



**СТРУКТУРА МАГНИТОСФЕРЫ РАДИОПУЛЬСАРОВ
ПО ДАННЫМ ОБ УГЛАХ
МЕЖДУ ИХ МАГНИТНЫМ МОМЕНТОМ И ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ**

Никитина Елена Борисовна

Научный руководитель - д.ф.-м.н. И.Ф. Малов

Актуальность работы:

- Угол β позволяет понять специфику излучения конкретного пульсара, а распределение углов для объектов с разными возрастами – сделать выводы о путях их эволюции.
- Выявление источников с малыми значениями угла β и с углами порядка 90° даёт возможность предсказать наличие у них межимпульсного излучения и интеримпульсов.
- Вычисление углов на разных уровнях в магнитосфере по данным наблюдений на разных частотах может быть использовано для проверки гипотезы о дипольности магнитного поля.
- По полученным данным возможно оценить распределение уровней генерации соответствующего излучения, т.е. провести картографирование этих уровней.
- Анализ всех результатов по определению углов β в пульсарах служит одним из путей выбора адекватной модели для этих объектов и механизма их излучения.

Цель: вычисление углов между различными осями в радиопульсарах без интеримпульсов и с интеримпульсами несколькими методами, проверка, уточнение и корректировка этих методов с целью определения уровней генерации излучения на разных частотах, получение выводов о физических процессах в магнитосферах пульсаров и возможных путях эволюции этих объектов.

Новизна: В диссертации получен ряд новых результатов. Выведены уравнения для определения угла β при различной форме наблюдаемого профиля. Выявлено, что по наблюдаемым значениям ширины профиля W_{10} и максимальной производной S позиционного угла поляризации в среднем профиле можно достаточно точно вычислить отношение радиуса конуса излучения к минимальному расстоянию до луча зрения от центра конуса. Подтверждено, что радиопульсары с интеримпульсами можно разделить на две подгруппы: ортогональные и соосные ротаторы. Показано, что пульсары с интеримпульсами и $\beta \sim 90^\circ$ в несколько раз моложе соосных пульсаров с интеримпульсами. Отличие полученной нами зависимости $W(P)$ от обычно принимаемой в модели полярной шапки может быть объяснено темпом развития плазменных неустойчивостей вблизи поверхности нейтронной звезды (в области генерации высоких частот).

Достоверность результатов:

Представленные в работе результаты получены как с помощью существующих, так и с помощью новых методов, которые дают возможность уточнения полученных ранее значений углов, вычислить их средние величины и по ним сделать выводы о структуре магнитосферы пульсаров.

Практическая значимость:

В ходе выполнения работы были опробованы новые методы вычисления угла β , а также подкорректированы и уточнены уже существующие. Вычислены значения углов для нескольких сотен пульсаров. Подтверждено существовавшее ранее предположение о существовании двух типов пульсаров с интеримпульсами: ортогональных и соосных ротаторов. Выявлено, что ортогональные ротаторы систематически моложе соосных. Результаты проделанной работы могут послужить дальнейшему развитию теоретических представлений о пульсарах и лучшему пониманию их природы.

Публикации и личный вклад

Во всех результатах, вынесенных на защиту, вклад автора является существенным. Соискатель совместно с соавтором участвовал в постановке задач и формулировке выводов из проделанной работы, самостоятельно проводил вычисления углов и поиск полученных в работе зависимостей между различными параметрами.

Результаты вычислений, представленные в таблицах 1-4, 7, 8 и в таблицах Приложений, получены автором самостоятельно. Рисунки 4-7, 10, 12-15, 23, 25 выполнены также автором. Программа для вписывания модельной кривой в наблюдаемые значения позиционного угла линейной поляризации написана соискателем на языке программирования Python. Автором совместно с его научным руководителем предложен новый метод вычисления углов между осями в магнитосферах пульсаров на основе системы из трех уравнений. Результаты вычислений для таблиц 6, 9 – 12 и рисунки 8, 9, 16, 18 – 22 выполнены также совместно с соавтором. Рисунки 1 – 3 и 17 заимствованы из монографии [11], рисунок 11 из [34].

Подготовка к публикации полученных результатов проводилась совместно с научным руководителем.

Изложенные в диссертации результаты опубликованы в работах:

- 1) E.V.Nikitina, I.F.Malov. Estimations of angles between some axes in radio pulsars from catalog at 1000 MHz // 17th Open Young Scientists' Conference in Astronomy and Space Physics, Kyiv, 2010, Abstracts, p. 25.
- 2) И.Ф.Малов, Е.Б.Никитина. Определение углов 80 радиопульсаров по данным наблюдений на частотах около 1 ГГц // Тезисы докладов XVI ВНКСФ, Волгоград, 2010 г., с. 379-380.
- 3) И.Ф.Малов, Е.Б.Никитина. Определение углов у радиопульсаров из каталога на частотах около 1 ГГц // Тезисы ВАК-2010, с.99-100.
- 4) И.Ф.Малов, Е.Б.Никитина. Определение углов у 80 радиопульсаров из каталога на частотах около 1 ГГц. НЕА-2010, с. 34-35, 21-24 декабря 2010 г., Москва.
- 5) И.Ф. Малов, Е.Б. Никитина. Углы между осью вращения и магнитным моментом в 80 радиопульсарах по данным наблюдений на частотах около 1 ГГц // *Астрономический журнал*, 2011, том 88, с. 22–33.
- 6) И.Ф.Малов, Е.Б.Никитина. О геометрии магнитосферы радиопульсаров // *Астрономический журнал*, 2011, том 88, с.954-965.
- 7) E.V.Nikitina, I.F.Malov. Estimations of angles between some axes in radio pulsars from catalog at 1000 MHz // *Advances in Astronomy and Space Physics*. Kyiv, 2011, P. 9-12.
- 8) E.V.Nikitina. On the structure of pulsar magnetosphere. // 18th Open Young Scientists' Conf. on Astronomy and Space Physics. Kyiv, 2011, Abstracts, p.38.
- 9) E.V.Nikitina. On the structure of pulsar magnetosphere. // 41st Young European Radio Astronomers Conference (YERAC), Manchester, UK, 18-20 July, 2011.

- 10) I.F.Malov, E.B.Nikitina. On the structure of pulsar magnetosphere // Physics of Neutron Stars - 2011, St. Petersburg, 2011, July 11-15, p.91.
- 11) Малов И. Ф., Никитина Е. Б. Распределение областей генерации излучения на разных частотах в магнитосферах пульсаров // *Астрономический журнал*, 2012, том 89, с. 769–777.
- 12) И.Ф.Малов, Е.Б.Никитина. Распределение областей генерации излучения на разных частотах в магнитосферах пульсаров // Тезисы докладов конференции , НЕА-2011, Москва, с.59.
- 13) I.F.Malov, E.B.Nikitina. On the structure of pulsar magnetospheres // *Advances in Astron. Sp. Phys.* 2012, V.2, P.28-30.
- 14) I.F.Malov, E.B.Nikitina. The distribution of areas of radiation generation at the different frequencies in the pulsar magnetospheres // *Abstracts of the 19th Open Young Scientists Conf. Kyiv, Abstracts*, P.44-45, 2012.
- 15) И.Ф.Малов, Е.Б.Никитина. Ориентация осей в пульсарах и распределение излучающих областей в их магнитосферах // Резюме докладов на конференции Астрономического общества, с.33, Москва, 2012.
- 16) I.F.Malov, E.B.Nikitina. The distribution of areas of radiation generation at different frequencies in the pulsar magnetospheres // *Advances in Astron. Sp. Phys.* 2012, V.2, P.125-127
- 17) И.Ф.Малов, Е.Б.Никитина. Бимодальность радиопульсаров с интеримпульсами // Тезисы докладов конференции НЕА-2012, М, С.54-55.
- 18) И.Ф.Малов, Е.Б.Никитина. Структура магнитосфер в радиопульсарах с нтеримпульсами // *Астрономический журнал*, 2013, том 90, № 11, с.907-918.
- 19) И.Ф. Малов, Е.Б. Никитина. Структура магнитосфер в радиопульсарах с интеримпульсами // Тезисы ВАК-2013,С.-П., 2013, с. 176.

Апробация работы:

Результаты, полученные в диссертации, докладывались на ежегодных научных сессиях АКЦ ФИАН, а также на следующих российских и международных конференциях:

- 1) 17th Young Scientists Conference on Astronomy and Space Physics (Kyiv, 2010);
- 2) 17-я Всероссийская конференция студентов-физиков и молодых ученых России (Волгоград, 2010);
- 3) Всероссийская астрономическая конференция (ВАК-2010) (Специальная астрофизическая обсерватория (САО) Российской академии наук, пос.Нижний Архыз, 2010);
- 4) Всероссийская конференция «Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра» (Москва, 2010);
- 5) 18th Young Scientists Conference on Astronomy and Space Physics (Kyiv, 2011);
- 6) 41st Young European Radio Astronomers Conference (YERAC) (Manchester, UK, 18-20 July, 2011);
- 7) International Conference «Physics of Neutron Stars - 2011» (July 11-15, 2011, St. Petersburg, Russia);
- 8) Всероссийская конференция «Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра» (Москва, 2011);
- 9) 18-я Всероссийская конференция студентов-физиков и молодых ученых России (Красноярск, 2012);
- 10) 19th Young Scientists Conference on Astronomy and Space Physics (Kyiv, 2012);
- 11) XI отчетно-перевыборный съезд Международной общественной организации "Астрономическое Общество" и научная конференция "Астрономия в эпоху информационного взрыва: результаты и проблемы" (Москва, 2012)
- 12) Всероссийская конференция «Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра» (Москва, 2012);
- 13) Всероссийская астрономическая конференция (ВАК-2013) (Санкт-Петербург, 2013).
- 14) International Conference «Physics of Neutron Stars - 2014» (July 28 –August 1, 2014, St. Petersburg, Russia);
- 15) 44st Young European Radio Astronomers Conference (YERAC) (Torun, Poland, 8-12 September, 2014).

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, основной части, содержащей четыре главы, и заключения, а также двух приложений. В диссертации 124 страницы, включая 25 рисунков и 14 таблиц. Список литературы содержит 81 ссылку.

Модель полого конуса

- μ – вектор магнитного момента
- Ω – ось вращения пульсара
- L – луч зрения наблюдателя
- ζ – угол между лучом зрения и осью вращения
- β – угол между направлением вектора магнитного момента (осью конуса излучения) и осью вращения пульсара
- θ – раскрыв конуса открытых силовых линий

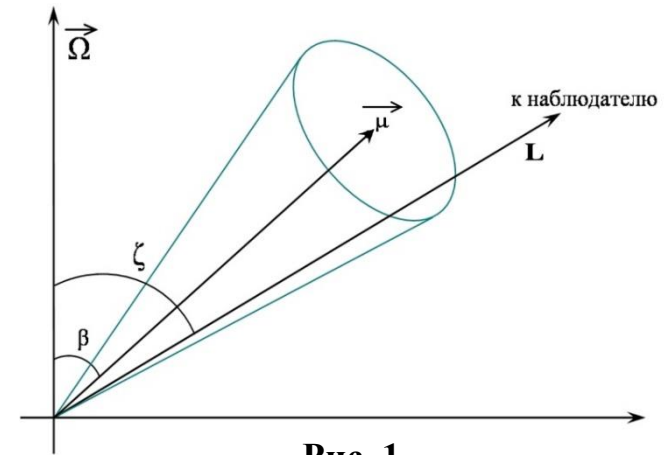


Рис. 1

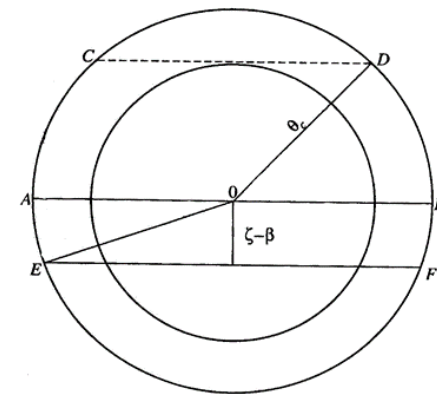


Рис. 2

T.D. van Ommen et al. «Polarimetric observations of southern pulsars at 800 and 950 MHz», Mon. Not. Roy. Astron Soc., V.287, P.307, 1997, [1]

P.Weltevrede, S.Johnston. «Profile and polarization characteristics of energetic pulsars», Mon. Not. Roy. Astron. Soc. V.391, P. 1210, 2008 [2]

1 выборка – пульсары из [2], параметры которых измерены на длине волны 10 см (132);

2 выборка – пульсары из [2], параметры которых измерены на длине волны 20 см (283);

3 выборка – пульсары из [1], параметры которых измерены на длине волны порядка 30 см (80).

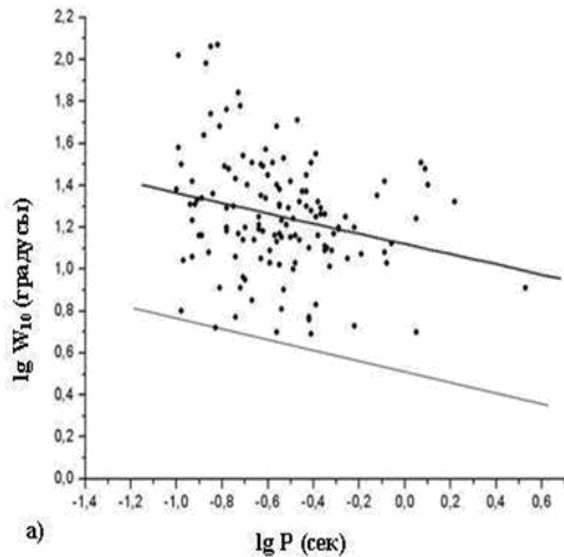
Первый способ вычисления углов β

$$\cos\theta = \cos\beta \cdot \cos\zeta + \sin\beta \cdot \sin\zeta \cdot \cos\frac{W_{10}}{2} \quad (2)$$

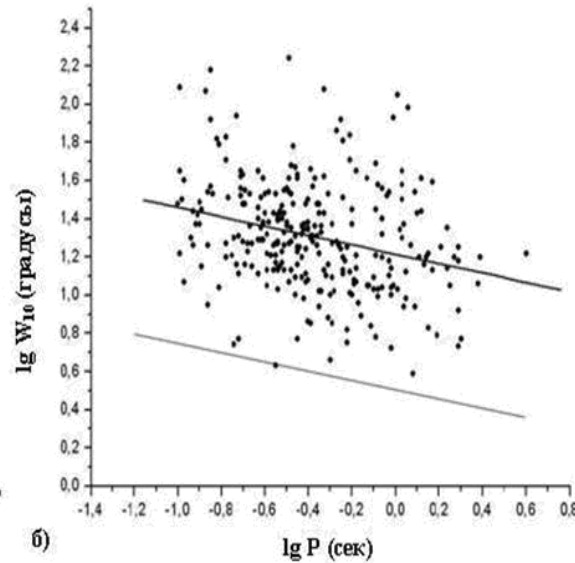
$$\beta = \zeta \quad (1)$$

$$\theta = \frac{W_{10\min}}{2} \quad (3)$$

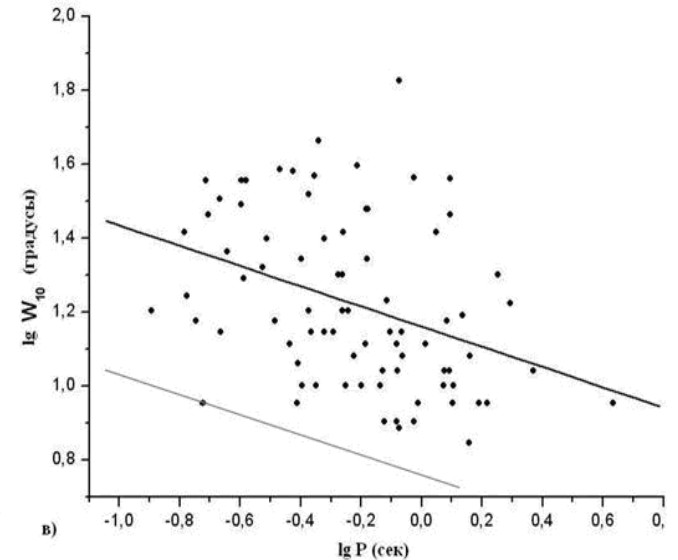
$$\beta = \arcsin \frac{\sin\frac{\theta}{2}}{\sin\frac{W_{10}}{4}} \quad (4)$$



$$\lg W_{10} = (0,51 \pm 0,05) + (-0,25 \pm 0,09) \lg P$$



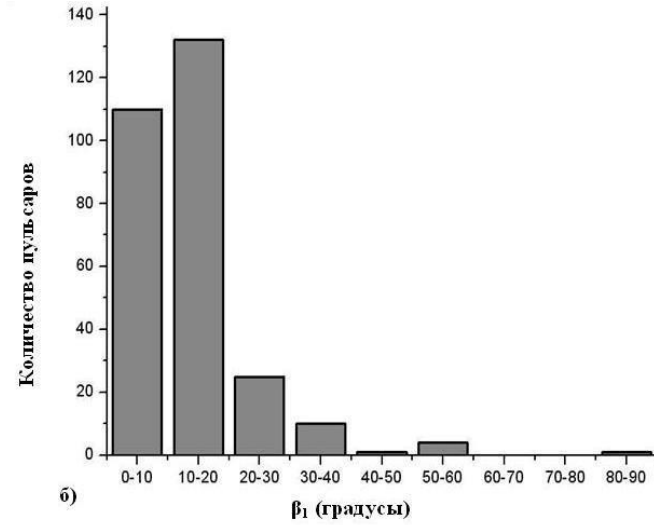
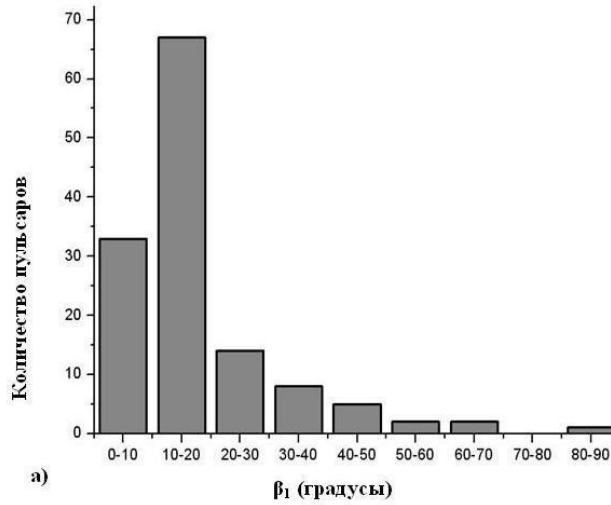
$$\lg W_{10} = (0,50 \pm 0,03) + (-0,24 \pm 0,05) \lg P$$



$$\lg W_{10} = (0,76 \pm 0,03) + (-0,27 \pm 0,08) \lg P$$

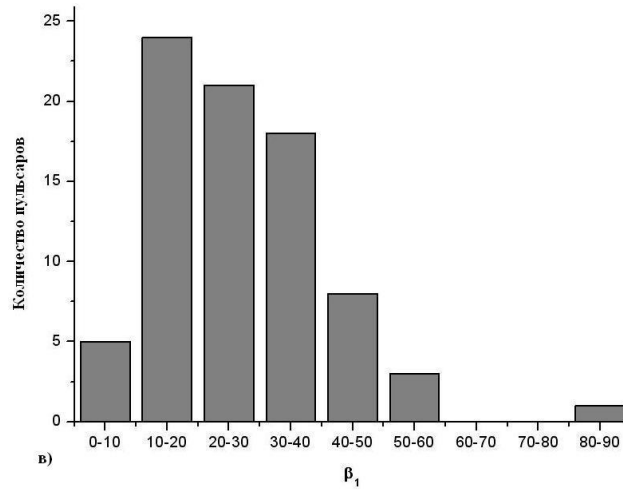
Рис. 3

Распределение углов β_1



$$\langle \beta_1 \rangle = 18^\circ$$

$$\langle \beta_1 \rangle = 14^\circ$$



$$\langle \beta_1 \rangle = 27^\circ$$

Рис. 4

Второй способ вычисления углов β

$$\begin{aligned}
 \lg W_{10} &= (1,12 \pm 0,05) + (-0,25 \pm 0,09) \lg P && \text{для 1} \\
 \lg W_{10} &= (1,22 \pm 0,03) + (-0,24 \pm 0,05) \lg P && \text{для 2} \\
 \lg W_{10} &= (1,16 \pm 0,03) + (-0,27 \pm 0,08) \lg P && \text{для 3}
 \end{aligned} \tag{5}$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\sin \beta \cdot \sin \varphi}{\sin \zeta \cdot \cos \beta - \cos \zeta \cdot \sin \beta \cdot \cos \varphi} \tag{6} \qquad \left(\frac{d\psi}{d\varphi} \right)_{\max} = \frac{\sin \beta}{\sin(\zeta - \beta)} \tag{7}$$

$$\left(\frac{d\psi}{d\varphi} \right)_{\max} = C \tag{8} \qquad \cos \frac{W_{10}}{2} = D \tag{9} \qquad \cos \theta = B \tag{10}$$

$$\begin{aligned}
 C^2(1 - D^2)y^4 + 2C(1 - D)y^3 + [1 + 2DC^2(1 - D)]y^2 + \\
 + 2C(D - B^2)y + D^2C^2 - B^2(1 + C^2) = 0
 \end{aligned} \tag{11}$$

$$y = \cos \zeta \tag{12} \qquad \operatorname{tg} \beta = \frac{C\sqrt{1 - y^2}}{1 + Cy} \tag{13}$$

С может быть > 0 и < 0 в зависимости от знака dφ

Средние значения углов β_2

10 см, $C > 0$: $\langle \beta_2 \rangle = 33,9^\circ$

10 см, $C < 0$: $\langle \beta_2 \rangle = 52,1^\circ$

20 см, $C > 0$: $\langle \beta_2 \rangle = 33,9^\circ$

20 см, $C < 0$: $\langle \beta_2 \rangle = 54,1^\circ$

30 см, $C > 0$: $\langle \beta_2 \rangle = 36,4^\circ$

30 см, $C < 0$: $\langle \beta_2 \rangle = 49,1^\circ$

Третий способ вычисления углов β

Общий вид системы уравнений:

$$(14) \quad \left\{ \begin{array}{l} \sin\beta = C \cdot \sin(\zeta - \beta) \\ \cos\theta = \cos\zeta \cdot \cos\beta + D \cdot \sin\beta \cdot \sin\zeta \\ \theta = n(\zeta - \beta) \end{array} \right.$$

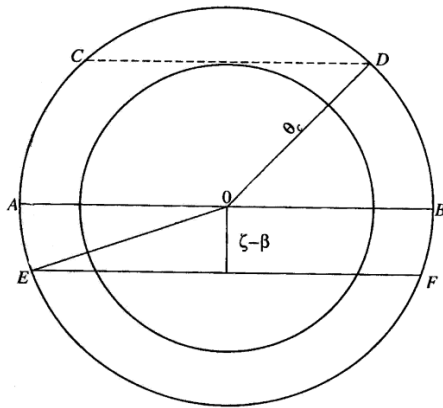


Рис. 5

Профили

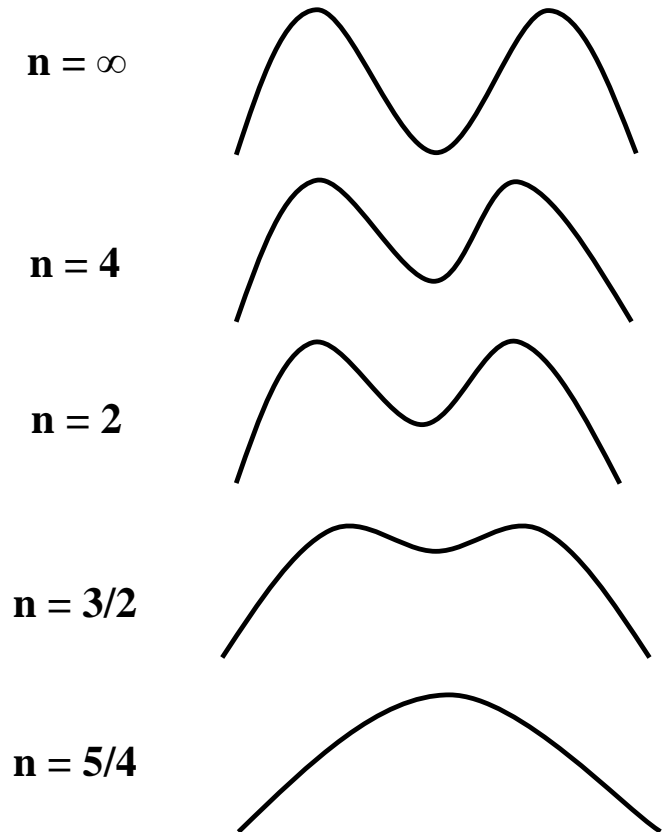


Рис. 6

Уравнения при различных n

$n = 2$

$$\begin{aligned} & 2C^3(1-D)^2y^5 + [C^4(1-D)^2 + C^2(D^2 - 6D + 5) - 4]y^4 + \\ & + 2C[C^2(1+D-2D^2) - 2-D]y^3 + [2DC^4(1-D) - C^2(2D^2 - 6D + 7) + 5]y^2 + \quad (15) \\ & + 2C[C^2D^2 + D(1+C^2) - 2(C^2 - 1)]y + C^2D^2(1+C^2) - (C^2 - 1)^2 = 0 \end{aligned}$$

$n = 3/2$

$$\left[2(y+C) - \sqrt{C^2 + 2Cy + 1}\right] \sqrt{\frac{1 + \frac{C+y}{\sqrt{C^2 + 2Cy + 1}}}{2}} - Cy^2(1-D) - y - CD = 0 \quad (16)$$

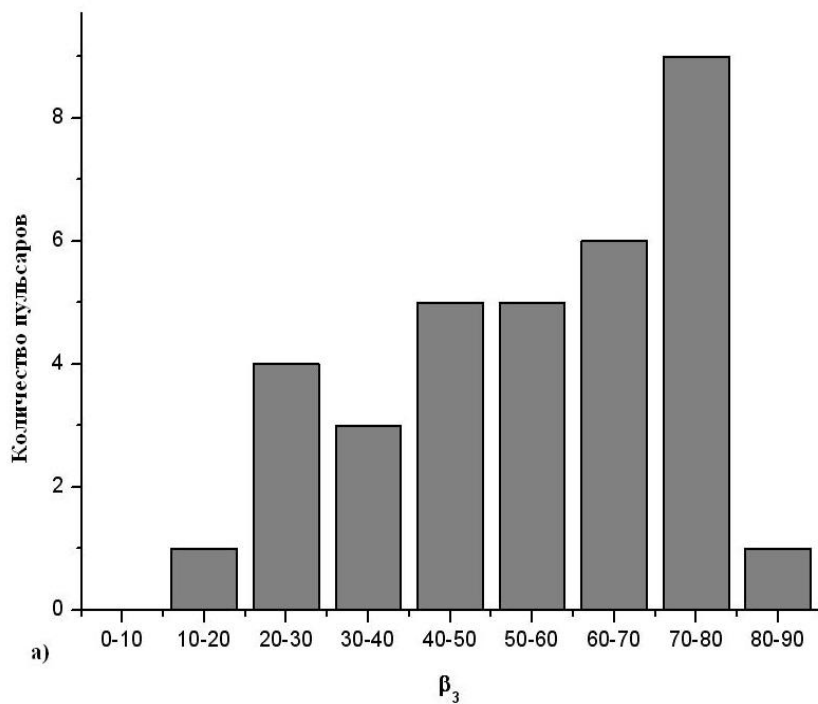
n = 5/4

$$\left(1 + \frac{2(y+C)}{\sqrt{C^2 + 2Cy + 1}} - \sqrt{2 \left(1 + \frac{C+y}{\sqrt{C^2 + 2Cy + 1}}\right)}\right) \sqrt{\frac{1 + \sqrt{\frac{1 + \frac{C+y}{\sqrt{C^2 + 2Cy + 1}}}{2}}}{2}} - \frac{Cy^2(1-D) + y + CD}{\sqrt{C^2 + 2Cy + 1}} = 0 \quad (17)$$

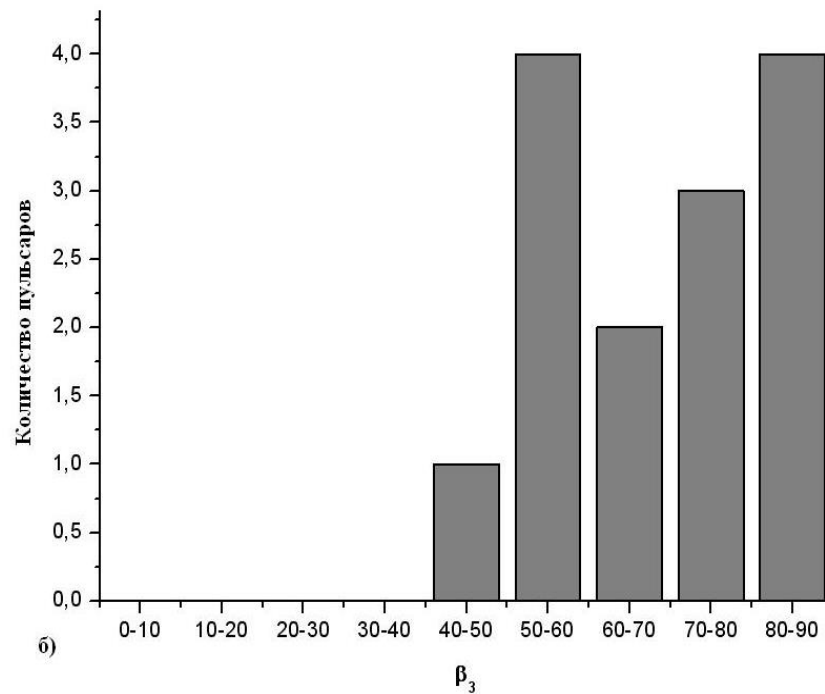
n = 4

$$(CD + y + Cy^2(1-D))\sqrt{(C^2 + 2Cy + 1)^3} - 8y^4 - 16Cy^3 - 4(3C^2 - 2)y^2 - 4C(C^2 - 3)y - C^4 + 6C^2 - 1 = 0 \quad (18)$$

Распределение углов β_3



$$\langle \beta_3 \rangle = 54^\circ,5 \quad C > 0$$



$$\langle \beta_3 \rangle = 68^\circ,7 \quad C < 0$$

Рис. 7

Определение уровней генерации излучения

Для конкретного пульсара при дипольном магнитном поле величины $\zeta - \beta$ и β фиксированы и значение производной S на всех уровнях магнитосферы должно быть одинаковым.

$$n = \frac{\theta}{\zeta - \beta} \quad (19)$$

$$\frac{\theta_{20}}{\theta_{10}} = \frac{n_{20}}{n_{10}} \quad (20)$$

$$\theta \approx \sqrt{r/r_{LC}} \quad (21)$$

$$\frac{r_{20}}{r_{10}} = \frac{n_{20}^2}{n_{10}^2} \quad (22)$$

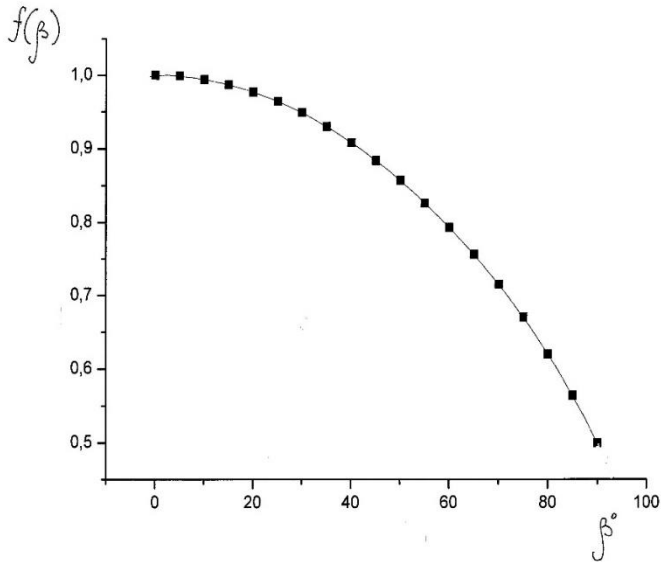
$$\begin{aligned} \lg \theta_{10} &= (1,12 \pm 0,05) + (-0,25 \pm 0,09) \lg P && \text{для длины волны 10 см} \\ \lg \theta_{20} &= (1,22 \pm 0,03) + (-0,24 \pm 0,05) \lg P && \text{для длины волны 20 см} \end{aligned} \quad (23)$$

$$\langle \theta_{20} / \theta_{10} \rangle = 1,26 \quad (24)$$

Из расчетов следует, что r_{20}/r_{10} может приближаться к 2. Для ряда пульсаров с точностью до ошибок $r_{20}/r_{10} = 1$. Однако эти объекты имеют достаточно короткие периоды и вполне возможно, что их излучение генерируется на всех частотах вблизи светового цилиндра с почти одинаковой шириной импульса на 20 и 10 см.

В случае произвольного наклона оси диполя к оси вращения ($\beta \neq 0$) угловой размер конуса излучения может быть другим. Форма полярной шапки остаётся до сих пор предметом дискуссий.

Размеры конуса открытых силовых линий в случае произвольного наклона оси диполя к оси вращения:



Вид функции $f(\beta)$

Рис. 8

$$A = \frac{9\sqrt{3}r_{LC}\sqrt{\sqrt{9 - \sin^2\beta} - \cos\beta}}{\sqrt{2}(\cos\beta\sqrt{9 - \sin^2\beta} + \sin^2\beta) \cdot \sqrt[4]{(9 - \sin^2\beta)^3}} \quad (25)$$

$$r/\sin^2\theta = A \quad (26)$$

$$r \ll r_{LC} \quad (27) \quad \theta = f(\beta)\sqrt{r/r_{LC}} \quad (28)$$

$$f(\beta) = (r_{LC}/A)^{1/2} \quad (29)$$

При определении относительного расположения уровней генерации излучения на разных частотах множитель $f(\beta)$ выпадает. Однако для оценки абсолютного расстояния уровня от нейтронной звезды этот множитель может стать существенным. Так, для углов $\beta > 60^\circ$ расстояние r при заданном θ будет в два раза больше, чем при $\beta = 0$.

Оценим абсолютные значения r_{20} и r_{10} . Одна из возможностей для такой оценки связана с использованием статистических зависимостей.

$$\theta_{10} = 6,61 \cdot P^{-0,25} \quad (30)$$

$$(r/R_*)_{10} = 63,5P^{1/2}/f^2(\beta) \quad (31)$$

Определив уровень генерации на одной из частот (1,5 или 3 ГГц), мы вычисляем уровень для второй частоты из соотношения:

$$r_2 = r_1 \cdot n_2^2/n_1^2 \quad (32)$$

Другая возможность связана с предположением о том, что генерация излучения на данном уровне осуществляется на плазменной частоте:

$$\nu = \nu_p = \sqrt{\frac{2n_p e^2}{\pi m}} \quad (33)$$

в результате развития двухпотоковой неустойчивости. Циклотронная неустойчивость может развиваться на больших расстояниях от поверхности, близко к световому цилиндру. Множитель 2 учитывает суммарную концентрацию электронов и позитронов.

Полагаем, что магнитное поле в области генерации имеет дипольную структуру, значительная часть энергии первичного пучка передаётся вторичной электрон-позитронной плазме:

$$\gamma_b n_b m c^2 \approx 2 \gamma_p n_p m c^2 \quad (34) \quad n_b = B / c e P \quad (35)$$

Расстояние соответствующего уровня до центра нейтронной звезды:

$$\frac{r}{R_*} = \sqrt[3]{\frac{e \gamma_b B_S}{\pi m c \gamma_p P v^2}} \quad (36)$$

При $B_{12} = B / 10^{12}$, $v_9 = v / 10^9$ и $\gamma_b = 10^6$, $\gamma_p = 10$:

$$\frac{r}{R_*} = 82,4 \cdot \sqrt[3]{\frac{B_{12}}{P v_9^2}} \quad (37)$$

Для оцененных выше уровней генерации:

$$\left\langle \frac{r}{R_*} (3 \text{ ГГц}) \right\rangle = 40 \quad (38), \quad \left\langle \frac{r}{R_*} (1,5 \text{ ГГц}) \right\rangle = 63 \quad (39).$$

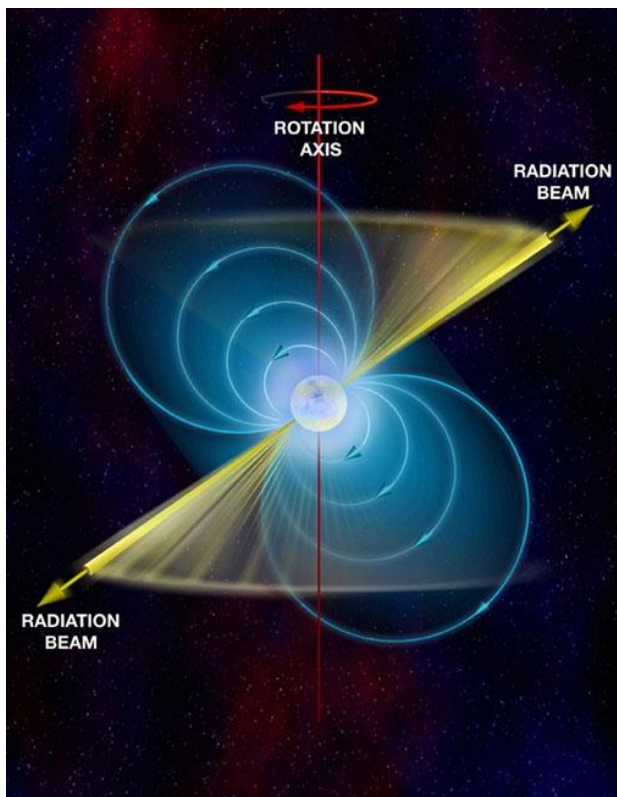


Рис. 10

Известно около 50 пульсаров с интеримпульсами - компонентами излучения, расположенными между главными импульсами.

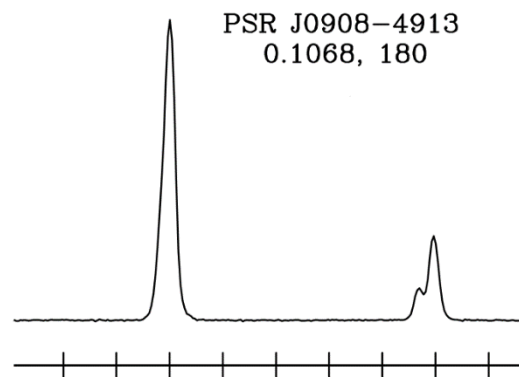


Рис. 9

(«The Parkes multibeam pulsar survey – IV. Discovery of 180 pulsars and parameters for 281 previously known pulsars» G. Hobbs et al., 2004)

Луч зрения проходит через центр конуса излучения

$$\sin \beta = \frac{\sin(\theta/2)}{\sin(W_{10}/4)} \quad (40)$$

Мы использовали значения θ , полученные в *I. F. Malov, E. B. Nikitina, Astron. Rep. 56, 693 (2012)*:

$$\sin \theta = f(\beta)(r/r_{LC})^{1/2} = 0,1565f(\beta)/(B_{12}P)^{1/4} \quad (41)$$

$$f(\beta) = \frac{\sqrt{2^{1/2}[\cos\beta(9 - \sin^2\beta)^{1/2} + \sin^2\beta]}(9 - \sin^2\beta)^{3/4}}{3\sqrt{3^{1/2}[(9 - \sin^2\beta)^{1/2} - \cos\beta]^{1/2}}} \quad (42)$$

(41) и (42) в (40)

$$\sin(W_{10}/4) = \frac{[1 - (1 - \sin^2 \theta)^{1/2}]^{1/2}}{\sqrt{2} \sin \beta} \quad (43)$$

1. M. J. Keith, S. Johnston, P. Weltevrede, and M. Kramer, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* 402, 745 (2010).
2. R. N. Manchester, P. A. Hamilton, and P. M. McCulloch, *Monthly Not. Roy. Astron.* 192, 153 (1980).
3. D. M. Gould and A. G. Lyne. *Monthly Not. Roy. Astron.* 301, 235 (1998).
4. N. D'Amico, B. W. Stappers, M. Bailes, et al., *Monthly Not. Roy. Astron.* 297, 28 (1998).
5. D. J. Morris, J. Hobbs, A. G. Lyne, et al., *Monthly Not. Roy. Astron.* 335, 275 (2002).
6. M. Kramer, J. F. Bell, R. N. Manchester, et al., *Monthly Not. Roy. Astron.* 342, 1299 (2003).
7. G. Hobbs, A. Faulkner, J. H. Stairs, et al., *Monthly Not. Roy. Astron.* 332, 1439 (2004).
8. D. R. Lorimer, A. J. Faulkner, A. G. Lyne, et al., *Monthly Not. Roy. Astron.* 372, 777 (2006).
9. M. J. Keith, R. P. Eatough, A. G. Lyne, et al., *Monthly Not. Roy. Astron.* 395, 837 (2009).

Таблица 1

№	Пульсар (J...)	P, с	W_{10} , град	β_1
1	0627+0706	0,48	7,2	74,4
2	0826+2637	0,531	6,9	119,3
3	0828-3417	1,849	132	2,5
4	0831-4406	0,312	19,6	35,5
5	0834-4159	0,12	33,8	22,8
6	0842-4851	0,644	8,6	58,4
7	0905-5127	0,346	14,9	29,5
8	0908-4913	0,107	20	24,0
9	0953+0755	0,253	30,3	29,5
10	1057-5226	0,197	34,2	17,4
11	1107-5907	0,253	26,3	71,6
12	1126-6054	0,203	24,8	42,8
13	1244-6531	1,55	6	65,9
14	1413-6307	0,395	10,2	63,3
15	1424-6438	1,02	31,1	15,2
16	1549-4848	0,288	16,8	30,3
17	1611-5209	0,182	7,4	127,7
18	1613-5234	0,66	39,7	9,0
19	1627-4706	0,14	69,2	11,1
20	1637-4450	0,25	47,1	15,3
21	1637-4553	0,119	20,4	49,6

№	Пульсар (J...)	P, с	W_{10} , град	β_1
22	1705-1906	0,299	17	36,2
23	1713-3844	1,6	8,8	20,5
24	1722-3712	0,236	13,9	47,0
25	1737-3555	0,398	8	100,1
26	1739-2903	0,323	14,9	37,5
27	1806-1920	0,88	86,8	7,9
28	1808-1726	0,24	166,2	7,5
29	1825-0935	0,769	21,7	12,1
30	1842+0358	0,23	11,1	114,5
31	1843-0702	0,19	19,2	44,3
32	1849+0409	0,76	9,7	36,5
33	1851+0418	0,29	112,2	5,6
34	1852-0118	0,45	37,2	13,3
35	1903+0925	0,36	207,7	2,0
36	1913+0832	0,13	31,1	24,1
37	1915+1410	0,3	41,5	23,5
38	1932+1059	0,227	20,7	40,1
39	1946+1805	0,441	42,6	21,1
40	2023+5037	0,37	9,1	101,3
41	2032+4127	0,14	34,4	16,7
42	2047+5029	0,45	6,4	120,8

Использование поляризационных данных

В использованной нами модели зависимость позиционного угла линейной поляризации ψ от долготы Φ выражается зависимостью:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\sin \beta \sin \Phi}{\cos \beta \sin \zeta - \sin \beta \cos \zeta \cos \Phi}. \quad (44)$$

Максимальная производная позиционного угла достигается в центре профиля и равна

$$C = \left| \frac{d\psi}{d\Phi} \right|_{\max} = \frac{\sin \beta}{\sin(\zeta - \beta)}. \quad (45)$$

Учитывая уравнение (2), мы можем оценить угол β :

$$\sin \beta \leq \frac{0,1565 C f(\beta)}{(PB_{12})^{1/4}}. \quad (46)$$

Таблица 2

№	Пульсар (J...)	β_2	№	Пульсар (J...)	β_2
1	0627+0706	37,4	22	1705-1906	65,4
2	0826+2637	79,2	23	1713-3844	
3	0828-3417	4,8	24	1722-3712	65,0
4	0831-4406		25	1737-3555	3,0
5	0834-4159		26	1739-2903	85,0
6	0842-4851		27	1806-1920	
7	0905-5127	12,7	28	1808-1726	
8	0908-4913	40,2	29	1825-0935	9,1
9	0953+0755	30,0	30	1842+0358	
10	1057-5226	18,8	31	1843-0702	
11	1107-5907		32	1849+0409	
12	1126-6054		33	1851+0418	5,9
13	1244-6531	18,9	34	1852-0118	
14	1413-6307		35	1903+0925	
15	1424-6438		36	1913+0832	
16	1549-4848	73,0	37	1915+1410	
17	1611-5209	98,7	38	1932+1059	12,8
18	1613-5234		39	1946+1805	13,0
19	1627-4706		40	2023+5037	45,5
20	1637-4450		41	2032+4127	11,8
21	1637-4553	104,4	42	2047+5029	

Вычисление угла β по ширине профиля и максимальной производной позиционного угла

$$\cos \theta = \cos \beta \cos \zeta + \sin \beta \sin \zeta \cos(W_{10}/2) \quad (47)$$

Два других уравнения:

$$\sin \theta = f(\beta)(r/r_{LC})^{\frac{1}{2}} = 0,1565f(\beta)/(B_{12}P)^{1/4} \quad (48)$$

$$C = \left| \frac{d\psi}{d\varphi} \right|_{max} = \frac{\sin \beta}{\sin(\zeta - \beta)} \Rightarrow$$

$$tg \beta = \frac{C(1 - \cos^2 \zeta)^{1/2}}{1 + C \cos \zeta} \quad (49)$$

Решая систему относительно θ , ζ и β , мы получим значения угла β . Вычисления проводились при $C > 0$ и $C < 0$.

Таблица 3

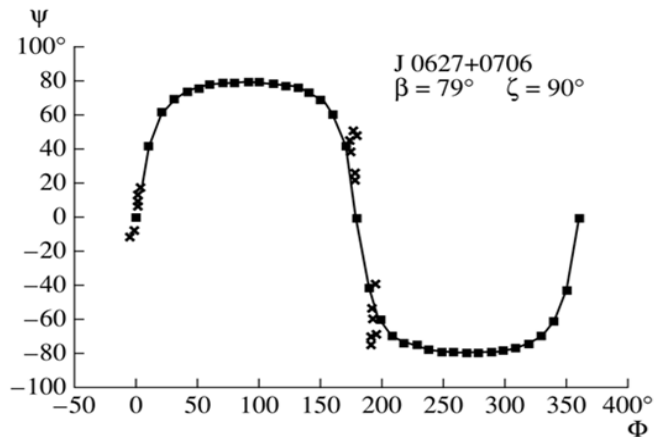
№	Пульсар (J...)	P, с	β_3		№	Пульсар (J...)	P, с	β_3	
			C>0	C<0				C>0	C<0
1	0627+0706	0,48	40,6	73,7	22	1705-1906	0,299	42,3	70,4
2	0826+2637	0,531	41,1	65,3	23	1713-3844	1,6		
3	0828-3417	1,849		22,2	24	1722-3712	0,236	41,5	70,2
4	0831-4406	0,312			25	1737-3555	0,398	16,4	12,4
5	0834-4159	0,12			26	1739-2903	0,323	43,3	63,6
6	0842-4851	0,644			27	1806-1920	0,88		
7	0905-5127	0,346	35,1	23,0	28	1808-1726	0,24		
8	0908-4913	0,107	39,2	27,2	29	1825-0935	0,769	35,6	16,6
9	0953+0755	0,253	36,4	24,2	30	1842+0358	0,23		
10	1057-5226	0,197	35,4	23,3	31	1843-0702	0,19		
11	1107-5907	0,253			32	1849+0409	0,76		
12	1126-6054	0,203			33	1851+0418	0,29		16,6
13	1244-6531	1,55	41,0	23,3	34	1852-0118	0,45		
14	1413-6307	0,395			35	1903+0925	0,36		
15	1424-6438	1,02			36	1913+0832	0,13		
16	1549-4848	0,288	52,4	55,0	37	1915+1410	0,3		
17	1611-5209	0,182	46,2	62,2	38	1932+1059	0,227	28,8	
18	1613-5234	0,66			39	1946+1805	0,441	27,6	18,2
19	1627-4706	0,14			40	2023+5037	0,37	39,3	76,9
20	1637-4450	0,25			41	2032+4127	0,14		20,4
21	1637-4553	0,119	42,4	60,1	42	2047+5029	0,45		

Аппроксимация модельной кривой наблюдаемых значений позиционного угла

Для ряда пульсаров были проведены поляризационные измерения в главном импульсе и в интеримпульсе, Для таких объектов мы можем вписать модельную зависимость

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\sin \beta \sin \Phi}{\cos \beta \sin \zeta - \sin \beta \cos \zeta \cos \Phi} \quad (50)$$

при разных значениях β и ζ , в массив наблюдаемых точек и по наилучшему их согласию получить наиболее вероятную величину β .



Модельная кривая для пульсара J0627+0706. Крестиками показаны измеренные значения позиционного угла.

Рис. 11

Таблица 4

№	Пульсар (J...)	P, с	β_4	№	Пульсар (J...)	P, с	β_4
1	0627+0706	0,48	79, 86 [1]	22	1705-1906	0,299	-
2	0826+2637	0,531	<89,5> (компиляция в [2])	23	1713-3844	1,6	-
3	0828-3417	1,849	10 [3]	24	1722-3712	0,236	82, 90,7 [1]
4	0831-4406	0,312	-	25	1737-3555	0,398	-
5	0834-4159	0,12	-	26	1739-2903	0,323	80, 84,2 [1]
6	0842-4851	0,644	-	27	1806-1920	0,88	-
7	0905-5127	0,346	-	28	1808-1726	0,24	-
8	0908-4913	0,107	96[4]	29	1825-0935	0,769	9
9	0953+0755	0,253	18,9 <7,3> [3, 5, 6]	30	1842+0358	0,23	-
10	1057-5226	0,197	6,8	31	1843-0702	0,19	-
11	1107-5907	0,253	-	32	1849+0409	0,76	-
12	1126-6054	0,203	-	33	1851+0418	0,29	-
13	1244-6531	1,55	-	34	1852-0118	0,45	-
14	1413-6307	0,395	-	35	1903+0925	0,36	-
15	1424-6438	1,02	-	36	1913+0832	0,13	-
16	1549-4848	0,288	90[1]	37	1915+1410	0,3	-
17	1611-5209	0,182	-	38	1932+1059	0,227	<26> (компиляция в [2])
18	1613-5234	0,66	-	39	1946+1805	0,441	5
19	1627-4706	0,14	-	40	2023+5037	0,37	66
20	1637-4450	0,25	-	41	2032+4127	0,14	5
21	1637-4553	0,119	-	42	2047+5029	0,45	-

1. M. J. Keith, S. Johnston, P. Weltevrede, and M. Kramer, Monthly Not. Roy. Astron. Soc. 402, 745 (2010).
2. V. E. Zavlin and G. G. Pavlov, Astrophys. J. 616, 452 (2004).
3. A. G. Lyne and R. N. Manchester, Monthly Not. Roy. Astron. 234, 477 (1988).
4. M. Kramer and S. Johnston, Monthly Not. Roy. Astron. 390, 87 (2008).
5. R. N. Manchester, G. B. Hobbs, A. Teoh, and M. Hobbs, Astron. J. 129, 1993 (2005).
6. R. N. Manchester, P. A. Hamilton, and P. M. McCulloch, Monthly Not. Roy. Astron. 192, 153 (1980).

Поляризационные измерения на долготах интеримпульса, как правило, скудны, и основные данные приходится на главный импульс.

$d\phi > 0$:

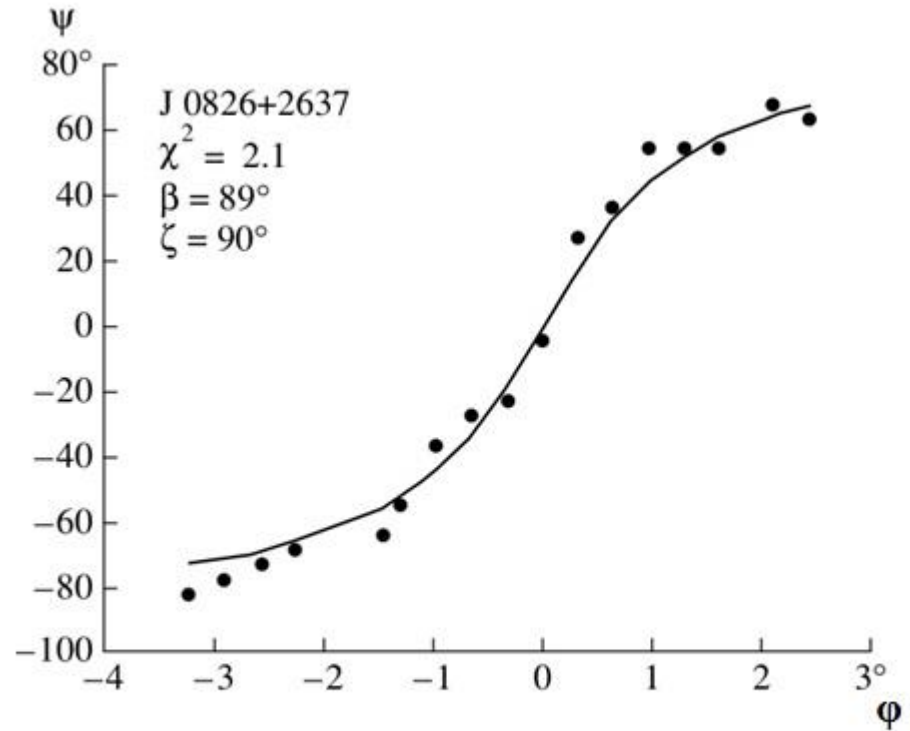
$$\left. \begin{array}{l} C > 0 \\ C_1 < 0 \end{array} \right\} (\zeta - \beta) > 0$$

$$\left. \begin{array}{l} C < 0 \\ C_1 < 0 \end{array} \right\} (\zeta - \beta) < 0$$

$d\phi < 0$:

$$\left. \begin{array}{l} C < 0 \\ C_1 > 0 \end{array} \right\} (\zeta - \beta) > 0$$

$$\left. \begin{array}{l} C > 0 \\ C_1 > 0 \end{array} \right\} (\zeta - \beta) < 0$$



Пример аппроксимации модельной кривой хода позиционного угла в главном импульсе пульсара В0823+26.

Рис. 12

Использование дополнительных аргументов для оценки угла β

При ортогональности магнитного момента и оси вращения расстояние между МР и IP должно быть очень близко к 180° и, кроме того, оно не должно зависеть от частоты. В случае соосных пульсаров расстояние МР–IP может быть в принципе любым (в том числе и равным 180°) и может зависеть от частоты.

Соосные - расстояния МР–IP более чем на 10° отличаются от 180° и/или $\beta < 30^\circ$:

PSR J0828-3417, 0831-4406, 0834-4159, 0953+0755, 1057-5226, 1244-6531, 1424-6438, 1627-4706, 1637-4450, 1737-3555, 1806-1920, 1808-1726, 1825-0935, 1851+0418, 1852-0118, 1903+0925, 1932+1059, 1946+1805, 2032+4127.

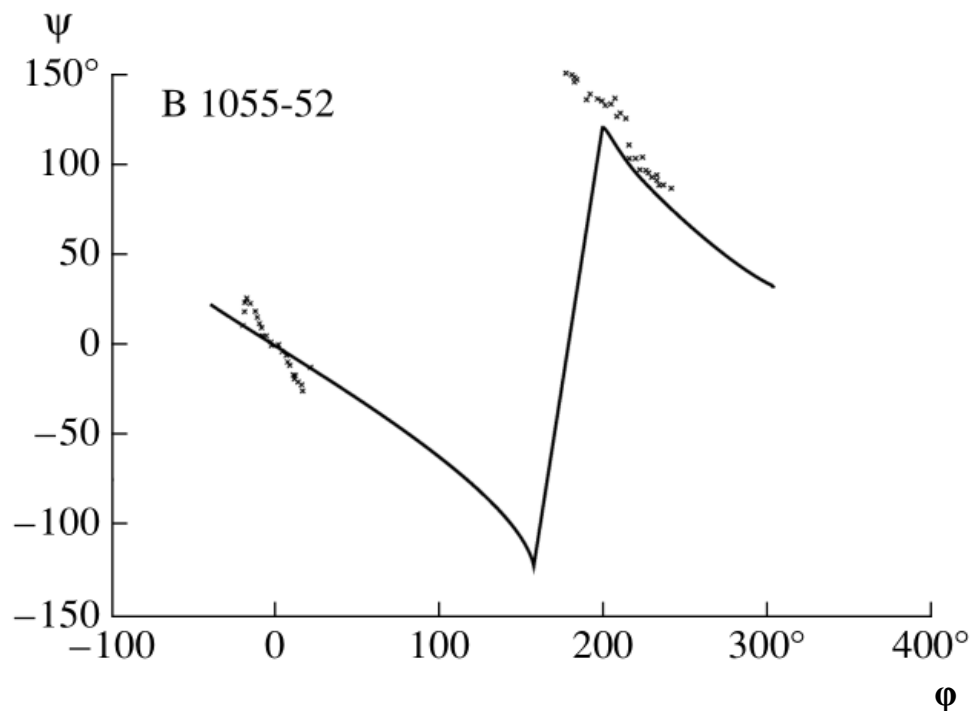
Ортогональные – расстояния МР–IP не сильно отличаются от 180° и оценки β высоки: PSR J0842-4851, 0908-4913, 1107-5907, 1126-6054, 1413-6307, 1549-4848, 1637-4553, 1705-1906, 1722-3712, 1739-2903.

Для 13 пульсаров расстояния МР–IP близки к 180° , но для них нет надежных оценок β .

✓ **PSR B0950+08.** Согласно нашим оценкам $\beta = 18^\circ,9$ и $\zeta = 6^\circ,7$ этот пульсар относится к ротаторам, близким к соосным.

✓ **PSR B1055-52.** Значения β заключены в интервале от 8° до 20° , что свидетельствует о его принадлежности к соосным объектам.

✓ **PSR B1822-09.** Наши оценки угла β для этого источника дают значение 9° . Это соосный ротатор.



Представление хода позиционного угла ψ в пульсаре B1055-52 при $\beta = 6,8^\circ$ и $\zeta = -5,0^\circ$ (сплошная кривая) вместе с измеренными значениями ψ (крестики).

Рис. 13

Оценка возраста объектов:

- ✓ характеристический возраст $\tau = P/(2dP/dt)$,
- ✓ расстояние $|z|$ пульсара от плоскости Галактики,
- ✓ светимость L .

R. N. Manchester, G. B. Hobbs, A. Teoh, and M. Hobbs, *Astron. J.* 129, 1993 (2005)

$$\begin{array}{ll} \beta < 30^\circ: & \beta > 60^\circ: \\ \langle \lg \tau \rangle = 6,35 \pm 1,06, & \langle \lg \tau \rangle = 5,59 \pm 1,12, \\ \langle \lg L \rangle = 1,50 \pm 0,47, & \langle \lg L \rangle = 2,25 \pm 0,53, \\ \langle |z| \rangle = (0,23 \pm 0,23) \text{ кпк}, & \langle |z| \rangle = (0,14 \pm 0,14) \text{ кпк}. \end{array} \quad (51)$$

Медианы распределений составляют:

$$\begin{array}{ll} \beta < 30^\circ: & \beta > 60^\circ: \\ \tau = 3,8 \times 10^6 \text{ лет}, & \tau = 7,5 \times 10^5 \text{ лет}, \\ L = 40,0 \text{ мЯн кпк}^2, & L = 188,5 \text{ мЯн кпк}^2, \\ |z| = 0,21 \text{ кпк}, & |z| = 0,085 \text{ кпк}. \end{array} \quad (52)$$

Основные результаты, выносимые на защиту:

1. На основе данных о структуре импульсов и ходе позиционного угла линейной поляризации на частотах около 1 ГГц для 80 пульсаров проведены оценки угла β между осью вращения и магнитным моментом нейтронной звезды. Вычисления проведены с использованием нескольких методов. Выведены уравнения для определения угла β при различной форме наблюдаемого профиля. Получены их решения для 34 пульсаров. Проведено сравнение величин β , вычисленных различными способами.
2. Вычислены значения углов по данным на 10 и 20 см для более 300 пульсаров.
3. Определены отношения радиуса конуса излучения к минимальному расстоянию луча зрения от центра этого конуса для нескольких десятков пульсаров по данным на 10 и 20 см. Оценены абсолютные значения расстояний от центра нейтронной звезды до уровней генерации излучения на данных частотах. Эти оценки хорошо согласуются между собой и дают радиусы генерации порядка нескольких десятков радиусов нейтронной звезды. При проведении вычислений учтено возможное изменение размеров полярной шапки, связанное с наклоном конуса излучения к оси вращения пульсара, т.е. влияние угла β .

4. Проведено исследование пульсаров с интеримпульсами. В ряде пульсаров $\beta < 20^\circ$, и для них можно ожидать не только интеримпульсы, но и межимпульсное излучение и корреляции в поведении интеримпульсов и главных импульсов. В других пульсарах этот угол больше 60° , и при достаточно широком конусе излучения и благоприятной ориентации луча зрения наблюдателя возможно появление интеримпульсов. Таким образом, подтверждается высказанное ранее предположение о двух типах пульсаров с интеримпульсами – соосных и ортогональных.
5. Обнаружено, что возраст пульсаров с интеримпульсами и $\beta > 60^\circ$ в несколько раз меньше, чем у пульсаров, имеющих интеримпульсы и $\beta < 30^\circ$.
6. В результате проведенных исследований сделаны выводы о структуре магнитосферы пульсаров: определены углы, характеризующие эту структуру; оценены уровни генерации излучения на разных частотах; подтверждена дипольность магнитного поля пульсара.

Спасибо за внимание!

Замечания ведущей организации

Замечание 5:

P.Weltevrede and G.Wright, MNRAS, v.395, p.2117 (2009)

T.D. van Ommen et al. «Polarimetric observations of southern pulsars at 800 and 950 MHz», MNRAS, v.287, p.307 (1997) – ссылка [21], результаты подробно обсуждаются в п.2.5 Главы I диссертации.

Замечания оппонента Чугая Н.Н.

Замечание: ... зависимость $W(P)$ (рис.5) практически совпадает с тем, что получено в работе Weltevrede et al. (2008) и это не обсуждается в диссертации.

Замечание: ... В случае исследования зависимости высоты генерации от частоты было бы целесообразно сопоставить результат с работой Mitra & Rankin (2002)

Замечание: Автор ограничился представлением собственных результатов и не озаботился сравнением их с тем, что сделано другими авторами.

ν (МГц)	b	Ссылка
111	$0,45 \pm 0,08$	Малов О.И., Малофеев В.М. Профили средних импульсов радиопульсаров на 102 и 111 МГц // <i>Астрономический журнал</i> . 2010. Т. 87. С. 238.
408	$0,36 \pm 0,05$	Manchester R. N., Taylor J. H. Observed and derived parameters for 330 pulsars // <i>Astronomical Journal</i> . 1981. V. 86. P. 1953-1973. Малов И.Ф об углах между осью магнитного диполя и осью вращения в пульсарах // <i>Астрофизика</i> . 1986. т. 24. с. 507
800-950	$0,27 \pm 0,08$	Малов И.Ф., Никитина Е.Б. Углы между осью вращения и магнитным моментом в 80 радиопульсарах по данным наблюдений на частотах около 1 ГГц // <i>Астрономический журнал</i> . 2011. т. 88. с. 22
1500	$0,24 \pm 0,05$	Малов И.Ф., Никитина Е.Б. О геометрии магнитосферы радиопульсаров// <i>Астрономический журнал</i> . 2011. т. 88. с. 954
3000	$0,25 \pm 0,09$	Малов И.Ф., Никитина Е.Б. О геометрии магнитосферы радиопульсаров// <i>Астрономический журнал</i> . 2011. т. 88. с. 954

Замечания оппонента Бирюкова А.В.

Замечание 1 и 4:

$$C^2(1 - D^2)y^4 + 2C(1 - D)y^3 + [1 + 2DC^2(1 - D)]y^2 + \quad (1)$$

$$+ 2C(D - B^2)y + D^2C^2 - B^2(1 + C^2) = 0$$

$$C^2(1 - D)^2y^4 + 2C(1 - D)y^3 + [1 + 2DC^2(1 - D)]y^2 + \quad (2)$$

$$+ 2C(D - B^2)y + D^2C^2 - B^2(1 + C^2) = 0$$

λ , см	β_2 , град (прежние значения)		β_2 , град (новые значения)	
	$C > 0$	$C < 0$	$C > 0$	$C < 0$
10	33,9	52,1	30,9	31,1
20	33,9	54,1	29,5	31,6
30	36,4	49,1	32,2	34,2

Таблица 1. Пульсары без интеримпульсов

№	Пульсар	<β> new	<β> old	№	Пульсар	<β> new	<β> old	№	Пульсар	<β> new	<β> old	№	Пульсар	<β> new	<β> old
1	J0034-0721	7,3	7,3	33	J0729-1448	9,5	9,5	65	J0934-5249	40,0	42,7	97	J1114-6100	8,9	8,9
2	J0051+0423	5,5	5,5	34	J0729-1836	11,6	11,6	66	J0941-5244	14,6	14,6	98	J1115-6052	26,9	28,7
3	J0108-1431	9,5	23,9	35	J0738-4042	17,9	29,7	67	J0942-5552	33,2	39,9	99	J1116-4122	46,7	46,7
4	J0134-2937	16,3	16,3	36	J0742-2822	35,4	37,9	68	J0942-5657	33,7	33,7	100	J1119-6127	13,8	27,1
5	J0151-0635	4,3	4,3	37	J0745-5353	25,8	32,4	69	J0953+0755	15,6	15,6	101	J1123-4844	13,2	13,2
6	J0152-1637	28,0	31,0	38	J0749-4247	20,6	20,6	70	J0954-5430	45,3	45,6	102	J1123-6259	27,7	30,3
7	J0206-4028	35,8	35,8	39	J0809-4753	24,9	24,9	71	J0955-5304	25,2	25,2	103	J1126-6054	18,7	18,7
8	J0211-8159	4,8	4,8	40	J0820-1350	58,8	58,8	72	J1001-5507	47,9	47,9	104	J1126-6942	15,6	15,6
9	J0255-5304	35,8	35,8	41	J0820-3921	4,0	4,0	73	J1003-4747	12,0	12,0	105	J1133-6250	1,7	1,7
10	J0304+1932	10,7	10,7	42	J0821-3824	9,6	9,6	74	J1015-5719	5,4	20,5	106	J1136+1551	46,2	47,5
11	J0401-7608	30,9	32,3	43	J0821-4221	10,1	10,1	75	J1016-5345	29,2	29,2	107	J1137-6700	2,6	2,6
12	J0448-2749	13,3	13,3	44	J0834-4159	14,3	14,3	76	J1016-5857	7,9	7,9	108	J1138-6207	28,8	28,8
13	J0450-1248	7,4	7,4	45	J0837+0610	32,5	32,5	77	J1017-5621	22,1	22,1	109	J1141-3107	11,1	11,1
14	J0452-1759	15,0	15,0	46	J0837-4135	55,9	56,6	78	J1019-5749	10,3	30,9	110	J1141-3322	9,4	9,4
15	J0459-0210	13,5	13,5	47	J0838-2621	6,9	6,9	79	J1020-6026	4,5	4,5	111	J1143-5158	22,4	22,4
16	J0520-2553	13,1	13,1	48	J0843-5022	14,3	14,3	80	J1032-5911	8,1	8,1	112	J1146-6030	13,6	13,6
17	J0525+1115	13,3	13,3	49	J0846-3533	12,4	12,4	81	J1034-3224	1,9	1,9	113	J1157-6224	19,5	19,5
18	J0533+0402	18,4	18,4	50	J0849-6322	10,2	10,2	82	J1036-4926	17,6	17,6	114	J1204-6843	18,2	18,2
19	J0536-7543	24,6	31,2	51	J0855-3331	47,7	47,7	83	J1038-5831	17,2	17,2	115	J1215-5328	7,2	7,2
20	J0540-7125	10,8	10,8	52	J0856-6137	13,4	13,4	84	J1043-6116	18,4	18,4	116	J1216-6223	9,7	9,7
21	J0543+2329	11,0	11,0	53	J0857-4424	13,4	13,4	85	J1046-5813	19,2	19,2	117	J1224-6407	26,1	26,1
22	J0601-0527	10,5	10,5	54	J0901-4624	10,4	10,4	86	J1047-3032	5,0	5,0	118	J1225-5556	17,3	17,3
23	J0614+2229	33,9	35,5	55	J0902-6325	12,4	12,4	87	J1047-6709	14,1	14,1	119	J1225-6408	11,7	11,7
24	J0624-0424	8,2	8,2	56	J0905-4536	2,2	2,2	88	J1048-5832	37,9	38,9	120	J1231-4609	7,5	7,5
25	J0630-2834	19,1	30,8	57	J0905-5127	19,1	21,9	89	J1052-5954	19,6	19,6	121	J1236-5033	9,0	9,0
26	J0631+1036	10,1	10,1	58	J0907-5157	20,3	30,3	90	J1055-6028	12,1	12,1	122	J1240-4124	31,5	31,5
27	J0636-4549	27,0	27,0	59	J0908-4913	29,4	29,4	91	J1056-6258	21,7	28,9	123	J1243-6423	58,9	58,9
28	J0656-2228	20,3	20,3	60	J0922+0638	41,1	43,1	92	J1057-5226	16,4	27,8	124	J1244-5053	18,5	18,5
29	J0656-5449	13,8	13,8	61	J0924-5302	17,8	17,8	93	J1059-5742	54,5	55,5	125	J1248-6344	6,3	6,3
30	J0659+1414	14,9	25,9	62	J0924-5814	4,8	4,8	94	J1110-5637	12,1	12,1	126	J1253-5820	15,2	15,2
31	J0709-5923	30,1	30,1	63	J0932-3217	30,0	30,0	95	J1112-6613	10,6	10,6	127	J1301-6305	3,7	3,7
32	J0719-2545	16,4	16,4	64	J0934-4154	13,2	13,2	96	J1112-6926	11,7	11,7	128	J1305-6455	6,4	6,4

№	Пульсар	<β> new	<β> old	№	Пульсар	<β> new	<β> old	№	Пульсар	<β> new	<β> old	№	Пульсар	<β> new	<β> old
129	J1305-6203	20,6	25,7	161	J1507-6640	43,4	43,4	193	J1604-4909	31,1	31,1	225	J1651-4246	10,0	27,3
130	J1306-6617	5,3	5,3	162	J1512-5759	34,8	36,5	194	J1605-5257	4,5	4,5	226	J1651-7642	7,1	7,1
131	J1319-6056	16,8	16,8	163	J1513-5908	6,8	22,8	195	J1607-0032	26,9	26,9	227	J1652-1400	9,6	9,6
132	J1320-5359	32,9	34,7	164	J1514-4834	21,3	21,3	196	J1609-1930	27,8	27,8	228	J1653-3838	16,5	16,5
133	J1320-3512	9,6	9,6	165	J1514-5925	27,7	38,1	197	J1611-5209	58,3	58,3	229	J1654-2713	15,9	15,9
134	J1326-5859	32,1	38,3	166	J1515-5720	13,1	13,1	198	J1612-2408	14,7	14,7	230	J1655-3048	2,9	2,9
135	J1327-6222	19,9	19,9	167	J1517-4356	17,9	17,9	199	J1614-3937	11,3	11,3	231	J1700-3312	11,9	11,9
136	J1327-6301	6,5	6,5	168	J1522-5829	9,5	9,5	200	J1614-5048	17,4	17,4	232	J1701-4533	6,9	6,9
137	J1327-6400	10,0	10,0	169	J1524-5706	42,8	43,1	201	J1615-5537	18,2	18,2	233	J1701-3726	9,4	9,4
138	J1333-4449	24,1	24,1	170	J1528-4109	20,8	20,8	202	J1626-4807	7,4	7,4	234	J1702-4128	28,0	33,9
139	J1339-4712	34,5	34,5	171	J1530-5327	16,5	16,5	203	J1632-4757	15,3	15,3	235	J1702-4306	11,5	11,5
140	J1340-6456	9,9	9,9	172	J1531-4012	16,5	16,5	204	J1632-4818	16,4	16,4	236	J1702-4310	11,3	29,0
141	J1341-6220	20,6	20,6	173	J1534-5334	19,9	19,9	205	J1633-5015	13,9	13,9	237	J1703-3241	55,5	56,6
142	J1349-6130	38,4	39,5	174	J1534-5405	9,8	9,8	206	J1637-4553	18,0	18,0	238	J1703-4851	10,2	10,2
143	J1352-6803	8,6	8,6	175	J1535-4114	12,2	12,2	207	J1637-4642	14,5	28,9	239	J1705-1906	44,5	46,6
144	J1356-5521	9,2	9,2	176	J1536-3602	6,2	6,2	208	J1638-4417	11,6	11,6	240	J1705-3950	27,4	34,6
145	J1357-6429	8,6	25,9	177	J1538-5551	63,8	63,8	209	J1638-4608	62,6	62,6	241	J1709-1640	60,7	61,2
146	J1359-6038	34,7	37,3	178	J1539-5626	22,8	27,2	210	J1638-4725	8,9	8,9	242	J1709-4429	19,0	29,9
147	J1401-6357	35,6	35,6	179	J1541-5535	25,3	25,3	211	J1639-4604	10,4	10,4	243	J1713-3949	38,0	38,0
148	J1403-7646	4,2	4,2	180	J1542-5034	32,8	32,8	212	J1640-4715	14,3	14,3	244	J1714-1054	26,6	26,6
149	J1406-6121	41,9	41,9	181	J1543-5459	44,3	44,3	213	J1641-2347	7,6	7,6	245	J1715-3903	11,7	21,8
150	J1410-7404	87,8	87,8	182	J1548-5607	9,1	9,1	214	J1643-4505	14,6	14,6	246	J1717-5800	5,8	5,8
151	J1412-6145	14,2	14,2	183	J1549-4848	16,7	16,7	215	J1644-4559	5,9	8,5	247	J1718-3718	17,2	17,2
152	J1413-6307	38,0	38,0	184	J1551-5310	18,4	18,4	216	J1646-4346	16,8	16,8	248	J1719-4006	13,5	13,5
153	J1415-6621	17,9	17,9	185	J1557-4258	12,6	12,6	217	J1645-0317	14,2	14,2	249	J1721-3532	32,3	37,0
154	J1427-4158	13,6	13,6	186	J1559-4438	25,1	25,1	218	J1646-6831	19,4	28,7	250	J1722-3207	30,0	30,0
155	J1428-5530	32,9	36,1	187	J1600-5044	21,5	28,7	219	J1648-4611	20,1	23,8	251	J1722-3632	7,2	7,2
156	J1430-6623	25,9	25,9	188	J1600-5751	5,4	5,4	220	J1649-4653	19,3	19,3	252	J1722-3712	42,3	43,7
157	J1452-5851	21,5	25,3	189	J1601-5335	14,0	14,0	221	J1649-5553	3,0	3,0	253	J1723-3659	23,8	31,0
158	J1453-6413	44,2	44,7	190	J1602-5100	23,7	23,7	222	J1650-1654	11,7	11,7	254	J1726-3530	39,1	39,1
159	J1456-6843	24,2	31,4	191	J1603-3539	7,9	7,9	223	J1650-4502	46,1	46,1	255	J1730-3350	65,9	66,0
160	J1507-4352	23,5	23,5	192	J1603-5657	54,4	54,4	224	J1650-4921	32,8	32,8	256	J1731-4744	28,5	28,5

№	Пульсар	<β> new	<β> old	№	Пульсар	<β> new	<β> old	№	Пульсар	<β> new	<β> old	№	Пульсар	<β> new	<β> old
257	J1733-2228	5,1	5,1	289	J1805-0619	10,4	10,4	321	J1837+1221	18,7	18,7	353	J1919+0134	9,1	9,1
258	J1733-3716	14,1	28,2	290	J1806-2125	18,2	18,2	322	J1837-1837	20,4	20,4	354	J1932+1059	17,7	28,0
259	J1734-3333	17,3	29,2	291	J1807-0847	21,1	21,1	323	J1838-0453	14,8	14,8	355	J1932-3655	16,2	16,2
260	J1735-3258	10,2	10,2	292	J1808-0813	11,9	11,9	324	J1838-0549	12,7	12,7	356	J1941-2602	47,1	47,1
261	J1737-3137	15,0	23,3	293	J1808-3249	13,2	13,2	325	J1839-0905	13,6	13,6	357	J1943+0609	13,3	13,3
262	J1737-3555	19,4	19,4	294	J1809-0743	10,0	10,0	326	J1841-0345	7,5	7,5	358	J1943-1237	39,9	39,9
263	J1738-2955	20,3	20,3	295	J1811-0154	12,3	12,3	327	J1841-0425	28,3	30,4	359	J1944-1750	4,9	4,9
264	J1739+0612	10,3	10,3	296	J1812-1910	9,2	9,2	328	J1841-7845	5,7	5,7	360	J1946+1805	7,3	11,1
265	J1739-1313	50,7	50,7	297	J1814-1744	7,9	7,9	329	J1842-0905	11,5	11,5	361	J1946-2913	17,0	17,0
266	J1739-2903	23,1	23,1	298	J1815-1738	32,8	32,8	330	J1842+1332	1,9	1,9	362	J1946-1312	14,9	14,9
267	J1739-3023	24,4	27,8	299	J1816-5643	14,0	14,0	331	J1843-0355	7,0	7,0	363	J1947+0915	12,3	12,3
268	J1740-3015	41,1	41,1	300	J1817-3837	24,8	24,8	332	J1843-0702	21,6	21,6	364	J1949-2524	37,9	37,9
269	J1741-3927	58,4	58,9	301	J1819+1305	5,7	5,7	333	J1844-0256	5,4	5,4	365	J1956+0838	8,1	8,1
270	J1742-4616	6,1	6,1	302	J1820-0427	37,1	37,1	334	J1844-0538	20,3	25,2	366	J2006-0807	3,2	3,2
271	J1743-3150	12,8	12,8	303	J1820-1529	23,4	23,4	335	J1845-0316	6,3	6,3	367	J2007+0809	1,5	1,5
272	J1743-3153	7,4	7,4	304	J1820-1818	8,9	8,9	336	J1845-0434	24,3	27,3	368	J2046-0421	34,5	34,5
273	J1743-4212	13,4	13,4	305	J1821-1419	7,9	7,9	337	J1845-0743	10,1	10,1	369	J2048-1616	39,1	42,2
274	J1745-3040	18,9	18,9	306	J1822-2256	9,9	9,9	338	J1847-0402	12,6	12,6	370	J2053-7200	35,3	42,8
275	J1749-3002	4,0	4,0	307	J1824-1945	58,8	58,8	339	J1848-0123	17,0	17,0	371	J2108-3429	25,7	25,7
276	J1750-3157	5,6	5,6	308	J1825-0935	14,1	23,7	340	J1848-1414	8,9	8,9	372	J2116+1414	10,9	10,9
277	J1751-4657	34,4	34,4	309	J1825-1446	14,5	23,6	341	J1848-1952	41,4	43,0	373	J2155-3118	59,3	59,8
278	J1752-2806	42,0	42,0	310	J1826-1334	10,4	24,7	342	J1852-2610	7,8	7,8	374	J2248-0101	17,6	17,6
279	J1755-2534	5,8	5,8	311	J1828-1057	6,6	6,6	343	J1853+0011	19,4	19,4	375	J2324-6054	65,6	66,2
280	J1756-2225	12,2	12,2	312	J1829-1751	18,4	18,4	344	J1855-0941	5,0	5,0	376	J2330-2005	65,6	65,6
281	J1757-2421	8,8	8,8	313	J1830-1059	35,4	35,4	345	J1900-2600	9,6	9,6	377	J2346-0609	9,6	9,6
282	J1759-2302	4,0	4,0	314	J1832-0827	17,4	17,4	346	J1901+0331	42,8	48,7				
283	J1801-2154	26,8	29,7	315	J1834-0731	13,9	13,9	347	J1901-0906	14,1	14,1				
284	J1801-2304	11,0	11,0	316	J1835-0643	13,0	13,0	348	J1901-1740	8,7	8,7				
285	J1801-2451	12,4	12,4	317	J1835-0944	11,0	11,0	349	J1903+0135	42,8	42,8				
286	J1801-2920	9,0	9,0	318	J1835-1106	47,3	48,4	350	J1904+0004	8,4	8,4				
287	J1803-2137	9,7	28,1	319	J1837-0045	15,5	15,5	351	J1904-1224	17,6	17,6				
288	J1803-2712	7,1	7,1	320	J1837-0559	13,3	13,3	352	J1913-0440	48,9	48,9				

Отличие ~ 10° - 33 пульсара

Таблица 2. Пульсары с интеримпульсами

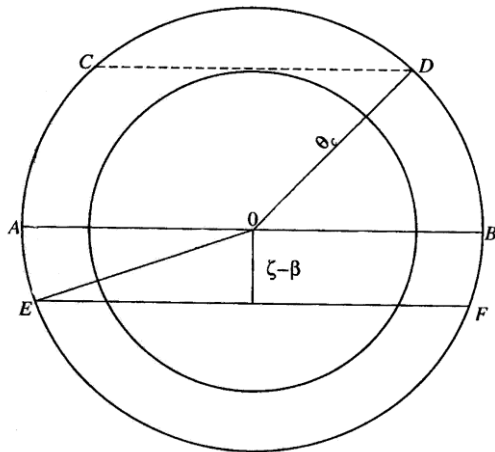
№	Пульсар (J...)	< β > new	< β > old	№	Пульсар (J...)	< β > new	< β > old
1	0627+0706	53,4	60,7	22	1705-1906	55,2	58,9
2	0826+2637	85,9	78,9	23	1713-3844	20,5	20,5
3	0828-3417	5,4	9,9	24	1722-3712	64,2	66,1
4	0831-4406	35,5	35,5	25	1737-3555	28,8	33,0
5	0834-4159	22,8	22,8	26	1739-2903	66,0	65,6
6	0842-4851	58,4	58,4	27	1806-1920	7,9	7,9
7	0905-5127	16,8	25,1	28	1808-1726	7,5	7,5
8	0908-4913	46,1	45,3	29	1825-0935	9,5	16,5
9	0953+0755	23,2	24,4	30	1842+0358	114,5	114,5
10	1057-5226	15,4	20,3	31	1843-0702	44,3	44,3
11	1107-5907	71,6	71,6	32	1849+0409	36,5	36,5
12	1126-6054	42,8	42,8	33	1851+0418	7,1	9,4
13	1244-6531	29,0	46,5	34	1852-0118	13,3	13,3
14	1413-6307	63,3	63,3	35	1903+0925	2,0	2,0
15	1424-6438	15,2	15,2	36	1913+0832	24,1	24,1
16	1549-4848	59,9	60,1	37	1915+1410	23,5	23,5
17	1611-5209	102,2	83,7	38	1932+1059	20,8	26,9
18	1613-5234	9,0	9,0	39	1946+1805	14,3	17,0
19	1627-4706	11,1	11,1	40	2023+5037	60,3	65,8
20	1637-4450	15,3	15,3	41	2032+4127	11,4	13,5
21	1637-4553	74,2	64,1	42	2047+5029	120,8	120,8

Замечание 2:

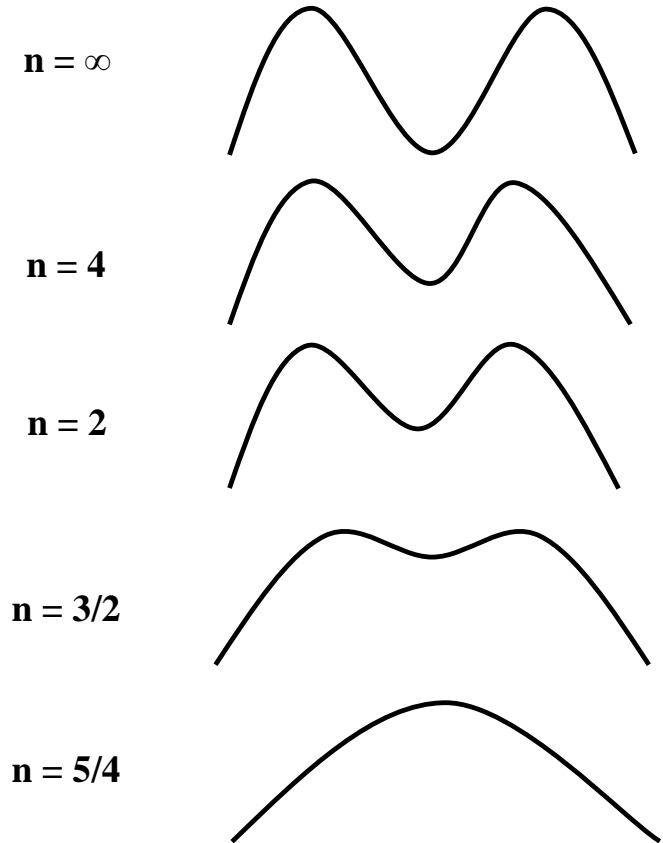
Третий способ вычисления углов β

Общий вид системы уравнений:

$$\begin{cases} \sin\beta = C \cdot \sin(\zeta - \beta) \\ \cos\theta = \cos\zeta \cdot \cos\beta + D \cdot \sin\beta \cdot \sin\zeta \\ \theta = n(\zeta - \beta) \end{cases}$$



Профили



Замечание 3:

Замечание 5 и 6:

J0834-4159 20cm

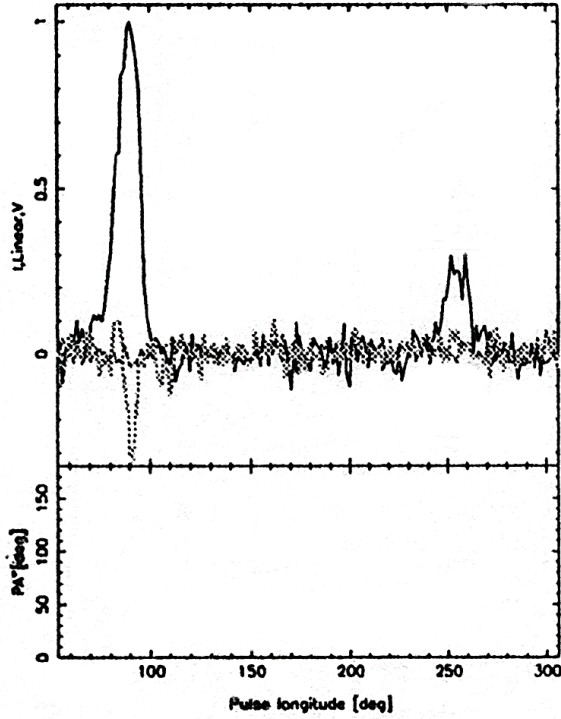


Рис.1

J1653-3838 20cm

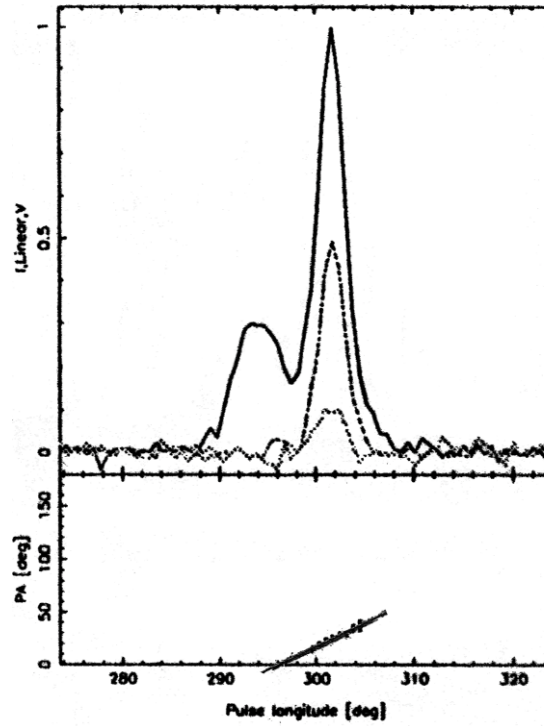


Рис.2

J1707-4053 20cm

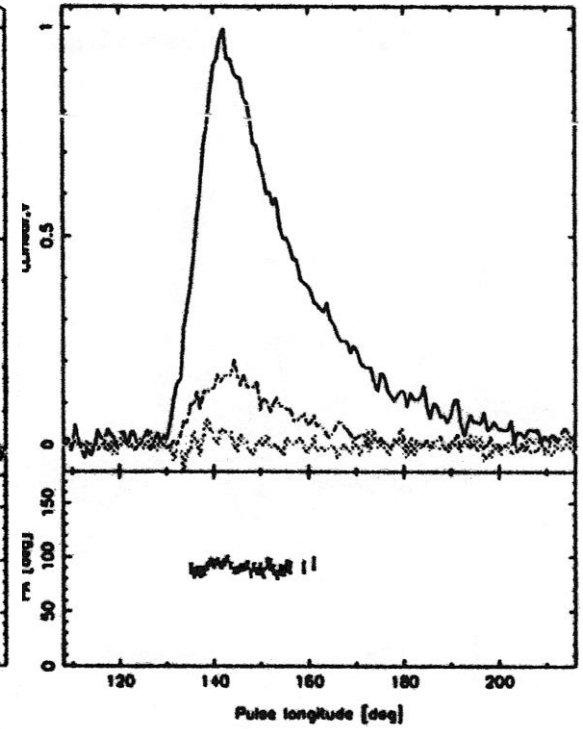


Рис.3

$$\sin \beta = \frac{\sin(\theta/2)}{\sin(W_{10}/4)}$$

P.Weltevrede, S.Johnston. «Profile and polarization characteristics of energetic pulsars», Mon. Not. Roy. Astron. Soc. V.391, P. 1210, 2008

Замечание 7:

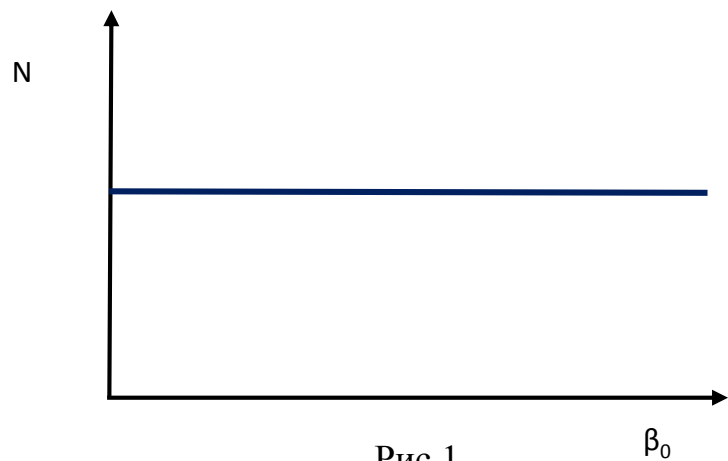


Рис.1

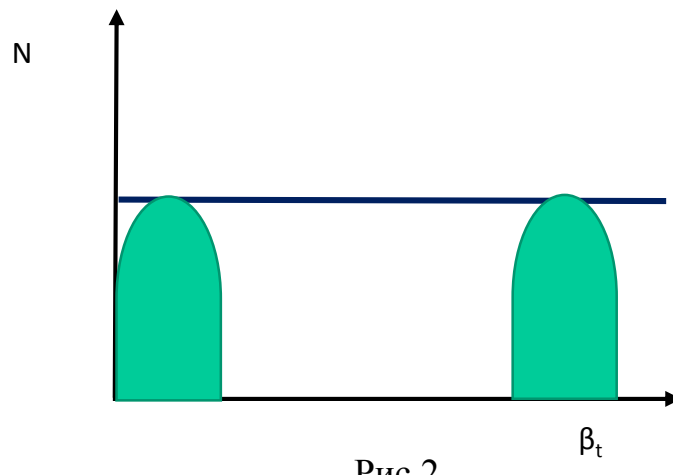


Рис.2

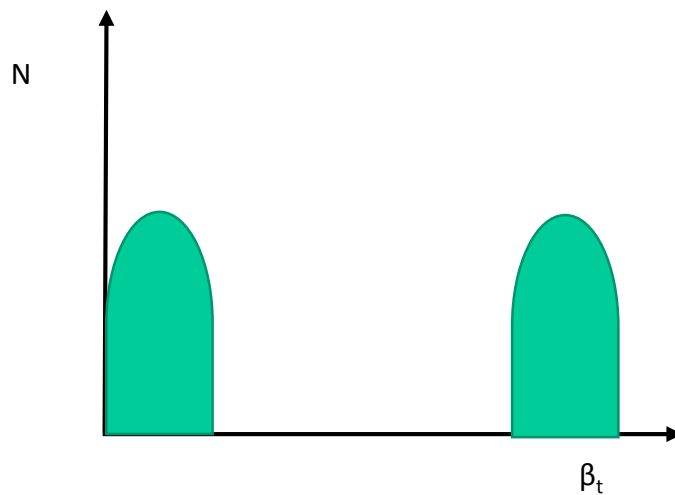


Рис.3