

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. П.Н. ЛЕБЕДЕВА
АСТРОКОСМИЧЕСКИЙ ЦЕНТР**

На правах рукописи

УДК 524.354.4

Логинов Александр Александрович

**Статистический анализ распределений
параметров пульсаров**

Специальность 01.03.02 –
«астрофизика и звёздная астрономия»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва 2018

Работа выполнена в Пушинской радиоастрономической обсерватории Астрокосмического центра Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П. Н. Лебедева Российской Академии наук.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник отдела плазменной астрофизики ПРАО АКЦ ФИАН.

Малов Игорь Федорович

Официальные оппоненты:

Ведущая организация:

Защита состоится «__» _____ 2018 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д002.023.01 Физического института им. П. Н. Лебедева РАН по адресу: г. Москва, улица Профсоюзная, дом 84/32, Институт космических исследований РАН, зал семинаров – к. 707.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Физического института им. П. Н. Лебедева РАН по адресу: 119991, г. Москва, Ленинский проспект, дом 53. Автореферат и диссертация в электронном виде представлены на сайтах ФИАН <http://www.lebedev.ru> и <http://www.asc-lebedev.ru> в разделе «Диссертационный совет».

Автореферат разослан «__» _____ 2018 года.

Ученый секретарь диссертационного совета,

доктор физико-математических наук

Ю. А. Ковалев

Общая характеристика работы

Актуальность работы

С момента открытия пульсаров прошло 50 лет, но до сих пор так и не найдено однозначного объяснения механизма излучения, структуры магнитосферы, эволюционного развития и классификации этих объектов. За прошедшее время было накоплено огромное количество наблюдательного материала, обнаружены нестационарные явления (такие как нуллинги, переключения мод и др.), построены различные модели пульсаров и происходящих в них процессов. Большое количество наблюдательных данных и теоретических работ по данному вопросу несомненно свидетельствует о высокой степени важности и в то же время многогранности этих направлений исследований. Являясь последней стадией звёздной эволюции, пульсары представляют огромный интерес в области исследования эволюции звёзд. Излучение в различных диапазонах электромагнитных волн позволяет проводить проверку самых разных теоретических моделей и механизмов генерации излучения. Двойные системы, одним из компаньонов которых является нейтронная звезда, дают возможность выполнять проверку следствий общей теории относительности. Важно отметить и прикладные возможности исследования пульсаров, такие как создание независимой шкалы времени, основанной на регулярности прихода импульсов, изучение свойств межзвёздной среды, благодаря малым угловым размерам излучателей.

Несмотря на столь продолжительный период изучения пульсаров, ответ на многие вопросы так и не был получен. Какова структура магнитосферы, в каких областях генерируется излучение и каковы его механизмы, однородна ли популяция пульсаров и можно ли описать её одной универсальной моделью, каковы причины высоких пространственных скоростей, из-за чего мы наблюдаем нуллинги, переключения мод, интеримпульсы, глитчи- эти вопросы пока так и не нашли исчерпывающего ответа.

Цель работы

Целью настоящей работы является исследование популяции пульсаров для получения ответа о её однородности с помощью анализа главных компонент корреляционных матриц, составленных из корреляций параметров пульсаров, и сравнительного анализа параметров объектов, вошедших в разные группы, анализ различий одиночных пульсаров и пульсаров, входящих в двойные системы, а также проведение анализа пространственных скоростей и причин их высоких значений.

Научная новизна и практическая значимость

В работе получен ряд новых результатов, а также проверены и уточнены некоторые результаты, полученные в предыдущих исследованиях. Построенное распределение пульсаров в пространстве собственных векторов корреляционных матриц параметров подтвердило на базе современных данных наличие двух кластеров с различающимися наблюдаемыми и вычисляемыми параметрами, что свидетельствует о неоднородности популяции исследуемых объектов. Этот результат можно считать обобщением в многомерном пространстве известного различия радиопульсаров на двухмерной диаграмме $P-\dot{P}$. Подтверждены принципиальные отличия механизмов излучения и областей их генерации для разных групп пульсаров, которые следует учитывать при моделировании структур магнитосфер и протекающих в них процессов. Проведён анализ особенностей нестационарных процессов, который указывает на различное их протекание у пульсаров разных типов. Проанализированы возможные причины высоких пространственных скоростей, в результате выявлена недостаточная эффективность предложенных на сегодняшний день моделей ускорения пульсаров и необходимость в поиске новых решений. Построено распределение начальных периодов пульсаров при условии равенства кинематического и реального возрастов, уточнено характерное время уменьшения магнитного поля и угла между осью вращения и магнитным моментом.

Основные положения и результаты, выносимые на защиту

1. На основе современных данных подтверждено, что в распределениях параметров пульсаров, построенных с использованием метода главных компонент корреляционных матриц, наблюдаются два основных кластера. Один из них образован пульсарами с короткими периодами ($P < 0,1$ сек), второй — пульсарами с $P > 0,1$ сек. На основе анализа исследованных выборок, показано, что нет существенного различия в распределениях параметров в южном ($Z < 0$) и северном ($Z > 0$) полушариях Галактики. (Z - высота над плоскостью Галактики.)
2. Подтверждены ранее обнаруженные и выявлены новые различия в параметрах (в нуллингах, поляризации и остаточных уклонениях) и зависимостях между параметрами у пульсаров с $P < 0,1$ сек и с $P > 0,1$ сек, что, возможно, свидетельствует о различных механизмах излучения и областях его генерации.
3. Выявлены специфические особенности пульсаров в двойных системах (меньшие по сравнению с одиночными пульсарами светимости и отсутствие

зависимости светимости от скорости потери энергии вращения), которые могут быть объяснены аккрецией вещества из компаньона. Магнитные поля и скорости потери энергии в таких системах, превышающие на 2-3 порядка аналогичные значения для одиночных пульсаров, в соответствии с признаком, выявленным в работе Малова и Тимиркеевой [1], позволяют ожидать новых обнаружений жёсткого излучения от некоторых из рассмотренных систем.

4. Показана необходимость разработки новых моделей, способных объяснить высокие пространственные скорости и обнаруженное нами различие их средних значений у пульсаров с $P < 0,1$ сек и с $P > 0,1$ сек (106 и 334 км/сек, соответственно).

Апробация результатов

Все полученные в работе результаты, были представлены на научных конференциях: «Всероссийской астрономической конференции»(в 2013 году), «Всероссийской конференции по астрофизике высоких энергий»(в 2013 и 2015 годах), «Астрономия от ближнего космоса до космологических далей» (в 2015 году); а также ежегодных сессиях Астрокосмического центра ФИАН и семинарах ПРАО АКЦ ФИАН.

Публикации по теме диссертации в журналах, рекомендованных ВАК

Все результаты диссертации опубликованы в рецензируемых журналах и тезисах конференций. Всего имеется 10 научных публикаций (среди них 5 статей, содержащих основные результаты, выносимые на защиту, в журналах, входящих в перечень изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций ВАК):

А1. А.А.Логинов, И.Ф.Малов. Классификация радиопульсаров методом главных компонент. *Астрономический журнал*, Т.91, №1, с.57-70, 2014.

А2. А.А.Логинов, И.Ф.Малов. Различие параметров в радиопульсарах с короткими и длинными периодами. *Астрономический журнал*, Т.91, №10, с.833-845, 2014.

А3. А.А.Логинов, И.Ф.Малов. Особенности пульсаров с короткими и с длинными периодами. *Астрономический журнал*, т.92, №11, стр.943-952, 2015.

А4. А.А.Логинов, Е.Б.Никитина, И.Ф.Малов. Пространственные скорости радиопульсаров. *Астрономический журнал*, т.93, №2 стр.149-159, 2016.

А5. А.А.Логинов, И.Ф.Малов. Параметры радиопульсаров в двойных системах и шаровых скоплениях. *Астрономический журнал*, т. 94, №2 стр. 127-134, 2017.

Другие публикации автора по теме диссертации.

Б1. А.А.Логинов, И.Ф.Малов. Классификация пульсаров методом главных компонент. Тезисы докладов Всероссийской астрономической конференции ВАК-2013, Санкт-Петербург, с.169.

Б2. А.А.Логинов, И.Ф.Малов. Различие параметров в радиопульсарах с короткими и с длинными периодами. Тезисы докладов Всероссийской конференции по астрофизике высоких энергий НЕА-2013, Москва, с.54-55.

Б3. А.А.Логинов, И.Ф.Малов. Сравнительный анализ параметров долгопериодических и короткопериодических пульсаров. Тезисы докладов конференции «Астрономия от ближнего космоса до космологических далей». М, 2015, стр.60-61.

Б4. А.А.Логинов, Е.Б.Никитина, И.Ф.Малов. Пространственные скорости радиопульсаров. Тезисы докладов Всероссийской конференции по астрофизике высоких энергий НЕА-2015, Москва, с.55-56.

Б5. А.А. Loginov, I.F. Malov. Comparison of parameters in pulsars with short and long periods, *Astronomical and Astrophysical Transactions*, Vol. 29, Issue 4, pp. 471–480, 2016.

Личный вклад автора

Автор совместно с научным руководителем участвовал в постановке задач исследований и методов их решения, анализе, интерпретации и обсуждении результатов, а также формулировке выводов работы и их дальнейшего оформления в виде публикаций. Во всех основных результатах, которые выносятся на защиту, личный вклад автора является основным и определяющим.

Объем и структура диссертации

Общий объём диссертации 119 страниц. Она состоит из введения, пяти глав, включающих 51 рисунок и 6 таблиц, заключения. Список литературы на 10 страницах содержит 104 наименования. Рисунки 1,2 диссертации заимствованы из опубликованных работ [2], [3], рисунок 48- из [4], остальные рисунки выполнены самостоятельно автором диссертации.

Краткое содержание работы

Во Введении обсуждается актуальность проведенных исследований и дано современное состояние проблемы, сформулирована цель работы, а также показана её научная новизна и практическая значимость. Содержатся сведения о достоверности и апробации результатов, даётся список опубликованных работ по теме диссертации. Приводятся выносимые на защиту основные результаты исследования.

В Главе 1 «Пульсары» даны основные сведения о теоретических моделях и наблюдательных данных пульсаров. Обсуждается аргументация в пользу рассмотрения пульсара на основе концепции вращающейся нейтронной звезды. Дан обзор основополагающих работ и обсуждается развитие основных представлений о механизмах излучения.

В Главе 2 «Классификация пульсаров методом главных компонент» производится классификация популяции пульсаров с использованием формального математического метода. В начале приведено описание метода главных компонент, позволяющего выделить ведущие факторы вариации исследуемых величин. Обсуждаются объекты и параметры, на основе которых проводится классификация в работе. Делается вывод о том, что наиболее важными параметрами являются характеристики, описывающие физическую природу объектов: расстояние пульсара до плоскости галактики (Z), которое служит мерилем его возраста; мощность излучения (светимость L и плотность потока S); ширина профиля импульса (W_{10}), характеризующая структуру магнитосферы; скорость потери энергии вращения (dE/dt), обеспечивающая процессы в магнитосфере; индукция магнитного поля (B). Приводятся результаты анализа выборок, состоящих из набора разного числа параметров (от четырех до шести). Показано, что во всех случаях в фазовом пространстве всех главных компонент, полученных на основе собственных векторов корреляционных матриц параметров (см. [A1], совместный результат диссертанта и соавтора),

$$F1 = 3,83 P - 1,66 \lg L + 3,61 W_{10} + Z$$

$$F2 = -0,15 P - 0,58 \lg L - 0,35 W_{10} + Z$$

$$F3 = 0,17 P + 2,93 \lg L + 0,89 W_{10} + Z,$$

наблюдаются два основных кластера (рис.1).

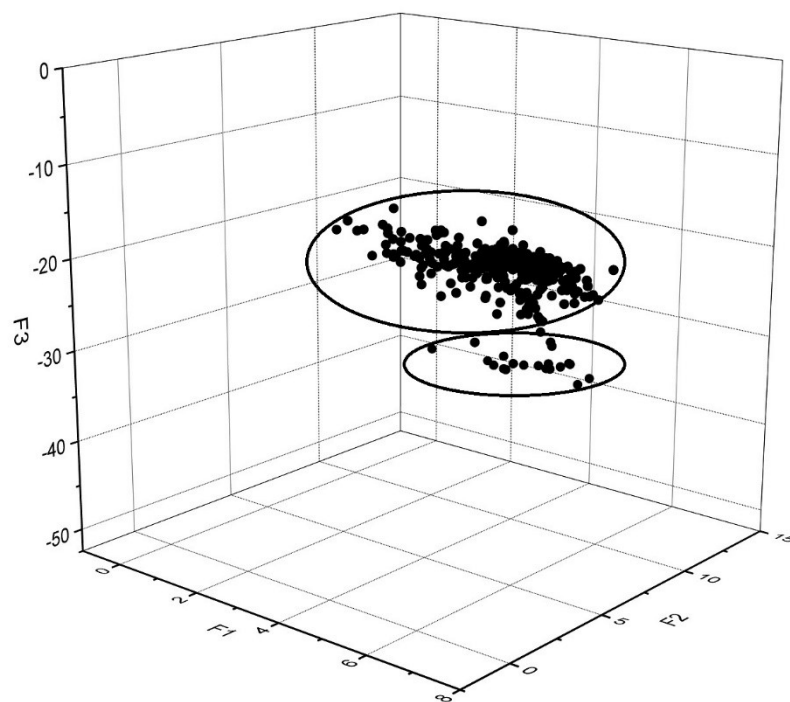


Рис.1 Распределение пульсаров в пространстве трех главных компонент (F1,F2,F3). Рисунок выполнен на основе данных из работы [A1], носит иллюстративный характер.

Один из них образован объектами с периодами менее 0,1 секунды (которые составляют менее 10% от общего числа объектов в выборках) второй-пульсарами с периодами, превышающими это значение. Показано различие и других характеристик объектов из этих двух групп. Выявлено отличие среднего значения тангенциальной скорости для короткопериодических и долгопериодических пульсаров (106 и 334 км/сек, соответственно). Составлена матрица корреляций 11 наблюдаемых и вычисленных параметров, представляющая интерес для рассмотрения перспективы исследования зависимостей между ними.

Таблица 1. Коэффициенты корреляции основных вычисляемых и измеряемых параметров радиопульсаров. Таблица подготовлена на основе данных из каталога [5]. Совместный результат диссертанта и соавтора из работы [A1].

	P (сек)	dP/dt	W_{10} (мсек)	S_{400} (мЯн)	S_{1400} (мЯн)	Z (кпс)	L (эрг/ сек)	L_{1400} (мЯн/ кпс ²)	B_s (Гс)	dE/dt (эрг/ сек)	B_{lc} (Гс)
P	1										
dP/dt	0,12	1									
W_{10}	0,58	0	1								
S_{400}	-0,06	-0,04	-0,03	1							
S_{1400}	-0,06	-0,02	-0,01	0,83	1						
Z	0,03	-0,02	0,17	-0,01	-0,02	1					
L	-0,09	-0,02	0,08	0,25	0,17	0,09	1				
L_{1400}	-0,09	-0,01	0,06	0,17	0,23	0,04	0,22	1			
B_s	0,47	0,8	0,17	-0,04	-0,04	-0,03	-0,01	-0,01	1		
dE/dt	-0,14	0,17	-0,09	-0,03	-0,02	0	0	0,03	0,07	1	
B_{lc}	-0,25	-0,03	-0,17	-0,03	-0,04	-0,13	-0,06	-0,04	-0,11	0,15	1

В таблицу включены основные параметры, которые описывают физические характеристики объекта: мерло возраста (Z), характеристика мощности излучения (L, S), размер и структура магнитосферы (W_{10}), индукция магнитного дипольного поля (B), характеристика источника энергии излучения (dE/dt).

Проведён анализ распределения пульсаров в северном ($Z > 0$) и южном ($Z < 0$) полушариях Галактики, который показал однородность распределения их параметров.

В Главе 3 «Различия параметров пульсаров с короткими и длинными периодами» обсуждается отмеченная ранее другими авторами бимодальность распределения значений периодов пульсаров и их производных, приводится сравнительный анализ зависимостей различных параметров для двух групп

пульсаров- короткопериодических и долгопериодических. Построены зависимости значений светимостей в рентгеновском, гамма и радио диапазонах от величины магнитных полей на поверхности и на световом цилиндре и значений потери энергии вращения, зависимости коэффициента трансформации энергии вращения в радиоизлучение и ширины импульса от периода. Рассматриваются механизмы генерации излучения и области магнитосферы, в которых происходит его формирование, согласующиеся с полученными зависимостями. Полученные корреляции светимостей с магнитными полями на световом цилиндре согласуются с предположением о синхротронной природе излучения короткопериодических пульсаров, в то время, как для долгопериодических в качестве основного механизма подтверждается излучение кривизны. Оказалось, что светимость пульсара в радиодиапазоне L_r не зависит от магнитного поля на поверхности B_s для обеих групп.

Такой результат объясняется тем обстоятельством, что в долгопериодических пульсарах основным механизмом излучения считается излучение кривизны (curvature radiation) [6]:

$$P_{cr} = \frac{2e^2c\gamma^4}{3\rho^2}, \quad (1)$$

здесь p_{cr} - мощность излучения, e — заряд электрона, c — скорость света, γ - лоренц-фактор излучающего электрона, ρ — радиус кривизны внешнего магнитного поля.

В этом случае мощность излучения единичного заряда зависит лишь от структуры магнитного поля (его радиуса кривизны), а не от его индукции. Общепринятой теории радиоизлучения пульсаров и предсказываемой величины их светимости в настоящее время не существует. Полученные в диссертации результаты свидетельствуют о том, что наблюдаемая светимость также не зависит от индукции магнитного поля. Что касается пульсаров с короткими периодами, то в этих объектах излучение генерируется на больших расстояниях от поверхности нейтронной звезды (вблизи светового цилиндра) и при любом механизме излучения может не зависеть от величины параметров на поверхности. В радиодиапазоне светимость пульсаров с $P > 0,1$ с не зависит от магнитного поля на световом цилиндре по той же причине, что и от магнитного поля на поверхности, а в короткопериодических пульсарах такая зависимость видна. Зависимости светимости в жёстких диапазонах от B_{1c} следующие (см. [A2], совместный результат диссертанта и соавтора):

$$\lg L_x(\text{эрг/сек}) = (2,08 \pm 1,09) \lg B_{1c}(\text{Гс}) + (21,78 \pm 5,44), \quad (2)$$

при коэффициенте корреляции $K = 0,57$ и вероятности случайного распределения $p=5 \times 10^{-4}$ для 33 объектов с $0,0016 \leq P \leq 0,0914$ сек

$$\lg L_x(\text{эрг/сек}) = (1,39 \pm 0,64) \lg B_{1c}(\text{Гс}) + (27,40 \pm 2,24), \quad (3)$$

$K=0,66$ и $p=1 \times 10^{-4}$ для 28 объектов с $0,1014 \leq P \leq 5,5403$ сек

$$\lg L_\gamma(\text{эрг/сек}) = (0,49 \pm 0,64) \lg B_{1c}(\text{Гс}) + (31,75 \pm 3,02), \quad (4)$$

$K = 0,24$ и $p=0,13$ для 43 объектов с $0,0016 \leq P \leq 0,0988$ сек

$$\lg L_\gamma(\text{эрг/сек}) = (0,81 \pm 0,53) \lg B_{1c}(\text{Гс}) + (31,70 \pm 1,97), \quad (5)$$

$K=0,51$ и $p=0,004$ для 30 объектов с $0,1024 \leq P \leq 0,4137$ сек

Данные зависимости свидетельствуют о формировании излучения вблизи светового цилиндра, а большая дисперсия связана с разным наклоном магнитного момента к оси вращения нейтронной звезды и, следовательно, различной протяжённостью магнитосфер у исследованных источников (см., например [7]).

Корреляцию $L(B_{1c})$ следует ожидать, поскольку вблизи светового цилиндра у излучающих электронов могут появиться заметные питч-углы ψ [8], и преобладающим становится синхротронный механизм, для которого мощность излучения растёт с увеличением магнитного поля [8]:

$$P_s = \frac{2e^4 B^2 \sin^2 \psi}{3m^2 c^3} \quad (6)$$

Построены зависимости светимостей L в различных диапазонах от скорости потери энергии вращения dE/dt для исследуемых выборок. Оказалось, что как и было известно ранее на основе различных выборок пульсаров, существуют положительные корреляции между L и dE/dt . Подтверждается вывод о единстве природы источника энергии, обеспечивающего наблюдаемое излучение пульсаров во всех диапазонах для всех одиночных радиопульсаров. Показано, что эффективность перекачки энергии вращения в излучение $\eta =$

$L/dE/dt$ у двух групп пульсаров (с $P > 0,1$ и $P < 0,1$ сек) различается, для радиодиапазона $\lg \eta = -3,7$ и $\lg \eta = -4,6$, соответственно. У долгопериодических объектов она выше примерно на порядок и кроме того она возрастает с периодом пульсара. У источников, относящихся к короткопериодической популяции зависимость от периода отсутствует.

Представлен сравнительный анализ различного рода нестационарных процессов, протекающих в магнитосфере. Прежде всего рассматриваются нуллины в излучении пульсаров [9]. Объясняется отсутствие нуллинов у короткопериодических пульсаров. Используя приведенные в каталоге [5] средние за период плотности потока $\langle S \rangle$ и ширины профилей W_{10} по уровню 10%, вычислены плотности потока в импульсе (см. [A3], совместный результат диссертанта и соавтора):

$$S_p = \frac{\langle S \rangle P}{W_{10}}. \quad (7)$$

Оказалось, что интенсивность в импульсе больше в пульсарах с короткими нуллинами (Рис. 2). Проведённая на рисунке прямая описывается уравнением (см. [A3], совместный результат диссертанта и соавтора)

$$\lg S_p (\text{мЯн}) = (-0,34 \pm 0,19) \lg \text{NF}(\%) - (3,73 \pm 0,20), \quad (8)$$

при коэффициенте корреляции, равном $-0,50$ и вероятности случайного распределения $0,001$.

Здесь NF (null fraction)- частота появления нуллинов.

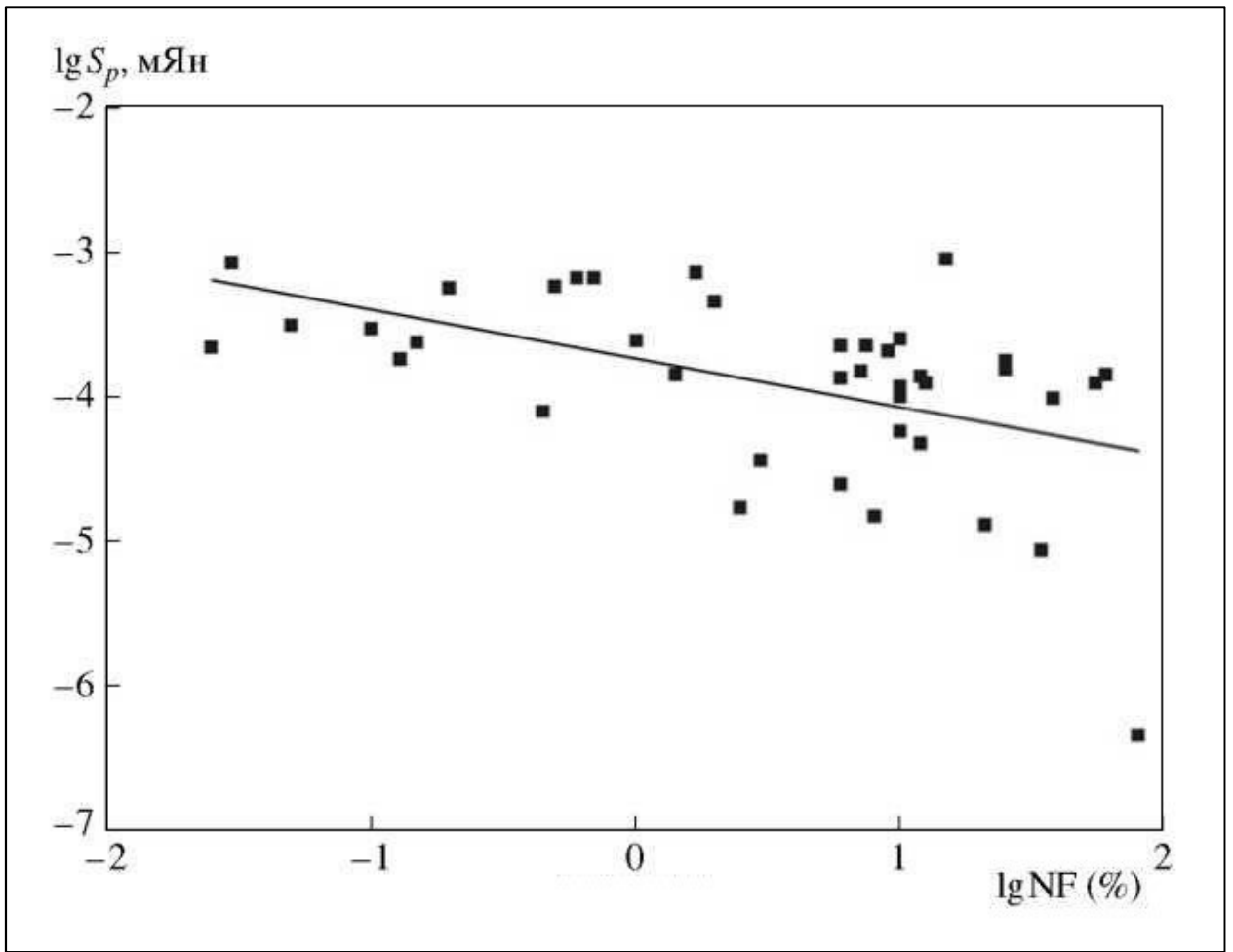


Рис. 2 Зависимость плотности потока в импульсе на частоте 1400 МГц от NF. Построена по данным из работ [9], [5]. Совместный результат диссертанта и соавтора из работы [А3].

Рассмотренная взаимосвязь стабильности излучения и количества энергии, подпитывающей магнитосферу, позволяет выдвинуть предположение, что у пульсаров с большими возрастами, когда магнитосфера становится нестабильной, малые изменения параметров (уменьшения концентрации частиц, их лоренц-факторов) приводят к заметным последствиям, в частности, к нуллингам и нестабильным формам импульсов, что подтверждается также наблюдаемыми переключениями мод у пульсаров с $P > 0,1$ сек.

Детально рассмотрены зависимости степени линейной и круговой поляризации излучения на разных длинах волн от периода, что позволяет проверить гипотезу о различии областей магнитосферы, в которых генерируется излучение у короткопериодических и долгопериодических пульсаров. Более высокая степень линейной и круговой поляризации у пульсаров с короткими периодами свидетельствует о большей удалённости областей генерации их излучения от поверхности нейтронной звезды и вероятно о включении другого механизма поляризованного излучения во внешних слоях магнитосферы.

В **Главе 4** «Параметры радиопульсаров в двойных системах и шаровых скоплениях» проводится сравнительный анализ построенных распределений значений периодов и магнитных полей на поверхности нейтронной звезды и на световом цилиндре, подтверждающий, что пульсары, входящие в состав двойных систем и шаровых скоплений, являются короткопериодическими объектами с низкими значениями магнитных полей, что в свою очередь, является свидетельством в пользу концепции наличия у пульсаров малых значений периода как следствия их взаимодействия с компаньоном. Однако поля на световом цилиндре в этих объектах на два-три порядка выше, чем у основной популяции одиночных нейтронных звёзд (рис.3).

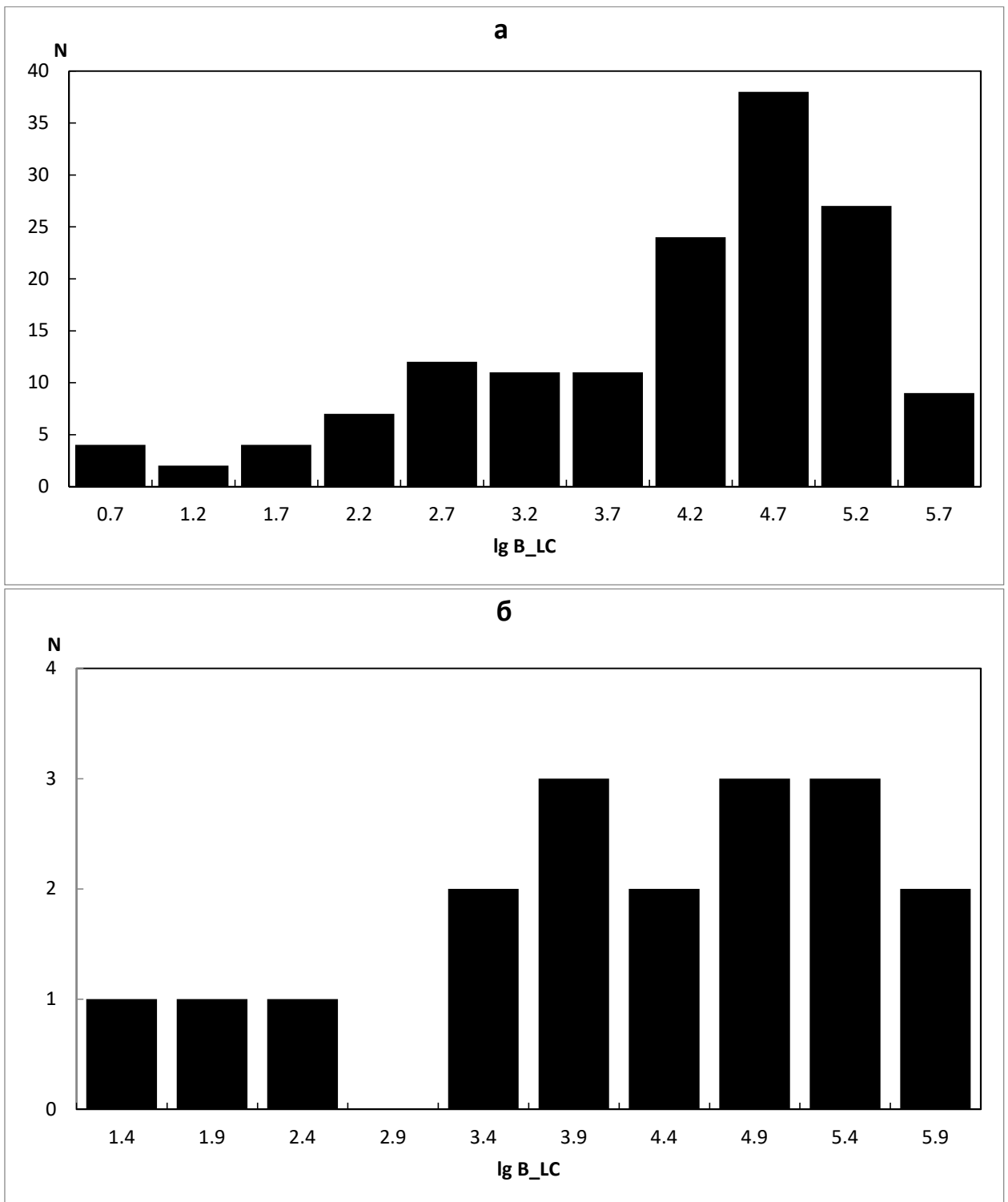


Рис.3 Распределение пульсаров по полям на световом цилиндре. (а) в двойных системах; (б) в шаровых скоплениях, построенные по данным каталога [5]. Совместный результат диссертанта и соавтора из работы [A5].

Поскольку эта особенность характерна для открытых на космическом телескопе Ферми гамма-пульсаров [1], есть основания ожидать новых обнаружений жёсткого излучения от некоторых из рассмотренных систем.

Показано, что формирование излучения в пульсарах, принадлежащих к исследуемым популяциям, происходит так же, как и в одиночных пульсарах. Об этом свидетельствуют зависимости ширины наблюдаемых профилей от периода пульсара. Обсуждается роль аккреции вещества от компаньона для объяснения отсутствия зависимости между светимостью и скоростью потерь энергии вращения (коэффициент корреляции 0,09), а также меньших значениях светимости в пульсарах рассматриваемой выборки по сравнению с одиночными пульсарами ($140 \text{ мЯн} \times \text{кпс}^2$ и $538 \text{ мЯн} \times \text{кпс}^2$, соответственно).

В **Главе 5** «Пространственные скорости радиопульсаров» обсуждается эффективность различных моделей, предложенных для объяснения высоких пространственных скоростей пульсаров. Построены зависимости значений пространственной скорости от величин магнитных полей на поверхности нейтронной звезды и от периода. Для функционирования механизмов ускорения нейтронных звёзд, предложенных в работах [10]-[14] необходимы либо очень короткие начальные периоды их вращения (порядка 1 мсек), либо очень сильные магнитные поля ($10^{15} - 10^{16}$ Гс), но современные, общепринятые представления о природе и свойствах пульсаров этого не допускают. Кроме того, отсутствие корреляций между пространственной скоростью и периодом, а также между этой скоростью и магнитным полем, необходимыми для условий эффективной работы рассмотренных механизмов ускорения, ставят их существование и эффективность под сомнение. Рассмотрена возможность ускорения пульсаров за счет асимметрии электромагнитного излучения. Выполнены оценки, которые показали, что даже полной перекачки электромагнитного импульса недостаточно для обеспечения их ускорения во время основной части жизни пульсара. Построены зависимости значений поперечной скорости от светимости источников в радио, гамма и рентгеновском диапазонах, на основании которых сделан вывод о замедлении движения пульсара с увеличением его возраста. Вычислены начальные периоды для 192 объектов, приняв в качестве значения реального возраста кинематический. Построено распределение начальных периодов (рис.4), которое оказалось бимодальным, напоминающим распределение периодов в настоящее время.

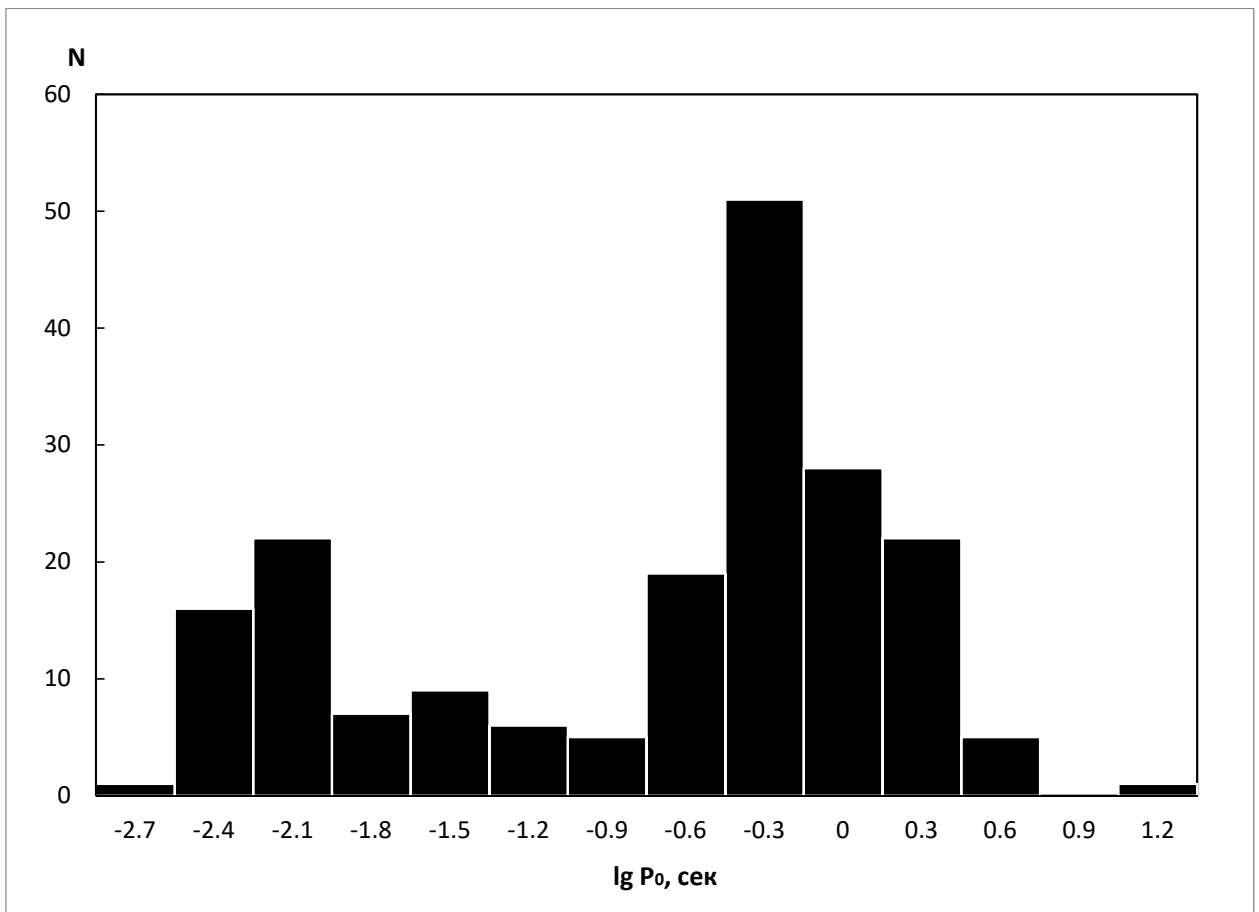


Рис. 4 Распределение начальных периодов пульсаров. Совместный результат диссертанта и соавторов из работы [А4].

Кроме того, на основании вычисленных значений кинематического возраста уточнена оценка характерного времени уменьшения магнитного поля и угла между осью вращения нейтронной звезды и её магнитным моментом. Аналогичные вычисления были проведены в работе [15] по значительно меньшей выборке и в предположении о том, что синус угла между осью вращения и магнитным моментом одинаков для всех объектов и равен единице. Авторы работы [15] получили значение 2 миллиона лет. Наши вычисления дают величину 1,4 миллиона лет. Построена зависимость значений поперечной скорости от угла между осью вращения и лучом зрения, обнаружена тенденция к увеличению скорости пульсара с удалением луча зрения от оси вращения нейтронной звезды, которая ожидается в механизмах ускорения, предсказывающих направление скорости пульсара вдоль его оси вращения.

В **Заключении** приведены основные результаты, выносимые на защиту.

Список литературы:

1. Малов И.Ф., Тимиркеева М.А. «Особенности радиопульсаров с излучением вне радиодиапазона»// 2014. Астрон. ж.. Т. 705. С.705-712.
2. Goldreich P., Julian W.H. «Pulsar electrodynamics»// 1969. Astrophys. J.. V. 157. P. 869-882.
3. Ruderman M.A., Sutherland P.G. «Theory of pulsars: polar gaps, sparks, and coherent microwave radiation»// 1975. Astrophys. J.. V. 196. P. 51-72.
4. Манчестер Р., Тейлор Дж. «Пульсары». М.: Мир. 1980.
5. Manchester R. N., Hobbs G. B., Teoh A., Hobbs M. «The Australia Telescope National Facility Pulsar Catalogue»// 1993(2005). Astron. J. V. 129. P. 1993-2006.
6. Komisaroff M.M. «Possible mechanism for the pulsar radio emission.»// 1970. Nature. V. 225. P. 612-614.
7. Малов И.Ф. «О радиоизлучении аномальных пульсаров»// 2014. Астрон.ж.. Т. 91, С. 194-199.
8. Малов И. Ф., Мачабели Г. З. «О спектрах жесткого излучения радиопульсаров»// 2002. Астрон. ж.. Т. 79, С. 755-761.
9. N. Wang. R. N. Manchester, and S. Johnston «Pulsar nulling and mode changing»// 2007. Monthly Not. Roy. Astron. Soc.. V.377 P. 1383-1392.
10. Arras P., Lai D. «Can parity violation in neutrino transport lead to pulsar kicks?»// 1999. Astrophys. J.. V. 519 P. 745-749.
11. Herant M., Benz W., Hix W.R., Fryer C.L., S.A.Colgate S.A. «Inside the supernova: a powerful convective engine»// 1994. Astrophys. J.. V. 435. P. 339-361.
12. Burrows A., Hayess J., Fryxell D.A. «On the nature of core-collapse supernova explosions»// 1995. Astrophys.J .. V. 450. P. 830-850.
13. Harrison E.R., Tademaru E. «Acceleration of the pulsar by asymmetric radiation»// 1975. Astrophys. J.. V. 201. P. 447-561.
14. G.S.Bisnovaty-Kogan «Asymmetric neutrino emission and formation of rapidly moving pulsars»// 1993. Astronomical and Astrophysical Transactions. V. 3. P. 287-294.
15. Dorofeev, Yu. P., Pskovsky O. F. «Spatial velocities of pulsars»// 1990. J. Astrophys. Astr. V. 11. P. 507-514.