

О Т З Ы В

официального оппонента

на диссертационную работу **НИКИТИНОЙ Елены Борисовны** «*Структура магнитосферы радиопульсаров по данным об углах между их магнитным моментом и осью вращения*», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 «Астрофизика и звездная астрономия»

Диссертация Е. Б. Никитиной посвящена определению и анализу углов β между магнитной осью и осью вращения нескольких сотен одиночных радиопульсаров на основе имеющихся в литературе наблюдаемых характеристик последних. Магнитный угол является одним из ключевых параметров, характеризующих текущее состояние пульсара, и тесно связан с потерями его вращательной энергии и свойствами наблюдаемого радиоизлучения. Распределение величины магнитного угла по популяции пульсаров и его эволюция существенно различаются в разных моделях. Так, модель токовых потерь (Beskin et al. 1993) предполагает систематическое увеличение β со временем, в то время как классическая магнитодипольная модель (напр. Davis & Goldstein 1970), а также современное МГД-моделирование (Philippov, Tchekhovskoy & Li 2013) предполагают его уменьшение. При этом в литературе имеется явный недостаток наблюдательных оценок углов β , особенно сделанных массово, по большим более-менее однородным выборкам. Так что экспериментального ответа на вопрос о ходе эволюции β до сих пор не получено. Поэтому, избранная диссертантом тема, несомненно является актуальной. Ее решение может существенно дополнить наши представление о фундаментальных механизмах замедления вращения и генерации радиоизлучения пульсаров, каковые по сей день остаются во многом загадочными.

Для определения величин магнитных углов ~ 400 пульсаров автор использует несколько известных методов (Кузьмин и др. 1983, 1984; Малов 1986, 2004) применявшихся ранее для других, меньших по объему, выборок объектов. Почти все они основаны на общепринятой гипотезе о том, что конус радиоизлучения пульсара ограничен последними открытыми силовыми линиями его магнитосферы, имеющей дипольную структуру. При этом линейно-поляризованное излучение генерируется в направлении локальной линии магнитной индукции. И только один метод, предполагающий равенство углов β и ζ (угла между осью вращения и направлением на наблюдателя), предполагает лишь осевую симметрию диаграммы направленности пульсара.

В **Главе 1** Диссертации исследуются 80 пульсаров, ширины импульсов которых были измерены van Ommen et al. (1997) на длине волны 30 см. Три

методами автор получает для этих объектов всего 207 оценок магнитного угла, из которых 80 являются нижними оценками β , а еще 6 – верхними. При этом полученные в рамках каждого из методов распределения β существенно отличаются друг от друга. Проведенная автором проверка зависимости полученных оценок от других характеристик пульсаров (характеристического возраста, светимости, галактической высоты), показала отсутствие значимой корреляции.

Кроме того, анализируя полученные оценки, и сопоставляя их с результатами других исследователей, автор приводит аргументы в пользу того, что пульсары B1055-52 и B1822-09 являются соосными ротаторами (а B1641-45, B1642-03 и B1944+17 предлагаются в качестве кандидатов в такие объекты). С другой стороны, пульсары B1702-19 и B2321-61 характеризуются как ортогональный ротатор и кандидат в таковые соответственно. Это один из важных конкретных вводов Диссертации.

В **Главе 2** исследуется большая выборка из более чем 300 пульсаров, данные о ширинах импульсов которых на длинах волн 10 и 20 см были получены Weltevrede et al. (2007). Причем, для трети из них наблюдения проводились в обоих диапазонах. Для этих объектов автор получает более 400 нижних оценок β и 142 точечных оценки, полученных с использованием данных о поляризации излучения. Полученные результаты, в целом, согласуются с результатами предыдущей главы и показывают, что магнитный угол β не зависит от длины волны, что подтверждает предположение о дипольности поля пульсара.

Кроме того, во второй части Главы 2 автор проводит анализ зависимости наблюдаемой средней ширины импульса пульсара W_{10} от его периода и показывает, что изменение вида этой зависимости с частотой можно объяснить развитием двухпоточковой неустойчивости в магнитосфере пульсара (напр. Усов 1986).

Глава 3 Диссертации посвящена исследованию соотношения высот в магнитосфере пульсара, на которых генерируется излучение разной длины волны. Здесь автор использует те же данные наблюдений, что и в предыдущих главах. Он показывает, что величина прицельного параметра $n = \theta/(\beta - \zeta)$ (где θ – полуширина конуса излучения пульсара) может быть очень хорошо ограничена при лишь известных W_{10} и C – максимальной производной позиционного угла линейной поляризации конкретного объекта. Для дипольного поля отношение n для разных длин волн характеризует соответствующее соотношение ширин пульсарного луча. А последние, в свою очередь, определяются расстоянием от поверхности звезды, на котором генерируется радиоизлучение.

В рамках предположения о развитии двухпоточковой неустойчивости в магнитосфере с одной стороны, и на основе статистических оценок θ с другой, автор показывает, что наблюдаемое радиоизлучение на $\lambda = 10$ см генерируется на высоте ~ 100 радиусов нейтронной звезды, а для $\lambda = 20$ см – в 1.5 раза дальше. При этом важно, что автор корректно учитывает зависимость геометрии диаграммы направленности от магнитного угла β , значения которого для конкретных объектов известны из предыдущих глав Диссертации.

Наконец, в **Главе 4** проводится анализ 42 пульсаров с интеримпульсами. Автор приводит более 100 оценок магнитных углов для этих объектов, сделанных несколькими способами. При этом предполагается, что ширина диаграммы направленности пульсара определяется процессом двухпоточковой неустойчивости, а для ряда объектов используются данные о ходе позиционного угла их линейной поляризации. Половина из полученных в этой главе оценок является точечными, а другая половина – ограничивающими.

Их значения, вместе с дополнительными данными, позволяют автору, во-первых, дополнительно подтвердить соосность пульсаров B1055-52 и B1822-09, а так же отнести к таковым B0950+08. Кроме того, автор выделяет из данной выборки 19 соосных и 10 ортогональных ротаторов. Анализ их наблюдаемых характеристик, взятых из литературы (оценки возрастов, светимостей и галактических высот) позволяют автору показать существенное различие между этими двумя подвыборками. Так ортогональные ротаторы оказываются систематически младше и ярче соосных. А, кроме того, они в целом ближе к галактической плоскости, в которой располагаются массивные звезды – прародители пульсаров.

Это означает, что магнитный угол, по-видимому, эволюционирует со временем в сторону уменьшения. Этот вывод работы также представляется крайне важным.

Таким образом, ключевыми результатами работы являются сделанные ~ 900 независимых оценок магнитных углов, полученных разными методами для ~ 400 пульсаров, а так же их последующий анализ и интерпретация. Для многих пульсаров эти оценки были сделаны впервые, а сама работа в целом представляет первый, столь масштабный анализ магнитных углов однородных (в смысле наблюдений) выборок радиопульсаров. Сделанные выводы выглядят обоснованными и имеют несомненную ценность для пульсарной астрономии и могут быть использованы как для физического анализа данных наблюдений отдельных объектов, так и для моделирования их популяции в целом.

Однако необходимо сделать ряд существенных **замечаний** к содержанию

представленной Диссертации:

1. Значения магнитного угла, полученные с учетом изменения поляризации импульса и в рамках статистической оценки ширины луча пульсара (β_2 в Таблицах 2 и 5 Диссертации, всего 215 оценок для 82 пульсаров), строго говоря, не являются достоверными, так как они суть решения уравнения (23), содержащего ошибку в коэффициенте при y^4 . В Диссертации используется коэффициент в виде $C^2(1 - D^2)$, в то время как правильно $C^2(1 - D)^2$. В результате, половина таких значений β_2 была вычислена с ошибкой более 6 градусов (в среднем по всем приведенным в Диссертации значениям – 11 град), а максимальная ошибка достигает 76 град. При этом, в основном, эта ошибка повлияла на вычисления β_2 при $C < 0$ (средняя ошибка 19 град.), нежели на случай $C > 0$ (средняя ошибка 4 град.)

2. Значения β , полученные в предположении о том, что «прицельный параметр» n принимает одно из четырех дискретных значений и обозначенные как β_3 в Таблице 2 (всего 48 оценок для 38 пульсаров), по-видимому, мало пригодны для астрофизического анализа. Во-первых, в силу свойств самого метода, почти произвольный выбор прицельного параметра (как это сделано в работе) приводит к очень большой неопределенности в оценке β_3 , что подтверждается расчетами, проведенными в п. 4.1 третьей главы Диссертации. Действительно, широкому диапазону изменения направления луча зрения ζ соответствует очень узкий диапазон прицельного параметра n (см. последний столбец Таблицы 7). Это означает, что при декларативном выборе n , он попадает, в общем, в произвольную точку интервала своих возможных значений, а стало быть, соответствует произвольным же ζ_3 и β_3 . А во-вторых, выборочная проверка пульсаров В0538-75 и В1054-62 показала, что величины $\beta_3 = 72.076$ и 19.727 град соответственно являются более точным решением системы (26) в смысле минимума суммы квадратов разностей левой и правой частей уравнений. При этом они отличаются от оценок, приведенных в Диссертации для этих объектов на 22 и 4 град. соответственно.

3. Нижние оценки β для 42 пульсаров с интеримпульсами, сделанные в предположении о центральном прохождении луча зрения (величины β_1 в Таблице 10), не учитывают того факта, что полная ширина луча пульсара в случае *соосного* ротатора соответствует интервалу фаз от начала главного импульса до окончания вторичного. В результате, в том виде, в каком этот метод определения β_1 использован в Диссертации, он уже изначально предполагает *ортогональность* всех исследуемых пульсаров. Что не позволяет впоследствии их классифицировать на соосные и ортогональные. Но, коль скоро он используется, он будет приводить к завышенным оценкам β_1 . Так как ширина главного импульса, в данном случае будет характеризовать лишь

ширину «стенки» полого конуса излучения. Действительно, для тех соосных пульсаров с интеримпульсами, для которых была возможность непосредственно аппроксимировать ход позиционного угла моделью (13), величина β_1 в ряде случаев превышает наиболее вероятную оценку магнитного угла β_4 . К таким объектам относятся J0953+0755, J1057-5226, J1825-0935, J1946+1805 и J2032+4127. А пульсар J1107-5907, расстояние между МР и ІР которого составляет 191 град, в Диссертации относится автором к списку ортогональных (Таблица 12) в немалой степени именно из-за полученной для него величины $\beta_1 = 71.6$ град. Хотя, например, Maciesiak et al. (2011) его относят к соосным.

4. Таким образом, 215 из 868 оценок магнитного угла в Диссертации, относящиеся к 82 отдельным пульсарам, строго говоря, не достоверны. Причем половина приводимых значений существенно отличается от истинных. Кроме того, еще 90 оценок, затрагивающие дополнительные 48 пульсаров, по-видимому, имеют очень большую неопределенность, что делает их малопригодными для дальнейшего анализа. В то же время, все 305 упомянутых значений используются в Диссертации в качестве дополнительной информации в ходе астрофизического анализа для:

а) вычисления верхних ограничений на магнитный угол β_{max} 6 пульсаров Таблицы 3 (с использованием решений β_3 из Таблицы 2);

б) решения вопроса о соосности или ортогональности пульсаров с интеримпульсами В1055-52, В1702-19 и В1822-09 (с использованием решений β_2 и β_3 из Таблицы 2);

в) пункта 6 выводов к Главе 1, в котором пульсары В1641-45, В1652-03 и В1944-17 устанавливаются как кандидаты в соосные ротаторы, а В2321-61 – в ортогональные (с использованием решений β_2 и β_3 Таблицы 2);

г) определения оценок расстояния излучающей области от поверхности пульсара $(r/R_*)_{10}$ в Таблице 8 (с использованием решений β_2 из Таблицы 2);

д) разделения пульсаров с интеримпульсами на ортогональные и соосные в Таблицах 11 и 12 (с использованием решений β_1 из Таблицы 10);

е) построения распределений магнитных углов по исследуемой выборке на Рис. 6(б,в), 7(а,б) и 15(а,б,в,г), а так же зависимостей на Рис. 8, 9 и 10.

ж) определения значений коэффициентов выражений (модельных функций) (32), (33), (34) и (35).

5. Существенным недостатком работы также является то, что значения важнейшего, для оценок магнитных углов, наблюдаемого параметра C – максимальной производной позиционного угла поляризации пульсара – приводятся в работе декларативно, без описания метода их измерения либо ссылок на первоисточники. А для пульсара J1015-5719 в Главах 2 и 3 Диссертации приводятся даже два значения этого параметра, отличающиеся

почти в 1.5 раза.

6. Кроме того, величины S приводятся без оценки точности их измерения, что не позволяет читателю оценить точность получаемых результатов. Последнее относится и к ширинам профиля импульса W_{10} . В целом, Диссертации сильно не хватает анализа точности и степени неопределенности используемых методов оценки β – как с вычислительной, так и со статистической точки зрения.

7. Наконец, в пунктах 7 выводов к Главам 1 и 2 говорится о результатах анализа зависимостей полученных магнитных углов от других параметров пульсаров – светимости, возраста и галактической высоты. Автор делает вывод об отсутствии значимой корреляции между β и этими параметрами. Однако непосредственно в тексте Диссертации этот анализ отсутствует, в то время как он представляется очень интересным. В первую очередь потому, что сделанный вывод несколько противоречит одному из выводов Главы 4, где обнаруживается существенное эволюционное различие между соосными и ортогональными пульсарами, предполагающее наличие систематического тренда в зависимости между тем же возрастом пульсара и его магнитным углом.

Отмеченные недостатки несомненно влияют на качество проведенного исследования.

Однако, необходимо отметить то, что в Диссертации: а) в ходе анализа, в целом, используются *все* полученные оценки магнитных углов, две трети которых – корректны; б) при этом, строго говоря, не делается выводов относительно вида распределения магнитных углов как такового (по выборке исследуемых объектов); в) и кроме того, отдельные пульсары рассматриваются не только в рамках сделанных оценок, но и с привлечением дополнительной, имеющейся в литературе, информации.

В результате, характер и масштаб допущенных в Диссертации вычислительных ошибок таковы, что они (ошибки) не влияют качественно ни на основные выводы Диссертации ни на обоснованность положений, выносимых автором на защиту. Основные недостатки работы не носят фундаментального характера и могут быть легко исправлены. Они не отменяют актуальности выбранной задачи и не сильно снижают научную ценность полученных результатов.

На основании всего выше сказанного, следует заключить, что представленная Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, выполненной автором самостоятельно на достойном научном уровне.

Полученные автором результаты в большинстве своем достоверны, выводы и заключения обоснованы. Результаты, выносимые автором на защиту, согласуются со сделанными в работе выводами.

Работа базируется на большом объеме исходных данных, она написана доходчиво, грамотно и аккуратно оформлена. Содержание работы изложено в 7 публикациях, вышедших в реферируемых журналах. Ее результаты докладывались на 15 российских и международных конференциях. Автореферат и опубликованные по теме диссертации статьи полностью соответствуют содержанию последней.

В конечном итоге, представленная Диссертационная работа отвечает критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор **НИКИТИНА Елена Борисовна** заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук специальности 01.03.02 «Астрофизика и звездная астрономия».

“ 18 ” декабря 2014 года

Официальный оппонент,
научный сотрудник ГАИШ МГУ,
кандидат физико-математических наук



А. В. Бирюков

Директор ГАИШ МГУ,
академик




18.12.14

А. М. Черепашук