

Эволюция магнитного угла у аккрецирующих нейтронных звезд

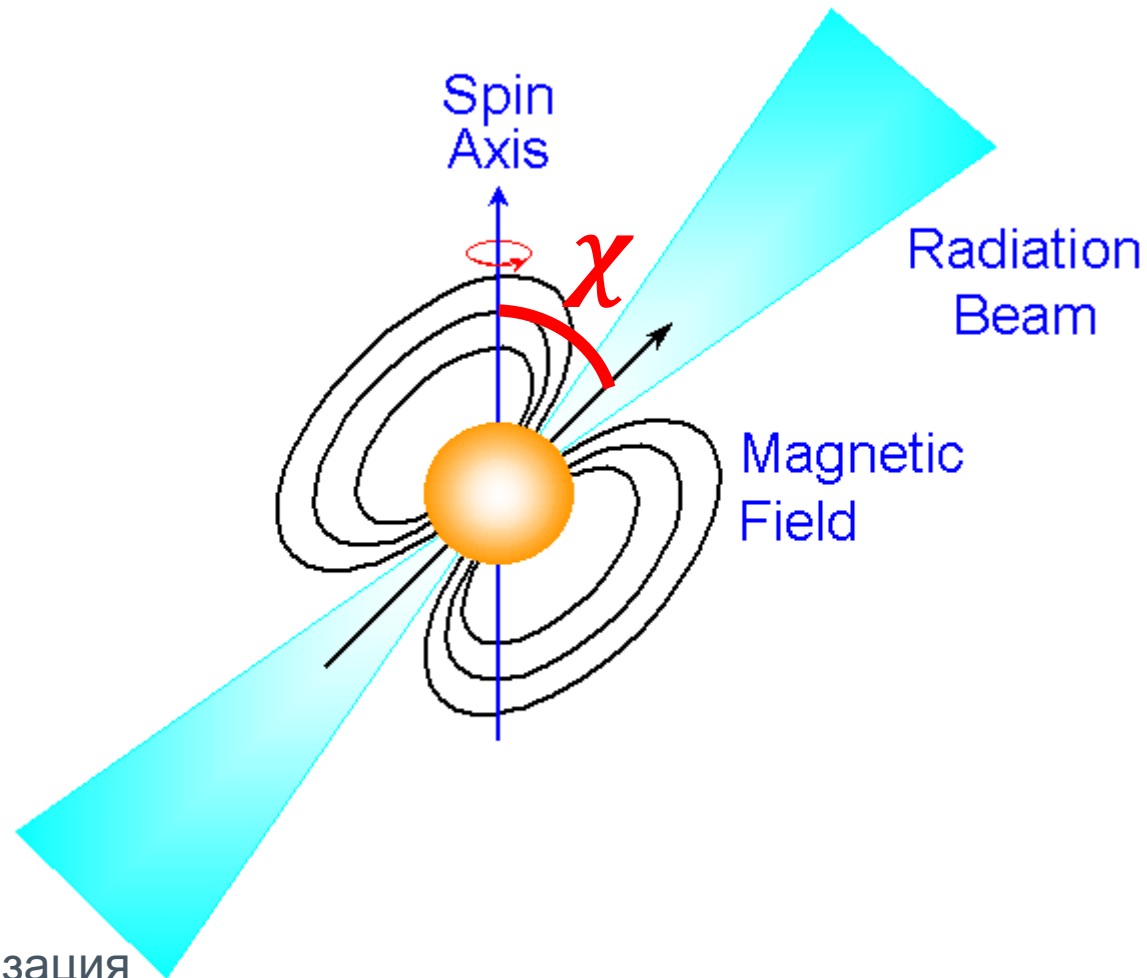
arXiv:2105.00754

Антон Бирюков (ГАИШ МГУ, К(П)ФУ)
Павел Аболмасов (Университет Тель-Авива)

Магнитный угол: одиночный RPP

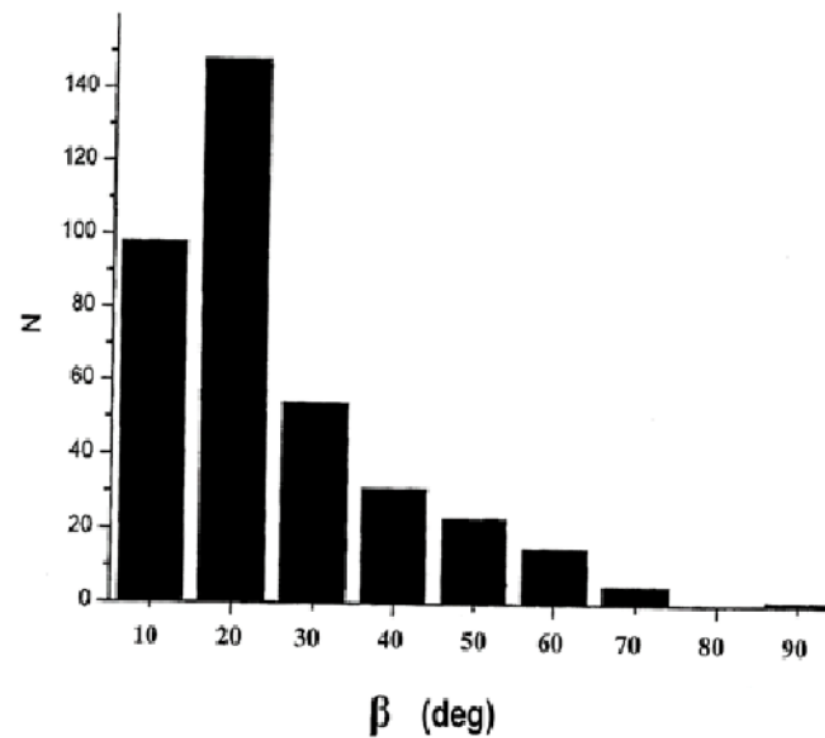
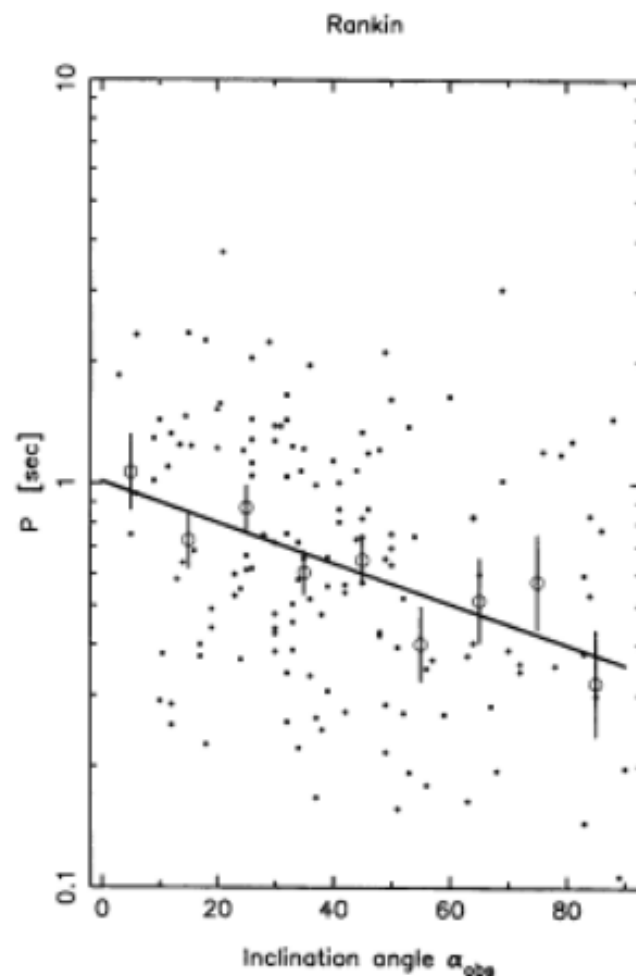
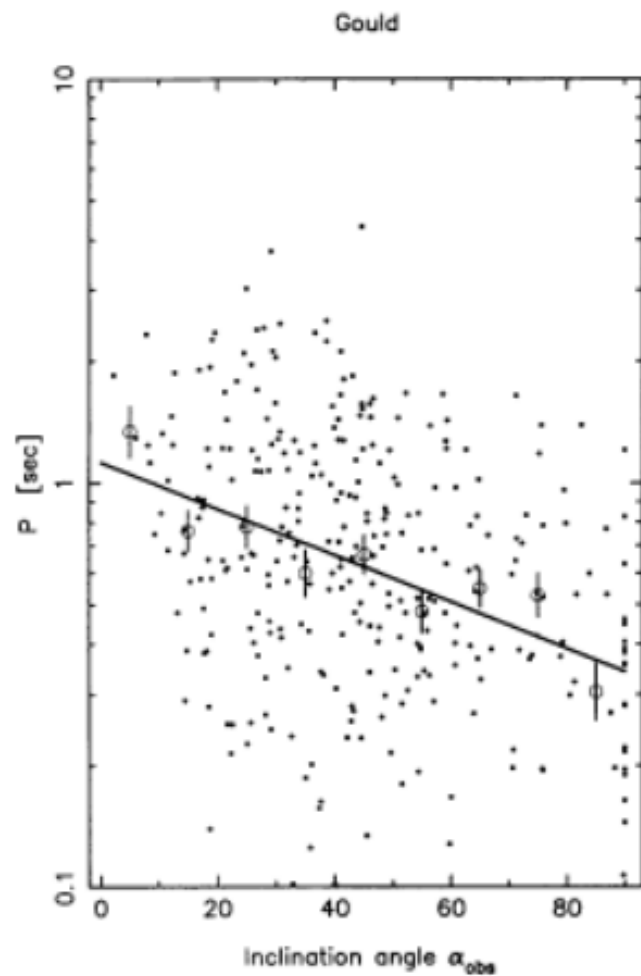
$$\left\{ \begin{array}{l} N_{\omega} = -K_{\text{md}} \cdot (k_0 + k_1 \sin^2 \chi) \\ N_{\chi} = -k_2 K_{\text{md}} \cdot \sin \chi \cos \chi \text{ - выравнивание} \\ \tau_{\text{align}} \sim 10^8 I_{45} P^2 \mu_{30}^{-2} \text{ yr} \\ \text{(Philippov et al., 1311.1513)} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} N_{\omega} = -K_{\text{md}} \cdot (Q_{\text{BGI}} \cdot \cos^2 \chi + \varepsilon P^{-0.5}) \\ N_{\chi} = +Q_{\text{BGI}} K_{\text{md}} \cdot \sin \chi \cos \chi \text{ - ортогонализация} \\ \text{(e.g. Novoselov et al., 2004.03211)} \end{array} \right.$$



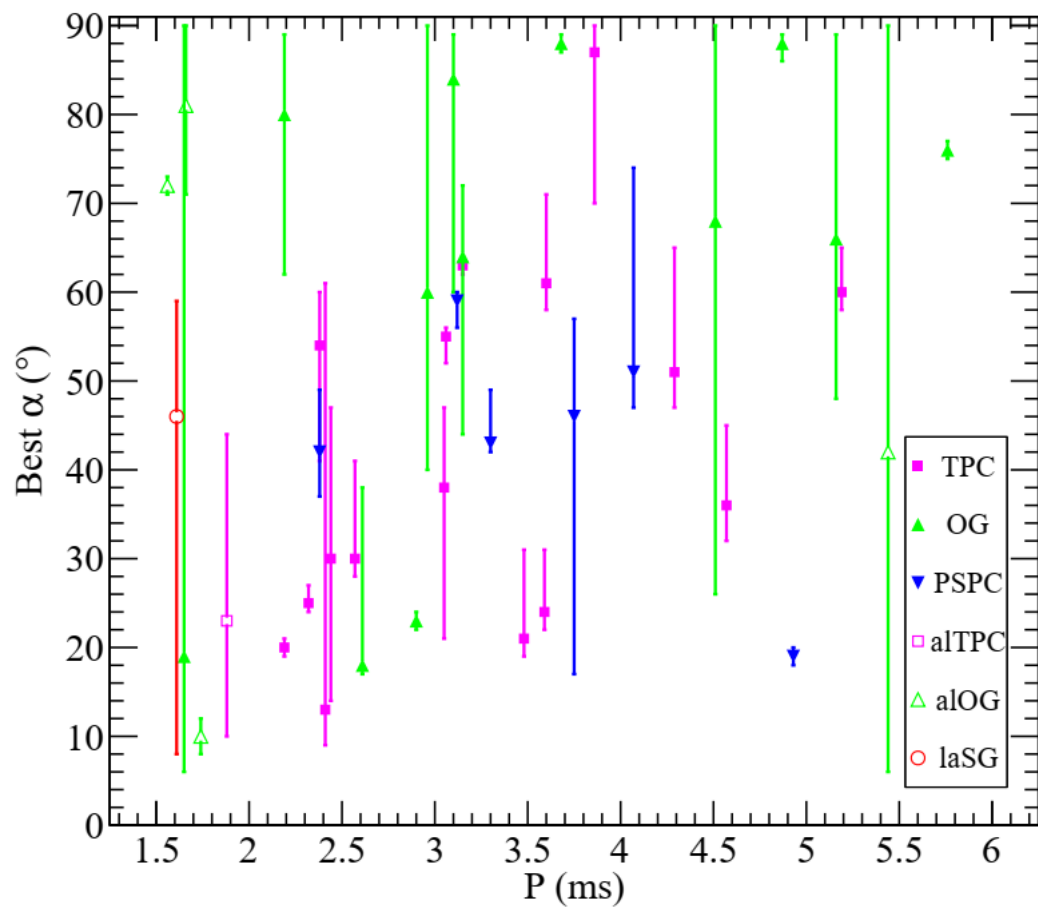
π

Распределение χ для RPPs

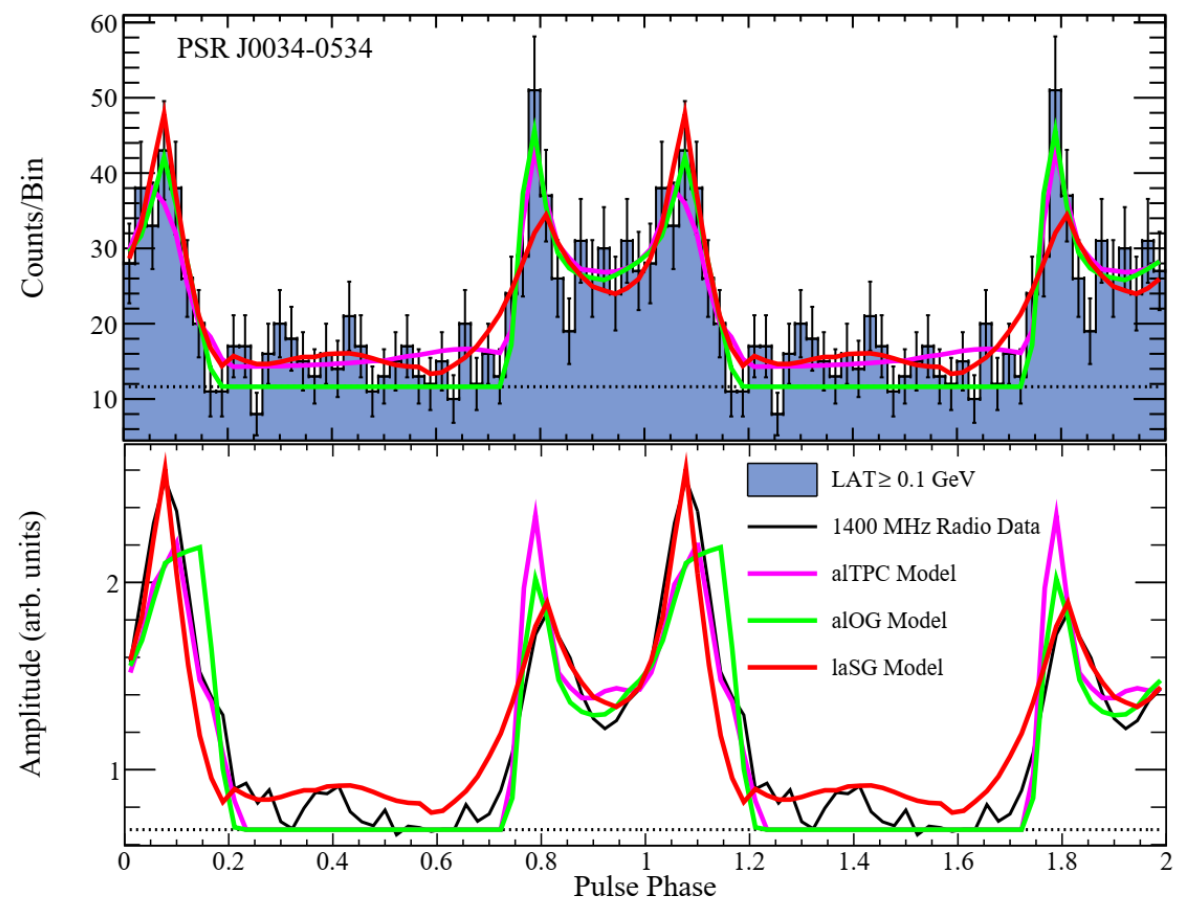


Nikitina & Malov, arXiv:1608.08525

Распределение χ для MSPs

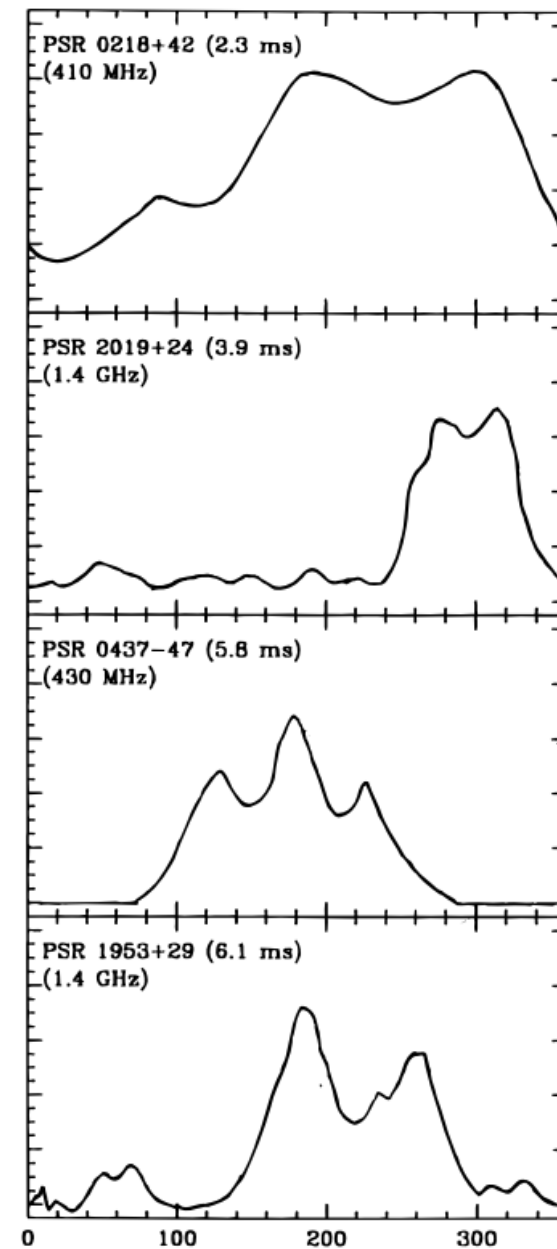
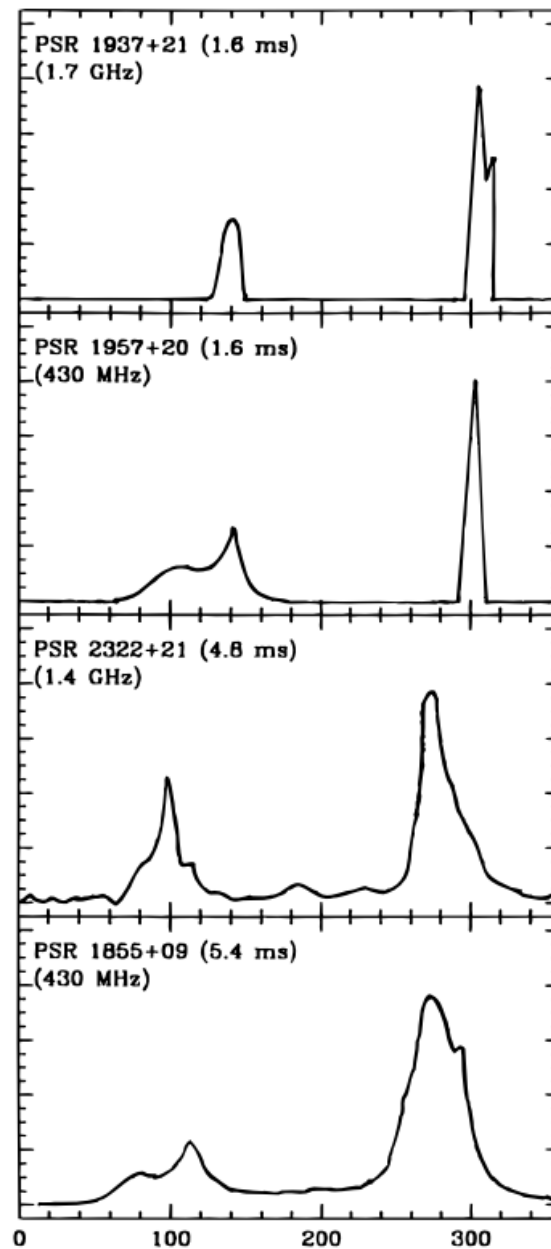


Johnston et al., 1404.2264

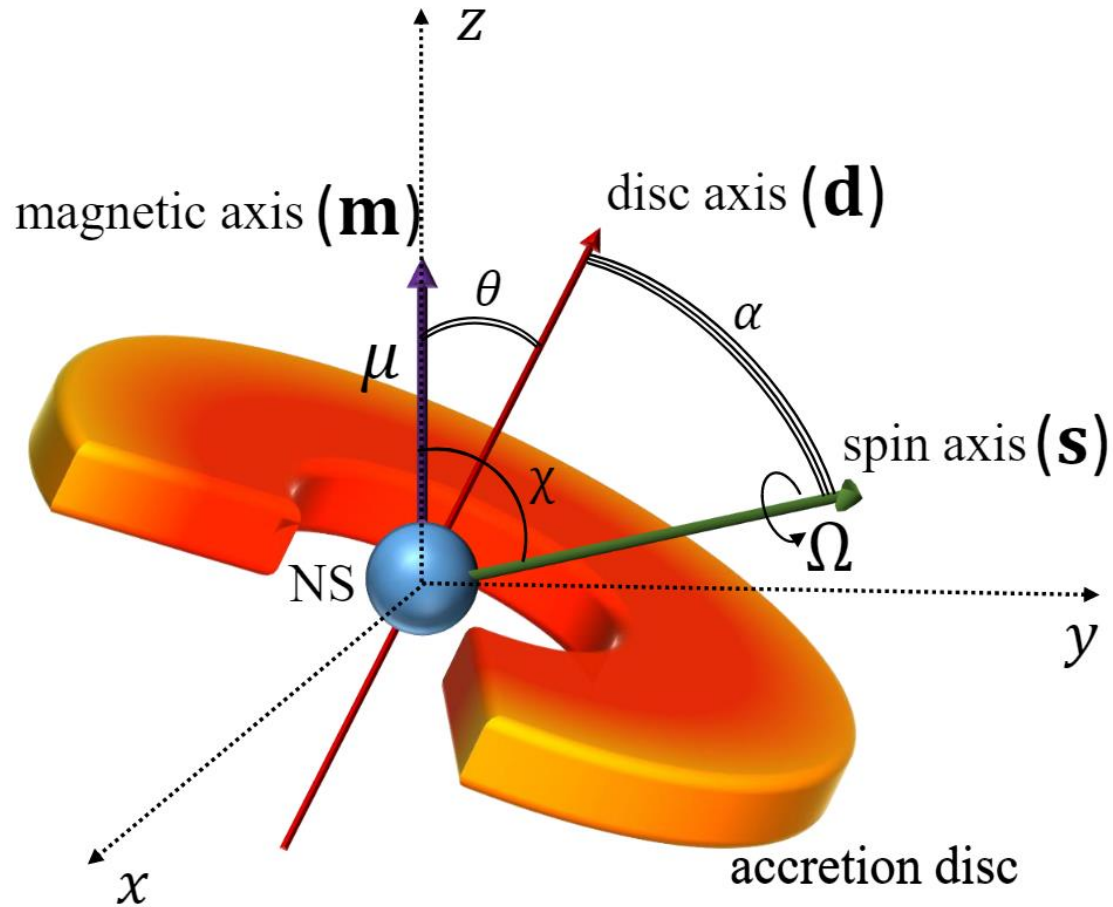


Распределение χ для MSPs

Бимодальное
распределение углов
миллисекундных
пульсаров?



Вращение аккрецирующей НЗ

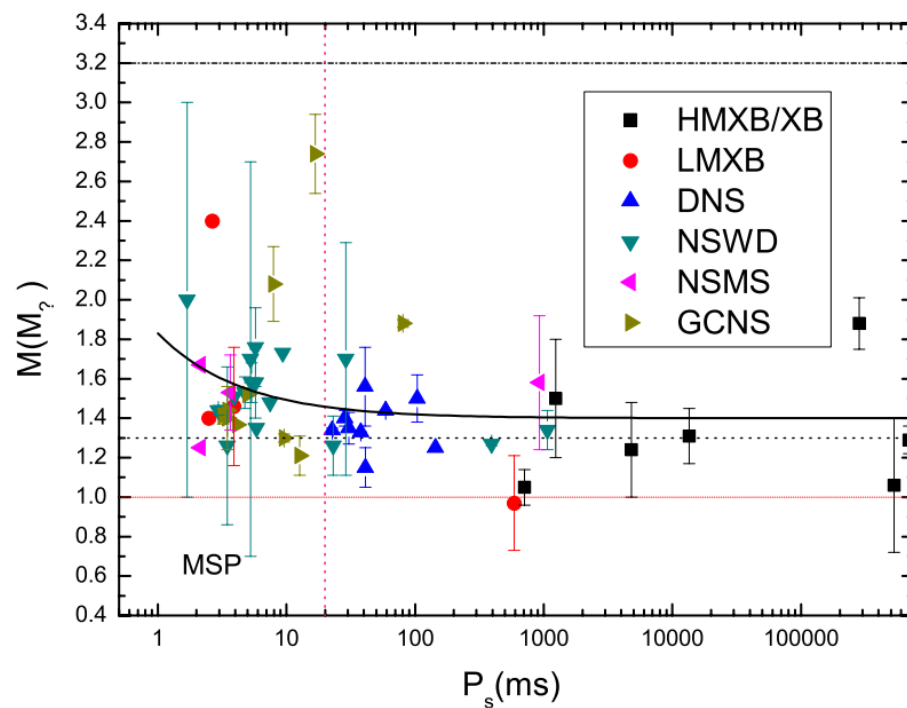


$$\mathbf{L}(t) = I(t)\boldsymbol{\Omega}(t)$$

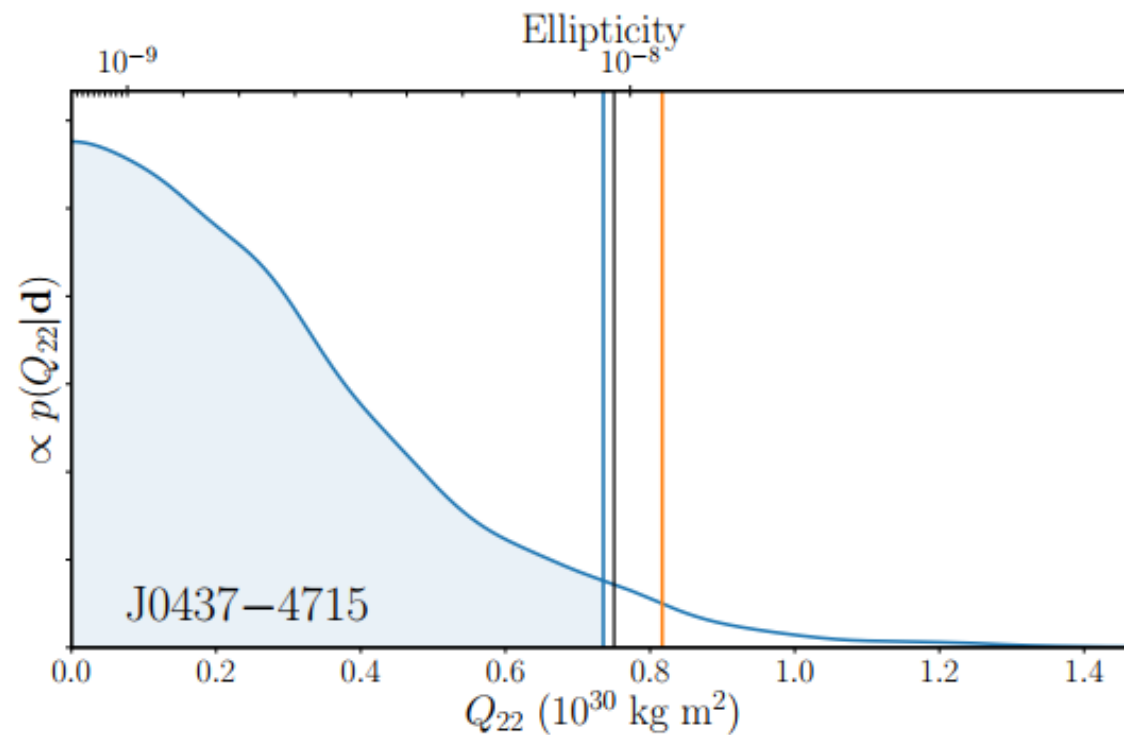
$$\frac{d\mathbf{L}(t)}{dt} + \boldsymbol{\Omega}(t) \times \mathbf{L}(t) = \mathbf{N}(t)$$

- Сферическая НЗ с дипольным магнитным полем.
- Ось вращения не совпадает с осью диска.
- Магнитная ось не совпадает с осью вращения.

Масса и сжатие НЗ

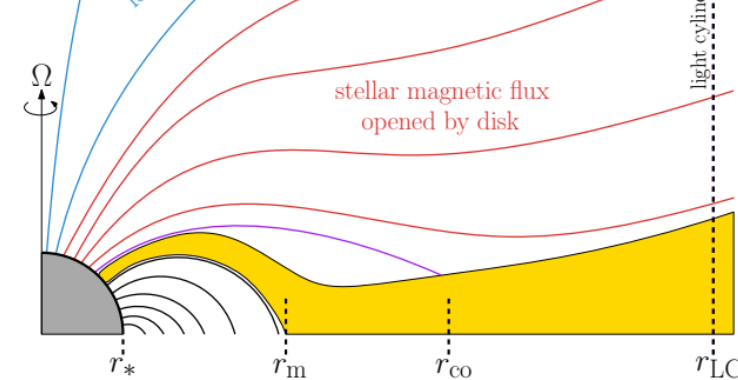


Zhang et al., 1010.5429

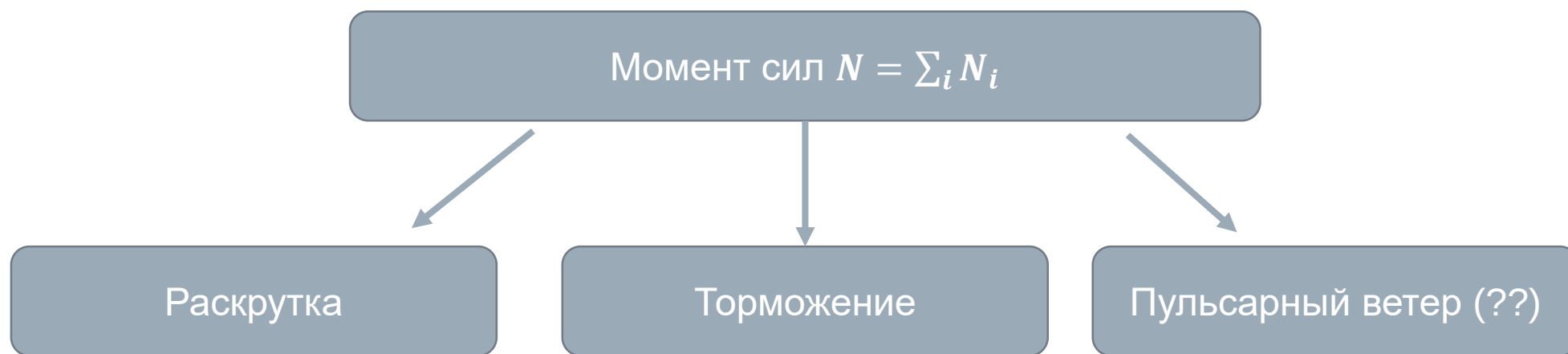


LIGO/VIRGO, 2007.14251

Вращение аккрецирующей НЗ



Parfrey et al., 1507.08627



$$N_0 = \dot{M} \sqrt{GM_* r_m} \mathbf{d}$$

$$r_m = \xi r_A$$

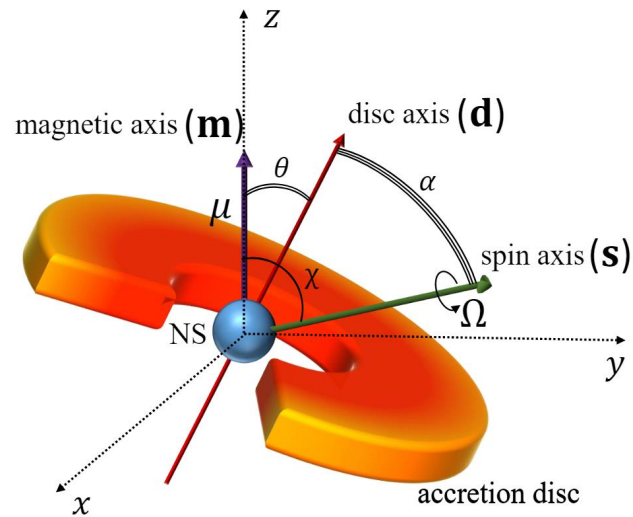
$$N_{\text{mag}} \sim -\frac{\mu^2}{r_{\text{co}}^3} \mathbf{s}$$

$$N_{\text{psr}} \sim -\frac{\mu^2}{r_{\text{LC}}^3} (1 + \sin^2 \chi) \mathbf{s} -$$

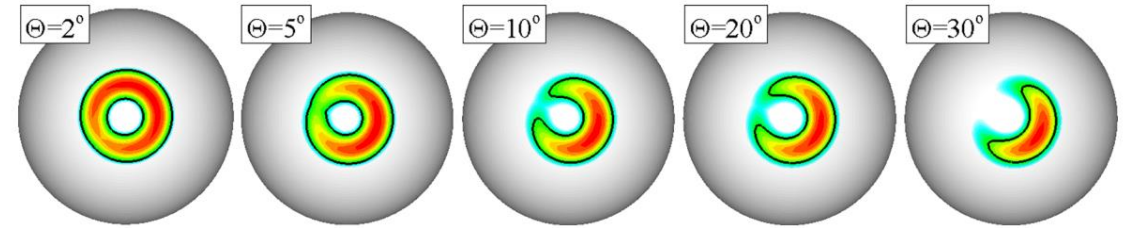
$$-\frac{\mu^2}{r_{\text{LC}}^3} ((\mathbf{m} \times \mathbf{s}) \times \mathbf{s}) \cos \chi$$

Акреция: модуляция момента

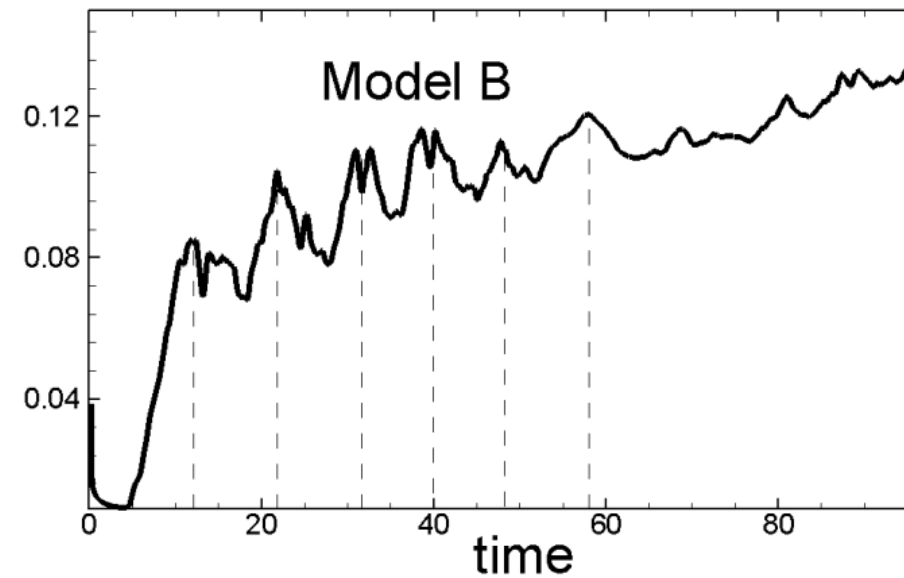
$$N_{\text{acc}} = \dot{M} f(\theta) \sqrt{GM_* r_m} d$$



20° and 15°), the accretion rate onto the star varied due to the different positions of the magnetospheric axis about the inner disc. **Accretion is more favorable when the magnetic axis is strongly tilted towards the disc plane. The quasi-period of variations is close to the period of the star.**



Kulkarni & Romanova, 1303.4681



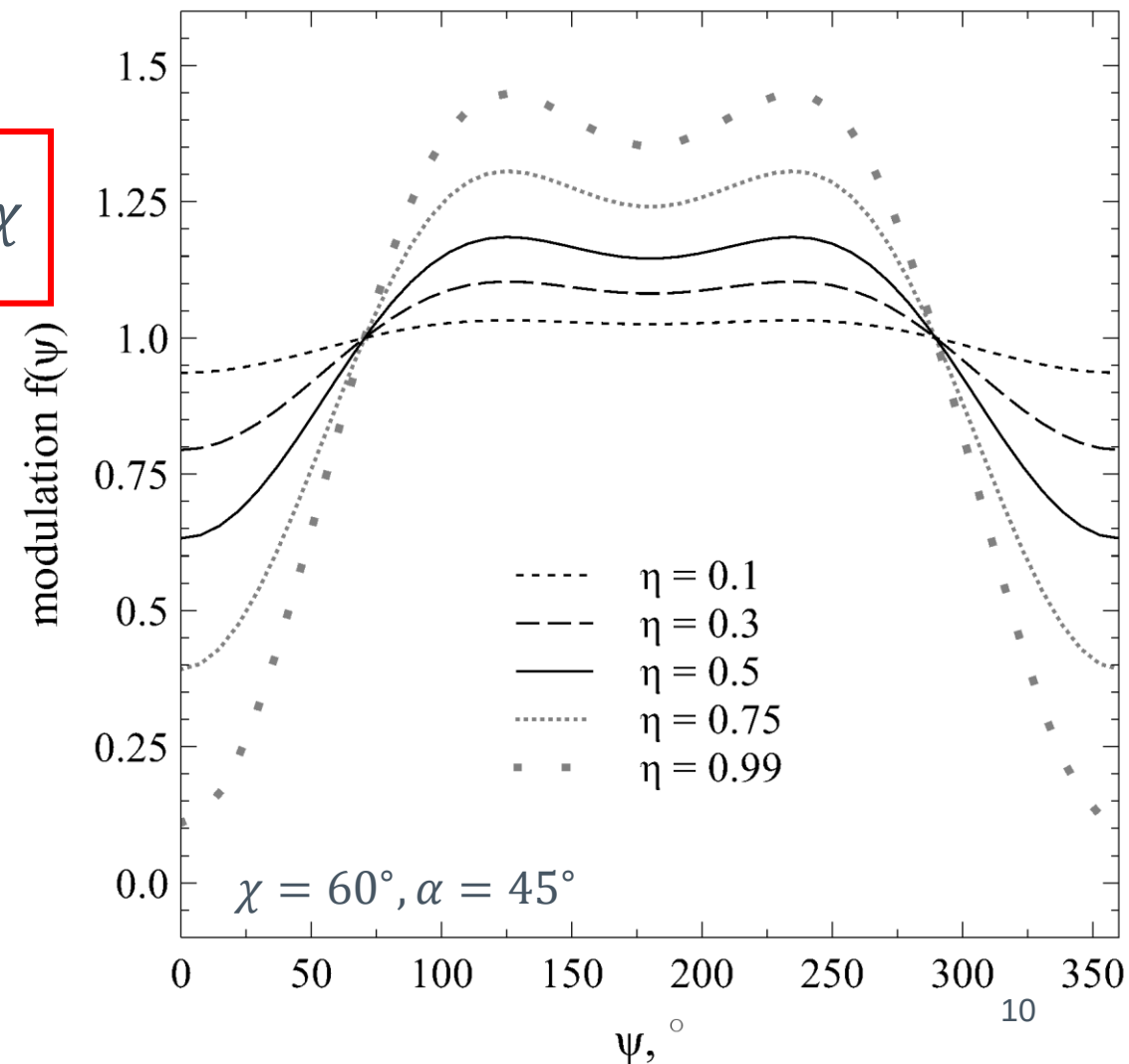
Romanova et al., 2012.10826

Аккреция: модуляция момента

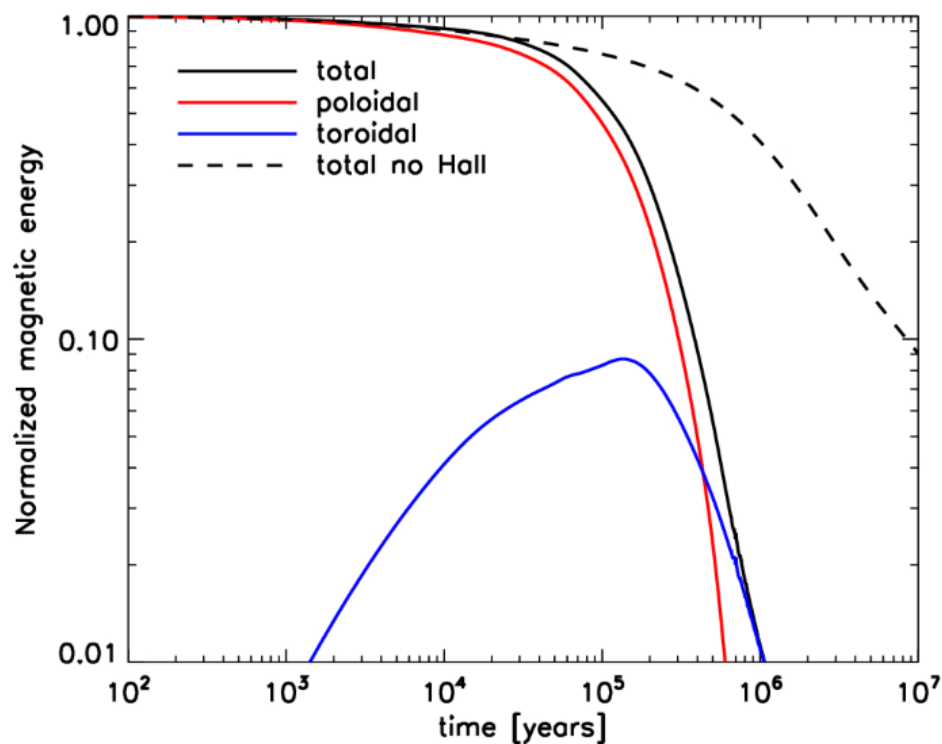
$$f(\theta) = A(\eta, \alpha, \chi) \cdot (1 - \eta \cos^2 \theta)$$

$$I\Omega \left\langle \frac{d\chi}{dt} \right\rangle_{\text{acc}} = \frac{\eta A}{4} N_0 \sin \alpha \cdot \sin 2\alpha \sin 2\chi$$

$$0 < \eta < 1$$



Эволюция магнитного поля



Pons & Vigano, 1911.03095

Igoshev & Popov, 1507.07962

AB et al., 1711.05081

$$\mu = \mu_0 \left(1 + \frac{\Delta M_*}{\mathcal{M}} \right)^{-14/11}$$

$$\mathcal{M} = 1.1 \times 10^{-5} \dot{M}_1^{1/7} \mu_{0,30}^{3/14} R_{12.5}^3 M_\odot$$

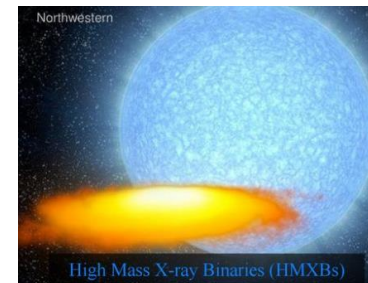
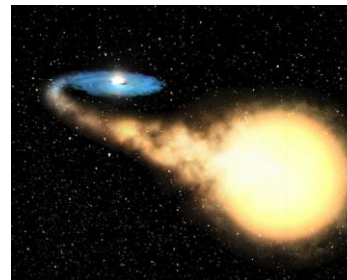
(Melatos & Phinney, 2001, PASA, 18, 421)

$$\dot{M}_1 = \frac{\dot{M}}{\dot{M}_{\text{Edd},\odot}}$$

$$\dot{M}_{\text{Edd},\odot} = \frac{4\pi G M_\odot}{\kappa_T c} \approx 1.6 \times 10^{17} \text{ g s}^{-1}$$

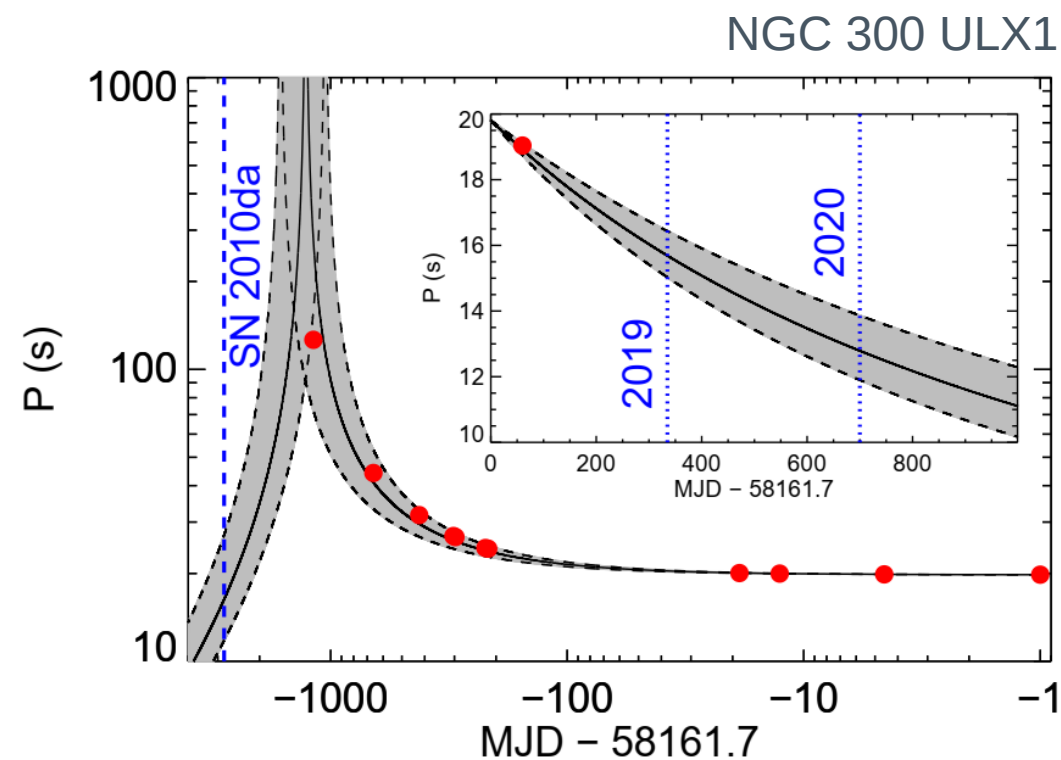
$$\tau_{\text{bur}} = -\frac{\mu}{\dot{\mu}} \approx 3.4 \times 10^3 \dot{M}_1^{-6/7} \mu_{0,30}^{3/14} R_{12.5}^3 \text{ yr}$$

Игрушечные модели

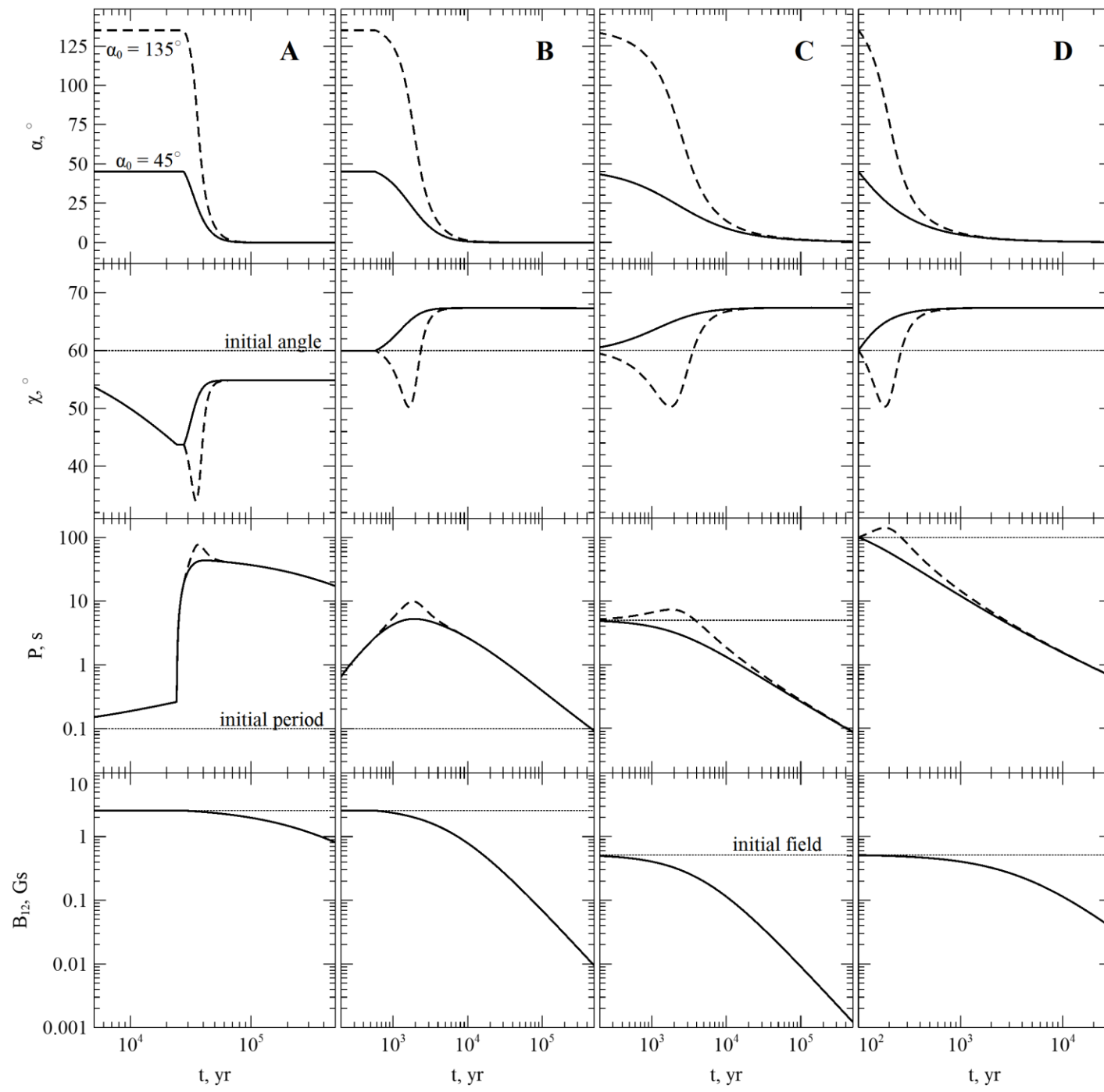


Model	P_0 , sec	$\mu_{0,30}$	$\dot{M}_1$
A	0.1	5.0	0.01
B	0.1	5.0	1.0
C	5.0	1.0	1.0
D	100.0	1.0	1.0

$\chi_0 = 60^\circ, \alpha_0 = 45^\circ$ или 135°

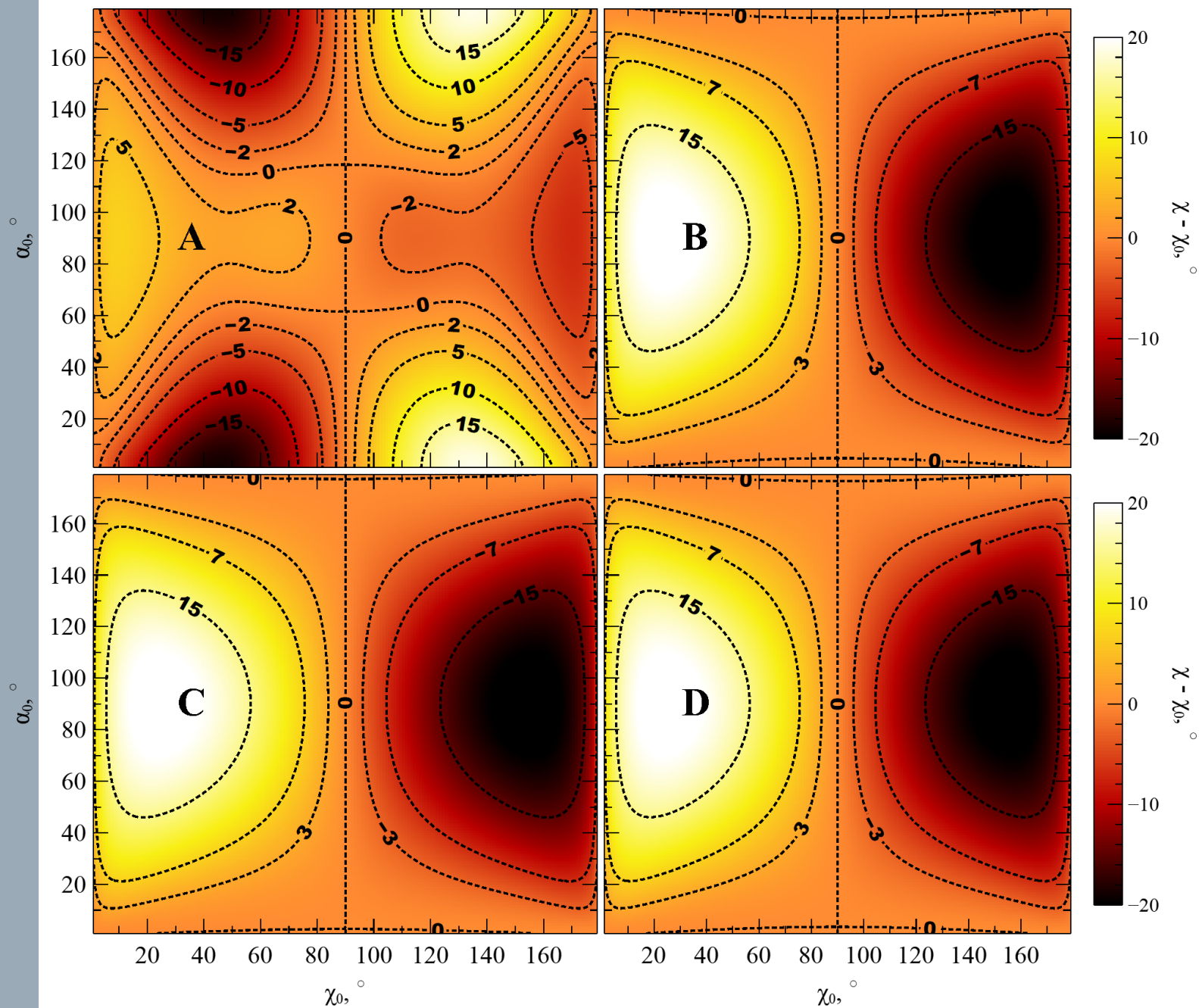


Vasilopoulos et al., 1811.11907

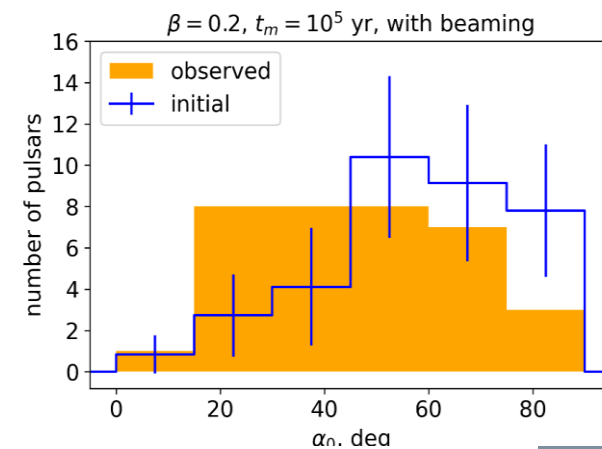


Model	P_0 , sec	$\mu_{0,30}$	$\dot{M}_1$
A	0.1	5.0	0.01
B	0.1	5.0	1.0
C	5.0	1.0	1.0
D	100.0	1.0	1.0

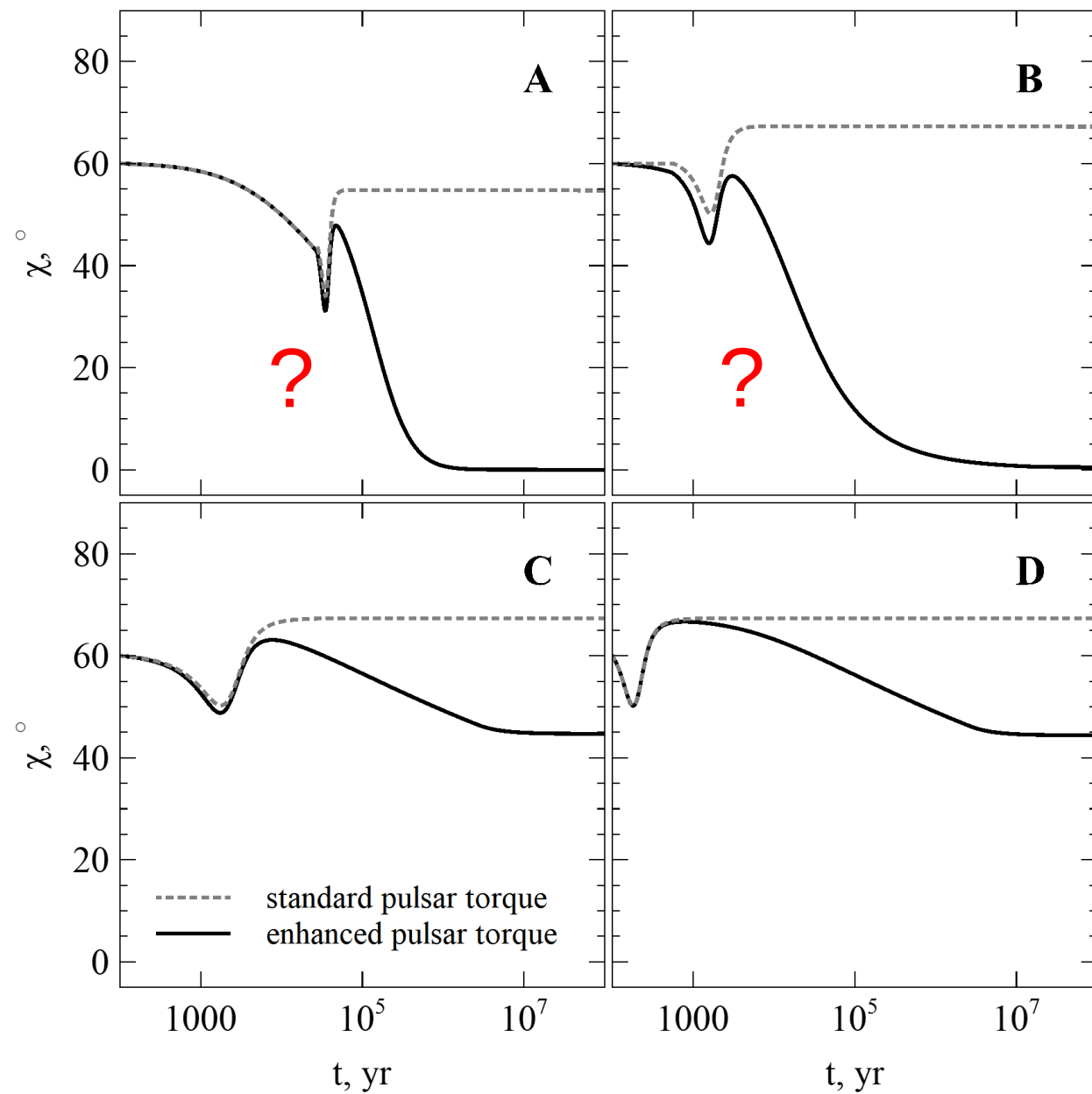
$\Delta\chi$ за 10^5 лет эволюции.



Model	P_0 , sec	$\mu_{0,30}$	$\dot{M}_1$
A	0.1	5.0	0.01
B	0.1	5.0	1.0
C	5.0	1.0	1.0
D	100.0	1.0	1.0

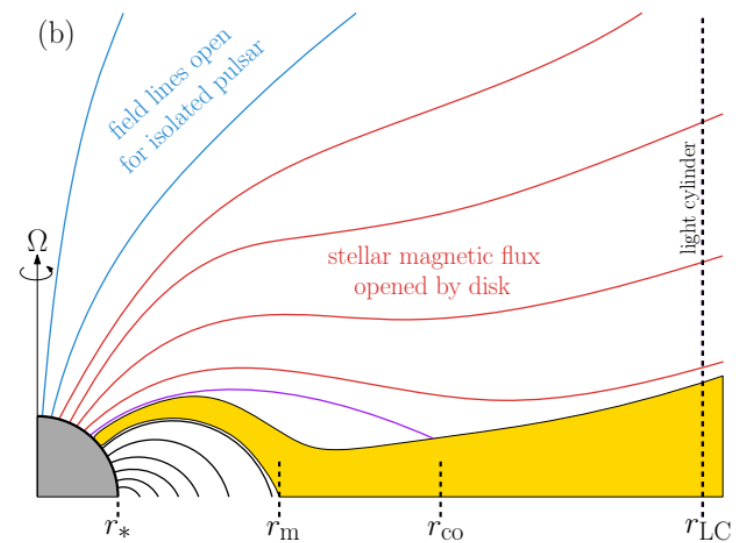


(см. постер Е. Токаревой)



Model	P_0 , sec	$\mu_{0,30}$	$\dot{M}_1$
A	0.1	5.0	0.01
B	0.1	5.0	1.0
C	5.0	1.0	1.0
D	100.0	1.0	1.0

$$K_{\text{psr}}^* \approx \left(\frac{r_{\text{LC}}}{r_{\text{m}}} \right)^2 K_{\text{psr}}$$



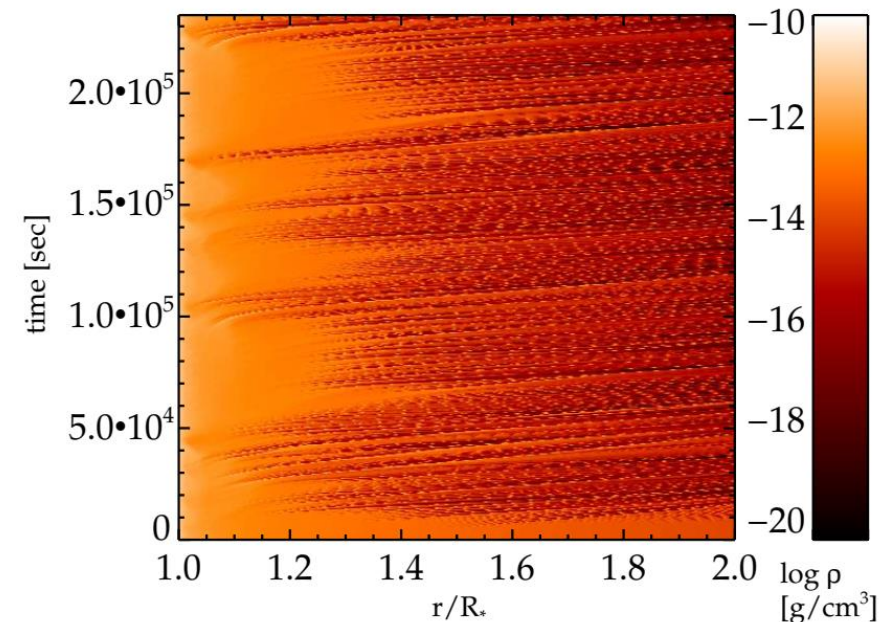
Ветровая аккреция: бимодальность?

- Момент сил имеет случайное направление.
- Нет выравнивания ($\alpha \neq 0$)

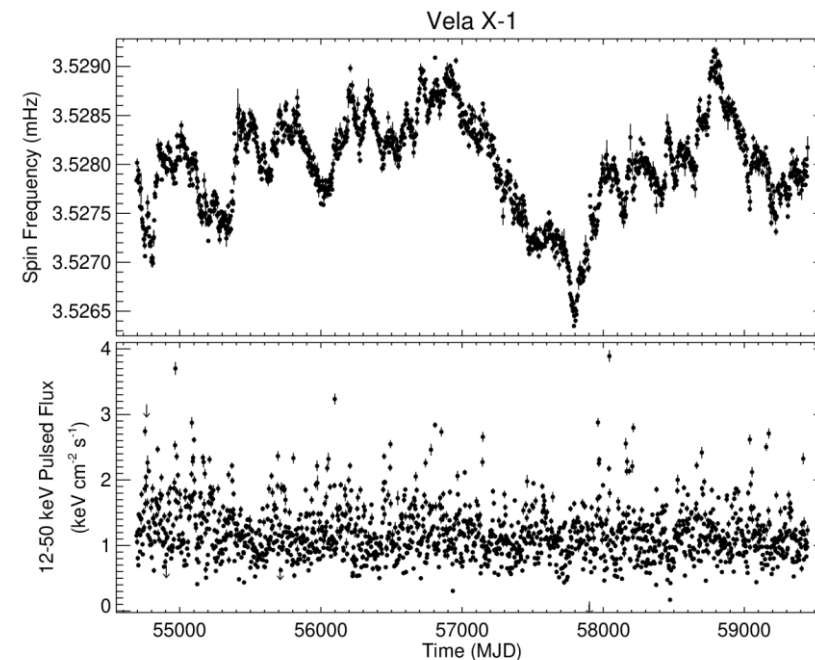
$$\frac{d}{dt} (\ln \tan \chi) = \eta A \frac{N_0}{I\Omega} \sin^2 \alpha \cos \alpha$$

$$\langle (\ln \tan \chi)^2 \rangle = \frac{8}{105} \eta^2 A^2 \left(\frac{N_0}{I\Omega} \right)^2 \tau_\alpha \cdot t$$

$$p(\chi) \propto \frac{1}{|\sin \chi \cos \chi|}$$



Martinez-Nunez et al., 1701.08618



ВЫВОДЫ

- › Дисковая аккреция на нейтронную звезду приводит к её магнитной ортогонализации.
- › Магнитная ось звезды меняет свой наклон на величину до 10-25 градусов за короткий период выравнивания звезды.
- › Финальный магнитный угол миллисекундного пульсара зависит от начального состояния системы.
- › В рамках ветровой аккреции возможно бимодальное распределение χ .

Спасибо! ☺