



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 № 1.3.4.1.3. Развитие мощных инжекторов сфокусированных пучков быстрых атомов для нагрева плазмы

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

FWGM-2021-0017

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

AAAA-A17-117061510092-7

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)

Инжекторы пучков быстрых атомов, ионные источники, плазменные эмиттеры ионов, многоапертурные ионно-оптические системы, нейтрализаторы ионных пучков.

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

ИЯФ СО РАН в последние годы существенно продвинулся в развитии инжекторов сфокусированных пучков быстрых атомов водорода. Разработаны, испытаны и серийно выпускаются нагревные инжекторы пучков быстрых атомов водорода с мощностью 1 МВт и длительностью импульса до 2 с, а также импульсные инжекторы с мощностью пучка до 3 МВт. Ведутся работы по оригинальному инжектору пучка атомов водорода с энергией до 1 МэВ на основе отрицательных ионов. Инжектор основан на раздельном формировании и ускорении пучка отрицательных ионов. В настоящее время разработан и испытан поверхностно-плазменный источник отрицательных ионов с током пучка свыше 1 А и энергией более 100 кэВ и ведутся эксперименты по ускорению пучка. Предлагается выполнить ряд экспериментальных и численных исследований, принципиально важных для дальнейшего развития в ИЯФ СО РАН инжекторов интенсивных сфокусированных пучков быстрых атомов и инжектора пучка атомов высокой энергии на основе отрицательных ионов.

Актуальность проблемы, предлагаемой к решению

В настоящее время инжекция пучков быстрых атомов изотопов водорода является одним из основных методов создания и поддержания плазмы в современных магнитных ловушках. Планируемая мощность инжекции в современные магнитные системы достигает уровня нескольких десятков мегаватт. Перезарядные инжекторы с энергией атомов до 100 кэВ должны обеспечивать ввод мощности в заданную область плазмы, кроме того, для оптимизации создания плазмы требуется контролируемое изменение мощности и энергии пучка во времени. Для инжекции в термоядерные системы с плотной плазмой большого размера энергия атомов пучка до 100 кэВ является недостаточной из-за неглубокого проникновения атомов в плазму. Поэтому энергия инжектируемых атомов должна быть увеличена. Такое увеличение энергии может быть достигнуто за счет применения инжекторов пучков быстрых атомов, основанных на обдирке пучков интенсивных пучков отрицательных ионов. Кроме термоядерных применений, интенсивные пучки быстрых атомов могут быть использованы для материаловедческих исследований, генерации нейтронов и имплантации.

Описание задач, предлагаемых к решению

В течение каждого года будут выполняться две работы по мощным перезарядным инжекторам сфокусированных пучков быстрых атомов и одна работа по инжектору пучка атомов водорода высокой энергии на основе отрицательных ионов. План выполнения работ по годам (2021-2023) 2021: 1. Разработка концептуального проекта инжектора интенсивного пучка быстрых атомов бора. 2. Минимизация интегральной расходимости мощного сфокусированного пучка быстрых ионов, сформированного многоапертурной трехэлектродной ионно-оптической системой. 3. Исследование поведения цезиевого покрытия в многоапертурном поверхностно-плазменном источнике пучка отрицательных ионов водорода. 2022: 4. Моделирование формирования пучка в элементарной ячейке мощного ионного источника с энергией частиц до 100 кэВ. 5. Оптимизация газового нейтрализатора для пучков ионов водорода высокой энергии. 6. Разработка элементов с интенсивным охлаждением для сильноточного поверхностно-плазменного источника пучка отрицательных ионов водорода непрерывного действия. 2023: 7. Разработка многоапертурных ионно-оптических систем типа ускорение-замедление. 8. Исследования пространственного распределения эмиссионной плотности тока в ВЧ-эмиттерах. 9. Численное моделирование применения магнитных элементов для транспортировки пучков отрицательных ионов водорода высокой энергии.



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

Предполагаемые результаты: В результате выполнения работы будет достигнут прогресс в развитии как мощных перезарядных инжекторов сфокусированных пучков быстрых атомов на основе положительно заряженных ионов, так и мощных инжекторов на основе отрицательно заряженных ионов. В перезарядных инжекторах будет увеличена энергия атомов пучка, снижена интегральная угловая расходимость сфокусированного пучка, оптимизированы элементы инжекторов. Будут разработаны усовершенствованные варианты ионно-оптических систем типа ускорение-замедление, предназначенные для получения интенсивных пучков быстрых атомов пониженной энергии с малой угловой расходимостью. Впервые будет выполнена разработка концептуального проекта инжектора интенсивного пучка быстрых атомов бора. Интенсивные пучки быстрых атомов бора требуются для безнейтронных термоядерных реакторов. Будет исследовано поведение цезиевого покрытия в поверхностно-плазменном источнике пучка отрицательных ионов водорода. Степень цезиевого покрытия плазменного электрода ионно-оптической системы источника существенно определяет генерацию пучка отрицательных ионов. Будут выполнены исследования по оптимизации элементов источника отрицательных ионов водорода с целью значительного повышения тока и длительности пучка. Будет изучена транспортировка ускоренного пучка отрицательных ионов водорода. Возможная практическая значимость: Инжекторы сфокусированных пучков быстрых атомов с увеличенной энергией и сниженной расходимостью несомненно будут использованы для инъекции в плазму современных магнитных ловушек.

Научное и научно - техническое сотрудничество, в том числе международное

ИЯФ СО РАН ведет активное научное и научно-техническое сотрудничество по развитию и применению инжекторов пучков быстрых атомов. В России институт сотрудничает с ФТИ им. А.Ф.Иоффе и Курчатовским Институтом. Международное сотрудничество ведется с Институтом физики плазмы (Прага, Чехия), Институтом физики плазмы (Хефэй, Китай), Висконсинским университетом (Мэдисон, США), компанией TAE (Калифорния, США).



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	6,000
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	1,000
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	2,000
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	1,000
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	6,000
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	1,000
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	3,000
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	1,000
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	6,000
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	1,000
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	2,000
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	1,000
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	Давыденко	Владимир	Иванович	Нет данных	Доктор физико-математических наук	Старший научный сотрудник	г.н.с.	A-9297-2014	7005060978	21745	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	Бельченко	Юрий	Иванович	Нет данных	Доктор физико-математических наук	Профессор	г.н.с.	Нет данных	6602755651	24918	Нет данных
2	Иванов	Александр	Александрович	Нет данных	Доктор физико-математических наук	Старший научный сотрудник	заведующий лабораторией	Нет данных	55215707700	21921	Нет данных
3	Колмогоров	Вячеслав	Вячеславович	Нет данных	Доктор технических наук	Нет данных	в.н.с.	Нет данных	7006596146	347714	Нет данных
4	Шиховцев	Игорь	Владимирович	Нет данных	Кандидат физико-математических наук	Нет данных	с.н.с.	A-8589-2014	6506074230	172026	Нет данных

Планируемая численность персонала, выполняющего исследования и разработки, всего в том числе:	48,000
Исследователи (научные работники)	18,000
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)	9,000
Техники	0,000
Вспомогательный персонал (в том числе ассистенты, стажеры)	21,000

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

Научный задел для выполнения работы основан на понимании важности поставленных задач, внимательном предварительном рассмотрении вариантов решений, квалификации и большом опыте участников проекта в создании инжекторов, активном участии молодых специалистов, поддержке инженеров и лаборантов, наличии экспериментальных стендов и оборудования для проведения экспериментальных исследований.

Фундаментальные научные исследования, поисковые научные исследования, прикладные научные исследования

Вид публикации (статья, глава в монографии, монография и другие)	Дата публикации	Библиографическая ссылка	Идентификатор
--	-----------------	--------------------------	---------------



статья		A.A. Ivanov, G.F. Abdrashitov, V.V. Anashin, Yu.I. Belchenko, A.V. Burdakov, V.I. Davydenko, P.P. Deichuli, G.I. Dimov, A.N. Dranichnikov, V.A. Kapitonov, V.V. Kolmogorov, A.A. Kondakov, A.L. Sanin, et al. Development of a Negative Ion-based Neutral Beam Injector in Novosibirsk. Rev. Sci. Instrum., v.85, N2, 2014, 02B102; http://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.4826326	
статья		Alexander N. Karpushov, Stefano Alberti, Rene Chavan, Vladimir I. Davydenko, Basil P. Duval, Alexander A. Ivanov, Damien Fasel, Ambrogio Fasoli, Aleksander I. Gorbovsky, Timothy Goodman, Vyacheslav V. Kolmogorov, Yves Martin, Olivier Sauter, et al. Upgrade of the TCV tokamak, first phase: neutral beam heating system. Fusion Eng. Des., v. 96-97, 2015, p. 493-497, DOI:10.1016/j.fusengdes.2015.01.52;	
статья		J.S. Sarff, A.F. Almagri, J.K. Anderson, ...V.I.Davydenko, ... et al. Overview of results from the MST reversed field pinch experiment. Nucl. Fusion, v 55, 2015, 104006; http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0029-5515/55/10/104006	
статья		P. Deichuli, V. Davydenko, A. Ivanov, S. Korepanov, V. Mishagin, A. Smirnov, A. Sorokin, and N. Stupishin. Low energy, high power hydrogen neutral beam for plasma heating. Review of Scientific Instruments, Vol.86, 2015, 113509; http://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.4936292	
статья		V. Davydenko, V. Amirov, A. Gorbovsky, P. Deichuli, A. Ivanov, A. Kolmogorov, V. Kapitonov, V. Mishagin, I. Shikhovtsev, A. Sorokin, N. Stupishin, A. N. Karpushov, A. Smirnov, and R. Uhlemann. Multi-slit triode ion optical system with ballistic beam focusing. Review of Scientific Instruments, Vol.87, 2016, 02B303; http://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.4931788	
статья		T. D. Akhmetov, V. I. Davydenko, A. A. Ivanov, A. Kreter, V. V. Mishagin, V. Ya. Savkin, G. I. Shulzhenko, and B. Unterberg. Note: Arc discharge plasma source with plane segmented LaB6 cathode. Review of Scientific Instruments, 87, 056106 (2016); http://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.4950903	
статья		Alexander N. Karpushov, Rene Chavan, Stefano Coda, ..., Vladimir I. Davydenko, et al. Neutral beam heating on the TCV tokamak. Fusion Engineering and Design (2017), v.123, pp. 468-462. DOI:10.1016/j.fusengdes.2017.02.076	
статья		V.B. Minaev, V.K. Gusev, N.V. Sakharov, V.I. Varfolomeev, N.N. Bakharev, V.A. Belyakov, E.N. Bondarchuk, P.N. Brunkov, F.V. Chernyshev, V.I. Davydenko, et al. Spherical tokamak Globus-M2: design, integration, Construction. Nucl. Fusion 57 (2017) 066047 (9pp), doi: 10.1088/1741-4326/aa69e0	
статья		Belchenko Yu.I., Davydenko V.I., Deichuli P.P., Emelev I.S., Ivanov A.A., Kolmogorov V.V., Konstantinov S.G., Krasnov A.A., Popov S.S., Sanin A.L., Sorokin A.V., Stupishin N.V., Shikhovtsev I.V., Kolmogorov A.V., Atlukhanov M.G., Abdrashitov G.F., Dranichnikov A.N., et al. Studies of ion and neutral beam physics and technology at the Budker Institute of Nuclear Physics, SB RAS // Physics-Uspekhi. - 2018. - Vol. 61, Is. 6. - P. 531-581. - DOI 10.3367/UFNe.2018.02.038305	
статья		Wan B.N., EAST Team Davydenko V., Shikhovtsev I. Recent advances in EAST physics experiments in support of steady-state operation for ITER and CFETR // Nuclear Fusion. - 2019. - Vol. 59, Is. 11. - Art.nr 112003. -15 p. - DOI 10.1088/1741-4326/ab0396	
статья		A. V. Sorokin, T. D. Akhmetov , A. V. Brul , V. I. Davydenko, A. A. Ivanov , A. N. Karpushov, V. V. Mishagin, and I. V. Shikhovtsev. Update of ion-optical system of neutral beam of Tokamak a Configuration Variable. Rev. Sci. Instrum. 91, 013323 (2020); https://doi.org/10.1063/1.5128569	
	10.01.2020	Popov S., Atlukhanov M., et al., Optical diagnostics of negative ion beam transport, Review of Scientific Instruments, 91, 013311	
		Нет данных	



		Нет данных	
		Нет данных	
	02.12.2020	Melnik A. D., Afanasyev V. I., et al., Bench tests of a helium ion source for the neutral particle diagnostic system of the ITER tokamak, Review of Scientific Instruments, 91, 123301	
	17.10.2020	Amirov V.Kh., , et al., ION-OPTICAL SYSTEM WITH BALLISTIC FOCUSING OF A POWERFUL DEUTERIUM ATOM BEAM INJECTOR FOR PLASMA HEATING, Problems of Atomic Science and Technology, Ser. Thermonuclear Fusion, 43, 111-117	

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
-----------------	------------------	----------------------	----------------	-----------

Выявленные Результаты Интеллектуальной Деятельности

Виды РИД	Дата подачи заявки или выдачи патента, свидетельства	Наименование РИД	Номер государственной регистрации РИД
	22.05.2017		

Защищённые диссертации (кандидатские/докторские)

Вид диссертации	Дата защиты	Наименование Диссертации	Номер государственного учета реферативно-библиографических сведений о защищённой 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	132392,802	41456,377	0
Итого	132392,802	41456,377	0



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