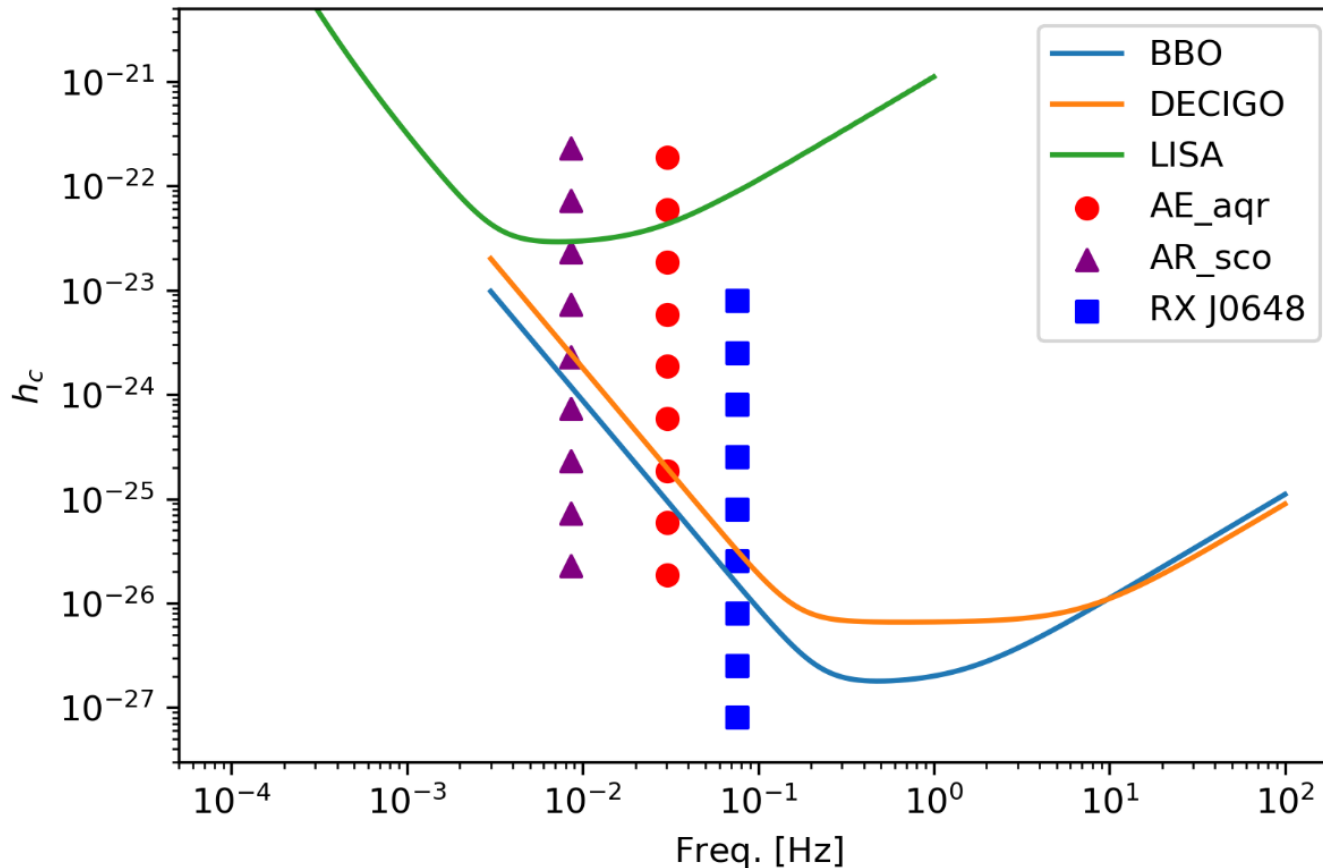
AR SCORPI	
δm (M_{\odot})	η_{acr} ($L_{GW_{acr}}/L_{sd}$)
10^{-3}	$3,41 \times 10^{-5}$
10^{-4}	$3,41 \times 10^{-7}$
10^{-5}	$3,41 \times 10^{-9}$
10^{-6}	$3,41 \times 10^{-11}$

RX J0648	
δm (M_{\odot})	η_{acr} ($L_{GW_{acr}}/L_{sd}$)
10^{-3}	0.175
10^{-4}	$1,75 \times 10^{-3}$
10^{-5}	$1,75 \times 10^{-5}$
10^{-6}	$1,75 \times 10^{-7}$

A contribuição da luminosidade gravitacional para a luminosidade de *spindown* é irrelevante considerando esse mecanismo.

Resultados do Mecanismo: Deformação magnética

AE Aqr, AR Sco e RX J0648 com valores diferentes de eficiência: 1, 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} e 10^{-8} apresentadas de cima para baixo. Adotamos razão sinal-ruído SNR = 8 e tempo de integração de $T = 1/3$ ano.



$$h_0^{sd} = \left(\eta_{df} \frac{5 G I_3 \dot{f}_{rot}}{2 c^3 r^2 f_{rot}} \right)^{1/2}$$

Resultados do Mecanismo: Deformação magnética

Intensidade do campo magnético necessária para que as fontes sejam medidas pelo detector BBO

Eficiência mínima detectada pelo BBO			
SISTEMAS	η_{df}	h_0	B (G)
AE Aqr	10^{-6}	$1,9 \times 10^{-25}$	$2,8 \times 10^9$
AR Sco	10^{-4}	$2,3 \times 10^{-24}$	$3,6 \times 10^{10}$
RX J0648	10^{-5}	$2,5 \times 10^{-26}$	$1,6 \times 10^{10}$

Essas ABs são inferidas para terem campos magnéticos com intensidade 2 ordens de magnitudes menores

Considerando o limite superior de campo magnético de cada sistema.

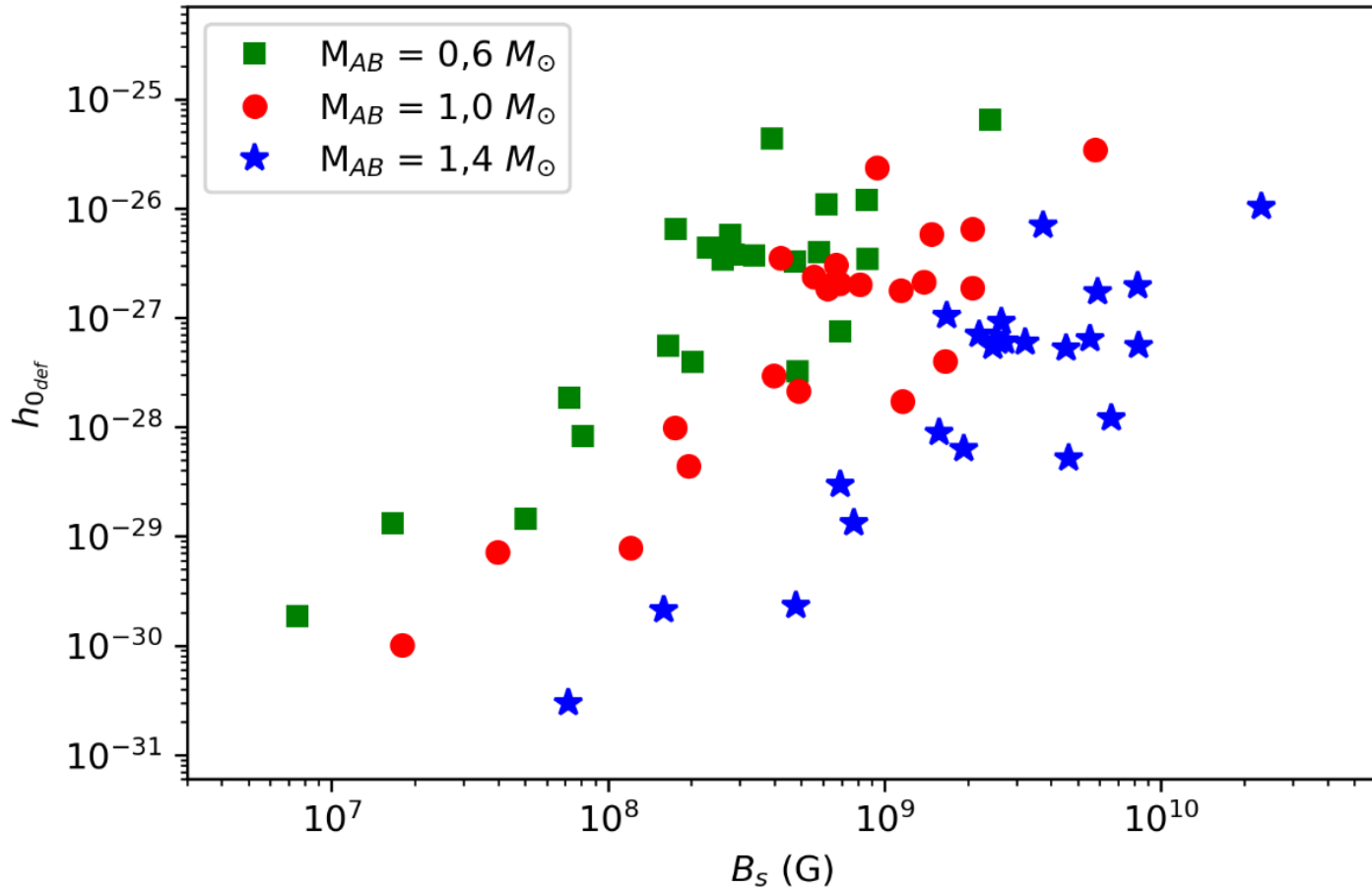
SISTEMAS	B_{sup} (G)	ϵ	h_0	$L_{GW_{def}}$ (erg/s)	η_{df}
AE Aqr	$5,0 \times 10^7$	$5,1 \times 10^{-9}$	$6,2 \times 10^{-29}$	$2,13 \times 10^{21}$	$1,1 \times 10^{-13}$
AR Sco	$5,0 \times 10^8$	$5,3 \times 10^{-7}$	$4,6 \times 10^{-28}$	$1,25 \times 10^{22}$	$4,02 \times 10^{-12}$
RX J0648	$1,0 \times 10^8$	$2,8 \times 10^{-10}$	$9,5 \times 10^{-31}$	$1,33 \times 10^{20}$	$1,4 \times 10^{-14}$

Os instrumentos espaciais considerados não serão capazes de detectar estas fontes quando considerado o limite superior de campo magnético

Resultados do Mecanismo: Deformação magnética

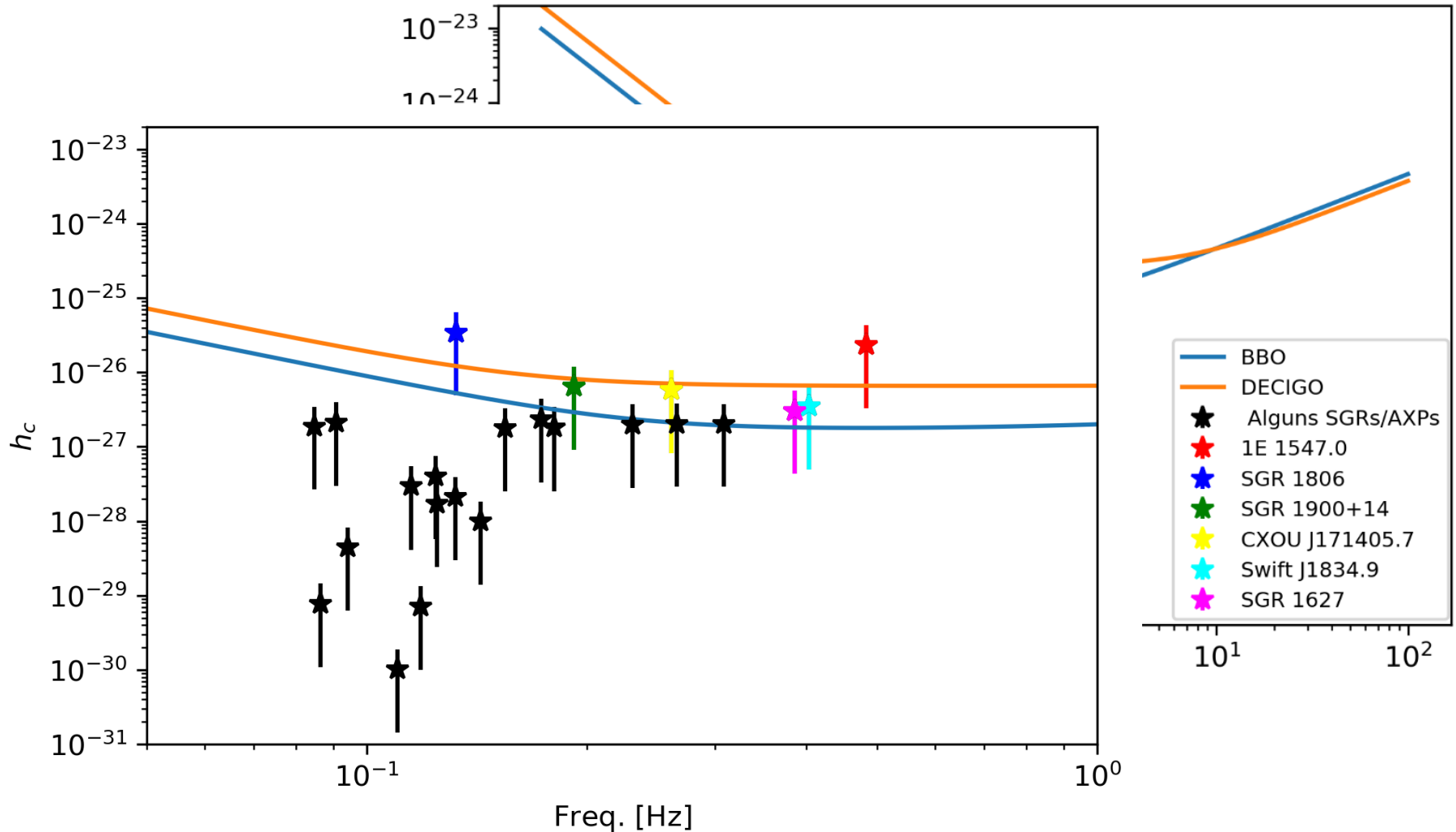
SGRs/AXPs descritos como ABs rápidas e magnéticas.

$$h_{0_{def}} = \frac{28\pi^2}{3c^4} \frac{B_s^2 R^6 f_{rot}^2}{rM}$$



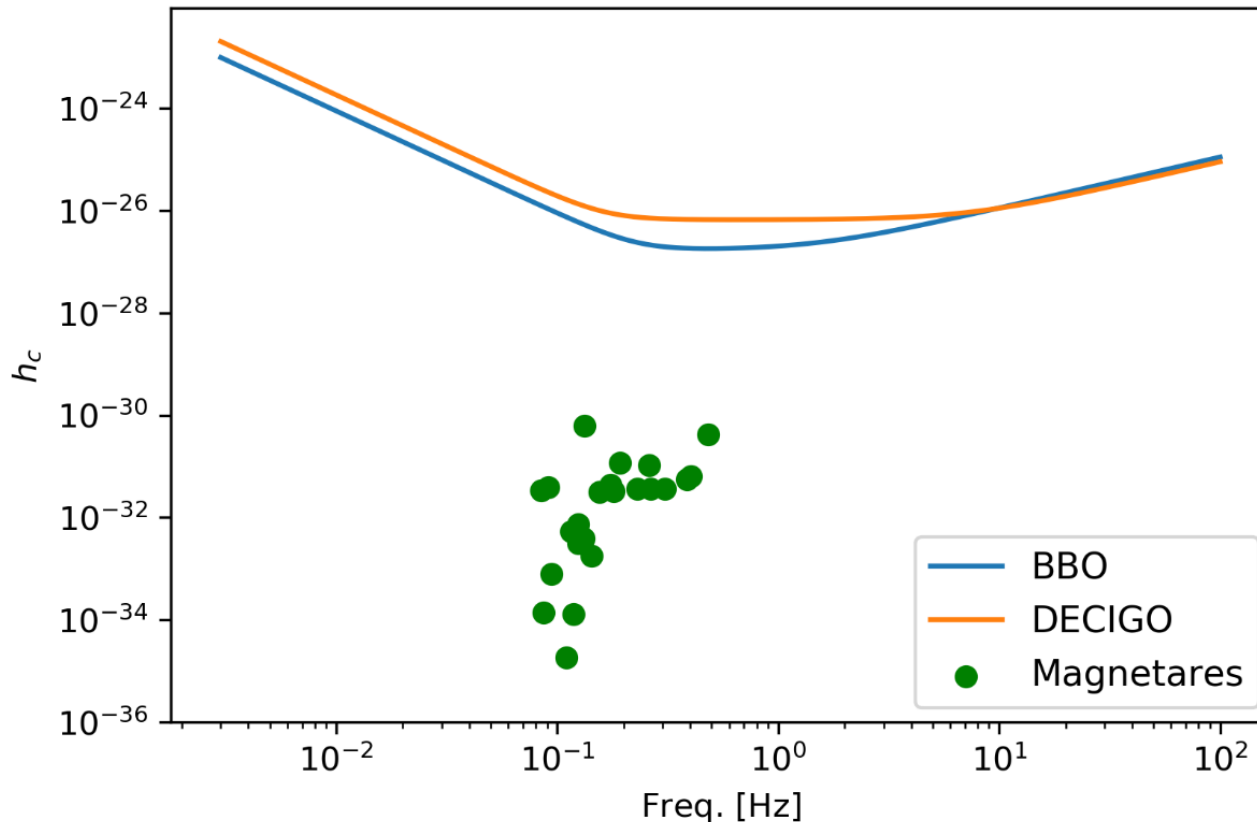
Resultados do Mecanismo: Deformação magnética

SGRs/AXPs descritos como ABs rápidas e magnéticas.



Resultados do Mecanismo: Deformação magnética

SGRs/AXPs descritos pelo modelo de magnetar.



Se os instrumentos espaciais observarem OGs contínuas vindas dos SGRs/AXPs, teremos um indício que corrobora com o modelo de ABs rápidas e magnéticas.

Próximos Passos

Doutorado

- Estudar a radiação gravitacional dos SGRs e AXPs dentro do modelo de magnetar e ABs rápidas e magnéticas:
 - analisando as equações de estado das anãs brancas e Estrelas de nêutrons para encontrar parâmetros de distorção mais adequado para esses objetos;
 - devido ao chacoalhamento (starquakes) que essa classe de pulsar apresenta quando ocorrem os glitches e os bursts de raio-X e raios gama, estudando os modos normais de vibração da estrela para inferir a amplitude da OG em cada modelo.



Obrigado!

REFERÊNCIAS

- B.S. Sathyaprakash; B. F. Schutz. **Physics, Astrophysics and Cosmology with Gravitational Waves**. Living Rev. Relativity, 12, 2009.
- B F Schutz. **Gravitational-wave sources**. Class. Quantum Grav. 13, 1996.
- C. S. CHOI; I. YI. **On the rapid spin-down and low-luminosity pulsed emission from ae aquarii**. The astrophysical journal, 538 : 862-869, 2000.
- FRANZON, B.; SCHRAMM, S. **AR Scorpii and possible gravitational wave radiation from pulsar white dwarfs**. , v. 467, p. 4484–4490, jun. 2017.
- COELHO, J.; MARINHO, R.; MALHEIRO, M.; NEGREIROS, R.; CÁCERES, D.; RUEDA, J.; RUFFINI, R. **Dynamical instability of white dwarfs and breaking of spherical symmetry under the presence of extreme magnetic fields**. The Astrophysical Journal, IOP Publishing, v. 794, n. 1, p. 86, 2014.
- KEPLER, S. O., et al. **Magnetic white dwarf stars in the sloan digital sky survey**. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Oxford University Press, v. 429, n. 4, p. 2934–2944, mar. 2013.
- CHANDRASEKHAR, S.; FERMI, E. **Problems of gravtational stability in the presence of magnetic field**. 1953.
- <http://rhcole.com/apps/GWplotter/>
- <https://lisa.nasa.gov/>
- <https://www.ligo.caltech.edu/>