



# Testes para Teorias Alternativas de Gravitação

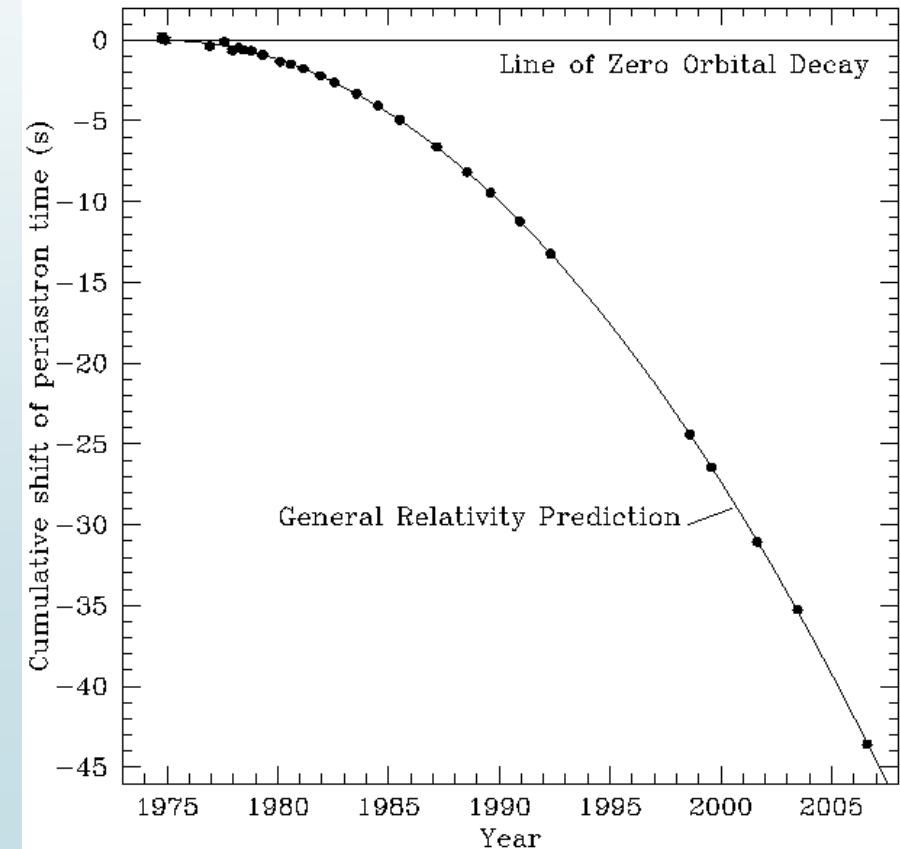
Aluna de Doutorado: Mariana C. Costa

Orientador: Dr. José Carlos N. de Araujo

VII Workshop da Pós-graduação em Astrofísica – DAS – INPE 2014

# Introdução

- Relatividade Geral (RG) – amplamente testada para regimes de campo fraco:
- No Sistema Solar:
  - Avanço do periélio de Mercúrio;
  - Deflexão da luz pelo Sol.
- Fora do Sistema Solar:
  - Tempo de decaimento da órbita de pulsares binários;
  - Tempo de chegada do sinal de pulsares binários à Terra.

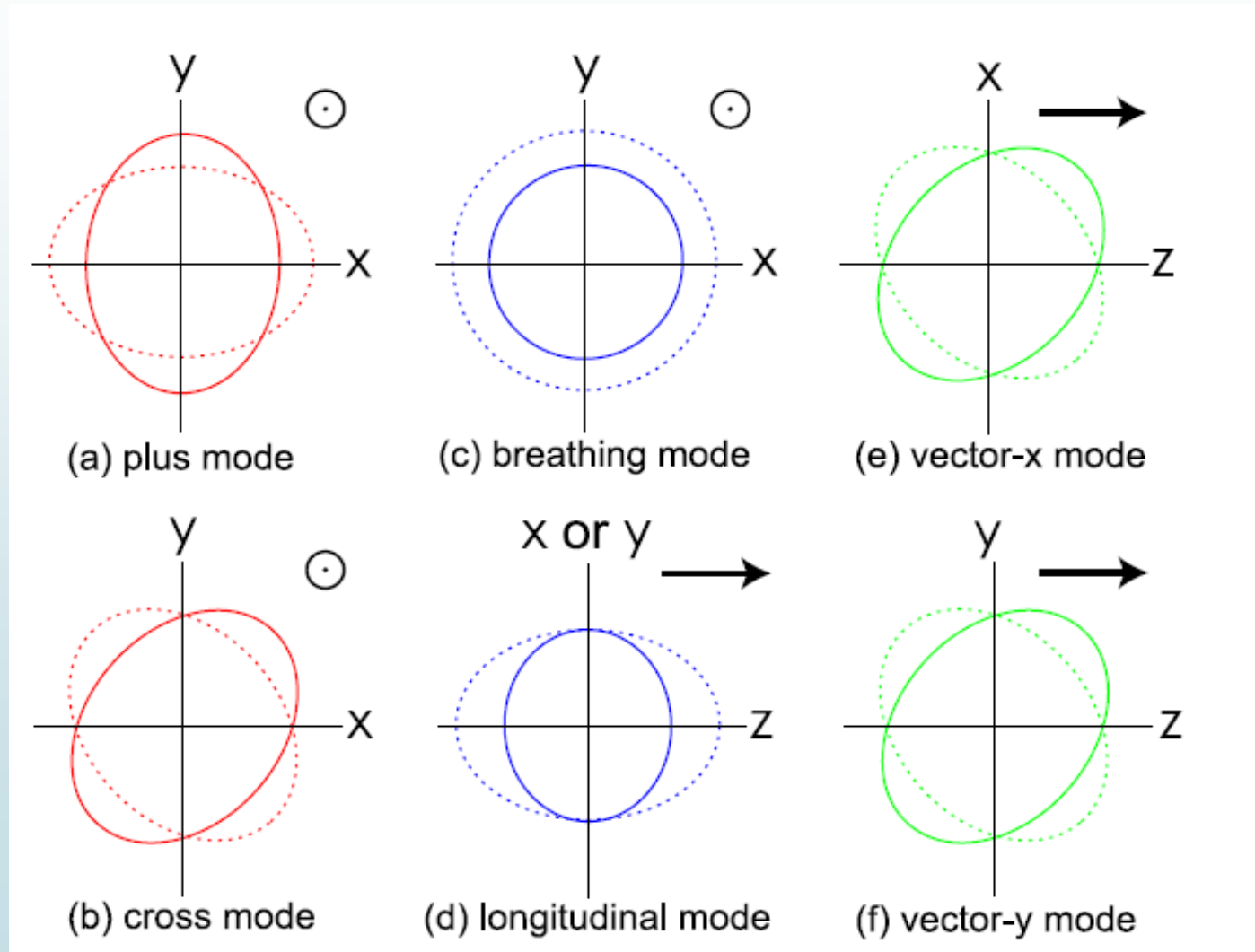




# Introdução

- ▶ Testes da RG para regimes de campo forte:
- ▶ Detecção de Ondas Gravitacionais (OGs):
  - ▶ Sistemas binários de objetos compactos espiralantes.
- ▶ Espaço para teste de teorias alternativas à RG.
  - ▶ Diferentes teorias preveem diferentes modos independentes de polarização das OGs (seis modos independentes no total).
  - ▶ Se detectados modos adicionais ao  $\times$  e  $+$  (únicos previstos pela RG), podem ser válidas algumas teorias alternativas.

# Polarizações das OGs





# Testes para Teorias Alternativas

- ▶ Cada teoria alternativa envolve uma série de parâmetros a serem obtidos experimentalmente.
- ▶ Muitas teorias → Muitos parâmetros!
- ▶ É necessário o desenvolvimento de métodos para testar diversas teorias simultaneamente.
  
- ▶ Desenvolvimento de formalismos que utilizam modelos gerais parametrizados:
  - ▶ Formalismo pós-Newtoniano parametrizado (ppN);
  - ▶ Formalismo pós-Kepleriano parametrizado (ppK);
  - ▶ Formalismo pós-Einsteiniano parametrizado (ppE).

# Formalismo ppN

- Construído a partir de uma perturbação linear sobre o espaço de Minkowski – expansão de primeira ordem sobre o potencial gravitacional newtoniano.
- Desenvolvido para restringir parâmetros através de observações no nosso sistema solar.
- A métrica generalizada fica dada por:

$$g_{jk} = (1 + 2\gamma_{ppN}U)\delta_{jk},$$

com  $\gamma_{ppN}$  sendo os 10 parâmetros ppN.

# Formalismo ppN

Parameter	Value in GR	Value in semi-cons. theories	What does it measure?
$\gamma_{\text{ppN}}$	1	$\gamma_{\text{ppN}}$	How much space-time curvature is produced by a unit rest mass?
$\beta_{\text{ppN}}$	1	$\beta_{\text{ppN}}$	How much “nonlinearity” is there in the superposition law for gravity
$\xi$	0	$\xi$	Are there preferred location effects?
$\alpha_1^{\text{ppN}}, \alpha_2^{\text{ppN}}, \alpha_3^{\text{ppN}}$	0	$\alpha_1^{\text{ppN}}, \alpha_2^{\text{ppN}}, 0$	Are there preferred frame effects?
$\zeta_1^{\text{ppN}}, \zeta_2^{\text{ppN}}, \zeta_3^{\text{ppN}}, \zeta_4^{\text{ppN}}$	0	0	Violation of mom. conservation?

# Formalismo ppK

- Construído com base nas leis de Kepler para o movimento planetário e na expansão das equações de Einstein até a primeira ordem;
- Fornece uma expressão genérica para o tempo de chegada do sinal de pulsares binários à Terra:

$$t_b - T_0 = F[\tau; \{p^K\}; \{p^{ppK}\}; \{q^{ppK}\}].$$

- Na expressão acima:
  - $t_b$  é o tempo de chegada do sinal do pulsar ao baricentro do Sistema Solar;
  - $T_0$  é o época de passagem do periastro;
  - $\tau$  é o tempo próprio do pulsar;
  - $\{p^K\}$ ,  $\{p^{ppK}\}$  e  $\{q^{ppK}\}$  são, respectivamente, os parâmetros keplerianos, pós-keplerianos separadamente mensuráveis e pós-keplerianos não separadamente mensuráveis.



# Formalismo ppK

$$\{p^K\} = \{P_b, T_0, e_0, \omega_0, x_0\}$$

$$\{p^{\text{ppK}}\} = \{k, \gamma, \dot{P}_b, r, s, \delta_\theta, \dot{e}, \dot{x}\}_{\text{ppK}}$$

$$\{q^{\text{ppK}}\} = \{\delta_r, A, B, D\}_{\text{ppK}}$$

Parameter	Effect	Measured value
$\dot{P}_b^{\text{ppK}}$	orbital decay	$-1.252(17) \times 10^{-12}$
$r_{\text{ppK}}$	range of Shapiro delay	$6.21(33)(\mu s)$
$s_{\text{ppK}}$	shape of Shapiro delay	$0.99974(+16, -39)$
$\dot{\omega}_{\text{ppK}}$	periastron precession	$016.89947(68)(^\circ/\text{yr})$
$\gamma_{\text{ppK}}$	gravitational red-shift	$0.3856(26) (\text{ms})$

# Formalismo ppE

- Construído através de alterações nos termos de energia das equações da RG;
- Permite a construção de conjuntos de modelos para diferentes formas possíveis de OGs emitidas por sistemas binários de objetos compactos espiralantes.
- O modelo mais simples tem a forma:

$$\tilde{h}(f) = \tilde{h}^{GR} \cdot (1 + a_{ppE} u^a) e^{i\beta_{ppE} u^b}, \quad u = (\pi M f)^{1/3},$$

sendo  $f$  a frequência,  $\tilde{h}^{GR}$  a forma da OG na RG e  $M = (m_1 m_2)^{3/5} / (m_1 + m_2)^{1/5}$ .

$a_{ppE}$ ,  $a$ ,  $\beta_{ppE}$  e  $b$  são os parâmetros ppE.

# Formalismo ppE

Theory	$a$	$\alpha_{\text{ppE}}$	$b$	$\beta_{\text{ppE}}$
Variable $G(t)$	$-8$	$\alpha'_{\text{ppE}}$	$-13$	$\beta'_{\text{ppE}}$
Brans-Dicke	$-2$	$\alpha'_{\text{ppE}}$	$-7$	$\beta'_{\text{ppE}}$
Dynamical Chern-Simons	$a$	$0$	$-1$	$\beta'_{\text{ppE}}$



# Conclusão



- ▶ Como proposta de trabalho, pretendemos utilizar os formalismos ppN, ppK e ppE para analisar teorias de gravitação alternativas à RG.
- ▶ A utilização do formalismo ppE é de interesse especial para o grupo de Ondas Gravitacionais, devido a sua relação direta com a detecção das polarizações de OGs.

---

## Fontes:

- ▶ L. Sampson, N. Yunes and N. Cornish, arXiv:1307.8144v1, (2013).
- ▶ K. Chatziioannou, N. Yunes and N. Cornish, Phys. Rev. D 86, 022004 (2012).
- ▶ A. Nishizawa et al, Phys. Ver. D 79, 082002 (2009).



Obrigada!