

# Влияние искривления пространства на момент инерции неосесимметричного магнитного поля пульсара

Матевосян А.А.<sup>1</sup>, Барсуков Д.П.<sup>2</sup>

1 - СПбПУ, 2 - ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Рассматривается влияние искривления пространства в метрике Шварцшильда на вклад в момент инерции радиопульсара магнитного поля вне нейтронной звезды. Рассмотрен как случай дипольного магнитного поля, так и случай недипольного "мелкомасштабного" поля, однако при этом рассмотрение ограничено вкладом в тензор инерции только одной гармонике.

## Момент инерции магнитного поля [2]

$$L_A = I_{AB} \Omega_B + O(\Omega^2)$$

момент инерции

$$\vec{L} = I_f \vec{\Omega} + \delta I_f \vec{e}_z (\vec{e}_z \cdot \vec{\Omega})$$

момент инерции для случая суммы двух гармоник  $b_{lm} = b_{l-m}$  при  $m \neq 1$  [2]

$$\delta I_f = K_{lm} \delta \hat{I}_f \quad \text{где} \quad \delta \hat{I}_f = \frac{b_{lm}^2 r_{ns}^5}{c^2} \cdot \hat{Q}_l \quad \text{и} \quad \delta \hat{I}_f = \frac{\langle B_{lm}^2 \rangle r_{ns}^5}{c^2} \cdot \tilde{Q}_l$$

$$K_{lm} = (2 - \delta_{l0}) \frac{(l+1)^2 (l^2 + l - 3m^2)}{(2l+3)(2l-1)} \quad \text{и} \quad \hat{Q}_l = \frac{2l^2 + 2l + 3}{2l^2 (l+1)^2} \cdot Q_l^\perp - Q_l^r$$

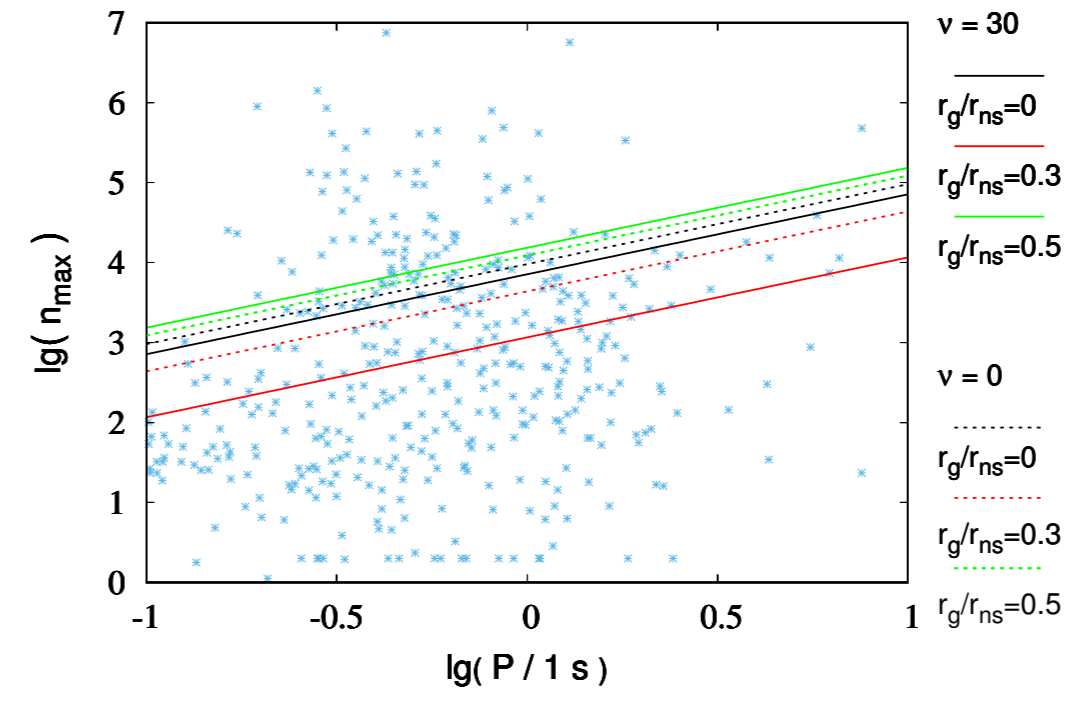
$$Q_l^r = \frac{1}{l^2} \int_0^{r_{max}} \frac{1}{h(r)} \left( \frac{r_{ns}}{r} \right)^{2l} f_l^2(r) \frac{dr}{r_{ns}} \quad \text{и} \quad Q_l^\perp = \int_0^{r_{max}} \left( \frac{r_{ns}}{r} \right)^{2l} g_l^2(r) \frac{dr}{r_{ns}}$$

при  $m = 1$  мы имеем  $\vec{L} = \tilde{I}_f \vec{\Omega} + \delta I_x \vec{e}_x (\vec{e}_x \cdot \vec{\Omega}) + \delta I_y \vec{e}_y (\vec{e}_y \cdot \vec{\Omega})$  где

$$\delta I_x = \frac{(l-2)(l+3)}{2(l^2+l-3)} \cdot \delta I_f \quad \text{и} \quad \delta I_y = \frac{3(l-1)(l+2)}{2(l^2+l-3)} \cdot \delta I_f$$

где  $h(r) = 1 - \frac{r_g}{r}$  и  $r_g = \frac{2GM_{ns}}{c^2}$  – гравитационный радиус звезды

## Оценка индекса торможения $n = P \ddot{P} / \dot{P}^2$



$$n_{max} = K_n \cdot \frac{2\tau}{T_p}$$

$$\tau = \frac{P}{2\dot{P}} \quad \text{и} \quad \frac{T_p}{P} = K_{pr} \cdot \frac{I_{ns}}{\delta I_f}$$

$$\dot{\Omega} = K_{br} \cdot \frac{2m^2 \Omega^3}{3 I_{ns} c^3}$$

где  $\tau$  – характеристический возраст пульсара и  $T_p$  – период прецессии пульсара

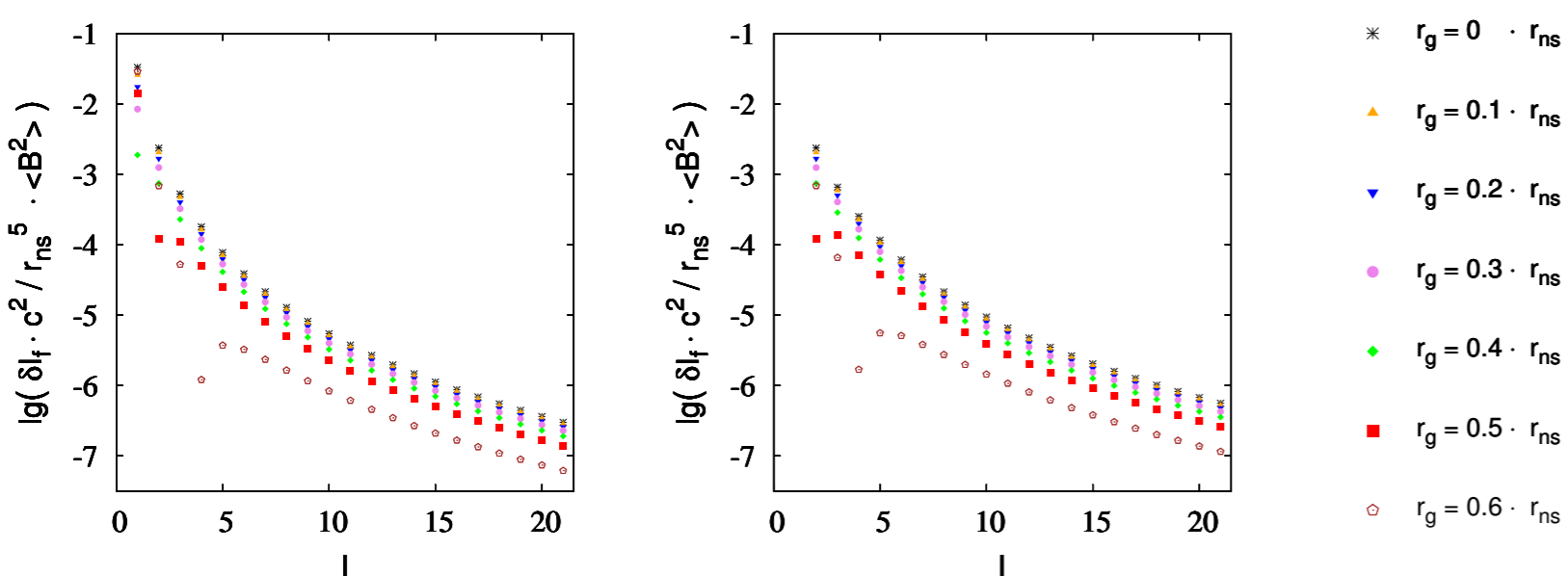
$$K_n \sim 1 \quad K_{br} \sim 1 \quad K_{pr} \sim 1$$

$$m = b_{10} r_{ns}^3 \sqrt{3/(4\pi)}$$

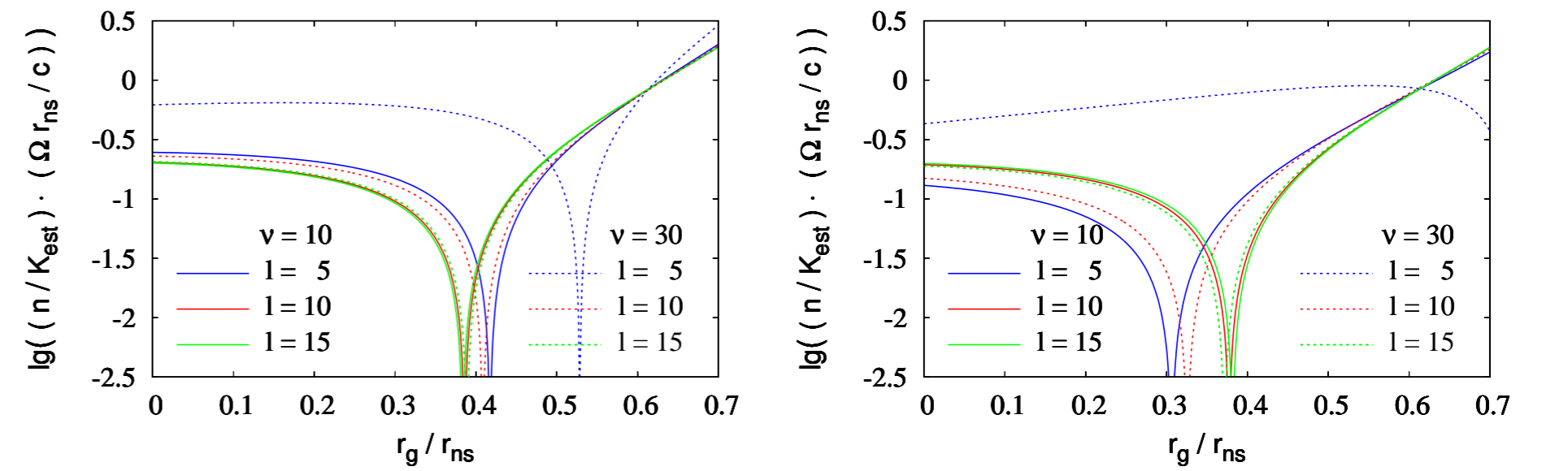
$$\nu = \sqrt{\langle B_{lm}^2 \rangle / \langle B_{10}^2 \rangle}$$

Показана оценка для максимального значения индекса торможения пульсаров  $n_{max}$  для случая  $l = 10$ ,  $m = 10$  и  $r_{ns} = 10$  км при условии  $K_n K_{pr} / K_{br} \sim 1$ .

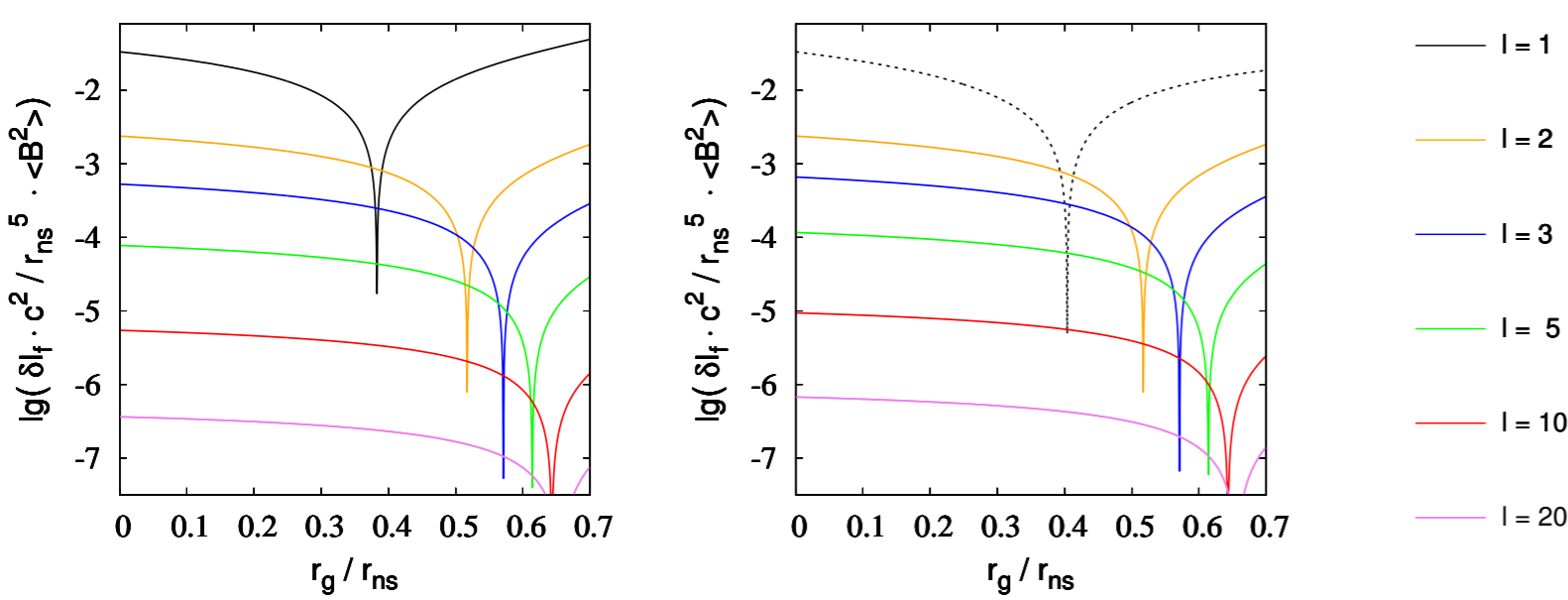
$$n_{max} = K_n \frac{K_{pr}}{K_{br}} \cdot \left( \frac{c}{\Omega r_{ns}} \right) \cdot \frac{\langle B_{10}^2 \rangle}{b_{10}} \cdot \left( \frac{8}{5} \tilde{Q}_1 + \nu^2 K_{lm} \tilde{Q}_l \right)$$



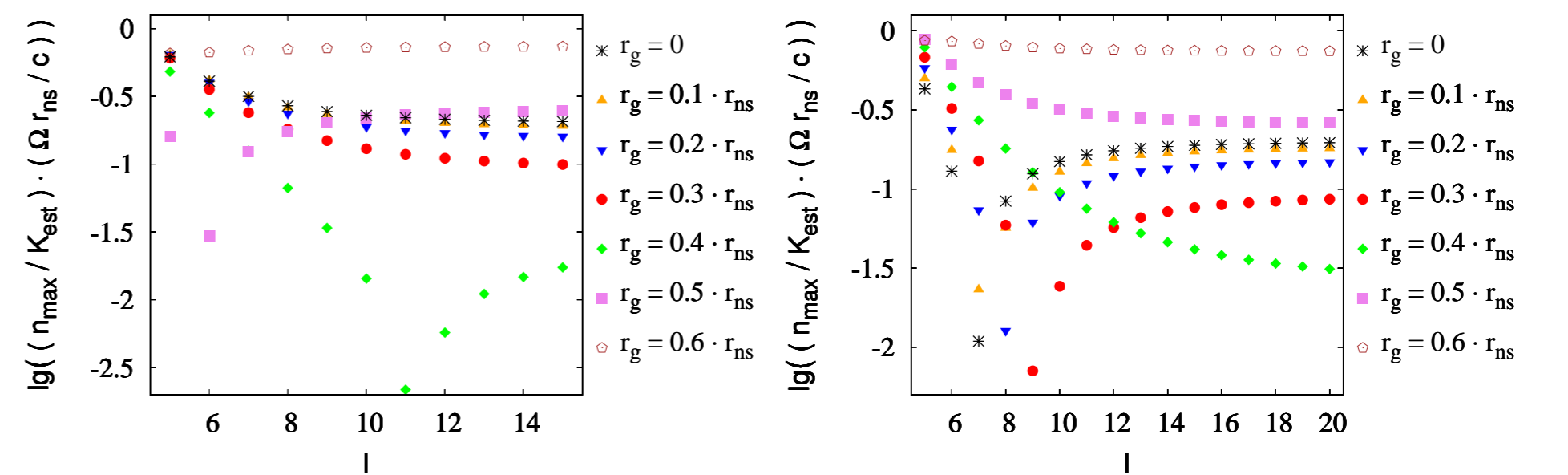
Показана зависимость величины  $\delta I_f$  от  $l$  для различных значений  $r_g$ . Левый рисунок соответствует случаю  $m = 0$ , правый – случаю  $m = l$ .



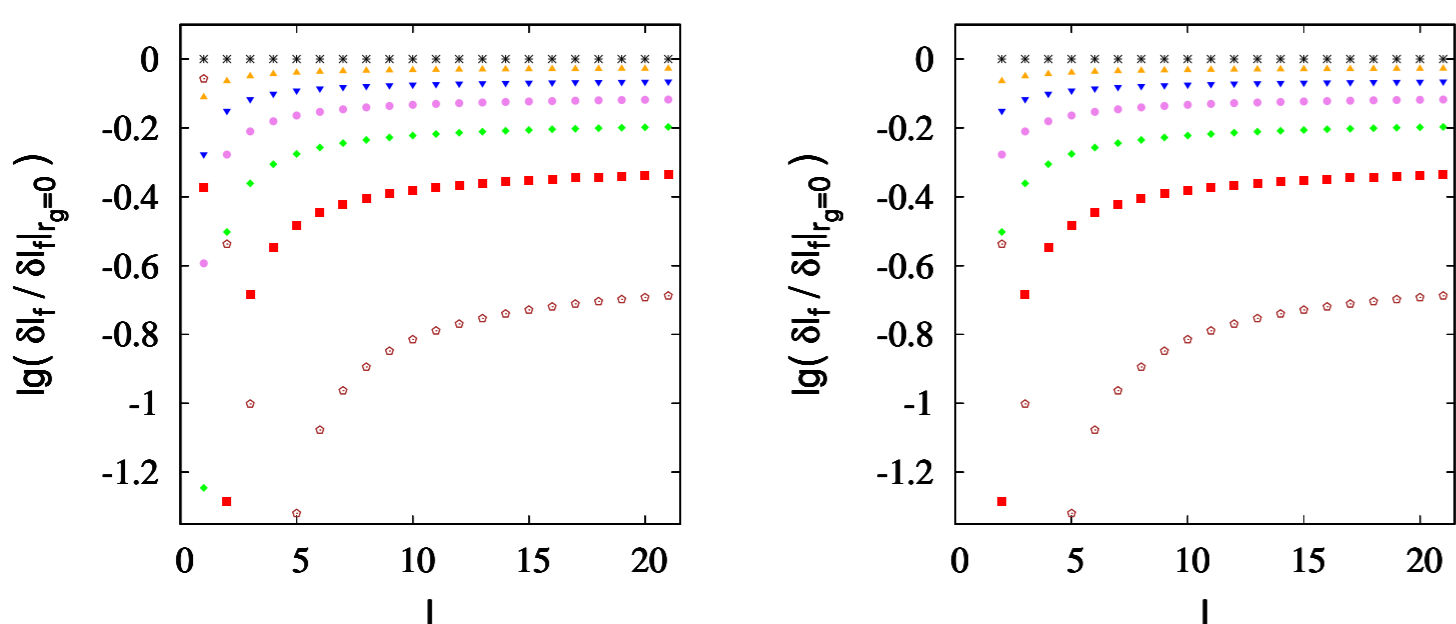
На рисунке показана зависимость оценки максимального индекса торможения  $n_{max}$  от величины отношения  $r_g/r_{ns}$  для нескольких значений  $l$  при  $\nu = 10$  и  $\nu = 30$ . Левый график соответствует случаю  $m = 0$ , правый – случаю  $m = l$ .



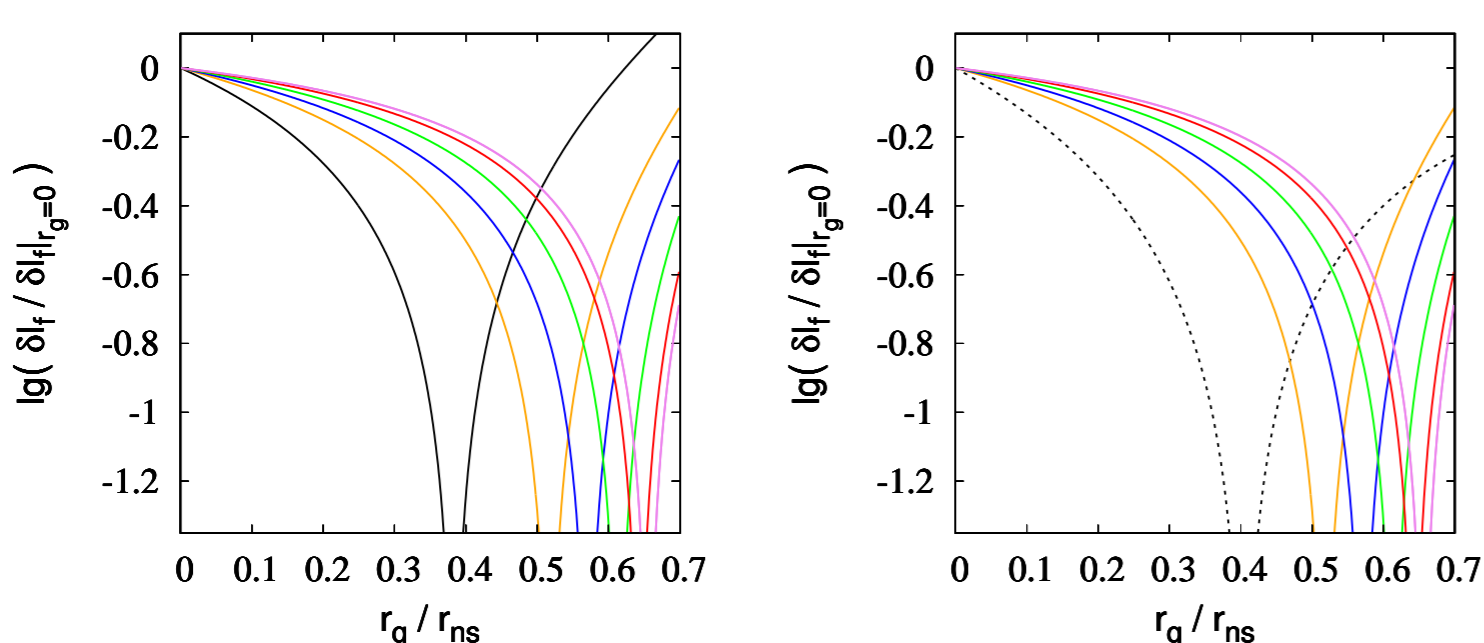
Показана зависимость величины  $\delta I_f$  от отношения  $r_g/r_{ns}$ . Левый рисунок соответствует случаю  $m = 0$ , правый – случаю  $m = l$ . Черной пунктирной кривой на правом рисунке показана величина  $\delta I_x$  при  $l = 1$  и  $m = 1$  (при этом  $\delta I_y = 0$ ).



На рисунке показана зависимость оценки максимального индекса торможения  $n_{max}$  от параметра  $l$  для нескольких значений  $r_g/r_{ns}$  при  $\nu = 30$ . Левый график соответствует случаю  $m = 0$ , правый – случаю  $m = l$ .



Зависимость отношения  $\delta I_f / \delta I_f|_{r_g=0}$  от  $l$  для различных значений  $r_g$ . Левый рисунок соответствует случаю  $m = 0$ , правый – случаю  $m = l$ .



Зависимость отношения  $\delta I_f / \delta I_f|_{r_g=0}$  от отношения  $r_g/r_{ns}$ . Левый рисунок соответствует случаю  $m = 0$ , правый – случаю  $m = l$ .

## Выводы

Рассмотрено влияние искривления пространства в метрике Шварцшильда на момент инерции магнитного поля пульсара вне нейтронной звезды. Показано, что в рамках рассматриваемой модели влияние искривления не велико. И в рамках простой оценки показано, что вызываемая этим "избыточным" моментом инерции прецессия может объяснить индексы торможения основной части радиопульсаров.

Авторы благодарят Д.Н. Собынина за полезную дискуссию и ценные замечания.

## Литература

- [1] E. Asseo, D. Khechinashvili // MNRAS, V.334, p. 743 (2002)
- [2] O.A. Goglichidze, D.P. Barsukov, A.I. Tsygan // MNRAS, V.451, p. 2564 (2015)
- [3] A. Biryukov, G. Beskin, S. Karpov, MNRAS, 420 (1), 103 (2012).
- [4] D.N. Sob'yanin, MNRAS, 497 (1), 1001 (2020).
- [5] A. Biryukov, A. Astashenok, S. Karpov, G. Beskin, Journal of Physics: Conference Series, 932 (1), id. 012044 (2017).
- [6] R.N. Manchester, G.B. Hobbs, A. Teoh, M. Hobbs, The Astronomical Journal, 129 (4), 1993 (2005). <http://www.atnf.csiro.au/research/pulsar/prscat>
- [7] A. Biryukov, G. Beskin, MNRAS, 522 (4), 6258 (2023)