



Исследование особенностей радиопульсаров, излучающих в гамма- и рентгеновском диапазонах

М. А. Тимиркеева

Пушино

В настоящее время известно **около 4000 пульсаров**.

- **В основном** они излучают **на радиочастотах (~3500)**;
- **~10** излучает также и **в оптике**;
- тепловое и нетепловое **рентгеновское излучение** наблюдается **от нескольких десятков объектов**;
- заметная эмиссия **в гамма-диапазоне от ~200 радиоисточников**.

Одним из важнейших параметров, определяющих геометрию магнитосферы пульсара и протекающие в ней физические процессы – угол β между осью вращения и вектором магнитного момента μ .

Для последующего анализа были сформированы три группы пульсаров:

- наблюдается только импульсное радиоизлучение – радио-громкие пульсары, считающиеся тихими в рентгеновском и гамма-диапазонах (**R**-группа, 2219 объектов),
- радиопульсары с зарегистрированным гамма-излучением (**γ +R** пульсары, 110 объектов),
- радиопульсары с зарегистрированным рентгеновским излучением – радио-громкие рентгеновские пульсары (**X +R** пульсары, 51 объект).

Из выборки исключены пульсары, находящиеся в двойных системах и шаровых скоплениях.

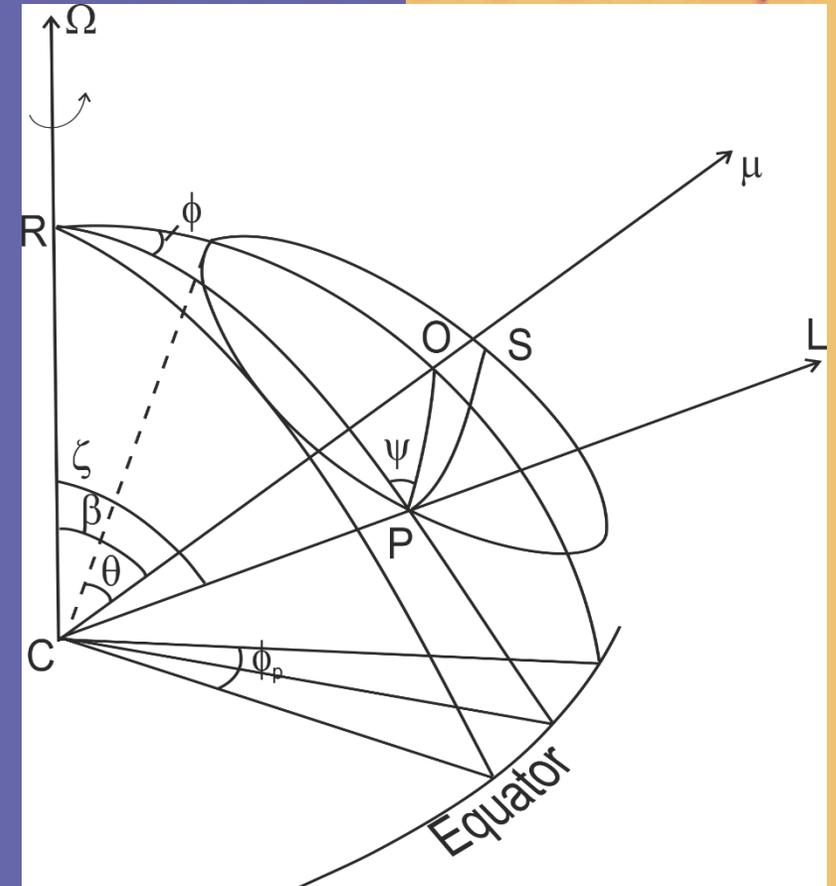
ОЦЕНКА УГЛОВ МЕЖДУ МАГНИТНОЙ ОСЬЮ И ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ

$$\cos \theta = \cos \beta \cdot \cos \zeta + \sin \beta \cdot \sin \zeta \cdot \cos \phi_p$$

Здесь β – угол между магнитной осью и осью вращения, ζ – угол между лучом зрения наблюдателя и осью вращения, θ – угловой радиус конуса излучения, ϕ_p равна половине наблюдаемой ширины импульса

$$\tan \psi = \frac{\sin \beta \sin \phi}{\sin \zeta \cos \beta - \cos \zeta \sin \beta \cos \phi}$$

Здесь ψ – позиционный угол линейной поляризации, ϕ – долгота



СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ МАГНИТОСФЕРЫ ПУЛЬСАРА:
ИЗЛУЧЕНИЕ ОГРАНИЧЕНО КОНУСОМ ОТКРЫТЫХ СИЛОВЫХ ЛИНИЙ

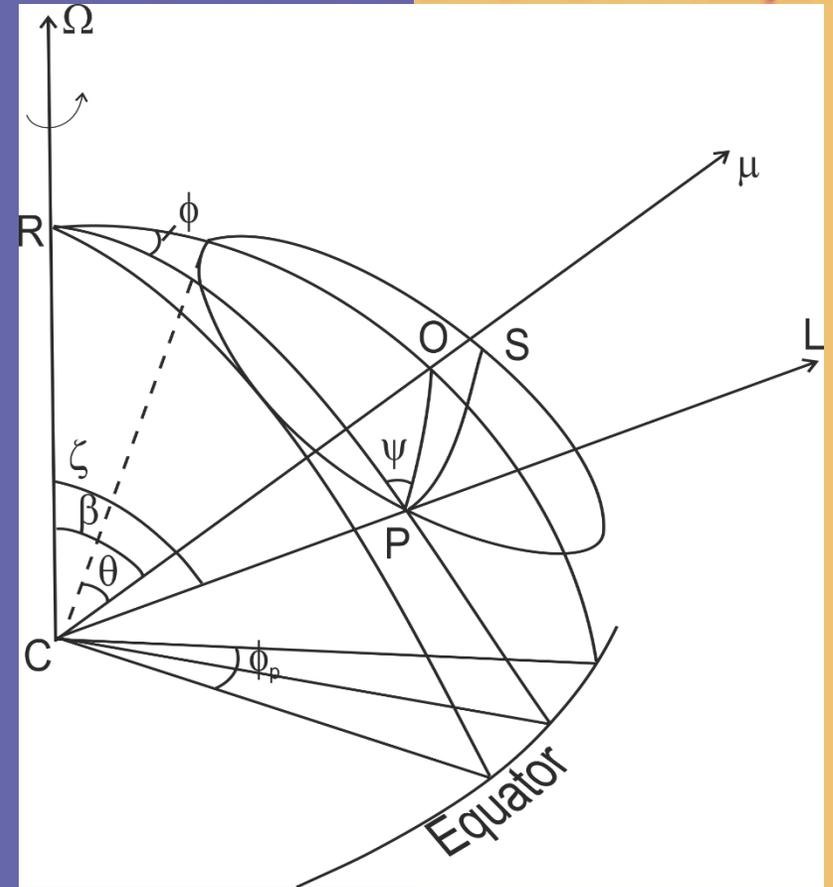
ОЦЕНКА УГЛОВ МЕЖДУ МАГНИТНОЙ ОСЬЮ И ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ

Луч зрения проходит через центр конуса излучения, т.е. $\beta = \zeta$

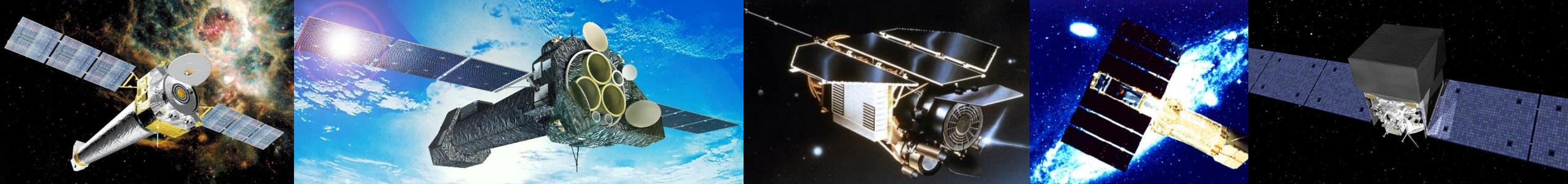
$$\cos \theta = \cos^2 \beta + \sin^2 \beta \cdot \cos \phi_p$$

В этом случае можно воспользоваться зависимостью наблюдаемой ширины импульса W_{10} на уровне 10 % от периода вращения и определить нижнюю границу на соответствующем графике, чтобы получить

$$\phi_p = \frac{W_{10}}{2}$$
$$\theta = \frac{W_{10 \min}}{2}$$
$$\sin \beta = \frac{\sin \frac{W_{10 \min}}{4}}{\sin \frac{W_{10}}{4}}$$



СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ МАГНИТОСФЕРЫ ПУЛЬСАРА:
ИЗЛУЧЕНИЕ ОГРАНИЧЕНО КОНУСОМ ОТКРЫТЫХ СИЛОВЫХ ЛИНИЙ



Радиопульсары

PSR

Период,
мсек

W_{10} ,
мсек

W_{50} ,
мсек

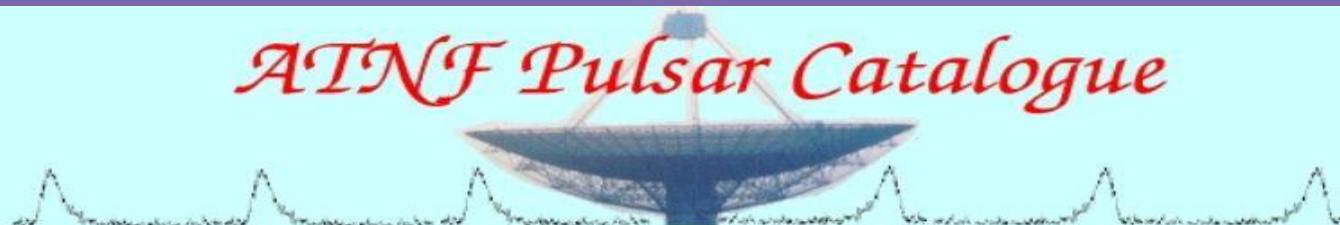
J0358+5413

91.5

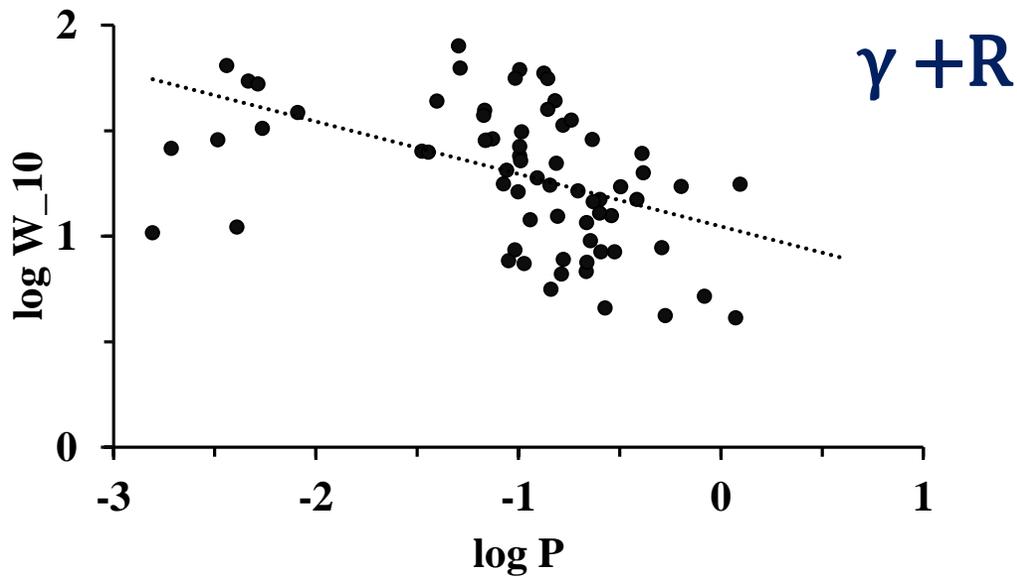
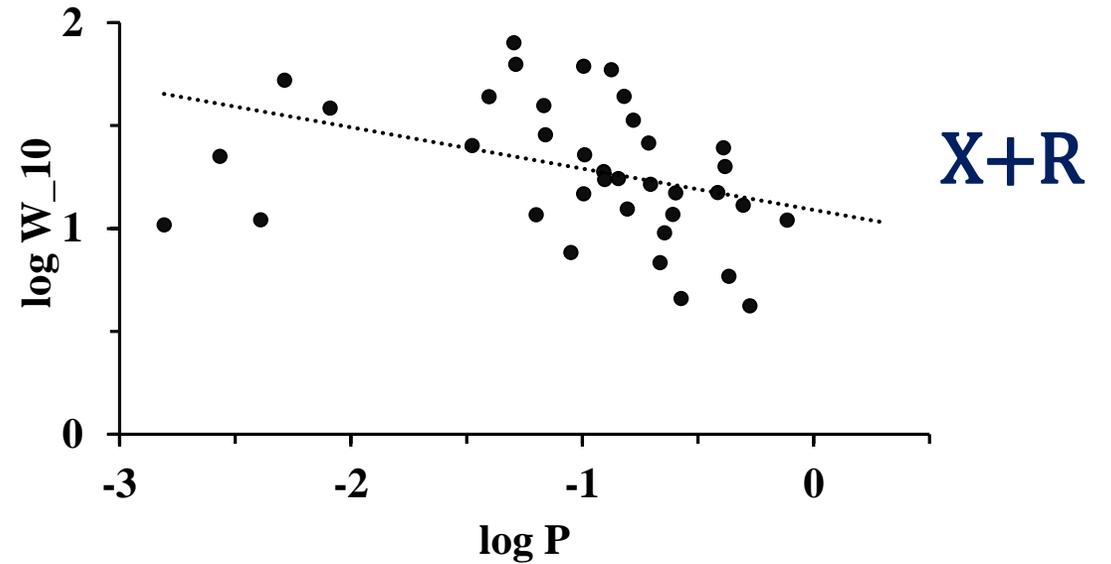
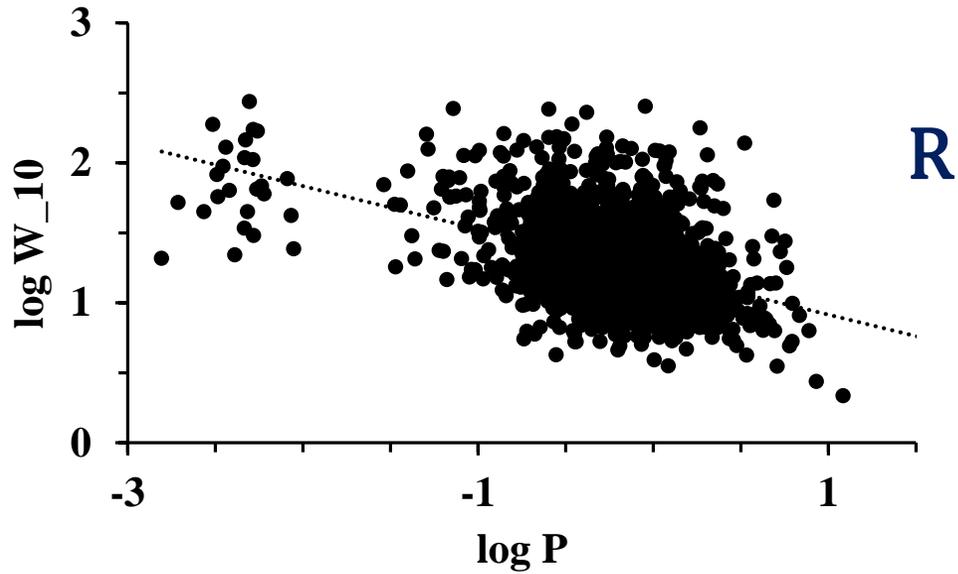
10.8

3.9

ATNF Pulsar Catalogue



Ширина конуса $\theta(P)$



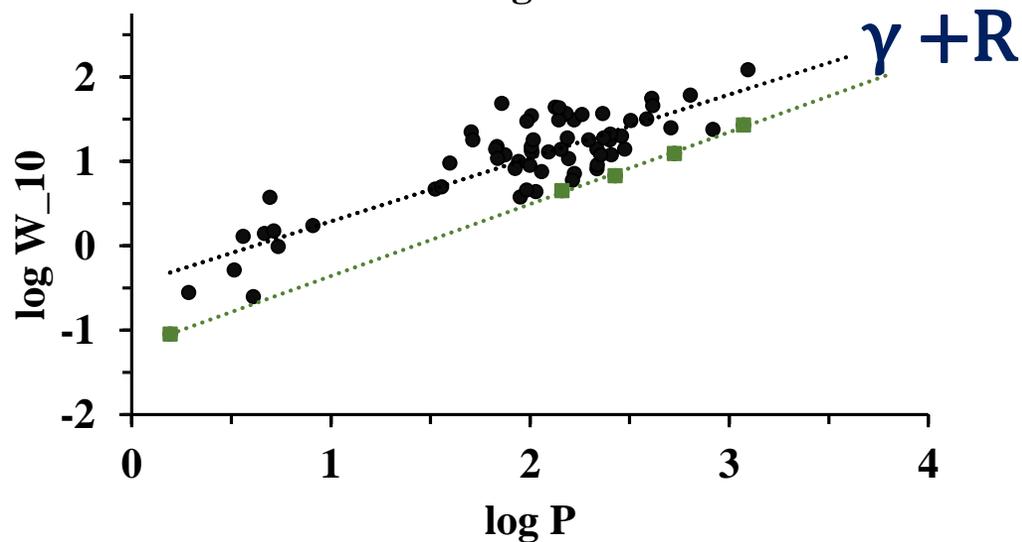
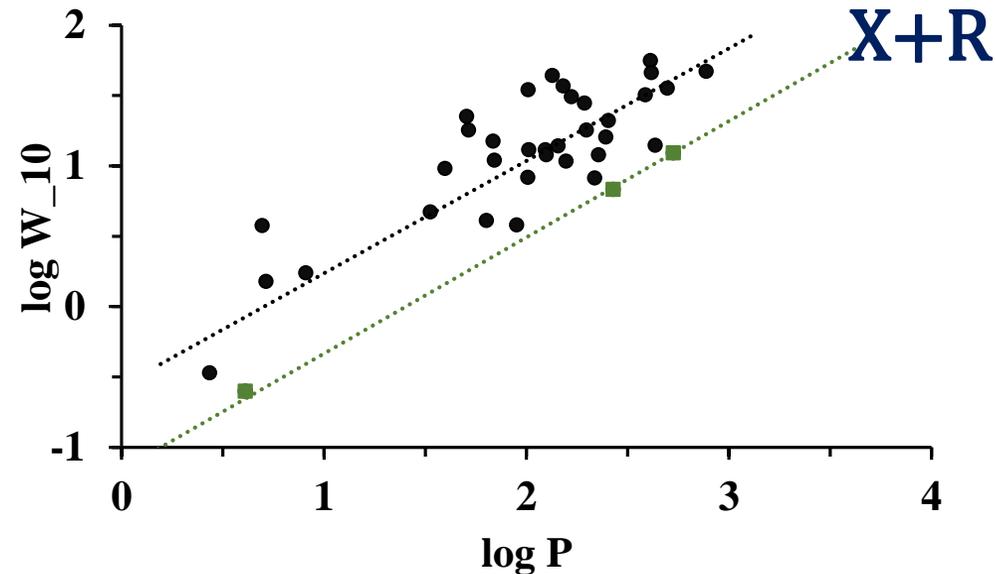
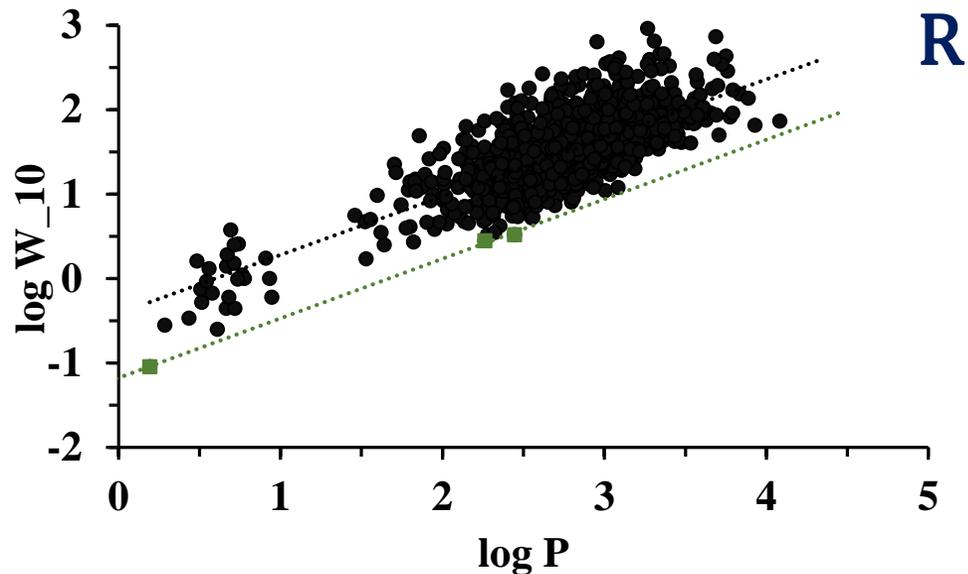
$$\theta = \frac{W_{10}}{2}$$

R $W_{10}^0 = 16.68 \cdot P^{-0.31}, K = 0.44$

X+R $W_{10}^0 = 12.30 \cdot P^{-0.20}, K = 0.39$

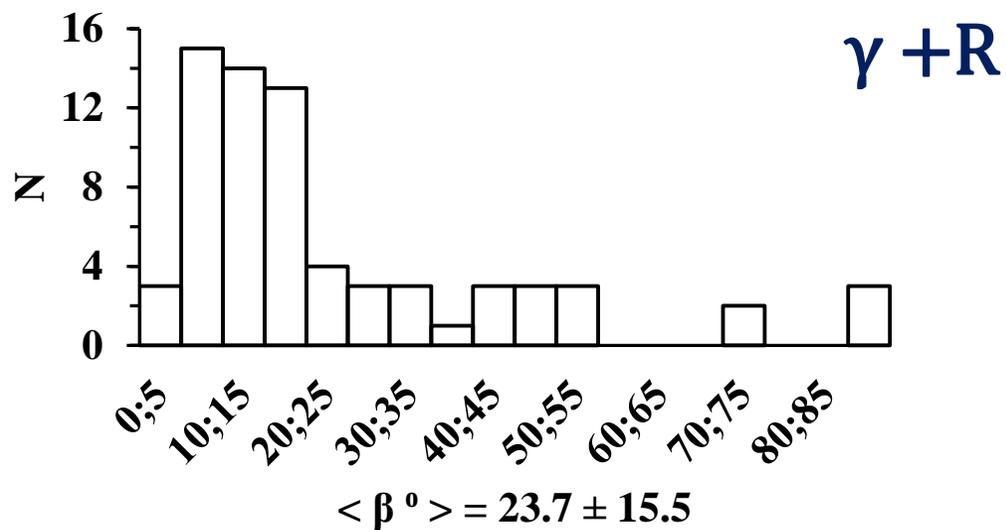
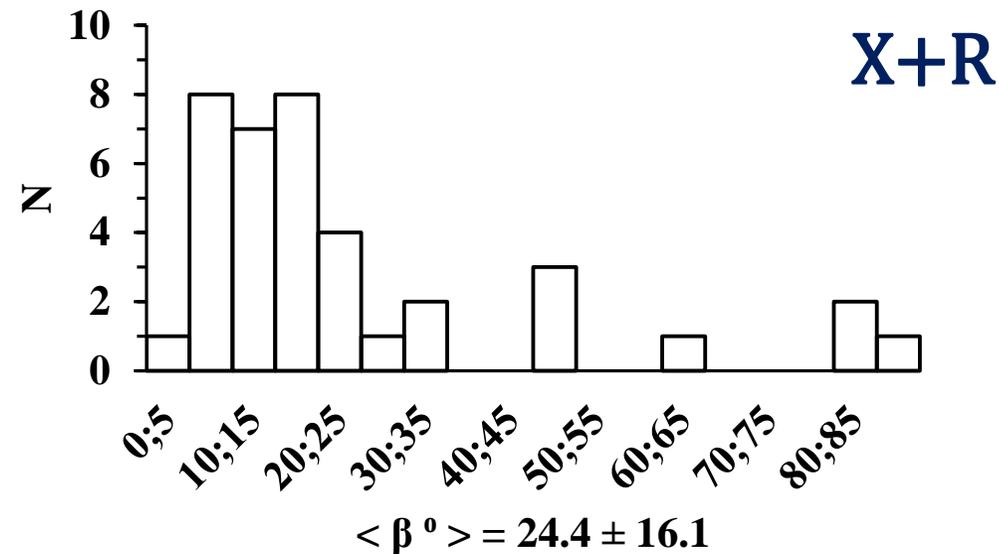
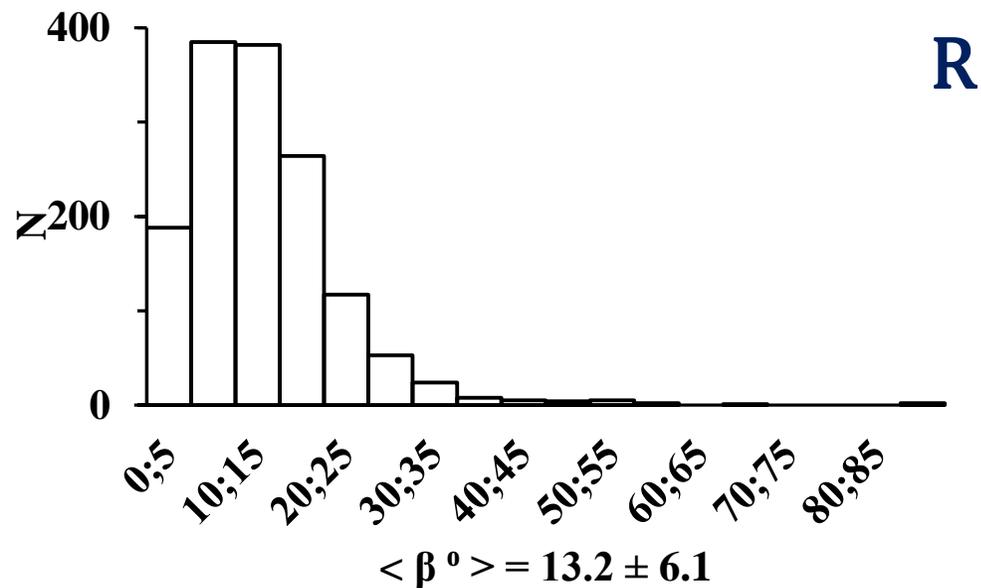
$\gamma + R$ $W_{10}^0 = 11.14 \cdot P^{-0.25}, K = 0.46$

Зависимость наблюдаемой ширины на уровне 10% от периода пульсара



R	$W_{10} = 0.38 \cdot P^{0.69},$ $K = 0.74$	$W_{10 \min} = 0.07 \cdot P^{0.71}$
X+R	$W_{10} = 0.27 \cdot P^{0.80},$ $K = 0.86$	$W_{10 \min} = 0.07 \cdot P^{0.83}$
$\gamma + R$	$W_{10} = 0.34 \cdot P^{0.75},$ $K = 0.84$	$W_{10 \min} = 0.06 \cdot P^{0.85}$

Распределение углов



R	$N = 1440$
X+R	$N = 38$
$\gamma + R$	$N = 70$

R

X+R

$\lambda = 0.63$
 $p \sim 85\%$

$\lambda = 0.72$
 $p \sim 70\%$

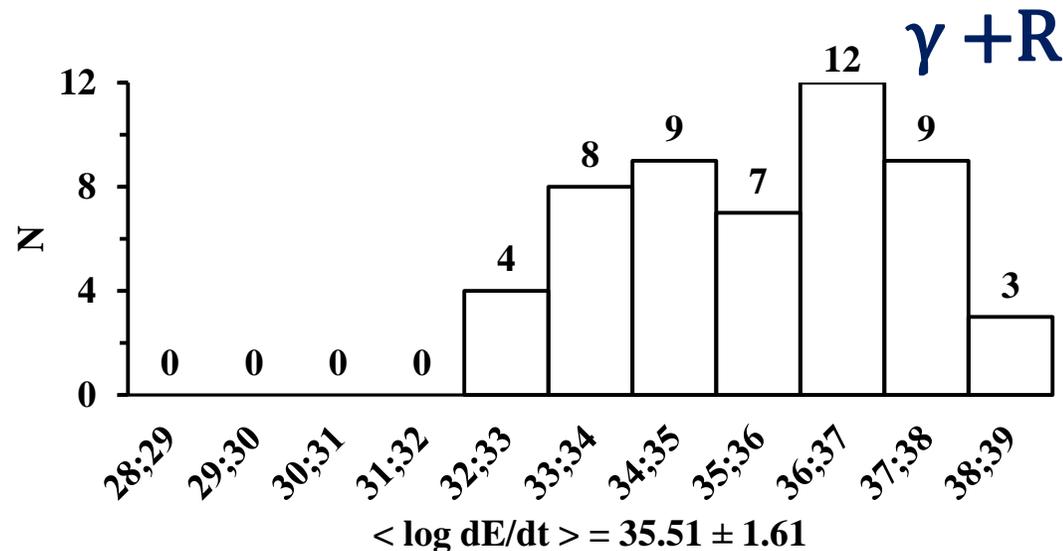
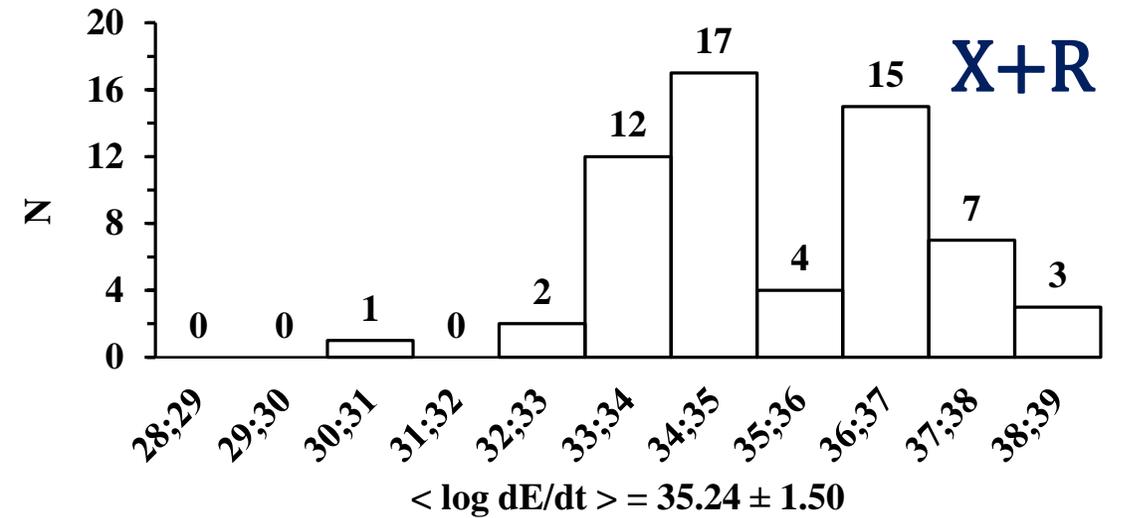
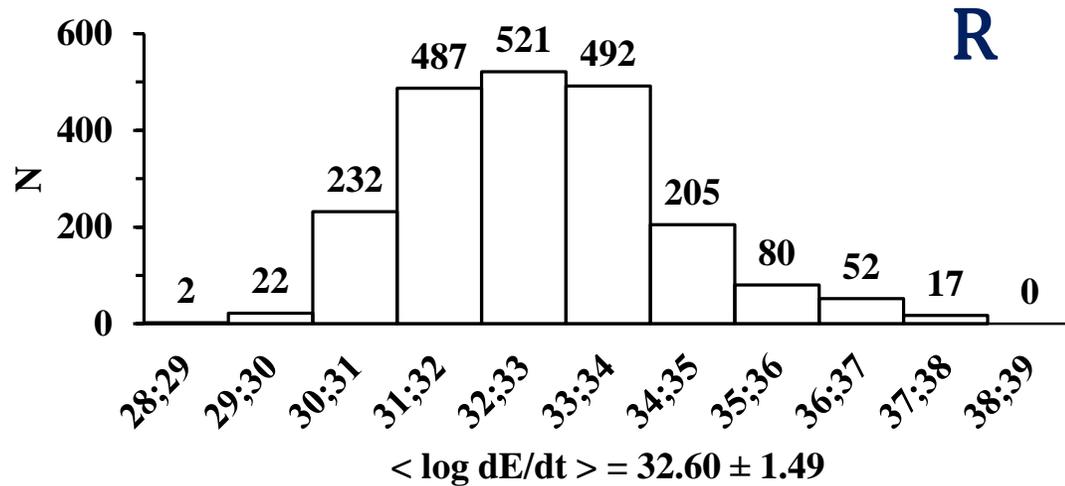
$\lambda = 0.26$
 $p \sim 99\%$

$\gamma+R$

Критерий Колмогорова-Смирнова

Гистограммы не различаются с вероятностью p

Распределения скорости потери энергии вращения



Результаты были опубликованы:

Малов и Тимиркеева "Особенности радиопульсаров ..." (АЖ, 2014, 91, 705)

Малов и Тимиркеева "Сравнение параметров радиотихих и радиогромких пульсаров" (АЖ, 2015, 92, 742)

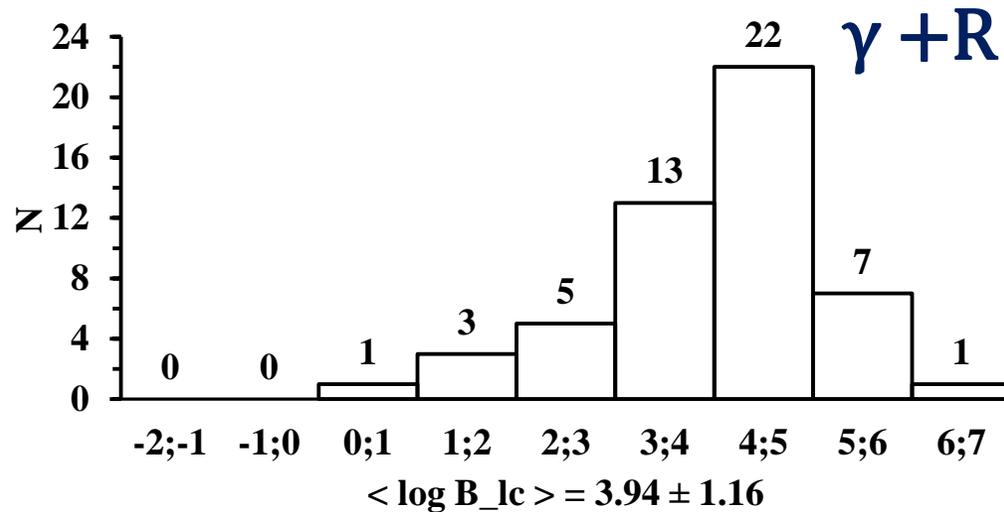
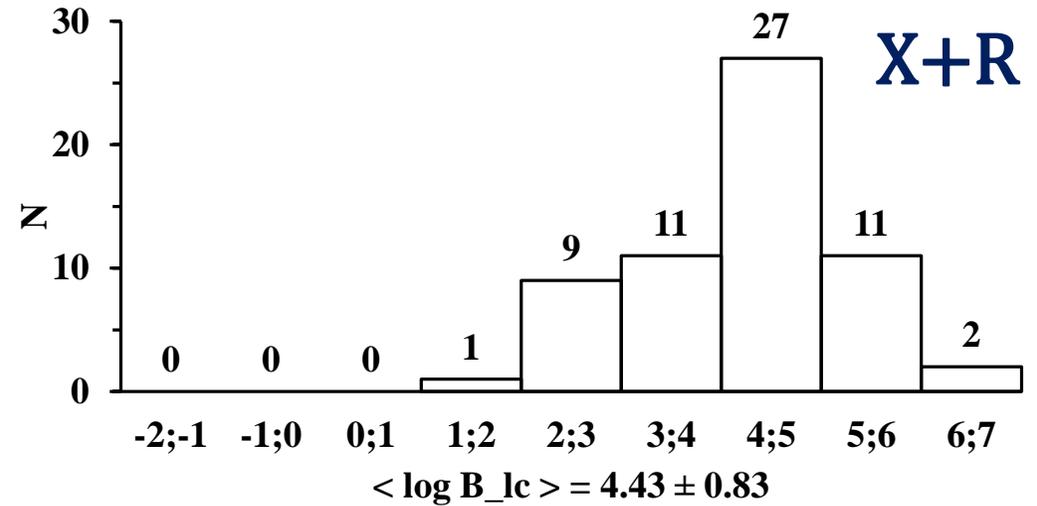
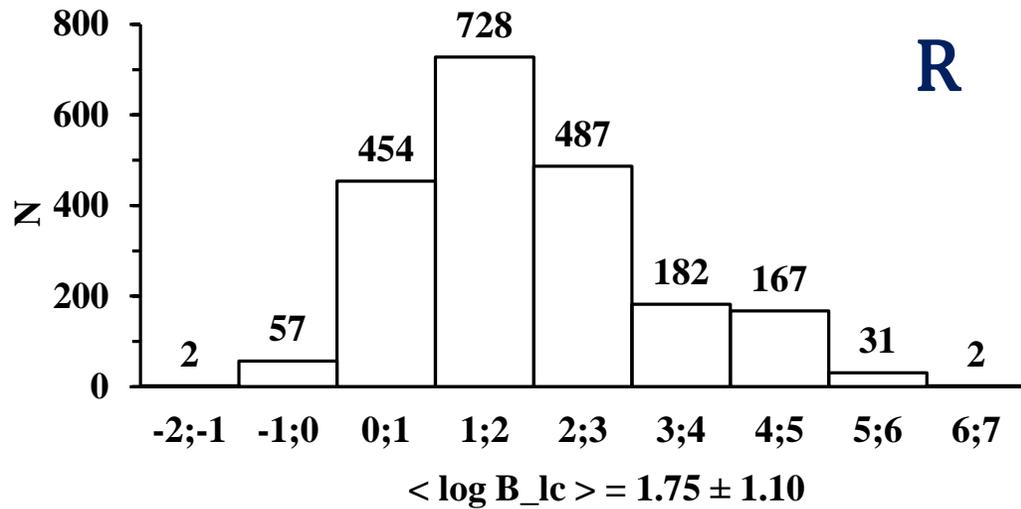
Malov & Timirkееva "Peculiarities in the emission of radio-loud and ..." (ASPC, 2017, 510, 498)

Malov & Timirkееva "Radio pulsars with expected gamma radiation..." (RAA, 2018, 18, 89)

Malov & Timirkееva "On X-ray emission of radio pulsars" (MNRAS, 2019, 485, 5319)

Timirkееva & Malov "Radio loud and radio quiet pulsars with hard emission" (Ap&SS, 2020, 365, 190)

Индукции магнитного поля на световом цилиндре



Результаты были опубликованы:

Малов и Тимиркеева "Особенности радиопульсаров ..." (АЖ, 2014, 91, 705)

Малов и Тимиркеева "Сравнение параметров радиотихих и радиогромких пульсаров" (АЖ, 2015, 92, 742)

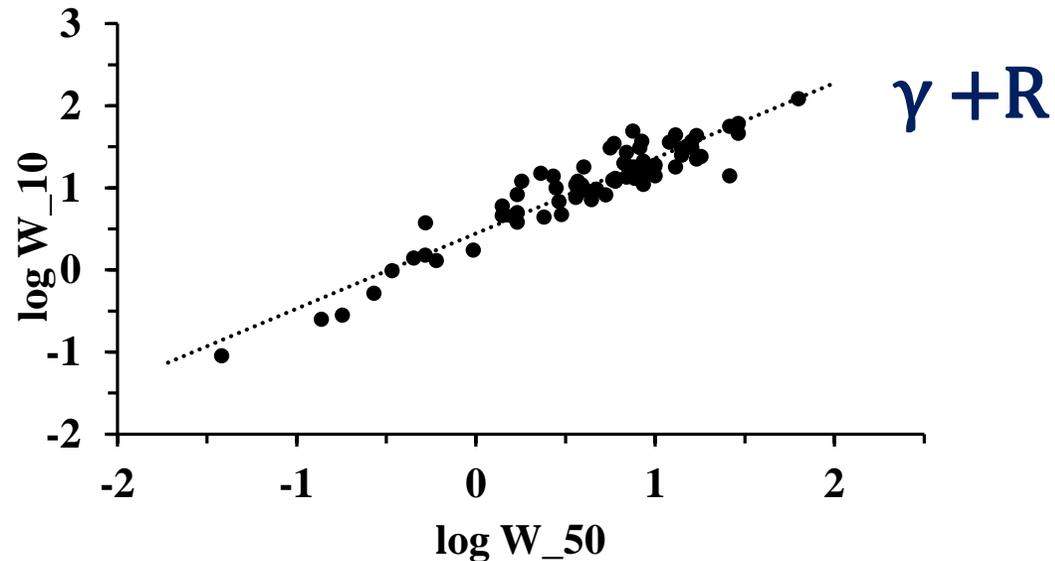
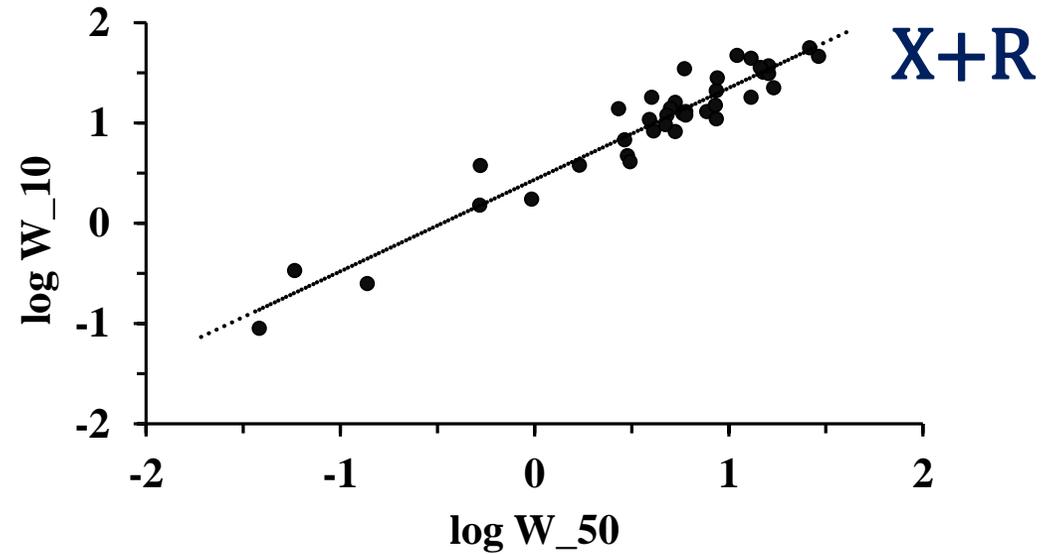
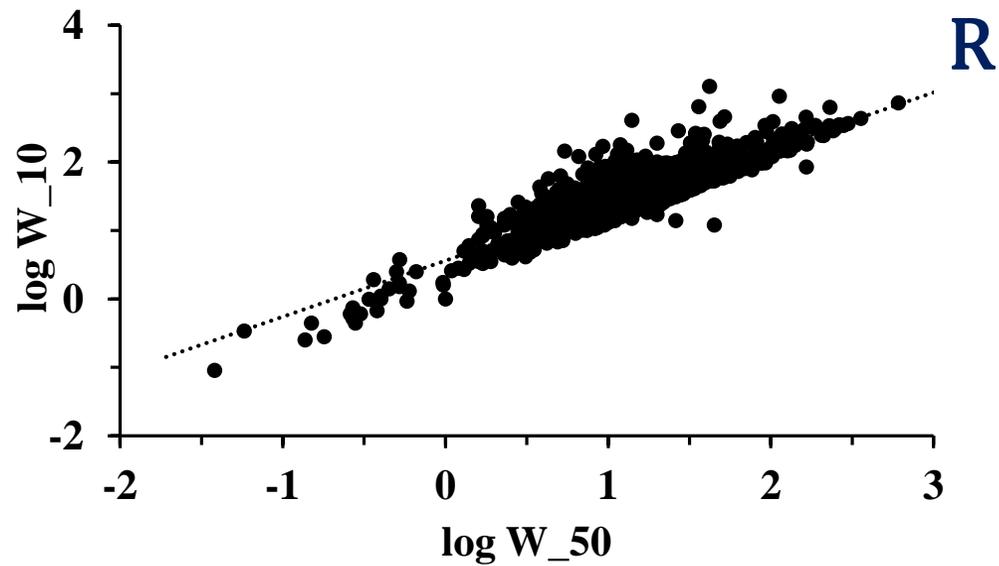
Malov & Timirkeeva "Peculiarities in the emission of radio-loud and ..." (ASPC, 2017, 510, 498)

Malov & Timirkeeva "Radio pulsars with expected gamma radiation..." (RAA, 2018, 18, 89)

Malov & Timirkeeva "On X-ray emission of radio pulsars" (MNRAS, 2019, 485, 5319)

Timirkeeva & Malov "Radio loud and radio quiet pulsars with hard emission" (Ap&SS, 2020, 365, 190)

Зависимость W_{10} от W_{50}



R $W_{10} = 3.63 \cdot W_{50}^{0.82}$ $K = 0.89$

X+R $W_{10} = 2.72 \cdot W_{50}^{0.91}$ $K = 0.96$

$\gamma + R$ $W_{10} = 2.78 \cdot W_{50}^{0.92}$ $K = 0.94$

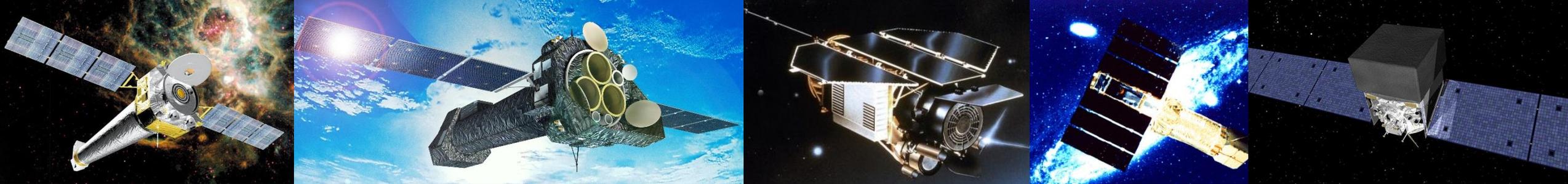
Выводы

Сравнительный анализ радиопульсаров с зарегистрированным жестким излучением и источников, излучающих только в радиодиапазоне, - в предположении о прохождении луча зрения через конус излучения - привёл к следующим выводам:

1. Радиопульсары с зарегистрированным жестким излучением, в среднем, обладают большими значениями углов между осью вращения и магнитной осью - $\langle \beta \rangle \sim 24^\circ$, по сравнению с обычными радиопульсарами без зарегистрированного рентгеновского и/или гамма-излучения $\langle \beta \rangle \sim 13^\circ$.
2. Согласно критерию Колмогорова-Смирнова гистограммы распределения $N(\beta)$ для радиопульсаров не различаются с вероятностью $> 70\%$.
3. Полученные значения β можно рассматривать как нижний предел реального угла β .

Спасибо за внимание

Исследование выполнено за счет гранта РФФ 22-12-00236, <https://rscf.ru/project/22-12-00236/>.



Радиопульсары

Обычные радиопульсары 1440 объектов с измеренной W_{10} , 2053 - с W_{50}

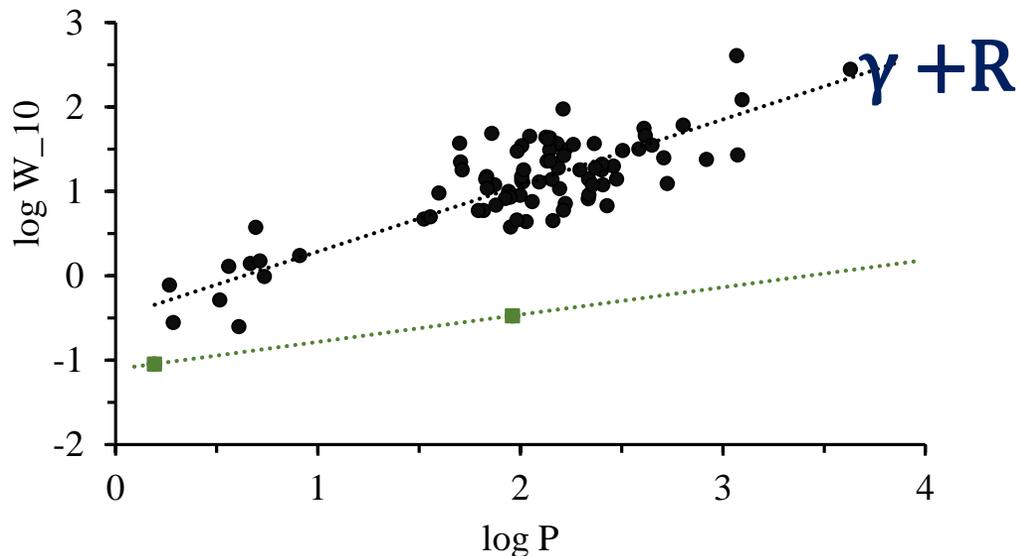
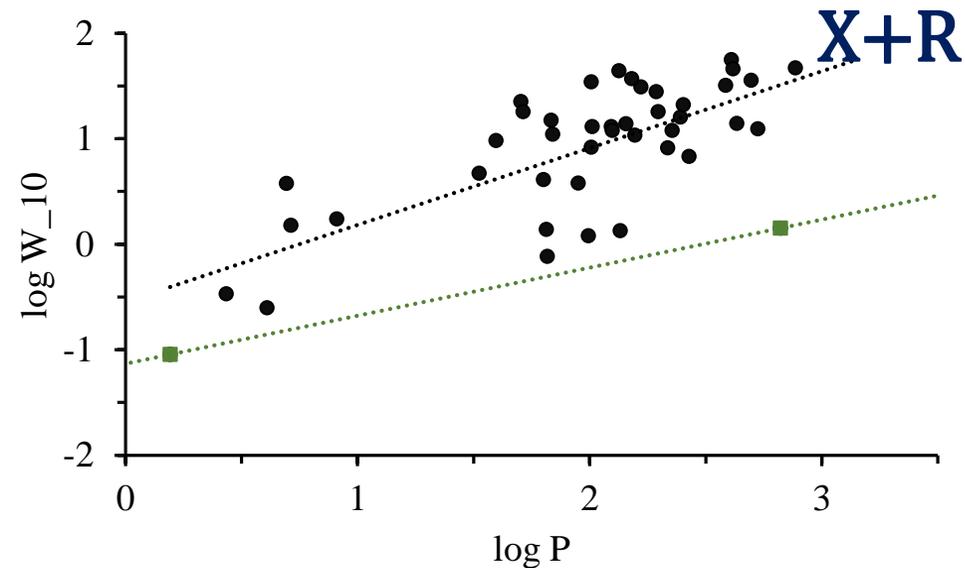
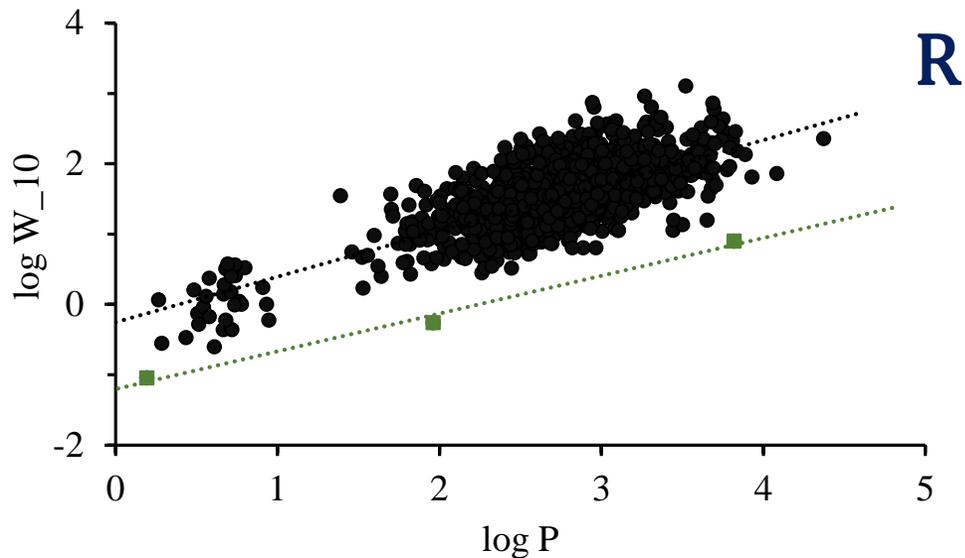
Рентгеновские радиопульсары 38 объектов с измеренной W_{10} , 43 - с W_{50}

Радиопульсары с гамма – излучением 70 объектов с измеренной W_{10} , 86 - с W_{50}

ATNF Pulsar Catalogue

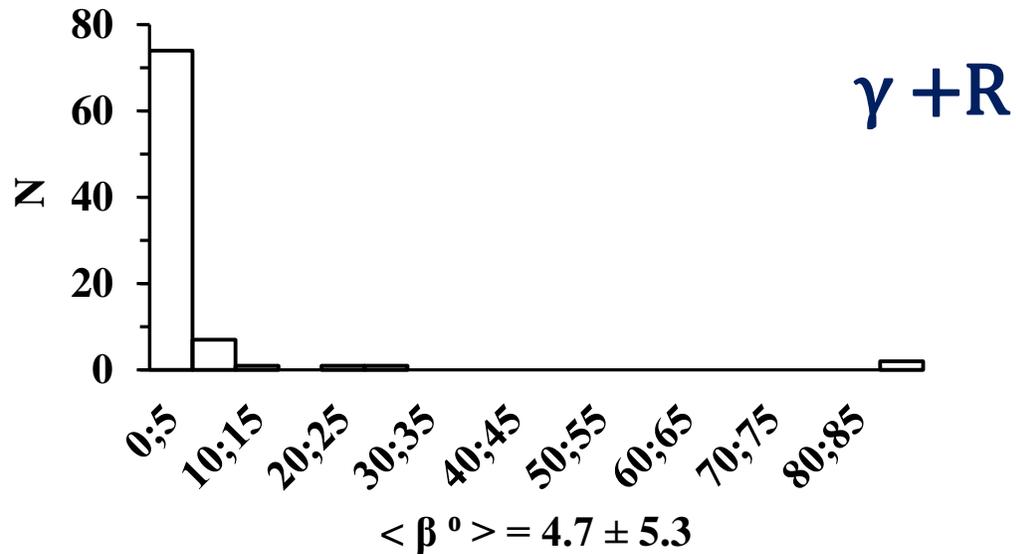
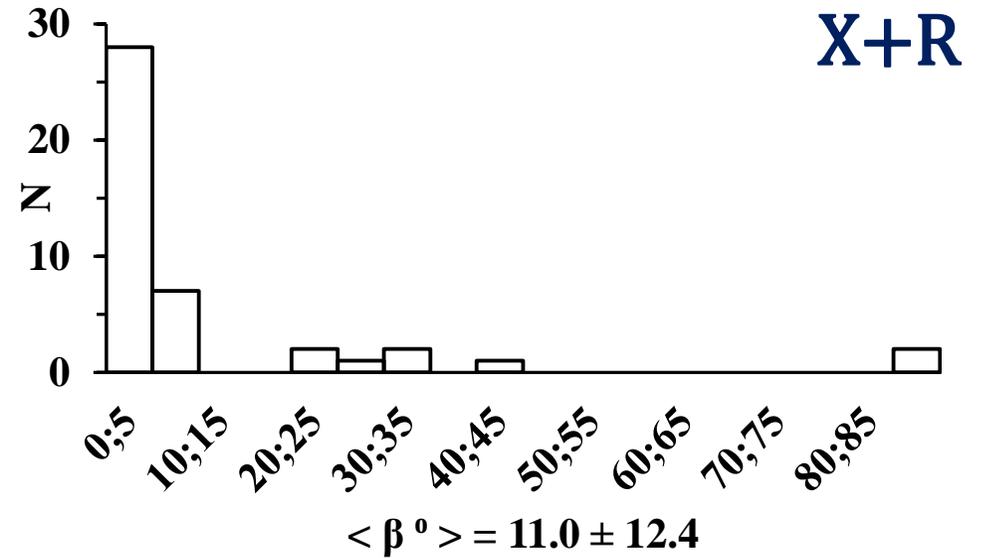
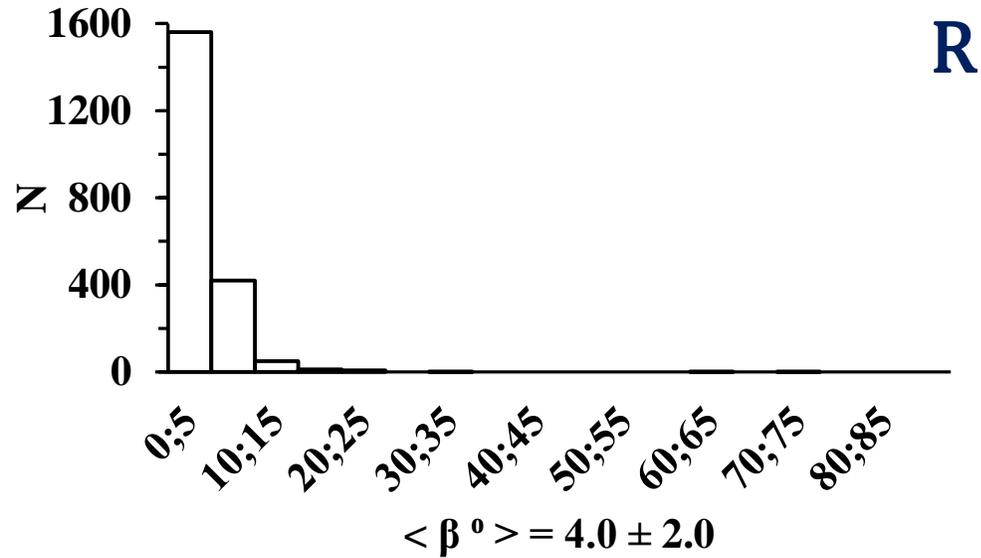


Зависимость наблюдаемой ширины на уровне 10% от периода пульсара



R	$W_{10} = 0.56 \cdot P^{0.65},$ $K = 0.70$	$W_{10 \min} = 0.06 \cdot P^{0.54}$
X+R	$W_{10} = 0.28 \cdot P^{0.73},$ $K = 0.72$	$W_{10 \min} = 0.07 \cdot P^{0.46}$
γ + R	$W_{10} = 0.32 \cdot P^{0.78},$ $K = 0.82$	$W_{10 \min} = 0.08 \cdot P^{0.32}$

Распределение углов



R $N = 2053$ ($\uparrow 30\%$)

X+R $N = 43$ ($\uparrow 12\%$)

$\gamma + R$ $N = 86$ ($\uparrow 19\%$)