

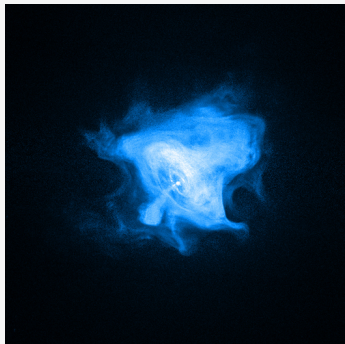
Análises dos mecanismos de perda de energia e os índices de frenagem em pulsares

Workshop da Divisão de Astrofísica

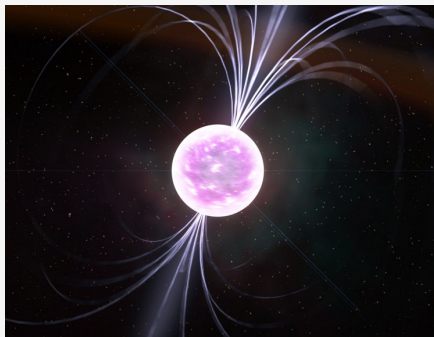
Samantha Ladislau

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

09 de abril de 2019

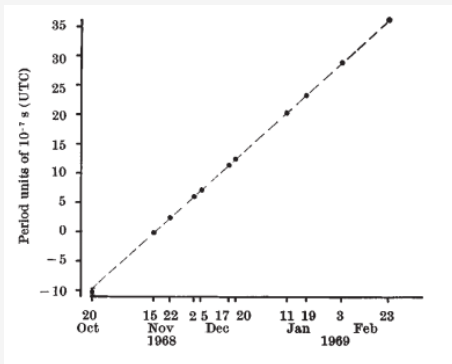


<http://chandra.harvard.edu/photo/2008/crab/>



Credits Kevin Gill

- Richards e Comella (1969) descobriram a desaceleração do pulsar do Caranguejo a uma taxa de 36 ns por dia, tratando dados observados de Outubro de 1968 a Fevereiro 1969.



Richards e Comella (1969)

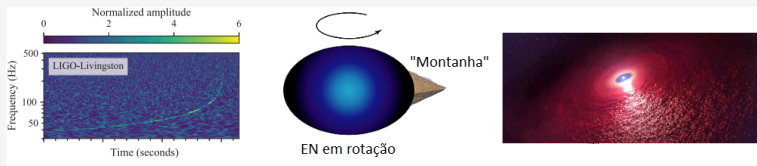
- Uma quantidade intimamente relacionada à desaceleração dos pulsares é o chamado *braking index* (n), o qual é dado em termos de quantidades observáveis

$$n = \frac{\nu \ddot{\nu}}{\dot{\nu}^2} \quad (1)$$

<i>Pulsar</i>	P (s)	\dot{P} (10^{-13} s s^{-1})	n	<i>Refs.</i>
PSR J1734-3333	1,17	22,8	$0,9 \pm 0,2$	Espinoza et al. 2011
PSR B0833-45 (Vela)	0,089	1,25	$1,4 \pm 0,2$	Lyne et al. 1996
PSR J1833-1034	0,062	2,02	$1,8569 \pm 0,0006$	Roy et al. 2012
PSR J0540-6919	0,050	4,79	$2,140 \pm 0,009$	Livingstone et al. 2007
PSR J1846-0258	0,324	71	$2,19 \pm 0,03$	Archibald et al. 2015
PSR B0531+21 (Caranguejo)	0,033	4,21	$2,51 \pm 0,01$	Lyne et al. 1993
PSR J1119-6127	0,408	40,2	$2,684 \pm 0,002$	Weltevredre et al. 2011
PSR J1513-5908	0,151	15,3	$2,839 \pm 0,001$	Livingstone et al. 2007
PSR J1640-4631	0,207	9,72	$3,15 \pm 0,03$	Archibald et al. 2016

- Desvio do valor $n = 3!!!$

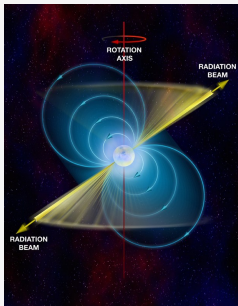
- Há diferentes modelos propostos na tentativa de se explicar os *braking indices* medidos.
 - radiação de dipolo magnético: $\dot{\nu} \propto \nu^3$;
 - ondas gravitacionais: $\dot{\nu} \propto \nu^5$;
 - vento de partículas: $\dot{\nu} \propto \nu^3 \chi$, onde χ é o potencial de aceleração;
 - *fallback-disk*;
 - fricção do vácuo quântico (QVF): $\dot{\nu} \propto \nu^1$;
 - a própria evolução do campo magnético e do ângulo de inclinação magnética;



LIGO Scientific Collaboration NASA/ESA/Nahks TrEhnl, Pennsylvania State University

Evolução de ϕ acoplada a RDM + VP

- Combinando as perdas de energias por RDM e VP, podemos chegar no sistema de equações diferenciais:



Bill Saxton, NRAO/AUI/NSF

$$\frac{d\Omega}{dt} = -\frac{B^2 R^6 \Omega^3}{6lc^3} \chi_{VG}^{CR}, \quad (2)$$

$$\frac{d\phi}{dt} = -\frac{B^2 R^6 \Omega^2}{6lc^3} \sin \phi \cos \phi, \quad (3)$$

- onde, $\mu = 1/2BR^3$ e

$$\chi_{VG}^{CR} = \sin^2 \phi + 4.96 \times 10^2 \zeta \left(1 - \frac{\Omega_{death}}{\Omega} \right) B_{12}^{-8/7} \Omega^{-15/7}. \quad (4)$$

Evolução de ϕ acoplada a RDM+VP+OGs e QVF

- O que fizemos de diferente: adição do termo da perda de energia por OGs:

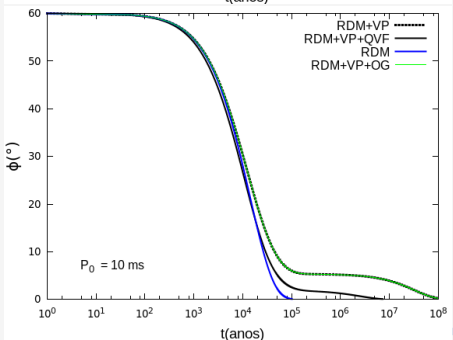
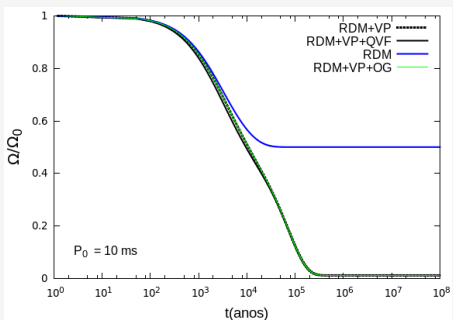
$$\frac{d\Omega}{dt} = -\frac{B^2 R^6 \Omega^3 \chi_{VG}^{CR}}{6lc^3} - \frac{32I\kappa^2 B^4 R^8}{5GM^4 c^5} \sin^4 \phi \Omega^5, \quad (5)$$

$$\frac{d\phi}{dt} = -\left(\frac{B^2 R^6 \Omega^2}{6lc^3} + \frac{32I\kappa^2 B^4 R^8}{5GM^4 c^5} \Omega^4 \right) \sin \phi \cos \phi. \quad (6)$$

- e a adição do termo referente à perda de energia por QVF.

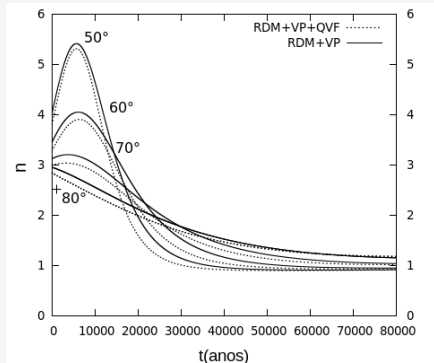
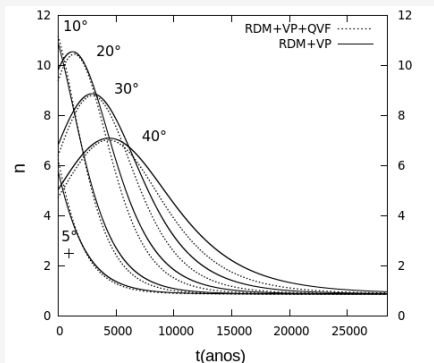
$$\frac{d\Omega}{dt} = -\frac{B^2 R^6 \Omega^3 \chi_{VG}^{CR}}{6lc^3} - \frac{\alpha B^4 R^4}{75\pi lc B_c^2} \sin^2 \phi \Omega. \quad (7)$$

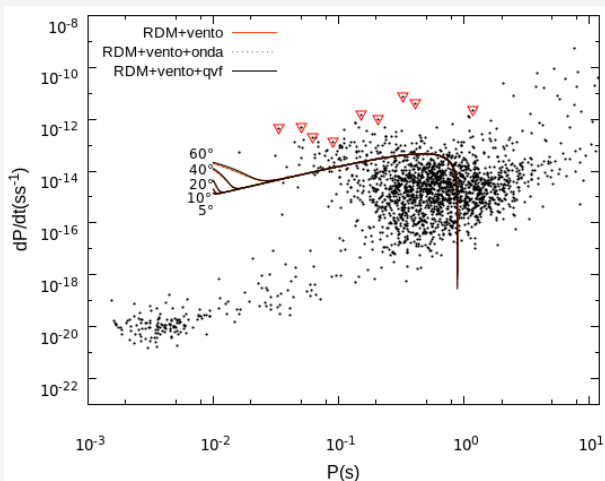
$$\frac{d\phi}{dt} = -\left(\frac{B^2 R^6 \Omega^2}{6lc^3} + \frac{\alpha B^4 R^4}{75\pi lc B_c^2} \right) \sin \phi \cos \phi. \quad (8)$$



Evolução de $n(t)$

$$n(t) = \frac{\Omega(t)\ddot{\Omega}(t)}{[\dot{\Omega}(t)]^2}. \quad (9)$$



Evolução no diagrama $P - \dot{P}$ 

...agora sim as perspectivas

- Uma equação diferencial do tipo

$$\frac{dB}{dt} \propto \Omega B, \quad (10)$$

- seria útil para na composição dos sistemas de equações diferenciais que montamos. A princípio, é sabido que a evolução do campo magnético na EN é governado pela Eq. 17 (Bransgrove et al., 2018)

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \nabla \times (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) - \nabla \times (\iota \nabla \times \mathbf{B}), \quad (11)$$

- Outro ponto importante a se investigar é a dinâmica da magnetosfera de pulsar. E por que isso?
 - por causa dos processos que levam a produção de radiação;
 - e porque a interação entre pulsar e magnetosfera, leva a perda de energia.
- Para o estudo de magnetosfera de pulsar, a princípio, utilizaremos o *PICsar2D*.

Muito obrigada pela atenção!