

## **Отзыв на диссертационную работу *Петрова Алексея Евгеньевича***

### **«Динамические магнитные структуры в сильнонеравновесной релятивистской плазме пульсарных туманностей»,**

**представленную на соискание учёной степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.03.02 — Астрофизика и звёздная астрономия**

Диссертация посвящена исследованию физических процессов ускорения частиц и их излучения в пульсарных туманностях. Актуальность этих исследований не вызывает сомнения, поскольку последние годы ознаменовались бурным ростом результатов наблюдений в рентгеновском, гамма и других диапазонах, которые требуют грамотного осмысления на основе корректных теоретических моделей. Группа теоретиков ФТИ им. А.Ф.Иоффе, возглавляемая проф. А.М. Быковым, имеет высочайший рейтинг в подобного рода исследованиях. Этой группой получены уникальные результаты мирового уровня, их значимость и надежность заслуженно признана мировым астрофизическим сообществом. В этом смысле нет сомнения в актуальности, корректности и значимости результатов, полученных Алексеем Евгеньевичем Петровым, в рамках общих исследований, проводимых теоретиками ФТИ.

На мой взгляд, содержание диссертации можно условно разделить на три части: а) распространение флуктуаций магнитного поля в электрон-позитронной неравновесной плазме пульсаров; б) процессы ускорения электронов и позитронов в пульсарных туманностях и спектры их синхротронного излучения; в) интерпретация излучения конкретных астрофизических объектов на основе развиваемой модели.

В первой части работы А.Е.Петров исследовал механизм образования динамических «жгутов», наблюдаемых в Крабовидной туманности в радио- и рентгеновском диапазонах. В диссертации появление и распространение этих «жгутов» связывалось с динамикой одиночных флуктуаций магнитного поля в магнитосфере пульсара. Исследования этих процессов потребовала от диссертанта анализа сложной системы нелинейных уравнений. Они включали уравнения Максвелла, которые описывали динамику флуктуаций электромагнитного поля под воздействием токов, возникающих в электрон-позитронной плазме. С другой стороны, анизотропные составляющие электронной и позитронной компонент плазмы, возникающие под воздействием этих флуктуаций (что и приводило к появлению токов в системе), описывались системой соответствующих кинетических уравнений. Используя разложения по малой амплитуде флуктуаций магнитного поля, диссертант вывел компоненты тензора диэлектрической проницаемости и на их основе фазовую скорость возмущения, декремент его затухания и дисперсионный коэффициент. В результате довольно сложных и громоздких вычислений А.Е. Петров свел задачу к анализу нелинейных уравнений типа уравнения Бюргерса и уравнения Картвега-де Фриса. В первом случае возмущение распространяется как одиночная затухающая флуктуация, а во втором происходит ее распад на отдельные гармоники под воздействием дисперсии.

Применяя полученные результаты для анализа динамики «жгутов» в Крабовидной туманности, было показано, что модель в целом удовлетворительно описывает их динамику и время жизни.

В следующей главе рассмотрены модели переноса частиц в пульсарном ветре с учетом ускорения частиц в результате взаимодействия с находящимися там ударной волной торможения и головной ударной волной. Два различных механизма ускорения рассматриваются в качестве источников высокоэнергичных частиц, хотя оба из них в

конечном итоге сводятся к ускорению Ферми первого порядка. На волне торможения формируется классический степенной спектр частиц, ускоренных ударной волной с показателем степени, близким к «-2». Если пробег частиц, определяемый в системе Бомовским коэффициентом диффузии, превышает размеры области вблизи головной ударной волны, то частицы с указанным выше спектром заполняют всю область пульсарного ветра. В обратном случае частицы оказываются запертыми внутри полости, ограниченной ударной волной торможения и головной ударной волной. В такой ситуации частицы оказываются в области «сходящихся отражающих стенок». В результате частицы также набирают энергию в процессе отражения от «стенок», но спектр ускоренных частиц оказывается более жестким, чем для случая ускорения отдельным ударным фронтом, с показателем близким к «-1». Таким образом, в системе ожидается спектр частиц: более мягкий при больших энергиях и более жесткий при относительно малых энергиях. Диссертант с помощью сложной схемы численных расчетов вычислял спектры синхротронного излучения отдельных источников методом Монте-Карло. Указанный результат применяется для интерпретации спектров излучения от отдельных пульсарных туманностей. Результаты этих расчетов вполне адекватно описывают наблюдаемые спектры излучения туманностей PSR J0437-4715 и Vela в широком диапазоне длин волн.

Переходя к замечаниям по диссертации, я не вижу ни очевидных ошибок, ни неверных утверждений в диссертации. Это неудивительно, поскольку, как я отмечал выше, работа проводилась в одном из ведущих мировых центров по теоретической астрофизике «под присмотром» руководителя диссертанта, который является лучшим специалистом в данной области. Диссертант ясно отмечает в тексте те приближения, которые он использует в анализе. Он проявил высокий уровень знаний, необходимых для физика-теоретика, блестящее владение техникой аналитических и численных расчетов, и получил результаты, значимые для развития теории процессов в пульсарах в целом. Я лишь могу сказать в заключение, что работа мне очень понравилась, и хочется надеяться, что А.Е.Петров продолжит исследования в этом и других направлениях астрофизики.

В заключение следует отметить, что все результаты, представленные в диссертации, основаны на статьях, опубликованных в ведущих астрофизических журналах с высоким уровнем цитируемости. Эти результаты получены при непосредственном участии А.Е.Петрова. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. Текст диссертации написан ясным грамотным языком. Диссертация А.Е.Петрова соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.03.02 — Астрофизика и звёздная астрономия, а ее автор, Алексей Евгеньевич Петров, вполне заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,  
профессор

В. А. Догель

15.05.2018

Адрес: 119991 Москва, Ленинский пр. 53  
Отделение теоретической физики им. И. Е. Тамма  
Физического института им. П. Н. Лебедева РАН

Подпись В.А.Догеля удостоверяю

16.05.2018

Зам.директора ФИАН  
д.ф.-м.н.

С.Ю.Савинов