

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации А.Е. Петрова
«Динамические магнитные структуры в сильнонеравновесной
релятивистской плазме пульсарных туманностей»,
представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук
по специальностям 01.03.02 – астрофизика и звёздная астрономия

Диссертация А.Е.Петрова посвящена динамике магнитных структур в релятивистской неравновесной плазме пульсарных туманностей. Объекты исследования – пульсарные туманности, характеризуются мощными процессами энерговыделения, сопровождаемым ускорением частиц до $\gamma \sim 10^9$, плазмой со сложной электродинамикой, состоящей из релятивистских электронов и позитронов, нетривиальной морфологией, в которой важную роль играют ударные волны, интенсивным синхротронным излучением. Изучение подобных процессов является мейнстримом современной астрофизики, поэтому тема диссертации актуальна.

Диссертация состоит введения (глава 1), четырёх глав и заключения. Вторая, наиболее объёмная глава, посвящена динамике магнитных структур в плазме пульсарных туманностей. Значительная часть главы посвящена аналитическому решению дисперсионного уравнения для возмущений, распространяющихся поперёк магнитного поля пульсарных туманностей. Диссертант обращает внимание на важность учёта в пульсарном ветре ионной компоненты. Нужно сказать, что подобная, и ещё нерешённая проблема происхождения ионов возникает и при изучении физических процессов, происходящих в магнитосферах магнетаров и пульсаров. Так, наблюдаемую в промежуточном радиоимпульсе пульсара в Крабовидной туманности динамическую структуру типа «зебра» (Железняков и др. УФН, №10, 2016) невозможно объяснить без ионной компоненты.

В диссертации ионы учитываются в кинетических уравнениях (2.10) в виде частот рассеяния электронов и позитронов на флуктуациях магнитного поля. При этом ионная компонента представлена лишь феноменологически, в виде фактора, влияющего на процесс рассеяния. Было бы желательно в дальнейшем установить зависимость частоты рассеяния, связанной с ионами, от уровня турбулентного магнитного поля.

В этой же главе во втором приближении теории возмущений вычислен нелинейный токовый отклик и показано, что динамика возмущений магнитного поля конечной амплитуды описывается эволюционным Кортевега-де Вриза-Бюргерса. Кроме того, дана интерпретация наблюдаемых жгутовых структур в Крабовидной туманности как проявление распространения возмущений магнитного поля в виде цуга отдельных пиков в релятивистской плазме пульсарных туманностей.

В третьей главе исследовано распространение частиц пульсарного ветра в туманности с головной ударной волной. Метод Монте-Карло позволил диссертанту провести моделирование процессов переноса и ускорения позитронов и электронов с головной ударной волной для воспроизведения наблюдаемых распределений яркости. В оригинальной схеме пространственной структуры выделены пять областей с различными моделями диффузии, зависящими от энергии частиц. Такая «кусочно-непрерывная» модель с разными длинами свободного пробега частиц позволила получить вид функций распределения частиц, которые необходимы для вычисления излучательной способности генерируемого частицами синхротронного излучения. Важно, что разработанная в диссертации численная модель позволяет создавать карты синхротронного излучения пульсарных туманностей в широком диапазоне энергий фотонов.

Глава 4 содержит результаты моделирования изображения источников синхротронного излучения и спектров на примере туманности миллисекундного пульсара J0437-4715. В настоящее время нет общего мнения о природе излучения головной ударной волны. Обсуждаются две возможности: излучение нагретого межзвёздного вещества и синхротронное излучение электронов и позитронов пульсарного ветра. При этом автору диссертационной работы удалось объяснить существенное различие в морфологии источника излучения в дальнем ультрафиолетовом диапазоне (1250-2000 Å) и в рентгеновском диапазоне (0.5-7 кэВ).

Здесь нужно заметить, что диссертант при построении карт излучения использует понятие светимости, причём процессы поглощения волн оставляет вне рассмотрения. Для вычисления потока синхротронного излучения нужно, вообще говоря, решать уравнение переноса излучения, с излучательной способностью и различными коэффициентами поглощения. Причём, поскольку ситуация неравновесная, то не исключено появление заметного коэффициента усиления излучения.

В главе 5 проведено моделирование синхротронного излучения пульсарной туманности на другом примере – туманности яркого пульсара PSR B0833-45 с целью проверки гипотезы о формировании спектров излучения с фотонными индексами ≤ 1.5 . При этом выбиралась функция распределения инжектируемых частиц по энергии с индексом спектра $s = 2.2$, а в результате ускорения частиц на сходящихся потоках между двумя ударными волнами формируются жёсткие спектры с $s \sim 1$. Здесь нужно заметить, что исходный спектр частиц, сформированный в ускорителе, может заметно модифицироваться из-за взаимодействия частиц с флуктуациями магнитного поля, подобно взаимодействию «волна-частица». Это вызовет изменение фотонного индекса.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

Хотя в диссертационной работе используется около 20 аббревиатур, что иногда затрудняет понимание текста, диссертация в целом написана хорошим языком.

Несмотря на высказанные замечания, диссертация А.Е.Петрова полностью отвечает критериям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям. Материалы диссертации содержатся в 5 статьях, опубликованных в ведущих международных изданиях, и могут привлекаться для исследовательских работ в ГАИШ МГУ, КрАО, ГАО РАН, САО РАН, ИКИ РАН, ИПФ РАН, ФИАН, ИНАСАН. Автореферат соответствует содержанию диссертации, а её автор, Алексей Евгеньевич Петров, несомненно, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звёздная астрономия.

14 мая 2018 г.

Официальный оппонент
доктор физико-математических наук
научный руководитель ГАО РАН, чл.-корр. РАН

А.В.Степанов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской академии наук
Почтовый адрес: 196140, Россия, Санкт-Петербург, Пулковское шоссе, дом 65, ГАО РАН.
Телефон 812-363-70-03, эл. почта: stepanov@gaoran.ru

Подпись А.В.Степанова заверяю

Учёный секретарь ГАО РАН
кандидат физико-математических наук

Т.П.Борисевич