



Проект тематики научных исследований, включаемых в планы научных работ научных организаций и образовательных организаций высшего образования, осуществляющих научные исследования за счет средств федерального бюджета

Наименование организации, осуществляющей научные исследования за счет средств федерального бюджета - заявителя тематики научных исследований (далее - научная тема)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ ИМ. Г.И. БУДКЕРА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Наименование учредителя либо государственного органа или организации, осуществляющих функции и полномочия учредителя

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Наименование научной темы

Тема № 1.3.4.1.2. Исследование удержания плазмы в многопробочной ловушке и физики мощных электронных пучков

Код (шифр) научной темы, присвоенной учредителем (организацией)

FWGM-2021-0016

Номер государственного учета научно-исследовательской, опытно-конструкторской работы в Единой государственной информационной системе учета результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения (далее - ЕГИСУ НИОКТР)³

Нет данных

Срок реализации научной темы

Год начала (для продолжающихся научных тем)	Год окончания
2021	2023

Наименование этапа научной темы (для прикладных научных исследований)

Нет данных

Срок реализации этапа научной темы (дата начала и окончания этапа в формате ДД.ММ.ГГ. согласно техническому заданию)

Дата начала	Дата окончания



Вид научной (научно-технической) деятельности (нужное отмечается любым знаком в соответствующем квадрате)

Фундаментальное исследование

Ключевые слова, характеризующие тематику (от 5 до 10 слов, через запятую)

Плазма, открытая ловушка, многопробочная ловушка, геликоидальная ловушка, пучки в плазме, генерация микроволн, мазер на свободных электронах, терагерцовое излучение, трансформация волн в плазме.

Коды тематических рубрик Государственного рубрикатора научно-технической информации (далее - ГРНТИ)⁴

29.27.23 : Пучки в плазме

29.27.35 : Магнитное удержание плазмы

Коды международной классификации отраслей науки и технологий, разработанной Организацией экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) (FOS, 2007)

В случае если для тем, для которых указаны коды классификаторов ГРНТИ/ОЭСР разных тематических рубрик первого уровня, определяется ведущее направление наук (указывается первым) и дается обоснование междисциплинарного подхода

1.3.5 : Физика жидкости, газа и плазмы (включая физику поверхностей)

В случае соответствия тем одному коду классификаторов ГРНТИ/ОЭСР, описание не приводится

Нет данных

Соответствие научной темы приоритетным направлениям Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (далее - СНТР)⁷

В случае соответствия заявленной темы нескольким приоритетам СНТР определяется ведущее приоритетное направление по приоритету СНТР (указывается первым) и дается обоснование и описание межотраслевого подхода

б) переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии;

Обоснование межотраслевого подхода (в случае указания нескольких направлений приоритетов)

Нет данных



Цель научного исследования

Формулируется цель научного исследования

Тематика исследований, объединённых в данном проекте, касается развития двух смежных областей современной физики и технологии. Основная цель первой части работ – это разработка физических основ термоядерной энергетики на основе открытых ловушек (магнитных систем линейной топологии), которые являются альтернативным направлением в физике удержания высокотемпературной плазмы. Целью работ в этой части является экспериментальная демонстрация двух различных способов подавления потерь частиц и энергии из открытой ловушки вдоль магнитного поля. Успешное проведение работ позволит резко повысить технико-экономическую привлекательность проектов термоядерных реакторов на основе открытых ловушек. Вторым направлением работ является разработка физических основ и экспериментальная демонстрация новых методов генерации мощного электромагнитного излучения миллиметрового, субмиллиметрового и терагерцового диапазонов в вакуумных и плазменных системах с релятивистскими электронными пучками. По результатам исследований необходимо осуществить генерацию потока терагерцового (0,2-0,6 ТГц) излучения в свободном пространстве с уровнем мощности масштаба десятка мегаватт с локальными параметрами, приемлемыми для различных приложений. В рамках концепции коротковолнового лазера на свободных электронах (МСЭ) планарной геометрии, накачиваемого сильноточным релятивистским электронным пучком достигнуть генерации мегаваттных импульсов когерентного миллиметрового и субмиллиметрового излучения при использовании механизма распределенной обратной связи, реализуемого в двумерных брэгговских структурах. Исследования будут проводиться на четырёх действующих электрофизических установках, работающих по независимым научным программам и частично использующих общую инфраструктуру. В число этих установок входят: единственная в мире многопробочная ловушка ГОЛ-NB для исследования физики подавления продольных потерь энергии из открытой ловушки секциями с гофрированным магнитным полем, единственная в мире открытая ловушка с геликоидальным полем СМОЛА для исследования физики активного управления потоком плазмы вдоль магнитного поля, установка ГОЛ-ЗТ (состоящая из генератора сильноточного релятивистского электронного пучка микросекундного диапазона длительности У-2 и плазменной системы ГОЛ-ПЭТ для исследования физики генерации мощного электромагнитного излучения субмиллиметрового и терагерцового диапазонов в пучково-плазменной системе, лазер на свободных электронах ЭЛМИ с генератором сильноточного релятивистского электронного пучка микросекундного диапазона длительности У-3 для работ по исследованию физики генерации мощного электромагнитного излучения миллиметрового и терагерцового диапазонов в вакуумной системе с релятивистским электронным пучком. На пути достижения основной цели работ, авторским коллективом были определены первоочередные конкретные задачи, решение которых предполагается произвести в рамках данного проекта (перечислены в соответствующем разделе данного документа).

Актуальность проблемы, предлагаемой к решению

В течение ряда лет в ИЯФ СО РАН ведутся работы по изучению удержания плазмы в многопробочных ловушках и процессов взаимодействия мощных релятивистских пучков электронов с плазмой. Ранее на установке ГОЛ-З была показана возможность нагрева плазмы пучком электронов до субтермоядерных температур. В рамках данного проекта будут проведены работы по изучению различных аспектов многопробочного и геликоидального удержания в квазистационарных условиях на установках ГОЛ-NB и СМОЛА. Кроме того, будет продолжено изучение взаимодействия мощных пучков с плазмой, в частности будет исследована генерация терагерцового излучения в такой системе на установке ГОЛ-ЗТ. Продолжатся работы по созданию лазера на свободных электронах терагерцового диапазона на установке ЭЛМИ. Актуальность работ по конкретным направлениям обоснована в нижеследующих абзацах. 1) Работы по тематике многопробочной ловушки (установка ГОЛ-NB). Поиск путей овладения энергией управляемого термоядерного синтеза ведется по нескольким научным направлениям. Одним из них является удержание плазмы в открытых магнитных ловушках. Имеющиеся на сегодняшний момент знания и технологии позволяют создать открытую ловушку для удержания плазмы с реакторными параметрами в том случае, если будет найден способ многократного подавления потерь частиц и энергии из плазмы вдоль магнитного поля. Возможным решением этой задачи является применение специальных секций установки, имеющих многопробочное (периодически модулированное по длине) магнитное поле. Теория такого удержания достаточно развита, однако экспериментально эта идея проверялась только в специальных условиях, в относительно узких диапазонах параметров плазмы. Многопробочная ловушка ГОЛ-NB была разработана и недавно создана в ИЯФ СО РАН. Из предсказаний теории ожидается, что после нагрева плазмы методом атомарной инжекции длина свободного пробега ионов плазмы окажется соразмерна с периодом модуляции магнитного поля, и вследствие этого, многопробочное магнитное поле станет препятствовать вылету частиц плазмы из ловушки. Основной задачей экспериментов является прямая демонстрация эффекта подавления плазменного потока при переходе от соленоидальной к многопробочной конфигурации в секциях сильного поля. В настоящий момент среди существующих плазменных установок мира только ГОЛ-NB имеет многопробочную конфигурацию магнитного поля. 2) Работы по тематике геликоидальной открытой ловушки (установка СМОЛА). Недавно был предложен новый метод динамического многопробочного (геликоидального) удержания плазмы. Этот метод предполагает создание ведущего магнитного поля с геликоидальной (винтовой) симметрией. Удерживаемая плазма вращается в скрещенных электрическом и магнитном полях. Во



вращающейся синхронно с плазмой системе отсчёта периодические вариации магнитного поля, имеющие винтовую симметрию, движутся вдоль оси установки со скоростью, зависящей от шага спирали. При этом популяции локально-запертых частиц создают тормозящую силу, действующую на плазменный поток. Преимуществом удержания в винтовом поле является экспоненциальная зависимость подавления продольного потока от длины установки. Установка СМОЛА является первым и к настоящему моменту единственным в мире экспериментальным устройством, разработанным и построенным для изучения данной схемы удержания. Результаты первых экспериментов не противоречат теоретическим оценкам переноса частиц в винтовом магнитном поле. В то же время, основные закономерности на текущий момент изучены недостаточно подробно. Для экспериментально обоснованного конструирования винтовых пробок для открытых ловушек термоядерного класса требуются дальнейшие исследования эффективности динамического многопробочного удержания в винтовых пробках.

3) Работы по тематике генерации субмиллиметрового и терагерцового излучения в пучково-плазменной системе (установка ГОЛ-ЗТ). Создание многомегаваттных импульсных источников миллиметрового и субмиллиметрового излучения является одной из актуальных задач современной науки и технологий. В данном исследовании, генерация реализуется в замагниченном плотном плазменном столбе при коллективном торможении сильнооточного релятивистского электронного пучка (РЭП). Электронный пучок накачивает верхнегибридные плазменные колебания большой амплитуды, которые трансформируются на градиентах плотности плазмы и выходят из неё как электромагнитное излучение. Есть также механизм слияния двух таких плазменных колебаний в электромагнитную волну удвоенной частоты. Подобные механизмы генерации мощного излучения ранее экспериментально не исследовались вплоть до нашего предложения в 2010 г. К настоящему времени проведенные нами теоретические и экспериментальные исследования показали перспективность данной схемы. На установке ГОЛ-ЗТ будет продолжено изучение взаимодействия РЭП с плазмой. Цель этих работ – создать пучок терагерцового (0,2-0,6 ТГц) излучения в свободном пространстве с уровнем мощности ~10 МВт и длительностью в несколько микросекунд, приемлемый для различных приложений. Кроме большого энергосодержания в потоке излучения, плазменный генератор электромагнитного излучения обладает дополнительным положительным свойством - способностью быстрой перестройки частоты за счет варьирования параметров плазмы. Заявленная работа носит оригинальный характер в мировой науке, что обеспечивает приоритет при последующей реализации технических решений в этой области.

4) Работы по тематике терагерцового лазера на свободных электронах (установка ЭЛМИ). В рамках проекта будут проведены исследования процессов генерации электромагнитного излучения мощными РЭП при взаимодействии с вакуумными электродинамическими структурами. Будет изучаться возможность получения терагерцового излучения в планарном лазере на свободных электронах (ЛСЭ) в рамках двухстадийного процесса с использованием релятивистских пучков с током в единицы килоампер. На первой стадии этого процесса, на одном электронном пучке происходит накачка колебаний с частотой 75 ГГц в резонаторе, а на второй стадии терагерцовое излучение генерируется из-за рассеяния второго аналогичного пучка релятивистских электронов на накопленных колебаниях, создающих ондуляторное поле. Для реализации схемы двухстадийного планарного ЛСЭ на область частот ~1 ТГц в эксперименте ЭЛМИ используются два параллельных ленточных пучка, генерируемых одновременно ускорителем У-3. Мегаваттный уровень мощности уже достигнут на установке ЭЛМИ в планарном ЛСЭ на частоте 75 ГГц. Высокая научная значимость этих исследований обусловлена необходимостью развития концепции по использованию двумерных распределенных обратных связей с целью получения когерентного излучения в пространственно-развитых генераторах. Значимость этих работ также подкреплена тем, что будет исследован нелинейный процесс группировки электронов РЭП в условиях, когда роль ондуляторного поля выполняет электромагнитная волна. Это исследование, безусловно, актуально с позиции продвижения к созданию мощного лазера на свободных электронах терагерцового диапазона.



Описание задач, предлагаемых к решению

Достижение заявленных целей исследования требует проведения работ по следующему календарному плану (с разбивкой по этапам и по действующим установкам):

Этап 2021 года. Установка ГОЛ-NB: Получение мишенной плазмы в центральной части установки ГОЛ-NB Установка СМОЛА: Повышение максимального ведущего магнитного поля в установке СМОЛА. Проведение экспериментов по подавлению потока вращающейся плазмы в винтовом магнитном поле на установке СМОЛА при скорости вращения, близкой к звуковой; а также при большой средней по сечению глубине гофрировки. Установка ГОЛ-ЗТ: Создание диагностической системы для проведения одновременных измерений функции распределения электронов прошедшего через плазму пучка и характеристик генерируемого в плазме потока ТГц-излучения при различных условиях эксперимента. Создание квазиоптической системы для вывода потока ТГц-излучения из вакуумного объема в атмосферу Установка ЭЛМИ: Изготовление и монтаж на установке У-3 всех деталей и узлов, необходимых для проведения полномасштабного эксперимента по генерации ТГц-излучения в схеме двухстадийного планарного ЛСЭ на основе одновременного использования двух параллельных ленточных пучков в кольцевом брэгговском резонаторе. Проведение тестовых экспериментов с ленточными пучками по регистрации спонтанного излучения в терагерцовой области спектра. Этап 2022 года. Установка ГОЛ-NB: Исследование динамики нагрева плазмы в многопробочной ловушке ГОЛ-NB методом нейтральной инжекции Установка СМОЛА: Расширение диапазона доступных параметров (плотности и температуры) плазмы, создаваемой источником плазмы установки СМОЛА. Проведение экспериментов по удержанию вращающейся плазмы винтовым магнитным полем на установке СМОЛА в конфигурации с двумя винтовыми пробками. Установка ГОЛ-ЗТ: Проведение первой серии экспериментов по одновременной регистрации функции распределения электронов прошедшего через плазму пучка и спектра генерируемого в плазме потока ТГц-излучения при различных параметрах плазменного столба. Регистрация характеристик выведенного из вакуума в атмосферу потока ТГц-излучения. Создание элементов диагностической системы для регистрации спектра плазменных колебаний при интенсивном пучково-плазменном взаимодействии. Установка ЭЛМИ: Проведение первой серии экспериментов по генерации ТГц-излучения по двухстадийной схеме. Создание диагностического комплекса для измерения временной динамики и спектрального состава импульсов миллиметрового и ТГц-излучения, генерируемого в двухстадийном планарном ЛСЭ с двумя ленточными пучками. Этап 2023 года. Установка ГОЛ-NB: Исследование удержания плазмы в многопробочной ловушке ГОЛ-NB с системой поддержания плотности плазмы Установка СМОЛА: Развитие комплекса диагностик и магнитной системы установки СМОЛА. Проведение экспериментов на установке СМОЛА, отвечающих режиму подпитки центральной ловушки веществом через винтовую пробку. Изучение возможности использования геликоидальных секций с умеренной величиной магнитного поля и сильных одиночных пробок, скомбинированных в различной последовательности Установка ГОЛ-ЗТ: Проведение второй серии экспериментов для выявления корреляций между изменениями в спектре генерируемого ТГц-излучения и изменениями в функции распределения электронов РЭП, прошедшего через плазму. Завершение создания диагностической системы для регистрации спектра плазменных колебаний, накачиваемых пучком МэВных электронов. Внесение дополнений в квазиоптическую систему вывода потока ТГц-излучения в атмосферу и создание формирователя направленного пучка этого излучения, распространяющегося в заданном направлении. Установка ЭЛМИ: Проведение исследований с целью установления связи между спектральным составом генерируемого ТГц-излучения и спектром мм-излучения, накопленного в кольцевом резонаторе с брэгговскими структурами. С учётом накопленного опыта в проведенных экспериментах, разработка резонатора терагерцового диапазона на основе модифицированных брэгговских структур.

Предполагаемые (ожидаемые) результаты и их возможная практическая значимость (применимость)



Предполагаемые результаты: Календарный план исследований предполагает, что будут получены следующие результаты (с разбивкой по этапам и по действующим установкам): Этап 2021 года. Установка ГОЛ-NB: Продемонстрировано заполнение центральной ловушки установки ГОЛ-NB низкотемпературной мишенной плазмой, пригодной для инъекции мощных нейтральных пучков; изучены пространственные характеристики мишенной плазмы; расширены возможности диагностического комплекса установки. Установка СМОЛА: Планируемые экспериментальные исследования должны дать новую научную информацию об эффективности подавления продольных потоков плазмы при динамическом многопробочном удержании при скорости вращения, близкой к звуковой; а также при большой средней по сечению глубине гофрировки для проверки теоретических моделей удержания плазмы в открытых ловушках с геликоидальными пробками. Установка ГОЛ-ЗТ: Создана диагностическая система, позволяющая установить корреляции между изменениями в функции распределения электронов пучка и в спектре излучения. Создана система вывода ТГц-излучения в атмосферу. Установка ЭЛМИ: Завершено изготовление и монтаж всех деталей и узлов, необходимых для проведения полномасштабного эксперимента по двухстадийной схеме. Проведены опыты по регистрации спонтанного ТГц-излучения. Этап 2022 года. Установка ГОЛ-NB: Проведены эксперименты по нагреву плазмы в центральной ловушке установки ГОЛ-NB мощными пучками атомов водорода с энергией до 25 кэВ из двух инжекторов; изучены закономерности нагрева плазмы в ловушке; расширены возможности диагностического комплекса установки. Установка СМОЛА: Планируемые экспериментальные исследования должны дать новую научную информацию об эффективности удержания вращающейся плазмы винтовым магнитным полем в конфигурации с двумя винтовыми пробками. Установка ГОЛ-ЗТ: Выявлены тенденции в изменениях спектра ТГц-излучения при различном характере изменений в функции распределения электронов пучка, намечено направление развития данного исследования. Созданы ключевые элементы системы для регистрации спектра плазменных колебаний. Установка ЭЛМИ: Выявлены предварительные закономерности общего характера в процессе генерации ТГц-излучения в рамках двухстадийной схемы и определены конкретные решения по дальнейшему развитию эксперимента. Завершено создание комплекса для исследования характеристик генерируемого излучения. Этап 2023 года. Установка ГОЛ-NB: Разработана и изготовлена система поддержания плотности плазмы; проведены эксперименты, направленные на достижения квазистационарного состояния плазмы в центральной ловушке; расширены возможности диагностического комплекса установки. Установка СМОЛА: Получение экспериментальной информации о возможности использования динамических многопробочных секций с умеренной величиной магнитного поля и сильных одиночных пробок, скомбинированных в различной последовательности. Построение расчётной модели оптимальной конфигурации геликоидальной многопробочной системы для открытых ловушек следующего поколения, включая установку ГДМЛ. Установка ГОЛ-ЗТ: Установлены закономерности в корреляции спектра ТГц-излучения с изменениями функции распределения электронов пучка. Проведено тестирование диагностики для регистрации плазменных колебаний и квазиоптической системы для формирования пучка ТГц-излучения в экспериментах с РЭП. Установка ЭЛМИ: Установлены основные закономерности в связи между спектральным составом генерируемого ТГц-излучения и спектром мм-излучения, выступающего в качестве электродинамического ондулятора. Разработан и передан в производство терагерцовый резонатор следующего поколения. Возможная практическая значимость: Результаты, полученные в рамках исследования схем классического и динамического многопробочного удержания, позволят создать базу знаний по данной тематике, необходимую для конкретного проектирования более эффективных концевых секций улучшенного удержания для открытых ловушек реакторного класса, что позволит повысить энергетическое время жизни плазмы и, тем самым, технико-экономическую эффективность таких реакторов. Результаты, полученные по разработке физических основ и экспериментальной демонстрации новых методов генерации мощного электромагнитного излучения миллиметрового, субмиллиметрового и терагерцового диапазонов в вакуумных и плазменных системах с релятивистскими электронными пучками, позволят разработать конкретные технические решения для создания таких генераторов для заинтересованных министерств и ведомств. Будут установлены закономерности формирования и распространения в атмосфере пучка терагерцового излучения мультимегаваттного уровня мощности и воздействия его на некоторые объекты; разработана концепция и инженерно-физическое обоснование для создания компактного генератора пучка терагерцового излучения на основе процессов в пучково-плазменной системе. С позиции перспектив практического использования, результаты исследований послужат основой для создания генераторов излучения диапазона 0,15 – 0,8 ТГц с мощностью в сотни мегаватт при микросекундной длительности импульса, что не доступно в рамках других схем накачки колебаний сильноточными РЭП. Генератор на основе пучково-плазменного взаимодействия обладает дополнительным положительным свойством быстрой перестройки частоты за счет варьирования параметров плазмы. В схеме двухстадийного планарного МСЭ на основе одновременного использования двух параллельных ленточных пучков в кольцевом брэгговском резонаторе будут получены импульсы излучения области частот 1 ТГц с мощностью ~1 МВт с длительностью ~100-200 нс. Созданные по результатам проведенных исследований мощные генераторы излучения будут иметь хорошую перспективу к использованию в системах доставки энергии на спутники и беспилотные летательные аппараты. Они применимы в многочастотных системах визуализации скрытых объектов и радиолокационных системах высокого пространственного разрешения. Большая мощность излучения с варьлируемым спектром в интервале 0,1-1,0 ТГц позволит проводить исследования биохимических процессов в сложных молекулярных системах, включая живые.



Научное и научно - техническое сотрудничество, в том числе международное

ИПФ РАН (Нижний Новгород), по тематикам генерации миллиметрового, субмиллиметрового и терагерцового излучения и по тематике дополнительного микроволнового нагрева плазмы на частоте электронного циклотронного резонанса.

Планируемые показатели на финансовый год

2021 год			
№ п/п	Наименование показателя (в зависимости от характера научных исследований (фундаментальные, поисковые, прикладные))	Единицы измерения	Значение
1	Публикации (типа article и review) в научных журналах, индексируемых в международных базах научного цитирования (Web of Science Core Collection и (или) Scopus)	единиц	8,000
1.1	Публикации в научных журналах первого и второго квартилей, (квартиль журнала определяется по квартилю наивысшей из имеющихся тематик журнала по данным на момент представления таблицы)	единиц	4,000
2	Рецензируемые доклады в основной программе конференций по тематической области Computer Science уровня А и А* по рейтингу CORE, опубликованные в сборниках конференций или зарубежных журналах	единиц	
3	Прочие публикации в научных журналах, входящих в ядро РИНЦ	единиц	
4	Прочие публикации (препринты и другие) в общепризнанных международных репозиториях по отраслям науки (SSRN, RePEc, arXiv.org и другие)	единиц	
5	Доклады на ведущих международных научных (научно-практических) конференциях в Российской Федерации и за рубежом	единиц	
6	Рецензируемые монографии (при наличии ISBN), рецензируемые энциклопедии (при наличии ISBN)	единиц	
7	Главы в рецензируемых монографиях (при наличии ISBN), статьи в рецензируемых энциклопедиях (при наличии ISBN)	единиц	
8	Аналитические материалы в интересах (по заказам) органов государственной власти	единиц	
9	Число поданных заявок на получение патента или регистрацию результата интеллектуальной деятельности (далее — РИД)	единиц	
10	Доля исследователей в возрасте до 39 лет в численности основных исполнителей темы	%	
11	Защищённые диссертации по теме исследования		
11.1	кандидатские	единиц	
11.2	докторские	единиц	
12	Количество планируемых к разработке медицинских технологий в рамках научной темы	единиц	



2022 год			
№ п/п	Наименование показателя (в зависимости от характера научных исследований (фундаментальные, поисковые, прикладные))	Единицы измерения	Значение
1	Публикации (типа article и review) в научных журналах, индексируемых в международных базах научного цитирования (Web of Science Core Collection и (или) Scopus)	единиц	8,000
1.1	Публикации в научных журналах первого и второго квартилей, (квартиль журнала определяется по квартилю наивысшей из имеющихся тематик журнала по данным на момент представления таблицы)	единиц	4,000
2	Рецензируемые доклады в основной программе конференций по тематической области Computer Science уровня A и A* по рейтингу CORE, опубликованные в сборниках конференций или зарубежных журналах	единиц	
3	Прочие публикации в научных журналах, входящих в ядро РИНЦ	единиц	
4	Прочие публикации (препринты и другие) в общепризнанных международных репозиториях по отраслям науки (SSRN, RePEc, arXiv.org и другие)	единиц	
5	Доклады на ведущих международных научных (научно-практических) конференциях в Российской Федерации и за рубежом	единиц	
6	Рецензируемые монографии (при наличии ISBN), рецензируемые энциклопедии (при наличии ISBN)	единиц	
7	Главы в рецензируемых монографиях (при наличии ISBN), статьи в рецензируемых энциклопедиях (при наличии ISBN)	единиц	
8	Аналитические материалы в интересах (по заказам) органов государственной власти	единиц	
9	Число поданных заявок на получение патента или регистрацию результата интеллектуальной деятельности (далее — РИД)	единиц	
10	Доля исследователей в возрасте до 39 лет в численности основных исполнителей темы	%	
11	Защищённые диссертации по теме исследования		
11.1	кандидатские	единиц	
11.2	докторские	единиц	
12	Количество планируемых к разработке медицинских технологий в рамках научной темы	единиц	



2023 год			
№ п/п	Наименование показателя (в зависимости от характера научных исследований (фундаментальные, поисковые, прикладные))	Единицы измерения	Значение
1	Публикации (типа article и review) в научных журналах, индексируемых в международных базах научного цитирования (Web of Science Core Collection и (или) Scopus)	единиц	8,000
1.1	Публикации в научных журналах первого и второго квартилей, (квартиль журнала определяется по квартилю наивысшей из имеющихся тематик журнала по данным на момент представления таблицы)	единиц	4,000
2	Рецензируемые доклады в основной программе конференций по тематической области Computer Science уровня A и A* по рейтингу CORE, опубликованные в сборниках конференций или зарубежных журналах	единиц	
3	Прочие публикации в научных журналах, входящих в ядро РИНЦ	единиц	
4	Прочие публикации (препринты и другие) в общепризнанных международных репозиториях по отраслям науки (SSRN, RePEc, arXiv.org и другие)	единиц	
5	Доклады на ведущих международных научных (научно-практических) конференциях в Российской Федерации и за рубежом	единиц	
6	Рецензируемые монографии (при наличии ISBN), рецензируемые энциклопедии (при наличии ISBN)	единиц	
7	Главы в рецензируемых монографиях (при наличии ISBN), статьи в рецензируемых энциклопедиях (при наличии ISBN)	единиц	
8	Аналитические материалы в интересах (по заказам) органов государственной власти	единиц	
9	Число поданных заявок на получение патента или регистрацию результата интеллектуальной деятельности (далее — РИД)	единиц	
10	Доля исследователей в возрасте до 39 лет в численности основных исполнителей темы	%	
11	Защищённые диссертации по теме исследования		
11.1	кандидатские	единиц	
11.2	докторские	единиц	
12	Количество планируемых к разработке медицинских технологий в рамках научной темы	единиц	

Сведения о руководителе

№ п/п	Фамилия	Имя	Отчество (при наличии)	Год рождения	Ученая степень	Ученое звание	Должность	WOS Research ID	Scopus Author ID	РИНЦ ID	Ссылка на web-страницу
1	Бурдаков	Александр	Владимирович	Нет данных	Доктор физико-математических наук	Старший научный сотрудник	зав. лаб.	V-7843-2018	6603939891	19175	Нет данных



Сведения об основных исполнителях

№ п/п	Фамилия	Имя	Отчество (при наличии)	Год рождения	Ученая степень	Ученое звание	Должность	WOS Research ID	Scopus Author ID	РИНЦ ID	Ссылка на web-страницу
1	Анненков	Владимир	Вадимович	Нет данных	Кандидат физико-математических наук	Нет данных	н.с.	H-5894-2016	55900762900	906910	Нет данных
2	Аржанников	Андрей	Васильевич	Нет данных	Доктор физико-математических наук	Профессор	г.н.с.	C-2443-2019	7004910972	21891	Нет данных
3	Иванов	Иван	Анатольевич	Нет данных	Кандидат физико-математических наук	Нет данных	с.н.с.	Нет данных	35114879300	42457	Нет данных
4	Полосаткин	Сергей	Викторович	Нет данных	Кандидат физико-математических наук	Нет данных	с.н.с.	A-6566-2010	9533290100	32198	Нет данных
5	Поступаев	Владимир	Валерьевич	Нет данных	Кандидат физико-математических наук	Старший научный сотрудник	с.н.с.	K-1240-2012	6603947842	24908	Нет данных
6	Синицкий	Станислав	Леонидович	Нет данных	Кандидат физико-математических наук	Нет данных	с.н.с.	Нет данных	6603491134	25822	Нет данных
7	Скляр	Владислав	Фатыхович	Нет данных	Кандидат физико-математических наук	Нет данных	н.с.	Нет данных	36932541500	685518	Нет данных
8	Сковородин	Дмитрий	Иванович	Нет данных	Кандидат физико-математических наук	Нет данных	с.н.с.	Нет данных	37041632600	782551	Нет данных
9	Судников	Антон	Вячеславович	Нет данных	Кандидат физико-математических наук	Нет данных	с.н.с.	Нет данных	37073449300	608341	Нет данных

Планируемая численность персонала, выполняющего исследования и разработки, всего в том числе:	50,000
Исследователи (научные работники)	21,000
Педагогические работники, относящиеся к профессорско-преподавательскому составу, выполняющие исследования и разработки	0,000
Другие работники с высшим образованием, выполняющие исследования и разработки (в том числе эксперты, аналитики, инженеры, конструкторы, технологи, врачи)	11,000
Техники	0,000
Вспомогательный персонал (в том числе ассистенты, стажеры)	18,000



Научный задел, имеющийся у коллектива, который может быть использован для достижения целей, предлагаемых к разработке научных тем или результаты предыдущего этапа

Коллектив-заявитель является лидером и задаёт мировой научный уровень во всех четырёх направлениях исследований: физика многопробочного удержания высокотемпературной плазмы, физика активного управления течением плазмы вдоль магнитного поля в геометрии геликоидальной ловушки, физика генерации электромагнитных волн субмиллиметрового диапазона в пучково-плазменной системе, физика генерации электромагнитных волн большой мощности миллиметрового и терагерцового диапазонов в схемах со свободными электронами. В частности, по отдельным направлениям можно отметить следующее. По тематике многопробочного удержания плазмы, на предыдущем этапе работ в рамках темы НИР № 14.1.3 «Развитие физики удержания плазмы в многопробочной ловушке и физики мощных электронных пучков» (№ 0305-2019-0004) была сооружена установка ГОЛ-NB – первая и единственная в мире магнитная ловушка, которая интегрирует основные элементы перспективной открытой ловушки реакторного класса: центральную газодинамическую ловушку и концевые секции с многопробочным магнитным полем, предназначенные для уменьшения потерь энергии из центральной ловушки. Нагрев плазмы ведётся при помощи инжекции двух атомарных пучков (25 кэВ, 2 x 0,75 МВт, 5 мс). В 2019 г. на установке были начаты технологические эксперименты по транспортировке потока низкотемпературной стартовой плазмы через концевые многопробочные секции к центру установки. По тематике активного управления течением плазмы в геликоидальной ловушке, коллективом в рамках гранта РФФИ 14-50-00080 была создана установка СМОЛА, которая является первой и единственной в мире установкой такого типа. На текущий момент на данной установке проведены начальные эксперименты, показавшие факт наличия эффекта винтового удержания и базовые зависимости эффективности удержания от внешних параметров, таких, как глубина гофрировки магнитного поля и скорость вращения плазмы. По тематике генерации электромагнитных волн субмиллиметрового диапазона в пучково-плазменной системе на первом этапе проводимых нами исследований, эксперименты по генерации излучения в пучково-плазменной системе проводились в ИЯФ СО РАН на установках ГОЛ-3 и ГОЛ-3Т для области миллиметровых волн. В настоящее время здесь проводятся эксперименты на установке ГОЛ-ПЭТ, которая три года назад специально была построена для исследований по генерации субмиллиметрового излучения в области частот до одного терагерца. Длина плазменного столба около 2,5 метра при диаметре 6 см позволяют варьировать плотность плазмы в нем от 5×10^{14} до 5×10^{15} см⁻³. При этом возможна реализация различного распределения плотности плазмы в сечении, что открыло перспективу поиска оптимальных условий для трансформации плазменных колебаний в субмиллиметровое излучение. Такая возможность уже нашла подтверждение в экспериментах, проведенных 2017-2018 годах. В этих экспериментах осуществлен вывод генерируемого в плазме излучения вдоль оси пучково-плазменной системы с мощностью около 5 МВт за счет наличия сильного радиального градиента плотности в области сечения, где проходит килоамперный пучок. Широкая область варьирования плотности плазмы и ее градиента, возможность изменения плотности тока пучка от одного эксперимента к другому, варьирование индукции ведущего магнитного поля открывают возможность проведения масштабного эксперимента по поиску оптимальных условий для генерации субмиллиметрового излучения. Комплексность подхода к решению этой задачи обеспечивается системой томсоновского рассеяния лазерного излучения для измерения плотности плазмы в восьми точках по диаметру плазменного столба и десятиканальной системой регистрации спектра выходящего из плазмы излучения в интервале частот от 0,1 до 1,0 ТГц. Важным дополнением к этому являются шестиканальный датчик угловой расходимости электронов пучка и восьмиканальный анализатор спектра энергий релятивистских электронов, которые уже применены для измерения соответствующих характеристик инжектируемого в плазму пучка и будут использованы для их измерения на выходе пучка из плазмы. Таким образом в экспериментах обеспечивается по-настоящему комплексный подход в решении поставленной задачи в области эксперимента по генерации в плазме мультимегаваттного потока терагерцового излучения. По тематике генерации электромагнитных волн большой мощности миллиметрового и терагерцового диапазонов в схемах со свободными электронами в ИЯФ СО РАН (Новосибирск) совместно с ИПФ РАН (Нижний Новгород) предложен и активно развивается оригинальный подход к решению задачи генерации мегаваттных импульсов когерентного миллиметрового и субмиллиметрового излучения с помощью коротковолновых мазеров на свободных электронах (МСЭ) планарной геометрии, которые накачиваются сильноточными релятивистскими электронными пучками ленточной геометрии. Отличительной особенностью такого решения является применение механизма распределенной обратной связи, реализуемого в двумерных брэгговских структурах, для обеспечения высокой степени когерентности СВЧ-излучения в генераторах с одним из поперечных размеров, намного превышающим длину волны излучения. Данный подход реализован в исследованиях на установке «ЭЛМИ». Достижения в этих исследованиях открыли возможность генерации излучения высокой импульсной мощности в области частот до нескольких терагерц в случае применения двухстадийной схемы планарного МСЭ-генератора. Эта схема базируется на использовании двух параллельных электронных пучков ленточного сечения, которые генерируются одновременно ускорителем У-3. Коллектив адекватен задачам исследований. Есть постоянный приток квалифицированных студентов-физиков с Кафедры физики плазмы Новосибирского государственного университета и Кафедры электрофизических установок и ускорителей Новосибирского государственного технического университета.

Фундаментальные научные исследования, поисковые научные исследования, прикладные научные исследования



Вид публикации (статья, глава в монографии, монография и другие)	Дата публикации	Библиографическая ссылка	Идентификатор
статья	01.02.2020	V.V. Postupaev, V.I. Batkin, A.V. Burdakov, V.S Burmasov, I.A. Ivanov, K.N. Kuklin, K.I. Mekler, A.F. Rovenskikh, E.N Sidorov, Results of first plasma campaign in start configuration of GOL-NB multiple-mirror trap // Plasma Physics and Contr. Fusion, Vol. 62, No. 2, 025008 (2020)	
статья	01.04.2020	A.V. Arzhannikov, I.A. Ivanov, A.A. Kasatov, S.A. Kuznetsov, M.A. Makarov, K.I. Mekler, S.V. Polosatkin, S.S. Popov, A.F. Rovenskikh, D.A. Samtsov, S.L. Sinitsky, V.D. Stepanov, V.V. Annenkov, I.V. Timofeev, Well-directed flux of megawatt sub-mm radiation generated by a relativistic electron beam in a magnetized plasma with strong density gradients // Plasma Phys. and Contr. Fusion, Vol. 62, No. 4, 045002 (2020).	
статья	01.01.2019	D.I. Skovorodin, Suppression of secondary emission of electrons from end plate in expander of open trap // Physics of Plasmas, Vol. 26, No. 1, 012503 (2019)	
статья	01.01.2019	P.A. Bagryansky, A.D. Beklemishev, V.V. Postupaev, Encouraging Results and New Ideas for Fusion in Linear Traps. // Journal of Fusion Energy Vol. 38, No. 1, p. 162-181 (2019)	
статья	11.04.2019	V.V. Postupaev, High dynamic range measurement of CdWO ₄ afterglow // Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A. Vol. 923, p. 147-156 (2019).	
статья	12.02.2019	A.A. Inzhevatkina, A.V. Burdakov, I.A. Ivanov, V.V. Postupaev, A.V. Sudnikov Doppler Spectroscopy System for the Plasma Velocity Measurements in SMOLA Helical Mirror // Plasma and Fusion Res. Vol. 14, 2402020 (2019)	
статья	12.02.2019	A.V. Sudnikov, A.D. Beklemishev, V.V. Postupaev, I.A. Ivanov, A.A. Inzhevatkina, V.F. Sklyarov, A.V. Burdakov, K.N. Kuklin, A.F. Rovenskikh, N.A. Melnikov, First Experimental Campaign on SMOLA Helical Mirror // Plasma and Fusion Res. Vol. 14, 2402023 (2019)	
статья	01.09.2019	A.A. Shoshin, A.V. Burdakov, M.V. Ivantsivskiy, M.V. Klimenko, S.V. Polosatkin, A.M. Semenov, Properties of boron carbide ceramics made by various methods for use in ITER // Fusion Engineering and Design, Vol. 146, Part B, p. 2007-2010 (2019)	
статья	01.09.2019	D.I. Skovorodin, Influence of Trapped Electrons on the Plasma Potential in the Expander of an Open Trap // Plasma Physics Reports, Vol. 45, No. 9, pp. 799-804 (2019).	
статья	01.03.2019	Yury Trunev, Dmitry Skovorodin, Vitaly Astrelin, Valerii Danilov, Alexander Burdakov, Victor Kurkuchekov, Sergey Popov, Stanislav Sinitsky, Vladimir Tarakanov and Magomedriza Atlukhanov Influence of backstreaming ions on spot size of 2 MeV electron beam // Laser and particle beams, Vol. 37, No. 1, pp. 159-164 (2019)	
статья	09.09.2019	A. Shoshin, A. Burdakov, M. Ivantsivskiy, S. Polosatkin, M. Klimenko, A. Semenov, S. Taskaev, D. Kasatov, A. Zhukov, Qualification of boron carbide ceramics for use in ITER ports // IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 48, No. 6, p. 1474 - 1478 (2019).	
статья	01.06.2018	A. V. Burdakov, V. V. Postupaev, Multiple-mirror trap: A path from Budker magnetic mirrors to linear fusion reactor // Physics-Uspexhi, Vol. 61, No. 6, p. 582-600 (2018)	



статья	01.08.2018	V.V. Postupaev, A.V. Burdakov, I.A. Ivanov, V.F. Sklyarov, A.V. Arzhannikov, V.S. Burmasov, D.Ye. Gavrilenko, I.V. Kandaurov, V.V. Kurkuchekov, K.I. Mekler, S.V. Polosatkin, A.F. Rovenskikh, A.V. Sudnikov, Yu.S. Sulyaev, and Yu.A. Trunev, Multiple pulse magnetized electron beam injection in deuterium gas // Physics of Plasmas, Vol. 25, No. 8, 084504 (2018).	
статья	01.02.2017	I.A. Ivanov, A.V. Burdakov, V.S. Burmasov, K.N. Kuklin, M.A. Makarov, K.I. Mekler, S.V. Polosatkin, V.V. Postupaev, A.F. Rovenskikh, E.N. Sidorov, S.L. Sinitsky, A.V. Sudnikov Differential Rotation of Plasma in the GOL-3 Multiple-Mirror Trap upon Injection of a Relativistic Electron Beam // Plasma Physics Reports, Vol. 43, No. 2, pp. 119-128 (2017).	
статья	01.03.2017	V.V. Postupaev, V.I. Batkin, A.D. Beklemishev, A.V. Burdakov, V.S. Burmasov, I.S. Chernoshtanov, A.I. Gorbovsky, I.A. Ivanov, K.N. Kuklin, K.I. Mekler, A.F. Rovenskikh, E.N. Sidorov, D.V. Yurov The GOL-NB program: further steps in multiple-mirror confinement research // Nuclear Fusion, Vol. 57, No. 3, 036012 (2017).	
статья	01.01.2017	A.A. Shoshin, A.S. Arakcheev, A.V. Arzhannikov, A.V. Burdakov, I.A. Ivanov, A.A. Kasatov, K.N. Kuklin, S.V. Polosatkin, V.V. Postupaev, S.L. Sinitsky, A.A. Vasilyev, L.N. Vyacheslavov, Study of Plasma-Surface Interaction at the GOL-3 Facility // Fusion Engineering and Design, Vol. 114, pp. 157-179 (2017)	
статья	22.12.2017	I.A. Ivanov, V.I. Batkin, A.V. Burdakov, V.S. Burmasov, K.N. Kuklin, K.I. Mekler, S.V. Polosatkin, V.V. Postupaev, E.N. Sidorov, and A.F. Rovenskikh, Transportation of cold plasma jet in multiple-mirror magnetic field // AIP Advances, Vol. 7, 125121 (2017).	
статья	01.11.2017	A.V. Sudnikov, A.D. Beklemishev, V.V. Postupaev, A.V. Burdakov, I.A. Ivanov, N.G. Vasilyeva, K.N. Kuklin, E.N. Sidorov, SMOLA device for helical mirror concept exploration // Fusion Engineering and Design, Vol. 122, pp. 86-93 (2017)	
статья	01.05.2016	V.V. Postupaev, A.V. Sudnikov, A.D. Beklemishev, I.A. Ivanov Helical Mirrors for Active Plasma Flow Suppression in Linear Magnetic Traps // Fusion Engineering and Design, Vol. 106, p. 29-33 (2016).	
статья	24.02.2016	A.V. Arzhannikov, A.V. Burdakov, V.S. Burmasov, I.A. Ivanov, A.A. Kasatov, S.A. Kuznetsov, M.A. Makarov, K.I. Mekler, S.V. Polosatkin, S.S. Popov, V.V. Postupaev, A.F. Rovenskikh, S.L. Sinitsky, V.F. Sklyarov, V.D. Stepanov, et al, Dynamics and Spectral Composition of Subterahertz Emission From Plasma Column Due to Two-Stream Instability of Strong Relativistic Electron Beam // IEEE Transactions on TeraHertz Science and Technology, Vol. 6, No. 2, P.245-252 (2016).	
статья	14.05.2016	V.V. Postupaev, V.I. Batkin, A.V. Burdakov, I.A. Ivanov, K.N. Kuklin, K.I. Mekler, A.F. Rovenskikh Experiments on the transportation of a magnetized plasma stream in the GOL-3 facility // Plasma Physics Reports, Vol. 42, No. 4, pp. 319-326 (2016).	
статья	01.08.2016	E. Grishnyaev, S. Polosatkin The study of neutron burst shape of a neutron tube driven by dispenser cathode // Nuclear Instr. and Methods in Physics Research, A, Vol. 828, pp. 91-96 (2016)	
статья	01.12.2016	A.A. Shoshin, A.S. Arakcheev, A.V. Arzhannikov, A.V. Burdakov, A. Huber, I.A. Ivanov, K.N. Kuklin, S.V. Polosatkin, V.V. Postupaev, S.L. Sinitsky, A.A. Vasilyev Modification of preheated tungsten surface after irradiation at the GOL-3 facility // Fusion Engineering and Design, Vol. 113, p. 66-70 (2016).	
статья	06.09.2016	Arzhannikov A.V., Kalinin P.V., Kuznetsov S.A., Sinitsky S.L., Stepanov V.D., Ginzburg N.S., Malkin A.M., Peskov N.Y., Sergeev A.S., Zaslavsky V.Yu., Thumm M. Using Two-Dimensional Distributed Feedback for Synchronization of Radiation from Two Parallel-Sheet Electron Beams in a Free-Electron Maser // Physical Review Letters. Vol. 117. No. 11. P. 114801 (2016)	
статья	01.11.2016	V.V. Postupaev, D.V. Yurov, Modeling of Reference Operating Scenario of GOL-NB Multiple-Mirror Trap // Plasma Physics Reports, Vol. 42, No. 11, pp. 1013-1023 (2016).	

**Реализованные научно-исследовательские работы по тематике исследования**

Год реализации	Наименование	Номер государственного учёта в ЕГИСУ НИОКТР
----------------	--------------	---

Подготовленные аналитические материалы в интересах и по заказам органов государственной власти

Год подготовки	Наименование	Заказчик
----------------	--------------	----------

Доклады по тематике исследования на российских и международных научных (научно-технических) семинарах и конференциях

Дата проведения	Место проведения	Наименование доклада	Статус доклада	Докладчик
	Нет данных	Start Plasma Production in GOL-NB Multiple-Mirror Trap		V.V. Postupaev
	Нет данных	Efficient electromagnetic emission from plasma with continuously injected counterstreaming electron beams		V.V. Annenkov
	Нет данных	Preliminary Experimental Scaling of the Helical Mirror Confinement Effectiveness		A.V. Sudnikov
	Нет данных	Mechanisms of submillimeter wave generation by kiloampere REB in a plasma column with strong density gradients		A.V. Arzhannikov
	Нет данных	Creation of plasma column to generate THz-radiation due to electron beam-plasma interaction		I. A. Ivanov
	Нет данных	Диагностика пространственного распределения скорости плазмы в винтовой открытой ловушке СМОЛА		А.А. Инжеваткина
	Нет данных	Эксперименты по удержанию плазмы винтовой пробкой в линейной магнитной ловушке		А.В. Судников
	Нет данных	Спектральный состав мегаваттного потока субмиллиметрового излучения, выходящего вдоль оси замагниченного плазменного столба при релаксации в нем килоамперного РЭП		А.В. Аржанников
	Нет данных	Разработка мощного генератора поверхностной волны на основе сильноточного ленточного релятивистского электронного пучка		А.В. Аржанников
	Нет данных	Основные эмпирические зависимости эффективности винтового удержания в винтовой магнитной ловушке СМОЛА		А.В. Судников

Выявленные Результаты Интеллектуальной Деятельности

Виды РИД	Дата подачи заявки или выдачи патента, свидетельства	Наименование РИД	Номер государственной регистрации РИД
	16.07.2012		

Защищенные диссертации (кандидатские/докторские)

Вид диссертации	Дата защиты	Наименование Диссертации	Номер государственного учета реферативно-библиографических сведений о защищенной диссертации на соискание учёной степени в ЕГИСУ НИОКТР
-----------------	-------------	--------------------------	---



Планируемое финансирование научной темы

Основное финансирование(тыс. руб.)	Финансовый год	Плановый период (год +1)	Плановый период (год +2)
Средства федерального бюджета	47238,892	48364,821	0
Итого	47238,892	48364,821	0

М.П.

1-6 - заполняются согласно пункту 5 требований к заполнению формы направления сведений о состоянии правовой охраны результата интеллектуальной деятельности.