Perturbações Primordiais em Teorias Alternativas de Gravitação

Aluna de Doutorado: Mariana C. Costa

Orientador: Dr. José Carlos N. de Araujo

VIII Workshop da Pós-graduação em Astrofísica – DAS – INPE 2015

PERTURBAÇÕES COSMOLÓGICAS

- Perturbações primordiais no fluido cósmico que evoluíram e deram origem à forma atual do Universo que observamos.

- **Perturbações Escalares** – perturbações de escalares do fluido cósmico – ex.: perturbações de densidade de energia, observadas na RCFM.

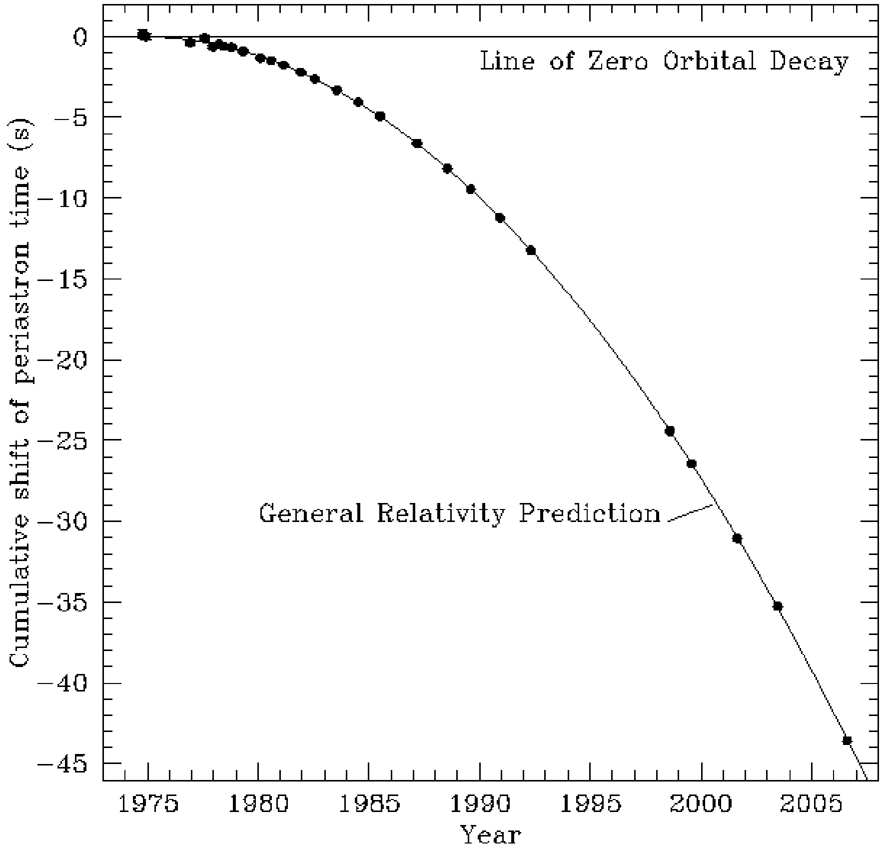
- **Perturbações Vetoriais** – relativas a movimentos rotacionais do fluido – decaem rapidamente com a expansão do Universo.

- **Perturbações Tensoriais** – descrevem as perturbações no espaço-tempo devido às **ondas gravitacionais** – podem dar informações preciosas sobre épocas remotas do Universo.

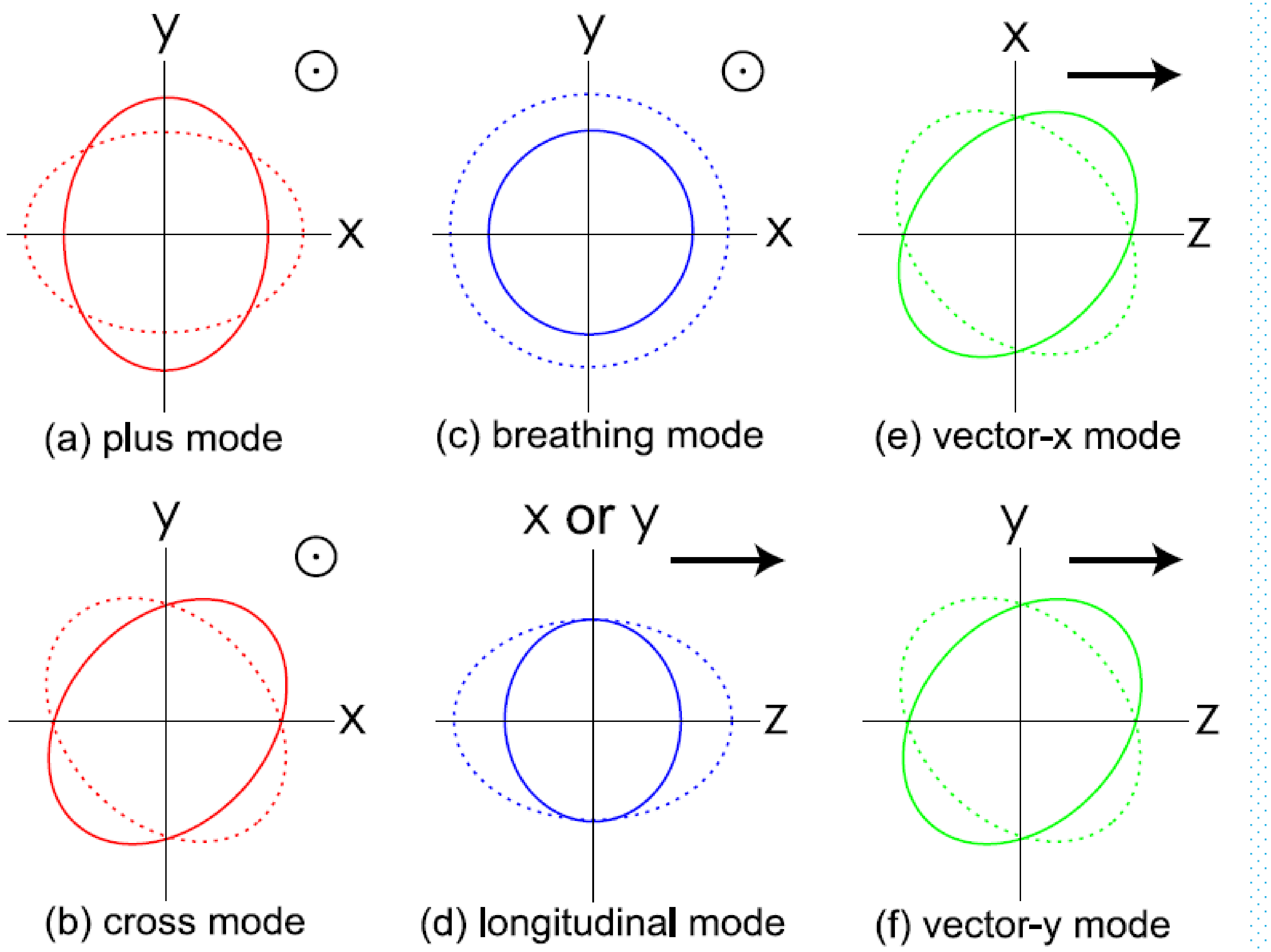
AS ONDAS GRAVITACIONAIS

- Preditas pela Teoria da Relatividade Geral (RG), mas ainda **não observadas diretamente** – evidência indireta: pulsar de Hulse-Taylor.

- **Modos de polarização possíveis**: + e x, preditos pela RG, e quatro adicionais – dependentes da teoria de gravitação considerada.



POLARIZAÇÃO DAS ONDAS GRAVITACIONAIS



DECOMPOSIÇÃO DAS PERTURBAÇÕES

- Considerando-se **pequenas perturbações,** a métrica de um universo plano de Friedmann pode ser escrita da seguinte forma:

$$ds^2 = \left[{}^{(0)}g_{\alpha\beta} + \delta g_{\alpha\beta}(x^\gamma)\right] dx^\alpha dx^\beta \ ,$$

- sendo ${}^{(0)}g_{\alpha\beta}$ a métrica de fundo dada em termos do tempo conforme:

$${}^{(0)}g_{\alpha\beta} dx^\alpha dx^\beta = a^2(\eta)\left(d\eta^2 - \delta_{ij} dx^i dx^j\right) \ .$$

As perturbações podem ser representadas através de **funções escalares, vetoriais** e **tensoriais:**

$$\delta g_{00} = 2a^2\phi \ ,$$

$$\delta g_{0i} = a^2\left(B_{,i} + S_i\right) \ ,$$

$$\delta g_{ij} = a^2\left(2\psi\delta_{ij} + 2E_{,ij} + F_{i,j} + F_{j,i} + h_{ij}\right) \ .$$

DECOMPOSIÇÃO DAS PERTURBAÇÕES

- A função tensorial h_{ij} representa as **ondas gravitacionais** e é composta por seis modos de polarização independentes:

- Dois com helicidade S=0 ("**escalares**"),

- Dois com helicidades iguais a S=1 e S=-1 ("**vetoriais**") e

- Dois com helicidades S=2 e S=-2 ("**tensoriais**").

- É possível, então, representar as componentes da perturbação da métrica, em termos de funções escalares, vetoriais e tensoriais, de modo que $\delta g_{\mu\nu}=\delta g^{e}_{\mu\nu}+\delta g^{v}_{\mu\nu}+\delta g^{t}_{\mu\nu}$:

$$\delta g^{e}_{\alpha\beta} = \begin{pmatrix} 2\varphi & \partial_i B \\ \partial_i B & h^{e}_{ij} \end{pmatrix}, \quad \delta g^{v}_{\alpha\beta} = \begin{pmatrix} 0 & S_i \\ S_i & h^{v}_{ij} \end{pmatrix}, \quad \delta g^{t}_{\alpha\beta} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & h^{t}_{ij} \end{pmatrix}.$$

AS EQUAÇÕES DE EINSTEIN

- É possível escrever as **equações de Einstein** em termos da **perturbação da métrica**, para cada componente (escalar, vetorial e tensorial).

- Para incluir os modos extra de polarização, pode-se reescrever as equações de Einstein como (Alves, 2009):

$G_{\mu\nu} = F_{\mu\nu} + 8\pi G T_{\mu\nu}$; perturbando as equações, temos:

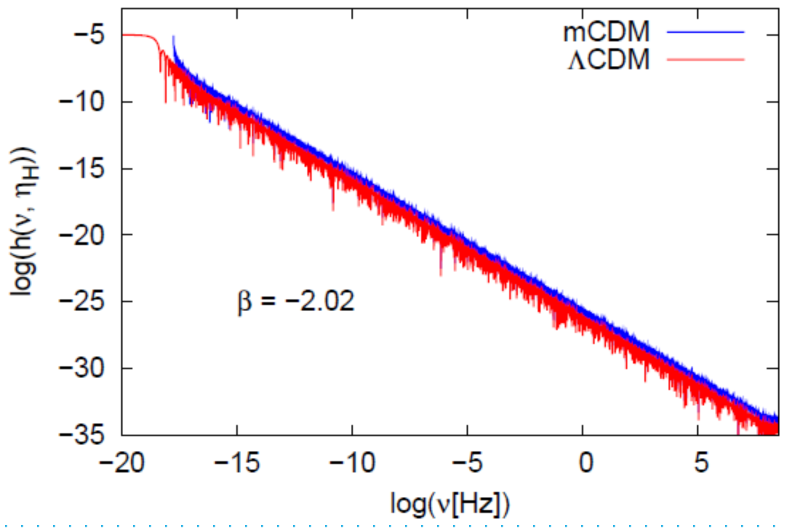
$$\delta G_{\mu\nu} = \delta F_{\mu\nu} + 8\pi \delta G T_{\mu\nu} + 8\pi G \delta T_{\mu\nu} \ .$$

ESPECTROS DE ONDAS GRAVITACIONAIS

- Dada uma teoria de gravitação, podemos escrever um **conjunto de equações** de Einstein para **cada classe** de perturbação da métrica.

- Resolvendo tais equações, obtemos informação acerca de **cada tipo de polarização.**

- Uma possibilidade interessante é a construção de **espectros de OGs** para uma teoria de gravitação que considere **modos extra de polarização,** como foi feito no trabalho de (Alves, 2009), que levou em conta o modo "tensorial" de OGs.:



EQUAÇÕES PARA MODOS ADICIONAIS

- Considerar todos os modos de polarização é uma tarefa desafiadora, pois ainda não há trabalhos na literatura que tenham mostrado a solução das equações para os modos vetoriais ou escalares de teorias alternativas.

- Tais equações exigem métodos de solução diferentes dos empregados para o modo tensorial, por terem os **modos de OGs acoplados às perturbações do fluido cósmico,** como podemos inferir das componentes da perturbação da métrica:

$$\delta g^{e}_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} 2\varphi & \partial_i B \\ \partial_i B & h^{e}_{ij} \end{pmatrix}, \; \delta g^{v}_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} 0 & S_i \\ S_i & h^{v}_{ij} \end{pmatrix}, \; \delta g^{t}_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & h^{t}_{ij} \end{pmatrix}.$$

LINHAS GERAIS

1°

- Escolha da Teoria de Gravitação.
- Aplicação do Método de Decomposição das Perturbações.

2°

- Escrita das Equações perturbadas para cada classe de perturbação.
- Solução das equações para cada classe de polarização de OGs.

3°

- Construção do espectro de OGs.
- Comparação do espectro obtido com curvas de sensibilidades de detectores de OGs.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, M. E. S. Fundos estocásticos de ondas gravitacionais primordiais: Tese (doutorado em Astrofísica). São José dos Campos: Divisão de Astrofísica. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009.

- MUKHANOV, V. F. Physical foundations of Cosmology. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

OBRIGADA!