

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.262.04,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
ИМ. П.Н. ЛЕБЕДЕВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 11 марта 2024 года № 23

О присуждении Собьянину Денису Николаевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «К теории кинетических и магнитных процессов в задачах динамики неравновесной астрофизической и твердотельной плазмы» по специальности 1.3.3. Теоретическая физика принята к защите 27 ноября 2023 года (протокол заседания № 5) диссертационным советом 24.1.262.04, созданным 18 октября 2023 года приказом № 1975/нк на базе федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), подведомственного Министерству науки и высшего образования Российской Федерации, 119991, ГСП-1, Москва, Ленинский проспект, д. 53.

Соискатель Собьянин Денис Николаевич, 23 августа 1984 года рождения, работает старшим научным сотрудником в ФИАН.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Заполнение электрон-позитронной плазмой магнитосферы сильно замагниченных нейтронных звезд» защитил в 2010 году в диссертационном совете Д 212.156.07, созданном на базе государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» (МФТИ).

Диссертация выполнена в лаборатории проблем физики космоса отделения «Отдел теоретической физики им. И.Е. Тамма» ФИАН.

Официальные оппоненты:

1. Докучаев Вячеслав Иванович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории нейтринной астрофизики отдела лептонов высоких энергий и нейтринной астрофизики федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН);

2. Кочаровский Владимир Владиленович, доктор физико-математических наук, член-корреспондент Российской академии наук, заведующий отделом астрофизики и физики космической плазмы отделения физики плазмы и электроники больших мощностей федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» (ИПФ РАН);

3. Петросян Аракел Саркисович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий сектором теоретических исследований «Динамика атмосфер и климат» отдела физики планет федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН);

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» (МГУ), город Москва, в своем положительном отзыве, составленном и подписанном доктором физико-математических наук, членом-корреспондентом Российской академии наук, директором Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (ГАИШ МГУ) Постновым Константином Александровичем, также подписанном доктором физико-математических наук,

председателем Координационного совета по астрофизике ГАИШ МГУ Гусевым Александром Сергеевичем и утвержденном доктором физико-математических наук, профессором, проректором МГУ Федяниным Андреем Анатольевичем, указала, что результаты диссертации составляют крупное научное достижение в теоретической физике и проясняют процессы, происходящие в астрофизических и твердотельных плазменных системах, представляющих современный интерес. О высокой актуальности темы диссертации говорит тот факт, что направления научных исследований, развиваемые в диссертации, входят в перечень приоритетных направлений фундаментальных и поисковых научных исследований по физическим наукам Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021-2030 годы). Диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым действующим Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а автор диссертации Собьянин Денис Николаевич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика.

Соискатель имеет 65 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 36 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международной базе данных Web of Science, опубликовано 15 работ.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах. Соискателем построено теоретическое описание кинетических и магнитных процессов в сложных релятивистских и нерелятивистских плазменных системах, связанных с рядом актуальных направлений современной физики и астрофизики, изучена динамика таких систем и дано объяснение их необычного поведения, обнаруживаемого в лабораторном эксперименте и астрофизических наблюдениях. Наиболее значимые результаты по теме диссертации опубликованы в работах:

1. Istomin Ya. N., Sob'yanin D. N. Absorption of gamma-ray photons in a vacuum neutron star magnetosphere: I. Electron-positron pair production // *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. — 2011. — Vol. 113, No. 4. — P. 592—604.
2. Istomin Ya. N., Sob'yanin D. N. Absorption of gamma-ray photons in a vacuum neutron star magnetosphere: II. The formation of “lightnings” // *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. — 2011. — Vol. 113, No. 4. — P. 605—618.
3. Istomin Ya. N., Sob'yanin D. N. Formation of “lightnings” in a neutron star magnetosphere and the nature of RRATs // *Astronomy Letters*. — 2011. — Vol. 37, No. 7. — P. 468—479.
4. Sob'yanin D. N. Generalization of the Beck-Cohen superstatistics // *Physical Review E*. — 2011. — Vol. 84, Iss. 5. — Art. 051128.
5. Sob'yanin D. N. Hierarchical maximum entropy principle for generalized superstatistical systems and Bose-Einstein condensation of light // *Physical Review E*. — 2012. — Vol. 85, Iss. 6. — Art. 061120.
6. Belykh V. V., Sob'yanin D. N. Polariton linewidth and the reservoir temperature dynamics in a semiconductor microcavity // *Physical Review B*. — 2014. — Vol. 89, Iss. 24. — Art. 245312.
7. Sob'yanin D. N. Breakdown of the Goldreich-Julian relation in a neutron star // *Astronomy Letters*. — 2016. — Vol. 42, No. 11. — P. 745—751.
8. Beskin V. S., Istomin Ya. N., Kiselev A. M., Krauz V. I., Mitrofanov K. N., Myalton V. V., Nokhrina E. E., Sob'yanin D. N., Kharrasov A. M. Simulation of nonrelativistic jet ejections during the laboratory studies // *Radiophysics and Quantum Electronics*. — 2017. — Vol. 59, Iss. 11. — P. 900—910.
9. Sob'yanin D. N. Jet in jet in M87 // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2017. — Vol. 471, Iss. 4. — P. 4121—4127.
10. Sob'yanin D. N. Black hole spin from wobbling and rotation of the M87 jet and a sign of a magnetically arrested disc // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*. — 2018. — Vol. 479, Iss. 1. — P. L65—L69.
11. Sob'yanin D. N. Relativistic polytrope from the collimation and acceleration profiles of the M87 jet at subparsec scales and thermodynamic evidence for the

Blandford-Znajek mechanism // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters. — 2019. — Vol. 489, Iss. 1. — P. L7—L11.

12. Belykh V. V., Kochiev M. V., Sob'yanin D. N., Yakovlev D. R., Bayer M. Anomalous magnetic suppression of spin relaxation in a two-dimensional electron gas in a GaAs/AlGaAs quantum well // Physical Review B. — 2020. — Vol. 101, Iss. 23. — Art. 235307.

13. Belykh V. V., Sob'yanin D. N., Korotneva A. R. Resonant spin amplification meets electron spin resonance in n-GaAs // Physical Review B. — 2020. — Vol. 102, Iss. 7. — Art. 075201.

14. Sob'yanin D. N. Periodic fast radio bursts from forcedly precessing neutron stars, anomalous torque, and internal magnetic field for FRB 180916.J0158+65 and FRB 121102 // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2020. — Vol. 497, Iss. 1. — P. 1001—1007.

15. Istomin Ya. N., Chernyshov D. O., Sob'yanin D. N. Extinct radio pulsars as a source of subrelativistic positrons // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2020. — Vol. 498, Iss. 2. — P. 2089—2094.

На автореферат диссертации поступили отзывы от доктора физико-математических наук, профессора Российской академии наук, ведущего научного сотрудника лаборатории неравновесных электронных процессов федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна Российской академии наук (ИФТТ РАН) Кулика Леонида Викторовича, от доктора физико-математических наук, доцента, профессора кафедры теоретической физики физического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова (ЯрГУ) Румянцева Дмитрия Александровича и от доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника лаборатории фазовых переходов в сильно коррелированных и неупорядоченных системах федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина Российской академии наук

(ИФВД РАН) Фомина Юрия Дмитриевича. Все отзывы на автореферат положительные, замечаний не содержат. В отзыве Кулика Л.В. указывается на фундаментальное и практическое значение результатов диссертации по твердотельной плазме, особо отмечаются результаты соискателя по спиновой динамике, которые позволили получить важную новую информацию о характере движения электронов в квантовой яме в сильных магнитных полях. В отзыве Румянцева Д.А. подчеркивается важность результатов соискателя по физике образования электрон-позитронной плазмы в магнитосферах нейтронных звезд и отмечается их дальнейшее развитие. В отзыве Фомина Ю.Д. отмечается важность результатов соискателя для понимания формирования отклика полупроводников и возможность их использования при создании новых типов полупроводниковых приборов. Во всех отзывах отмечается, что соискатель заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается высокой научной квалификацией оппонентов и сотрудников ведущей организации, полученными ими научными результатами мирового уровня и многолетним опытом проведения научных исследований по сходной тематике.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Рассчитана функция распределения электронов и позитронов по энергиям в магнитосфере нейтронной звезды для нестационарного нелокального случая экспоненциального умножения плазмы. Данная функция, несмотря на нестационарность умножения, оказывается стационарной, но, в отличие от случая стационарной генерации плазмы в магнитосфере обыкновенных пульсаров и магнитаров, не является степенной.
2. Предложен и исследован новый механизм генерации плазмы в космосе — излучение субрелятивистских частиц старыми нейтронными звездами.

Показано, что источником позитронов в Галактике, относящимся к аннигиляционной линии 511 кэВ и удовлетворяющим современным наблюдательным ограничениям, могут быть потухшие радиопульсары. Генерация позитронов происходит благодаря поглощению фотонов Галактического и внегалактического гамма-фона в магнитосфере таких радиопульсаров.

3. Изучена внутренняя электродинамика нейтронной звезды и исследовано возникновение ее вынужденной прецессии за счет индуцирования момента электромагнитных сил собственным вращением. Предложен новый метод определения магнитного поля нейтронной звезды из характеристик ее прецессионного движения. Данный метод применен для оценки магнитного поля новых источников повторяющихся быстрых радиовсплесков.

4. Исследована структура джета в галактике M87 и объяснены новые наблюдательные данные по его поперечному профилю. Разработана релятивистская магнитогидродинамическая модель, в которой внутренний джет помещен в полый внешний джет, и рассчитаны термодинамические, гидродинамические и электромагнитные параметры плазменного течения. Структура «джет в джете» может свидетельствовать об одновременной работе механизмов Блэндфорда — Знаека и Блэндфорда — Пейна.

5. Предложен новый способ определения параметра вращения центральной сверхмассивной черной дыры в галактике M87. Показано, что наблюдаемое поперечное квазипериодическое смещение джета может отражать прецессию наклоненного аккреционного диска, возникающую за счет эффекта Лензе — Тирринга. Исследован как случай прецессии пробных частиц, так и случай твердотельной прецессии аккреционного диска, рассмотрены различные значения массы центрального источника.

6. Изучены данные радионаблюдений M87 на частоте 43 ГГц, демонстрирующие постепенное релятивистское ускорение плазмы. Проведен общий анализ интегралов движения и показано, что в джете имеется политропное уравнение состояния с показателем $4/3$. Данный результат не

зависит от точной природы сил, поддерживающих поперечное равновесие джета, и является признаком существования на масштабах субпарсеков горячего потока вещества.

7. Исследована связь между кинетикой системы экситонных поляритонов в полупроводниковом микрорезонаторе и свойствами наблюдаемого излучения. Вычислены степени временной когерентности первого и второго порядка и рассчитан спектр излучения системы. Полученное соотношение легло в основу нового метода определения временной динамики температуры резервуара после возбуждения системы коротким лазерным импульсом.

8. Рассмотрено явление продольной спиновой релаксации двумерного электронного газа в квантовой яме во внешнем магнитном поле. Найдена зависимость времени спиновой релаксации от коэффициента пространственной диффузии электрона и характеристик образца. Исследование зависимости этого времени от магнитного поля обнаружило аномальное поведение двумерного электронного газа.

9. Построена теория совместного оптического и магнитного резонанса в объемной спиновой системе. Это комплексное воздействие дает новый метод управления средней спиновой поляризацией системы. Вычислены резонансные и нерезонансные спектры спиновой поляризации и показано согласие теории и эксперимента.

Теоретическая значимость исследования обоснована его вкладом в кинетику нестационарного умножения релятивистской электрон-позитронной плазмы в сильном электромагнитном поле нейтронных звезд, расширение представлений о природе космических релятивистских плазменных выбросов, периодических быстрых радиовсплесков и источников субрелятивистских позитронов в Галактике и развитие теории неравновесных явлений в лабораторных поляритонных и спиновых системах.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается возможностью их использования для определения конкретных физических характеристик релятивистских астрофизических

объектов (нейтронные звезды, черные дыры и окружающая их плазма), принципиально недоступных исследованию методами экспериментальной физики, а также для проверки сложных численных расчетов в магнитной гидродинамике. Для лабораторных систем практическая значимость результатов диссертации подтверждается возможностью использования этих результатов для экспериментального определения неравновесной температуры экситонного резервуара, управления условиями резонансного спинового усиления и тонкой настройки средней спиновой поляризации, что потенциально важно при разработке информационных твердотельных устройств нового типа. Результаты диссертации могут использоваться в образовательной деятельности при разработке специальных учебных курсов по теоретической физике и астрофизике.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что построенная соискателем теория основана на известных фундаментальных физических законах и дополнительных соотношениях, выполняющихся в исследуемых системах. При построении теории использовались строгие аналитические методы и физически обоснованные приближения. Показано согласие полученных результатов и предсказаний с современными экспериментальными и наблюдательными данными и результатами численного моделирования, а также сводимость результатов в частных случаях к ранее установленным теоретическим результатам.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном проведении научных исследований, построении теории исследуемых процессов и выполнении аналитических расчетов, получении результатов и их сравнении с имеющимися экспериментальными и наблюдательными данными, формулировке выводов и их апробации на научных конференциях и семинарах, подготовке и публикации научных статей по теме диссертации. Исследование излучения позитронов старыми нейтронными звездами выполнено совместно с Я.Н. Истоминым, остальные результаты, представленные в диссертации,

получены лично автором. Результаты из работ, опубликованных с соавторами, отражают личный вклад автора в эти работы.

В ходе защиты соискатель Собьянин Д.Н. полно и аргументированно ответил на заданные ему вопросы, а также на замечания ведущей организации и официальных оппонентов.

На заседании 11 марта 2024 года диссертационный совет принял решение за разработку теоретических положений, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в теоретической физике, присудить Собьянину Д.Н. ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **11** человек, из них **10** докторов наук по научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика, участвовавших в заседании, из 14 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за **11**, против **0**, недействительных бюллетеней **0**.

Председатель диссертационного совета,
доктор физико-математических наук,
член-корреспондент Российской академии наук

Арсеев Петр Иварович

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат физико-математических наук

Чернышов Дмитрий Олегович

11 марта 2024 г.