

План научно - исследовательской работы  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук  
на 2019 - 2021 годы

1. Наименование государственной работы - Проведение фундаментальных научных исследований (Выполнение фундаментальных научных исследований (ГП 14))

Пункт программы ФНИ государственных академий наук на 2013-2020 годы и наименование направления исследований	Содержание работы	Объем финансирования, тыс. руб.			Планируемый результат выполнения работы, подразделение научного учреждения РАН и руководитель работы
		2019	2020	2021	
<p>II. Физические науки</p> <p>15. Современные проблемы ядерной физики, в том числе физики элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий, включая физику нейтрино и астрофизические и космологические аспекты, а также физики атомного ядра, физики ускорителей заряженных частиц и детекторов, создание интенсивных источников нейтронов, мюонов, синхротронного излучения и их применения в науке, технологиях и медицине</p> <p>"Нейтринная астрофизика, нейтринная, гамма и гравитационно-волновая астрономия, физика космических лучей, физика и техника нейтринных телескопов в низкофоновых подземных и подводных лабораториях" (№ 0031-2019-0002)</p>	<p>В ходе выполнения работ по теме предполагается решить следующие основные задачи:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Развертывание нейтринного телескопа кубокилометрового масштаба Baikal-GVD в соответствии с результатами завершённых НИОКР.</li> <li>- Долговременный набор и обработка данных, включая обмен данными и результатами их обработки в рамках международного научного консорциума «Глобальная нейтринная обсерватория».</li> <li>- Моделирование физических процессов и работы установки Baikal-GVD;</li> <li>- Совершенствование и специализация систем анализа и обработки данных для решения различных задач нейтринной астрономии и астрофизики высоких энергий.</li> <li>- Поиск источников и исследование природы астрофизических нейтрино высоких энергий.</li> <li>- Поиск частиц темной материи и изучение астрофизических проявлений других расширений Стандартной модели элементарных частиц.</li> <li>- Измерение скорости захвата нейтрино от высокоинтенсивных искусственных источников нейтрино на галлиевой мишени двухзонной установки УНУ ГГНГ с целью поиска осцилляций электронных нейтрино в стерильные состояния на очень коротких расстояниях, недоступных другим нейтринным экспериментам.</li> <li>- Поиск оптимальной конфигурации и исследование технических характеристик Нового баксанского нейтринного телескопа. Создание установки для измерения содержания C-14</li> </ul>	144 718,60	149 007,07	156 571,44	<p>Цель исследований - поиск нейтрино и сопутствующих гравитационных волн от взрывов сверхновых звезд, регистрация нейтрино и гамма-излучения от астрофизических источников, поиск короткобазовых нейтринных осцилляций, исследование происхождения космических лучей сверхвысоких и ультравысоких энергий и их взаимодействий. В том числе:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Создание и эксплуатация нейтринного телескопа кубокилометрового масштаба в озере Байкал для поиска и исследований потоков астрофизических нейтрино высоких энергий способом глубоководной регистрации вторичных мюонов и нейтрино (Baikal-GVD) и комплекса инфраструктуры, обеспечивающей поэтапное развитие проекта и долговременную эксплуатацию телескопа. Уникальная научная установка Baikal-GVD создается как комплексная лаборатория, включающая оптическую, гидрологическую и гидроакустическую аппаратуру, которая не только обеспечивает получение данных для решения задач нейтринной астрономии, но и позволяет вести исследования в смежных областях науки и техники: гидрологии, лимнологии, геофизике, экологии, долговременном непрерывном мониторинге состояния водной среды озера Байкал.</li> <li>- Поиск короткобазовых нейтринных осцилляций и новых свойств нейтрино в экспериментах с искусственными источниками нейтрино.</li> <li>- Подготовка проекта Нового баксанского нейтринного телескопа (НБНТ). НБНТ - разрабатываемый подземный сцинтилляционный детектор большого объема, направленный на регистрацию солнечных нейтрино CNO цикла, геонейтрино и решения других задач на стыке физики частиц, астрофизики и геофизики.</li> <li>- Поиск сцинтиллятора с пониженным содержанием радио-</li> </ul>

	<p>в образцах жидкого сцинтиллятора.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Непрерывный мониторинг вспышек сверхновых в нашей Галактике на детекторах нейтрино БПСТ, АСД и LVD.</li> <li>- Организация передачи сообщений о кандидатах на нейтринный всплеск в мировую сеть SNEWS.</li> <li>- Поиск точечных источников космического гамма-излучения с энергией выше 100 ТэВ по экспериментальным данным установок Ковер-2 и TAIGA. Измерение потока (или получение ограничений на поток) диффузного космического гамма-излучения с энергией выше 100 ТэВ.</li> <li>- Получение ограничений или обнаружение солнечных адронных аксионов.</li> <li>- Изучение спектра и массового состава космических лучей в диапазоне энергий от 1 ПэВ до 100 ЭэВ.</li> <li>- Исследование зависимости спектра и состава космических лучей от направления на небесной сфере.</li> <li>- Разработка новой модели взаимодействий адронов FANSY 2.0, воспроизводящей, во-первых, более широкий (сравнительно с другими моделями) круг основных экспериментальных результатов в области энергий <math>10^{11} - 10^{18}</math> эВ во взаимодействиях адронов с нуклонами и ядрами, имеющих важное значение для исследований фрагментационной области генерации частиц; во-вторых, моделирующей компланарную генерацию наиболее энергичных частиц при сверхвысоких энергиях.</li> <li>- Сравнительный анализ экспериментальных и расчетных данных по азимутальным эффектам, наблюдаемым в экспериментах на БАК и в космических лучах.</li> <li>- Проведение работ по запуску оптико-акустической гравитационной антенны (ОГРАН) в режим непрерывной регистрации с чувствительностью <math>10^{-19}</math> Гц<sup>1/2</sup> к метрическим вариациям.</li> <li>- Организация прецизионных измерений вариаций магнитного и электрического полей в подземных условиях на глубине порядка 1 км от поверхности земли. Исследование корреляций возмущения потока мюонов космических лучей, электрического поля в стратосфере и высотных разрядов.</li> </ul>			<p>углерода C-14 для применения в НБНТ.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Регистрация нейтринных вспышек от гравитационных коллапсов звезд в нашей Галактике. Работы по непрерывной регистрации и обработке информации по поиску всех типов нейтринного излучения от коллапсирующих звезд на детекторах БПСТ, АСД и LVD. Поиск совпадений кластеров событий в экспериментах БПСТ, АСД и LVD.</li> <li>- Подготовка детектора ОГРАН к режиму непрерывных наблюдений. Мониторинг грави-градиентного наземного фона в килогерцевом диапазоне частот с целью детектирования слабых всплесков гравитационного излучения, порождаемых коллапсирующими объектами в Галактике и ее близкой окрестности.</li> <li>- Поиск солнечных адронных аксионов.</li> <li>- Изучение спектра, массового состава и происхождения космических лучей в диапазоне энергий от 1 ПэВ до 100 ЭэВ.</li> <li>- Получение характеристик фрагментационной области генерации частиц во взаимодействиях адронов космических лучей в области энергий <math>10^{16} - 10^{18}</math> эВ. Разработка новой модели FANSY 2.0 взаимодействий адронов с нуклонами и ядрами в широкой области энергий <math>10^{11} - 10^{18}</math> эВ.</li> <li>- Поиск космических гамма-квантов сверхвысоких энергий на установках Ковер-2 и TAIGA.</li> <li>- Разработка методов мониторинга электрического поля стратосферы и исследование высотных разрядов с помощью наземных и подземных измерений. Исследование роли космических лучей в динамике грозовой атмосферы.</li> </ul>
				ЛНАВЭ, БНО, ОЛВЭНА, ОЭФ
				доктор физико-математических наук, профессор РАН, Рубцов Григорий Игоревич

2. Наименование государственной работы - Проведение фундаментальных научных исследований (Выполнение фундаментальных научных исследований (ГП 14))

Пункт программы ФНИ государственных академий наук на 2013-2020 годы и наименование направления исследований	Содержание работы	Объем финансирования, тыс. руб.			Планируемый результат выполнения работы, подразделение научного учреждения РАН и руководитель работы
		2019	2020	2021	
II. Физические науки 15. Современные проблемы ядерной	В ходе выполнения работ по теме предполагается решить следующие основные задачи:	193 048,57	194 055,88	188 741,07	Целью исследований является построение новых и анализ имеющихся моделей в космологии и физике частиц, в разработке

физики, в том числе физики элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий, включая физику нейтрино и астрофизические и космологические аспекты, а также физики атомного ядра, физики ускорителей заряженных частиц и детекторов, создание интенсивных источников нейтронов, мюонов, синхротронного излучения и их применения в науке, технологиях и медицине

"Физика элементарных частиц, физика высоких энергий, теория калибровочных полей и фундаментальных взаимодействий, космология."  
(№ 0031-2019-0003)

Нахождение класса теорий, допускающих стабильные решения космологического типа с отскоком и/или генезисом. Построение механизмов генерации космологических возмущений в таких сценариях и их наблюдательных проявлений. Решение вопроса о теоретической возможности существования кротовых нор. Все задачи новые и значимые для космологии и теории гравитации.

Поиск новых наблюдательных проявлений сверхмассивной чёрной дыры в центре Галактики. Исследование роли первичных черных дыр в эволюции ранней Вселенной. Теоретическое исследование взаимодействия черных дыр с темной материей. Изучение образования сгустков частиц темной материи, их внутренней структуры и возможных наблюдательных проявлений. Исследование аннигиляция темной материи и вычисление потоков гамма-квантов, нейтрино, позитронов и антипротонов от аннигиляции частиц темной материи в гало Галактики. Получение ограничений на сумму масс активных нейтрино из современных данных по крупномасштабной структуре Вселенной. Исследование экзотических стерильных нейтрино как кандидатов на темную материю. Изучение космологических и астрофизических проявлений аксиноподобной темной материи. Новизна результатов будет в новой постановке задач, разработке новых методов расчетов и получении оригинальных выводов. Значимость предсказанных эффектов в случае их обнаружения связана с их возможной ролью в формировании значительной части наблюдаемых потоков гамма-излучения и космических лучей.

Вычисление дифференциальных сечений рождения легкой темной материи в моделях с векторным, аксиально-векторным, скалярным и псевдоскалярными переносчиками взаимодействия между легкой темной материей и электронами для эксперимента NA64. Оценка фонов и возможности их эффективного подавления. Поиск возможных проявлений БФКЛ поперона на LHC, включая разработку статистических методов для его выделения над фоновыми эффектами. Расчеты и учет высших многопетлевых поправок для различных правил сумм.

Будут исследованы перспективы проверки различных моделей с лёгкими гипотетическими частицами на установках NA64, DANSS, уточнены ранее полученные предварительные оценки для планируемых эксп. LHC, SHiP, MATHUSLA, DUNE, JUNO и др.

Будут разработаны и созданы новые нейтринные и мюонные детекторы, которые будут использованы в экспериментах следующего поколения: ГиперКамиоканде и T2HK, DUNE, JUNO, SHIP и др.

новых методов и подходов в этих областях, в получение новых экспериментальных результатов, создании новых установок и приборной базы. В т.ч.:

- Построение космологических моделей, альтернативных инфляции, исследование стабильности таких моделей и их наблюдаемых следствий. Построение или доказательство невозможности существования устойчивых решений типа кротовых нор в теориях с высшими производными.

- Исследование физических эффектов вблизи черных дыр, в т.ч., наблюдательных проявлений ЧД в астрофизике космических лучей. Исследование образования плотных нелинейных структур в ранней Вселенной. Разработка моделей для проверки природы частиц темной материи.

- Теор. обоснование будущих и текущих эксп.: CMS, LHCb, NA64, SHiP и др. по поиску новой физики вне рамок Стандартной модели, а также теоретических исследований по проверке CM. В т.ч., целью является вычисление сечений рождения векторного легкого бозона, а также скалярного и псевдоскалярных бозонов в NA64 и оценка фонов. Поиск возможных проявлений БФКЛ поперона на LHC, а также расчеты высших многопетлевых поправок.

- Будет проведена разработка и создание нейтринных детекторов для эксп. следующего поколения T2HK и DUNE и др. Будет разработан мюонный детектор для эксп. по поиску экзотических частиц SHiP.

- Главной задачей T2K и NOvA является изучение параметров нейтринных осцилляций: углов смешивания, иерархии масс нейтрино и CP-нарушающей фазы, а также поиск явлений за рамками стандартной схемы осцилляций.

- Основными задачами JUNO является измерение иерархии масс нейтрино, исследования солнечных нейтрино и нейтрино от взрывов сверхновых звезд, а также поиск распада протона на рекордном уровне чувствительности.

- Будет выполнен анализ данных NA62 с целью измерения распада  $K \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ , поиск тяжелых нейтрино и темных фотонов в распадах  $K$ , поиска распадов  $\mu \rightarrow e \gamma$  («в ничто»). Анализ данных эксп. E36 (тест лептонной универсальности) и OKA.

- Целью исследований в эксп. LHCb являются редкие распады B-мезонов и прецизионное измерение параметров CP-нарушения с целью проверки CM и поиска эффектов новой физики.

- Поиск стерильных нейтрино в бета-распаде трития в области масс 0,1–10 эВ. Проведение существенной модернизации системы регистрации электронов. Установление новых верхних пределов на элемент в матрице смешивания электронного и стерильного нейтрино (Троичк-ню-масс). Прямой поиск массы нейтрино (KATRIN).

Поиск двойного безнейтринного бета распада  $^{76}\text{Ge}$  в составе международной коллаборации GERDA. Поиск двойного безнейтринного бета распада  $^{100}\text{Mo}$  в составе международной коллаборации AMORE. Поиск 2K-захвата в  $^{124}\text{Xe}$ . Измерение угла смешивания  $\theta_{13}$  осцилляций нейтрино в канале электронные

Ожидается существенное улучшение определения осцилляционных параметров мюонных нейтрино и антинейтрино (NOvA и T2K), определение иерархии масс нейтрино. Будет выполнен чувствительный поиск CP нарушения и возможно обнаружение нового источника CP нарушения. Будет проведен поиск стерильных нейтрино. Задача измерения распада каона на пион и два нейтрино находится на переднем крае поиска новых физических явлений и частиц за рамками SM. Обнаружение тяжелых нейтральных лептонов откроет новую возможность для объяснения существования ненулевой массы нейтрино. Обнаружение темных фотонов или аксионо-подобных частиц является ключом к разгадке природы темной материи.

Исследование редких распадов каонов, чувствительных к CP и T нечетным эффектам, является уникальным тестом SM и может привести к обнаружению новой физики в кварковом секторе. В частности, это тест тройных корреляций продуктов распада каонов, поиск распада нейтральных пионов в «ничто», проверка лептонной универсальности, измерение форм-факторов каонов, исследование радиационных распадов каонов.

Прецизионное измерение параметров редких распадов B-мезонов, например вероятности распада  $B^0 \rightarrow s \mu \mu$ , и сравнение данных с предсказаниями SM может выявить вклад новых частиц в петлевых процессах. Для достижения необходимой точности требуется увеличение светимости, для этого запланирована модернизация установки LHCb, включая модернизацию калориметрической системы, после которой светимость будет увеличена в 5 раз.

На установке Троицк-ню-масс будут значительно улучшены существующие ограничения на угол смешивания стерильных и активных нейтрино в области масс до 10кэВ. Эти ограничения имеют фундаментальный характер и были включены во все современные базы данных по свойствам элементарных частиц.

Предполагается существенная модернизация системы регистрации электронов от бета-распада трития. Будут осуществляться работы в эксп. KATRIN.

В GERDA полностью закончена подготовка второй фазы и начаты измерения и их анализ. Целью второй фазы является достижение индекса фона на уровне  $10^{-3}$  /кэВ.кг.год. На основании полученных результатов планируется начать разработку крупномасштабного проекта с массой ~ 200 кг  $^{76}\text{Ge}$ .

Будет проведен поиск двойного безнейтринного бета распада  $^{100}\text{Mo}$  в составе международной коллаборации AMORE. Будет выполнен поиск 2K-захвата в  $^{124}\text{Xe}$ .

Будет проведен анализ данных эксп. Double Chooz, полученных за последние три года при использовании полной схемы эксп. с двумя детекторами.

нейтрино-таонные нейтрино (Double Chooz).

- Изучение свойств потока атмосферных мюонов, нейтронов, генерированных ими, а также фона естественной радиоактивности в подземных эксп. Обработка новых данных с установок LVD. Подготовка эксп. NEWSdm по прямому обнаружению частиц темной материи с помощью мелкозернистых эмульсий.

	Будет вестись мониторинг мюонной компоненты космических лучей и естественной радиоактивности на установке LVD, являющихся основными источниками фона в экспериментах по поиску редких событий, проводимых глубоко под землей.				
					ОТФ, ОЭФ, ОФВЭ, ОЛВЭНА, БНО
					доктор физико-математических наук, профессор РАН, Либанов Максим Валентинович

3. Наименование государственной работы - Проведение фундаментальных научных исследований (Выполнение фундаментальных научных исследований (ГП 14))

Пункт программы ФНИ государственных академий наук на 2013-2020 годы и наименование направления исследований	Содержание работы	Объем финансирования, тыс. руб.			Планируемый результат выполнения работы, подразделение научного учреждения РАН и руководитель работы
		2019	2020	2021	
<p>II. Физические науки</p> <p>15. Современные проблемы ядерной физики, в том числе физики элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий, включая физику нейтрино и астрофизические и космологические аспекты, а также физики атомного ядра, физики ускорителей заряженных частиц и детекторов, создание интенсивных источников нейтронов, мюонов, синхротронного излучения и их применения в науке, технологиях и медицине</p> <p>"Физика атомного ядра, релятивистская ядерная физика" (№ 0031-2019-0004)</p>	<p>- Впервые будут получены данные о сечениях рождения и распределениях по поперечному импульсу, скорости и множественности адронов при энергиях столкновений ядер более 5 ТэВ на нуклон в зависимости от центральности столкновения. Сравнительное изучение ядро-ядерных столкновений, взаимодействий протонов с ядрами и протон-протонного взаимодействия будет способствовать развитию новых представлений в квантовой хромодинамике и релятивистской гидродинамике. По результатам исследования дифракционного взаимодействия протонов будут получены данные по эксклюзивному рождению резонансов.</p> <p>- Будут исследованы триперные возможности детекторного устройства ФИТ. Будет разработана программа для моделирования этого устройства как части системы ALICE. Будет подготовлен проект новой системы съема информации с детекторов AD. Будут изучены начальные условия в столкновениях ядро-ядро на основе изучения свойств спектров. Полученные данные будут сопоставлены с обновленной теоретической моделью. В программе исследований запуск полностью собранного электромагнитного калориметра установки HADES, начало модернизации переднего адронного калориметра установки NA61 для определения центральности и угла плоскости реакции в ядро-ядерных столкновениях и проведение тестовых измерений модуля адронного калориметра CBM на установке пCBM на действующем ускорителе SIS18 в GSI.</p> <p>- Подготовка пакета программ для анализа экспериментальных данных протон-протонных и ядро-ядерных взаимодействий для определения моментов столкновения пучков, плоскости реакции, центральности взаимодействий, множественности событий. Моделирование электромагнитной диссоциации в</p>	191 701,84	195 865,27	183 412,13	<p>- Исследование ядро-ядерных столкновений на установке ALICE на встречных пучках ускорителя LHC CERN, на установках NA61 (CERN), HADES и CBM (GSI) и MPD/NICA (ОИЯИ, Дубна). К предполагаемым результатам относится получение разнообразных экспериментальных данных, которые могут быть связаны с образованием кварк-глюонной плазмы в ядро-ядерных взаимодействиях, в частности, множественности вторичных заряженных частиц, выходов нейтронов и протонов-спектаторов, изучение их зависимости от центральности столкновения, энергии и масс сталкивающихся ядер. Изучение дифракции в протон-протонных взаимодействиях. Экспериментальное и теоретическое исследование ультрапериферических взаимодействий ядер. Проведение экспериментов по измерению сечений образования пионов и каонов в адрон-ядерных взаимодействиях, необходимых для нейтринных экспериментов (J-PARC и FERMI LAB) и для экспериментов в области физики космических лучей (Pierre-Auger, KASCADE). Исследование модификации свойств D мезонов в ядерной среде в протон-ядерных реакциях.</p> <p>- Прецизионное исследование электромагнитных взаимодействий ядер и нуклонов в широкой области энергий на ускорителях электронов и фемтосекундных лазерах (совместно с МЛЦ МГУ, ОИЯИ (Дубна), Университет Бонна (Германия). Изучение экзотических ядер.</p> <p>- Исследование взаимодействий нуклонов с малонуклонными системами и лёгкими ядрами, что необходимо для выяснения причины сильных расхождений между теорией и экспериментом, обнаруженных в <math>nd</math> и <math>pd</math> взаимодействиях. Исследование взаимодействия нейтронов малых энергий с ядрами. Исследование структуры и механизмов взаимодействия слабосвязанных ядер с ядрами при средних энергиях. Предполагаемым результатом является решение фундаментальной проблемы ядерной физики связанной с</p>

столкновениях других ядер на LHC, помимо ядер свинца. Развитие модели фрагментации спектаторной материи в столкновениях ядер различной массы. Подготовка и проведение эксперимента по исследованию дилептонов в адрон-ядерных реакциях на установке HADES. Завершение модернизации калориметра, интеграция в систему сбора информации NA61. Завершение сборки модулей переднего адронного калориметра для экспериментов MPD/NICA и BMatN.

- Обеспечение возможности проведения экспериментальных исследований кварк-глюонной плазмы в столкновениях тяжелых ионов с использованием новых передних детекторов после реконструкции LHC. Проведение первых экспериментов на адронных пучках после запуска ускорителя SPS на установке NA61. Исследование модулей калориметра CBM и использование их для измерения центральности и угла плоскости реакции в эксперименте BMatN после реконструкции Пуклотрона в ОИЯИ. Набор экспериментальных данных в эксперименте BMatN. Установка двухплечей адронного калориметра на стартовом пучке ускорительного комплекса NICA.

- Изучение свойств адронов в ядерной среде на основе поляризационных экспериментов по фоторождению мезонов в широкой области энергий. Изучение механизмов фотоядерных реакций по методу наведённой активности. Разработка и применение методик автоматической регистрации зарядовых характеристик пучка электронов на ускорителе ЛУЭ-8-МэВ ИЯИ РАН. Прецизионное исследование электромагнитных взаимодействий нуклонов и ядер вблизи порога, в том числе с использованием фемтосекундного лазерно-плазменного источника МЛЦ МГУ. Исследование свойств гигантских резонансов в ядрах, включая околупороговые «пигми» резонансы, для объяснения природы коллективных возбуждений ядер различной мультипольности.

- Для исследования NN корреляций в малонуклонных системах впервые будет проведено прямое определение энергии NN-виртуального синглетного  $^1S_0$  состояния в различных реакциях. Будет проведено исследование реакции подхвата кора из двухнейтронных гало-ядер  $^6\text{He}$  и  $^7\text{Li}$ . Кластерная структура ядер  $(8-10)\text{Be}$  будет исследована при облучении  $^9\text{Be}$  дейтронами с энергией 15 МэВ. Созданный активационно-измерительный комплекс на базе фотонейтронного источника и низкофонового гамма-спектрометра будет использован для исследования состава атмосферных аэрозолей, горных пород, изучения фотоядерных реакций и реакций фотоделения методами измерения естественной радиоактивности, гамма- и нейтронно-активационного анализа.

- Разработка новой концепции эксперимента  $\text{Mu2e}$ , позволяющей поиск трех редких распадов с мюон-электронной конверсией на одной установке. Разработка предложения по измерению энергии электронов в области 1 МэВ на основе радиочастотного метода регистрации циклотронного излучения

существование кластерной структуры ядер, в частности, NN-кластеров. Разработка методов и аппаратуры низкофоновых измерений гамма-излучений с использованием германиевых гамма-спектрометров.

- Построение новой модели регенерации каонов. Развитие новой модели осциллирующий нейтрон-антинейтрон для экспериментов по их поиску. Изучение модификации свойств мезонов и гиперонов в ядерной среде в фото-, пион- и протон-ядерных реакциях с целью получения важной информации о сдвиге их масс в ядерной материи. Изучение барионных систем и ядер с необычными свойствами в топологических (киральных) солитонных и других моделях. Изучение спектров пентакварков.

- Поиск процесса конверсии мюона на ядре, идущего с нарушением закона сохранения лептонных чисел с уровнем чувствительности превышающем на пять порядков современное экспериментальное ограничение, в международном эксперименте  $\text{Mu2e}$ . Результатом может быть обнаружение новых взаимодействий, порождаемых новыми тяжелыми частицами с массами  $\approx 1000$  ТэВ, которые невозможно получить в ближайшем будущем на ускорителях.

	электронов в магнитном поле, что также позволит осуществить прогресс в поисках стерильных нейтрино в распаде нейтрона. - Создание оптико-каскадной модели, описывающей поглощение ядром медленного антинейтрона, для экспериментов по поиску нейтрон-антинейтронных осцилляций. Построение новой модели регенерации каонов. Разработка новой модели для описания рождения на ядрах эта, фи, J/пси, D мезонов, а также лямбда гиперонов в фотон-, пион- и в протон-ядерных реакциях в околопороговой области энергий, учитывающей модификацию свойств этих частиц в ядерной среде. Изучение спектров пентакварков				
					ОЭФ, ЛАЯ
					доктор физико-математических наук, академик, Ткачев Игорь Иванович

4. Наименование государственной работы - Проведение фундаментальных научных исследований (Выполнение фундаментальных научных исследований (ГП 14))

Пункт программы ФНИ государственных академий наук на 2013-2020 годы и наименование направления исследований	Содержание работы	Объем финансирования, тыс. руб.			Планируемый результат выполнения работы, подразделение научного учреждения РАН и руководитель работы
		2019	2020	2021	
<p>II. Физические науки</p> <p>15. Современные проблемы ядерной физики, в том числе физики элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий, включая физику нейтрино и астрофизические и космологические аспекты, а также физики атомного ядра, физики ускорителей заряженных частиц и детекторов, создание интенсивных источников нейтронов, мюонов, синхротронного излучения и их применения в науке, технологиях и медицине</p> <p>"Физика конденсированных сред, материаловедение, в том числе радиационное материаловедение, нейтронная физика, физика и техника источника нейтронов" (№ 0031-2019-0005)</p>	<p>Планируется проведение следующих работ:</p> <p>4.1. Развитие и применение транспортного юда SHIELD (<a href="http://www.inr.ru/shield/">http://www.inr.ru/shield/</a>, <a href="http://www.shieldhit.org">http://www.shieldhit.org</a>) как инструмента математического моделирования взаимодействия частиц с веществом, включая развитие моделей ядерных реакций.</p> <p>4.2. Исследования по физике деления и нейтрон – ядерных взаимодействий.</p> <p>4.3. Развитие экспериментальной базы импульсного нейтронного источника ИН-06 ИЯИ РАН для исследования конденсированных сред.</p> <p>4.4. Исследования структур перспективных материалов, в том числе при экстремальных нагрузках (высоких давлениях, низких температурах, сильных магнитных полях).</p> <p>4.5. Моделирование процессов, инициированных пучком протонов линейного ускорителя в установках Нейтронного комплекса ИЯИ, с целью уточнения и оптимизации параметров установок, планирования новых экспериментов и приложений.</p> <p>4.6. Развитие новых методов исследований на нейтронных источниках.</p> <p>Перечисленные работы отвечают как традиционным направлениям экспериментальных и расчетно-теоретических исследований с целью расширения базы данных и новых знаний для развития на этой основе фундаментальных, прикладных и поисковых работ в смежных областях науки и технологий, включая ядерную энергетику и перспективные материалы, так и развитию нейтронных и комплементарных ядерно-физических</p>	113 456,19	115 920,26	120 774,14	<p>Получение новых данных о возможностях нейтронных исследований конденсированных сред, развитие методов исследования вещества при экстремальных условиях и регистрации вторичного излучения, моделирование ядерно-физических процессов прожуждения частиц в веществе, оптимизация нейтронных источников с протонным драйвером, исследование свойств и синтез новых веществ и материалов в экстремальных условиях методами рассеяния нейтронного, синхротронного излучения в широком диапазоне энергий и длин волн, и с применением широкого спектра экспериментальных методик.</p> <p>в том числе:</p> <p>Расчетно-теоретическое обоснование конфигураций нейтронных мишеней spallation-типа. Математическое моделирование процессов, инициированных пучком протонов линейного ускорителя в установках Нейтронного комплекса ИЯИ, с целью уточнения и улучшения параметров установок, планирования новых экспериментов и приложений.</p> <p>Исследования по физике деления и нейтрон – ядерных взаимодействий.</p> <p>Оптимизация нейтронных исследований на Нейтронном комплексе ИЯИ РАН. Модернизация детекторных систем.</p> <p>Исследования и разработки устройств детектирования излучений для ядерно-физических комплексов и перспективных технологий. Математическое моделирование ядерных реакций и процессов взаимодействия частиц с веществом. Использование результатов в высокотехнологичных приложениях и фундаментальных исследованиях.</p>

методов анализа структуры и свойств веществ. Особое внимание уделяется время-пролётным методам нейтронных исследований. Расчетно-теоретические работы направлены на обоснование новых подходов к созданию интенсивных нейтронных источников испарительного типа, описанию ядерно-физических процессов в конденсированных средах, включая биологические объекты.

В том числе планируется:

Адаптация метода нейтронной радиографии и томографии для диагностики промышленных изделий и объектов культурного наследия

Совершенствование методов времяпролётной нейтронной рефлектометрии и малоуглового рассеяния нейтронов.

Исследования особенностей кристаллической структуры, физических свойств и фазового состава магнитных соединений в экстремальных условиях, фазовых переходов в системах с сильной корреляцией электронов совместно с ИК РАН.

Исследование структуры высокоуглеродных жаропрочных сплавов методами нейтронной спектроскопии и рентгеновской дифракции.

Анализ структурных свойств высокоуглеродных сплавов, методами нейтронной дифракции и малоуглового рассеяния.

Монте-Карло моделирование потоков нуклонов и активации в экспериментальных установках ИЯИ РАН с целью их оптимизации. Моделирование детектора нейтронов высоких энергий на основе He3-счетчика.

Развитие динамических и статистических моделей образования и распада нуклонной и гиперъядерной материи.

Исследование сечений захвата нейтронов методом пропускания нейтронного потока на импульсных нейтронных источниках.

Исследование зарождения новой фазы при наличии макроскопических градиентов химических потенциалов точечных дефектов и атомов гелия.

Оптимизация работы системы нейтронных детекторов.

Продолжение работ по комплексным исследованиям перспективных функциональных материалов с помощью рассеяния нейтронов, рентгеновским и мессбауэровским методами.

Исследование высокотемпературных сверхпроводников в экстремальных условиях высоких давлений и криогенных температур совместно с ИК РАН.

Разработка нового метода измерения времени жизни нейтрона на импульсных источниках нейтронов ЛНИ ИЯИ РАН и ЛНФ ОИЯИ

Расчётно-теоретические исследовательские работы по размножающим мишеням на основе Нептуния 237 – Плутония 239, по вольфрамовому нейтронному источнику

Оценка радиационных условий в космических миссиях под действием галактического и солнечного космического излучения.

Применение модифицированной теории кинетики радиационного повреждения для объяснения имеющихся

Разработка аппаратов высокого давления для проведения исследований в экстремальных условиях высоких давлений, высоких и низких температур, сильных магнитных полей. Экспериментальные исследования свойств веществ при высоких и сверхвысоких давлениях, при высоких и криогенных температурах, получение материалов с новыми свойствами. Кинетика протяженных радиационных дефектов в металлах при температурах вакансионного распухания.



	<p>экспериментальных данных по пространственно-неоднородному распуханию вблизи границ металлических зерен.</p> <p>Разработка камер высокого давления для нейтронной рефлектометрии.</p> <p>Разработка и тестирование прототипов позиционно-чувствительного детектора тепловых нейтронов на основе сцинтилляторов и лавинных фотодиодов.</p> <p>Разработка спектрометра рассеяния эпитепловых нейтронов на импульсном источнике «РАДЭКС»</p> <p>Исследование важных минералов для физики Земли, высокотемпературных сверхпроводников, а также мультиферроиков, в экстремальных условиях высоких давлений, высоких и криогенных температур совместно с ИК РАН (г. Москва), HPSTAR (г. Шанхай, Китай), DESY (синхротрон PETRA-III, г. Гамбург, Германия).</p> <p>Развитие новых теоретических подходов для описания экзотических ядер и ядерной материи со странностью и чармом.</p> <p>Подготовка эксперимента по измерению сечений захвата нейтронов ядрами элементов входящих в состав звёздного вещества.</p> <p>Разработка и физическое обоснование перспективных источников нейтронов с плотностью потока тепловых нейтронов на поверхности замедлителей, сопоставимых с Европейским проектом (ESS) (совместно с ОИЯИ).</p>				
					ЛНИ, ОЭФ, ЛАЯ
					доктор физико-математических наук, Коптелов Эдуард Алексеевич

5. Наименование государственной работы - Проведение фундаментальных научных исследований (Выполнение фундаментальных научных исследований (ГП 14))

Пункт программы ФНИ государственных академий наук на 2013-2020 годы и наименование направления исследований	Содержание работы	Объем финансирования, тыс. руб.			Планируемый результат выполнения работы, подразделение научного учреждения РАН и руководитель работы
		2019	2020	2021	
<p>II. Физические науки</p> <p>15. Современные проблемы ядерной физики, в том числе физики элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий, включая физику нейтрино и астрофизические и космологические аспекты, а также физики атомного ядра, физики ускорителей заряженных частиц и детекторов, создание интенсивных источников нейтронов, мюонов, синхротронного излучения и их применения в науке, технологиях и медицине</p>	<p>Учитывая возраст оборудования, для обеспечения работоспособности ускорителя необходимо проведение профилактических работ практически по всем системам, включая даже обшеинженерные системы, такие, как системы электропитания, системы охлаждения.</p> <p>Будет проводится модернизация и основных технологических систем (инжекторы протонов и отрицательных ионов водорода, системы ВЧ питания, ускоряющая система, вакуумная система, система питания электромагнитного оборудования, система диагностики, система управления).</p> <p>Необходимо восстановить работоспособность инжектора и инжекционного тракта отрицательных ионов водорода, обеспечить транспортировку пучка на ввод ускорителя с ускорением в секции с пространственно однородной</p>	35 394,96	35 975,25	37 481,63	<p>Целью исследований является поддержание работоспособности сильноточного линейного ускорителя протонов и каналов транспортировки пучков экспериментального комплекса ИЯИ РАН, модернизация систем ускорителя и экспериментального комплекса, повышение параметров ускорителя, расширение возможностей ускорителя, разработка предложений по глубокой модернизации ускорителя и экспериментального комплекса, разработка и создание элементов ускорителей для российских и зарубежных ускорительных центров. Длительность сеансов работы ускорителя определяется экономическими возможностями и должна быть не менее полутора тысяч часов в год. Планируется повышение энергии пучка с имеющихся в настоящее время 209 МэВ до 247 МэВ в 2019 году и до 267 МэВ в 2020 году. Поскольку возникают задачи, требующие ускоренного пучка отрицательных</p>

"Физика и техника ускорителей; физика пучков заряженных частиц" (№ 0031-2019-0006)	<p>фокусировкой. Необходимо обеспечить ускорение отрицательных ионов водорода до энергии сотни МэВ и приступить к исследованиям по получению пучков атомов водорода. Будет проведена модернизация системы питания электромагнитным оборудованием ускорителя и экспериментального комплекса путем замены существующих источников питания на новые с обеспечением их управления от системы контроля ускорителя.</p> <p>Будет проведена модернизация вакуумной системы. В частности, будут установлены дополнительные турбомолекулярные насосы, современные источники питания магниторазрядными насосами, современные средства измерения вакуума. Будет решена проблема модуляторных ламп для системы высокочастотного питания начальной части ускорителя: необходимо обеспечить надежную работу мощных генераторных ламп при их использовании в качестве ламп модуляторных. Для повышения интенсивности ускоренного пучка будет разработан проект нового ускоряющего резонатора на основе эффективной ускоряющей структуры CDS вместо существующего и недостаточно надежно работающего резонатора с шайбами и диафрагмами.</p> <p>Накопленный при разработке, создании и эксплуатации существующего ускорительного комплекса опыт будет использован при разработке различных узлов и элементов ускорителей, прежде всего ускоряющих структур, устройств диагностики и источников ионов, для иных российских и зарубежных ускорительных центров.</p> <p>Будут продолжены работы по разработке источников поляризованных частиц и дебанчера для ОИЯИ, измерителей формы сгустков для проектов FRIB и ESS, ускоряющих структур для DESY.</p> <p>Будет предложен проект глубокой модернизации комплекса и создание на его основе мегаваттного нейтронного ускорительного комплекса. Основу комплекса составит сверхпроводящий линейный ускоритель протонов на энергию один ГэВ и средний ток 1 мА.</p> <p>Будет разработана концепция ускорителя, его структура, сформулированы иные предложения, необходимые для принятия решения о сооружении комплекса.</p>				<p>ионов водорода, необходимо восстановление работоспособности инжектора и инжекционного тракта пучка отрицательных ионов водорода и обеспечение их устойчивой работы, что будет сделано в 2019 году. В 2020 и 2021 будет обеспечено ускорение пучка отрицательных ионов водорода до энергии сотни мегаэлектронвольт. Также будут начаты исследования по формированию пучков атомарного водорода в диапазоне энергий сотни мегаэлектронвольт. Для обеспечения развития комплекса будет сделано предложение по его глубокой модернизации и созданию мегаваттного ускорительного нейтронного комплекса. Основу комплекса будет составлять сверхпроводящий линейный ускоритель на энергию примерно один ГэВ и интенсивность 1 мА, который будет располагаться в тоннеле существующего ускорителя. В течение трех лет будет разработана концепция ускорителя и его структура. Накопленный при разработке, создании и эксплуатации существующего ускорительного комплекса опыт будет использован при разработке различных узлов и элементов ускорителей, прежде всего ускоряющих структур, устройств диагностики и источников ионов, для иных российских и зарубежных ускорительных центров.</p>
					ОУК, ЛНИ,ДФЯР, ОИТ,
					доктор физико-математических наук, Фещенко Александр Владимирович

6. Наименование государственной работы - Проведение фундаментальных научных исследований (Выполнение фундаментальных научных исследований (ГП 14))

Пункт программы ФНИ государственных академий наук на 2013-2020 годы и наименование направления исследований	Содержание работы	Объем финансирования, тыс. руб.			Планируемый результат выполнения работы, подразделение научного учреждения РАН и руководитель работы
		2019	2020	2021	
II. Физические науки	В ходе выполнения работ по теме предполагается решить	52 272,36	53 419,79	55 700,44	Целью исследований является разработка новых методов и

15. Современные проблемы ядерной физики, в том числе физики элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий, включая физику нейтрино и астрофизические и космологические аспекты, а также физики атомного ядра, физики ускорителей заряженных частиц и детекторов, создание интенсивных источников нейтронов, мюонов, синхротронного излучения и их применения в науке, технологиях и медицине

"Междисциплинарные исследования, прикладная ядерная физика, радиоизотопные исследования, ядерная медицина, проблемы экологической безопасности, информационные технологии в экспериментальной и теоретической физике"  
(№ 0031-2019-0007)

следующие основные задачи:

Будет разработана новая методика конформной протонной терапии опухолей с использованием разработанных в ИЯИ РАН формирующих устройств новой конструкции и соответствующего программного обеспечения. Будет разработана новая конструкция аппликаторов для внутритростной брахитерапии с иттербиевыми источниками. Будет исследована возможность эффективного сочетания таких видов лечения опухолей, как фотодинамическая терапия и лучевая терапия опухолей.

На базе фундаментальных ядерно-физических, а также химических исследований, в ИЯИ РАН разрабатывается новая эффективная методика получения радионуклида стронция-82, основанная на облучении металлического рубидия протонами средних энергий (40-100 МэВ) и выделением стронция прямой сорбцией из жидкого рубидия. Такой подход обеспечит высокую производительность при наработке на ускорителе, высокий химический выход при выделении, а также минимизацию объемов жидких радиоактивных отходов и высокий уровень безопасности по сравнению с другими подходами.

Улучшение конструкции и параметров нового генератора стронций-82/рубидий-82, который более эффективен, чем американский аналог. Работы проводятся совместно с предприятиями Минздрава России и требуют активного участия разработчика – ИЯИ РАН.

Новый метод получения другого медицинского радионуклида актиния-225 при облучении тория протонами средних энергий (Ac-225 и его дочерний продукт Bi-213 перспективны для терапии целого ряда онкологических заболеваний), базируется на фундаментальных научных исследованиях ядерных реакций слияния, скалывания и деления. Метод по производительности в десятки раз превышает другие существующие методы и в будущем обещает создание возможности эффективного лечения рака на ранних стадиях. Этот подход потребовал объемных фундаментальных исследований также в области радиохимии, так как требует выделения медицинского продукта очень высокой чистоты из смеси около 80 других радионуклидов.

Создание эффективных медицинских генераторов рубидия-82 (для ПЭТ-диагностики) и висмута-213 (для терапии) требует подробного исследования сорбционных процессов в различных условиях с различными сорбентами.

Исследование процессов, происходящих при изготовлении мишеней нового типа и их облучении на ускорителе.

Создание спектрометрического и радиометрического измерительных узлов исследования радиационно-защитных свойств и состава композитных материалов, создание макета и отработка компоновки станка, создание программных модулей, обеспечивающих автоматизированную работу измерительного стенда в целом.

Будут продолжены измерения потока тепловых нейтронов в

подюдов, усовершенствование имеющихся методик, создание новых установок и приборной базы. В т. ч.:

- Разработка методов повышения качества протонной лучевой терапии. Изготовление индивидуальных формирующих устройств для протонной терапии. Разработка принципиальной конструкции внутритростных аппликаторов для брахитерапии с иттербиевыми источниками. Исследование возможности сочетания фотодинамической терапии и лучевой терапии с фотонным и рентгеновским излучением при лечении ряда злокачественных новообразований.

- Разработка технологии получения и производство медицинских изотопов. Доработка технологии для выделения стронция-82 в горячих камерах в России из рубидиевых мишеней, облученных на ускорителе ИЯИ РАН. Разработка технологии для выделения актиния-225 в горячих камерах в России из ториевых мишеней, облученных на ускорителе ИЯИ РАН. Организация регулярных поставок медицинских изотопов стронция-82 и/или актиния-225 для исследований в области диагностики кардиологических и терапии онкологических заболеваний в России и за рубежом.

- Разработка методик и оборудования исследования радиационно-защитных свойств и состава композитных материалов. Создание макета станка, включающего устройство сканирования материала и измерительных узлов – спектрометрического и радиометрического. Отработка методики испытаний радиационно-защитных свойств материалов с использованием спектрометрического и радиометрического узлов. Исследование поглощающей компоненты композитных радиационно-защитных материалов по характеристическому рентгеновскому излучению. Исследование радиационно-защитных свойств материалов, применяемых при изготовлении радиационно-защитной одежды, исследование элементного состава этих материалов методом нейтронно-активационного анализа. Создание программного обеспечения для управления испытательным стендом. Банк образцов для исследования процесса «старения» радиационно-защитных материалов.

- Поиск вариаций потока тепловых нейтронов в подземной лаборатории НЛГЗ-4900 в БНО ИЯИРАН, связанных с Солнечными и Лунными приливными эффектами, метеорологическими условиями, сейсмической активностью в регионе. Создание трех высокочувствительных мониторов содержания радона в воздухе на базе воздушных импульсных ионных ионизационных камер объемом ~3 л

- Разработка новых перспективных материалов и приборов. Исследование аномального электромагнетизма в углеродных конденсатах. Исследование нано композита фононных резонаторов. Разработка перспективных методов детектирования нейтронов, экспериментальное исследование воздействия протонного облучения на узлы радиоэлектронной аппаратуры.

	<p>лаборатории НЛГЗ-4900 в БНО ИЯИ РАН экспериментальной установкой состоящей из 4-детекторов тепловых нейтронов на основе тонких сцинтилляторов из расплава <math>6\text{LiF} + \text{ZnS}(\text{Ag})</math>. Будет проведён ряд исследований долговременной стабильности характеристик и получены данные о механизмах различных вариаций радона в воздухе при помощи трех мобильных мониторов на базе импульсной ионизационной камеры, использующей воздух в качестве рабочего газа. Будут начаты измерения по программе определения механизмов формирования радоновой компоненты в воздухе подземных низкофоновых лабораторий. Будет создан пост по долговременному измерению содержания радона в воздухе внутри скважины длиной ~4 м (объём ~30 л) с целью определения коэффициентов выхода радона из скального грунта и поиска суточных и сезонных вариаций. Планируется провести измерения высотной зависимости содержания радона в воздухе горной местности и различных климатических и метеорологических условиях. Для проверки наличия сверхпроводимости в нанографитовых уперодных пленках предлагается провести измерения на сверхмалых токах в сканирующем туннельном микроскопе с целью поиска джозефсоновских вольтамперных характеристик. Повышение «критических токов» за счет создания центров пиннинга при облучении тяжелыми ионами. Теоретические и экспериментальные исследования связи фоновых резонаторов с концепцией сверхпроводимости, которая представляется весьма вероятной. Внедрение и практическое применение проточного газового радиохимического метода детектирования нейтронов. Экспериментальное исследование воздействия протонного облучения на узлы радиоэлектронной аппаратуры. Планируется проведение расчетов и разработка технического предложения создания прототипа –стенда для исследования ADS системы – подкритического ядерного реактора с использованием, в частности, тория для безопасной атомной энергетики и трансмутации долгоживущих актинидов</p>				
					ОЭФ, ОУК, ОИТ, ЛМФ, ЛФЯР, ЛАЯ, БНО
					доктор технических наук, член-корреспондент, Кравчук Леонид Владимирович

Директор  
Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Института  
ядерных исследований Российской  
академии наук

/Л.В. Кравчук/



Отчет по составу качественных показателей Плана НИР № 031/19 от 13.12.2018

№ п/п	Тема научных исследований	Год	Количество научных публикаций	
			Количество научных публикаций в журналах, индексируемых в базе данных "Сеть науки" (Web of Science) и Scopus	Количество научных публикаций в российских и международных информационно-аналитических системах научного цитирования ("Сеть науки" (Web of Science), Scopus, MathSciNet, Российский индекс научного цитирования, Google Scholar, European Reference Index for the Humanities и др.)
1	Междисциплинарные исследования, прикладная ядерная физика, радионуклидные исследования, ядерная медицина, проблемы экологической безопасности, информационные технологии в экспериментальной и теоретической физике	2019		3
2	Междисциплинарные исследования, прикладная ядерная физика, радионуклидные исследования, ядерная медицина, проблемы экологической безопасности, информационные технологии в экспериментальной и теоретической физике	2020		3
3	Междисциплинарные исследования, прикладная ядерная физика, радионуклидные исследования, ядерная медицина, проблемы экологической безопасности, информационные технологии в экспериментальной и теоретической физике	2021		3

4	Нейтринная астрофизика, нейтринная, гамма и гравитационно-волновая астрономия, физика космических лучей, физика и техника нейтринных телескопов в низкофоновых подземных и подводных лабораториях	2019		32
5	Нейтринная астрофизика, нейтринная, гамма и гравитационно-волновая астрономия, физика космических лучей, физика и техника нейтринных телескопов в низкофоновых подземных и подводных лабораториях	2020		32
6	Нейтринная астрофизика, нейтринная, гамма и гравитационно-волновая астрономия, физика космических лучей, физика и техника нейтринных телескопов в низкофоновых подземных и подводных лабораториях	2021		32
7	Физика атомного ядра, релятивистская ядерная физика	2019		42
8	Физика атомного ядра, релятивистская ядерная физика	2020		42
9	Физика атомного ядра, релятивистская ядерная физика	2021		42
10	Физика и техника ускорителей, физика пучков заряженных частиц	2019		3
11	Физика и техника ускорителей, физика пучков заряженных частиц	2020		3
12	Физика и техника ускорителей, физика пучков заряженных частиц	2021		3
13	Физика конденсированных сред, материаловедение, в том числе радиационное материаловедение, нейтронная физика, физика и техника источников нейтронов	2019		7
14	Физика конденсированных сред, материаловедение, в том числе радиационное материаловедение, нейтронная физика, физика и техника источников нейтронов	2020		7
15	Физика конденсированных сред, материаловедение, в том числе радиационное материаловедение, нейтронная физика, физика и техника источников нейтронов	2021		7

16	Физика элементарных частиц, физика высоких энергий, теория калибровочных полей и фундаментальных взаимодействий, космология.	2019	0	84
17	Физика элементарных частиц, физика высоких энергий, теория калибровочных полей и фундаментальных взаимодействий, космология.	2020		84
18	Физика элементарных частиц, физика высоких энергий, теория калибровочных полей и фундаментальных взаимодействий, космология.	2021		84

Отчет составил: Директор  
 Федерального государственного бюджетного учреждения  
 науки Института ядерных исследований Российской  
 академии наук

/Л.В. Кравчук/

