

## ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации Тимиркеевой Марии Андреевны «Исследование особенностей радиопульсаров, излучающих в гамма- и рентгеновском диапазонах», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия

Сопоставление статистических распределений характеристик пульсаров с теоретическими предсказаниями является одним из широко используемых в астрофизике способов определения механизмов выделения и преобразования в электромагнитное излучение энергии вращения одиночных пульсаров. Особенно это актуально для радиопульсаров. В жестком излучении (особенно в гамма диапазоне) сильные ограничения на указанные механизмы накладывает энергетика. Там доля энергии, идущая в излучение может достигать почти 100 %, а в радиодиапазоне на излучение идет всего от  $10^{-6}$  до  $10^{-4}$  от вращательных потерь пульсаров. Поэтому в наших теоретических представлениях о генерации жесткого излучения уже достигнуто общее единодушие в отношении механизма генерации гамма-излучения, особенно в области выше 1 ГэВ. А в радиодиапазоне, наоборот, широкий спектр моделей и представлений. Очень трудно из наблюдательных данных получить жесткие ограничения на возможные механизмы излучения в радиодиапазоне. Тем более, что это может быть и не единый механизм для всех пульсаров.

Задачей представленной диссертации являлся статистический анализ массивов данных о 4 группах пульсаров: радио громких пульсаров, громких в радио и -гамма диапазоне, пульсаров громких в радиодиапазоне с рентгеновским излучением и громких только в гамма - диапазоне, но тихих в радио. Такой анализ представляет интерес для определения природы электромагнитного излучения в широком диапазоне частот . Он широко используется и является несомненно актуальным.

Диссертация М.А. Тимиркеевой состоит из Введения, четырех глав, Заключение, списка литературы (127 библиографических ссылок), и двух Приложений (А и Б), куда вынесены основные таблицы. Общий объем диссертации 117 страниц.

**Введение** содержит подробный (20 страниц) обзор исследований пульсаров – нейтронных звезд со времени опубликования идеи Л.Д. Ландау о существовании сверхплотных звезд, открытия А. Хьюишем и Дж. Белл первого радиопульсара CP1919 в Кембриджской обсерватории и до наших дней. Он дает четкое представление о том, что уже достигнуто, и о том, что еще предстоит сделать. Далее во Введении охарактеризованы актуальность исследования, цели работы, решаемые задачи, новизна, научная и практическая значимость. Сопоставление известных данных об излучении пульсаров в разных диапазонах привело автора к

выводу о необходимости новых наблюдений. Далее во Введении сформулированы четыре основных положения, выносимые на защиту. Обсуждается достоверность результатов. Приведены сведения об *апробации работы* (следует отметить высокую активность автора в представлении своих результатов - на 27 молодёжных, локальных, всероссийских и международных конференциях). Здесь также охарактеризован *личный вклад*, приведены сведения о публикациях. Они разбиты на три группы, главная из которых – семь публикаций в рецензируемых журналах (все семь в соавторстве, в двух из них М.А. Тимиркеева – первый автор). Завершает Введение описание структуры работы, содержания глав и Приложений.

**В Главе 1** «Радиопульсары с излучением вне радиодиапазона» – исследуются распределения характеристик пульсаров избранных четырех групп по различным параметрам. Для оценки значимости различий рассматриваемых распределений использован критерий Колмогорова–Смирнова. Найдено, что пульсары с зарегистрированным жестким излучением обладают более сильными магнитными полями на световом цилиндре и более высокой скоростью потерь энергии вращения.

**Глава 2** посвящена сравнению светимости пульсаров в различных диапазонах. Получены основания предполагать, что генерация гамма-излучения происходит на периферии магнитосферы пульсаров. Выявлена корреляция гамма-светимости радио-тихих пульсаров со скоростью потери энергии вращения.

**В Главе 3** обсуждается список радиопульсаров, от которых с большой вероятностью можно ожидать гамма-излучение и представлены радио-тихие гамма-пульсары с ожидаемым радиоизлучением от них. Приводятся результаты выполненных автором радионаблюдений гамма-пульсара J1836+5925, подобного знаменитому гамма-пульсару Геминга. Наблюдения проводились на антенне БСА ФИАН на частоте 111 МГц. Впервые получено значение верхнего предела плотности его потока на этой частоте.

**В Главе 4** «Радиопульсары как рентгеновские источники» найдена сильная корреляция между рентгеновской светимостью радиопульсара и скоростью потери энергии вращения. Заслуживает внимания полученный в диссертации вывод о генерации нетеплового рентгеновского излучения радиопульсаров синхротронным механизмом.

**В Заключение** сформулированы основные результаты работы. Далее помещены основные таблицы.

**Научная новизна** диссертации М.А. Тимиркеевой заключается в том, что в работе **впервые** детально проанализированы возможные связи и отличия между радиопульсарами, рентгеновскими пульсарами и гамма-пульсарами. **Впервые** показано на большой выборке, что пульсары с жестким излучением образуют отдельную группу и, в отличие от основной массы обычных радиопульсаров, имеют повышенное магнитное поле на световом цилиндре и более высокий темп потери энергии вращения. **Впервые дан** верхний предел на плотность потока радиоизлучения на частоте 111 МГц от пульсара J1836+5925. **Впервые** показано

из анализа наблюдательных данных, что жесткое рентгеновское излучение скорее всего генерируется вблизи светового цилиндра за счет синхротронного механизма.

**Достоверность** полученных результатов обеспечивается использованием надежных данных международных спутниковых экспериментов, использованием отработанной техники Пушчинской радио обсерватории- радиотелескопа БСА ФИАН, убедительным обоснованием применяемых методов анализа и теоретическими аргументами. Показано согласие этих результатов с результатами других авторов.

**Научная и практическая значимость** работы несомненны. Составлены каталоги объектов для поиска как гамма пульсаров среди радиопульсаров, так и наоборот, радиопульсаров среди гамма-пульсаров. Фактически разработана программа будущих наблюдений. Результаты исследований могут быть использованы во многих астрономических учреждениях в нашей стране и за рубежом.

### **Недостатки работы.**

1. Во введении обсуждаются основные теоретические представления физики пульсаров. При этом используется уже устаревшее представление, что потери вращения пульсаров связаны с магнитодипольным излучением. По современным представлениям, которым уже лет 15, потери энергии вращения имеют другую природу. Пульсары образуют плотный ветер релятивистской плазмы, в которой плазменная частота намного превышает частоту вращения пульсаров. Магнитодипольная электромагнитная волна не может распространяться в такой плазме. Вместо этого формируется релятивистский МГД ветер, в котором торможение пульсара происходит за счет возникающего тороидального натяжения магнитных силовых линий, точно также как наше Солнце тормозится солнечным ветром. Устаревшие теоретические представления приводят к слегка некорректному определению магнитных полей на поверхности уже в главе 1. Формулы 1.5 на стр. 42.

2. В главе 2 обсуждается бимодальность распределения пульсаров по радиосветимости на частоте 1400 МГц. Здесь сразу возникают претензии к статистике, на которой проводится исследование. Речь идет о числе пульсаров в разных диапазонах светимости: 1,1,5,10,5,6,12,1,2 для версии каталога 1.45 и 1,6,8,9,4,9,4 для версии 1.55. На этой статистике автор делает вывод о бимодальности распределения. Что странно, автор не приводит оценки вероятности, что это распределение может описываться нормальным распределением, что как правило делается в остальных случаях по всему тексту диссертации. Это сразу подрывает доверие к этому утверждению. Но это не все. Автор по непонятным причинам, предполагает, что радиосветимость должна иметь бимодальное распределение из-за различия в расстоянии до пульсаров,

которые находятся в разных рукавах Галактики. На самом деле бимодальность в этом случае должно демонстрировать распределение пульсаров по плотности потока радиоизлучения на заданной частоте из-за различия в расстояниях, а светимость от расстояния не зависит. Это характеристика пульсаров, не зависящая от расстояния. Интересно, что распределение пульсаров по плотности потока радиоизлучения на частоте 1400 МГц тоже испытывают аналогичные флуктуации числа пульсаров в разных интервалах плотности потока. Тем не менее, автор заключает, что имеет дело с нормальным распределением. Затем автор рассчитывает интегральную радиосветимость, интегрируя по спектру радиоизлучения и утверждает, что в этом случае бимодальность исчезает, хотя в распределении наблюдаются практически такие же флуктуации числа пульсаров в распределении по радиосветимости на рис. 2.5. Что очень странно. Остается впечатление, что здесь статистика сыграла с автором злую шутку. Скорее всего никакой бимодальности в распределении светимости на частоте 1400 МГц нет, а если она все таки есть, то это говорит о каком-то заметном различии пульсаров в разных рукавах Галактики. К счастью, это положение диссертации не выносится на защиту.

3. В выводах к главе 4 делается чересчур сильное утверждение, что рентгеновское излучение формируется вблизи светового цилиндра на том основании, что есть сильная корреляция между рентгеновской светимостью нетеплового рентгеновского излучения и магнитным полем на световом цилиндре. То что это утверждение избыточно смелое, видно из того, что в главе 2 автор делает по аналогичному поводу более мягкое (что правильно) утверждение о том, что наличие корреляции гамма — светимости с величиной магнитного поля на световом цилиндре может свидетельствовать в пользу гипотезы, что гамма-излучение формируется вблизи светового цилиндра. На самом деле гамма-излучение в области 1 ГэВ формируется за счет излучения за счет кривизны силовых линий. Оно зависит только от радиуса кривизны линий и не зависит от величины магнитного поля. Поэтому как гипотеза утверждение автора проходит, а как однозначное утверждение, оно не достаточно обосновано. Для этого необходимо было бы показать, что результаты статистического анализа исключают все остальные возможные модели рентгеновского излучения. Автору следовало бы смягчить утверждение. Результаты диссертации говорят в пользу гипотезы генерации рентгеновского излучения на световом цилиндре, но не указывают на это однозначно.

4. Есть довольно многочисленные стилистические погрешности в тексте, использование научных жаргонизмов типа «Гауссиана» вместо нормального или гауссовского распределения. В тексте отсутствует иногда важная информация. В частности, во всей диссертации так и не упомянуто о каком диапазоне энергий идет речь при обсуждении гамма-излучения.

Высказанные замечания не умаляют научный уровень полученных результатов и не влияют на высокую общую оценку работы.

**Заключение.** Детальное рассмотрение позволяет заключить, что диссертация Тимиркеевой Марии Андреевны «Исследование особенностей радиопульсаров, излучающих в гамма- и рентгеновском диапазонах» является законченным самостоятельным исследованием, выполненным на высоком научном и техническом уровне. Диссертация удовлетворяет всем критериям, установленным Положением ВАК РФ о порядке присуждения степени кандидата наук, а ее автор Тимиркеева Мария Андреевна, безусловно, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия.

Официальный оппонент

С.В.Боговалов

Боговалов Сергей Владимирович  
доктор физико-математических наук,  
01.04.02 – Теоретическая физика.  
Профессор НИЯУ МИФИ, руководитель лаборатории  
«Экстремальная гидродинамика»  
Национальный Исследовательский Ядерный Университет (МИФИ)  
115409, г. Москва, Каширское шоссе, д.31  
Тел. (916) 092 11 47, электронная почта [svbogovalov@mephi.ru](mailto:svbogovalov@mephi.ru),  
[ss433@mail.ru](mailto:ss433@mail.ru).

Августа 2022 г.

Подпись С.В. Боговалова удостоверяю,