

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ  
НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР НЕВОД

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/423-573.1

от 20.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 14.03.02 Ядерные физика и технологии

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
8	3	108	30	10	0		22	10	Э
Итого	3	108	30	10	0	0	22	10	

## АННОТАЦИЯ

Программа курса «Взаимодействие тяжелых ионов» состоит из 2 разделов: «Кинематика и геометрия ядерных взаимодействий» и «Введение в КХД и фазовая диаграмма сильно взаимодействующей материи». Курс знакомит студентов с ключевыми понятиями в области физики взаимодействий атомных ядер, в основном, при релятивистских энергиях, к которым относятся: элементы кинематики и геометрии столкновений объектов конечных размеров – атомных ядер, включающие измеряемые параметры, параметры вероятностных распределений нуклон-нуклонных взаимодействий, модельные описания столкновений ионов; базисные свойства сильного взаимодействия, теоретические и экспериментальные исследования фазовой диаграммы сильно взаимодействующей материи, включающие понятие о фундаментальных полях квантовой хромодинамики (КХД), диаграмме состояния при малых и больших плотностях, свойствах ядерной материи в космосе.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель курса – дать будущему исследователю знания о ключевых понятиях в области физики взаимодействий различных, в основном, тяжелых ионов, к которым относятся: основные кинематические и геометрические закономерности столкновений протяженных объектов – атомных ядер, базисные понятия о теории сильного взаимодействия и диаграмме состояния сильно взаимодействующей материи с целью выбора физических методов исследований ядро-ядерных взаимодействий. Реализация указанных целей направлена на получение знаний в области релятивистской ядерной физики и физики высоких энергий, а также астрофизики компактных объектов и космологии ранней Вселенной, позволяющих выпускнику успешно работать в избранной сфере деятельности, обладать компетенциями, способствующими его социальной мобильности, востребованности на рынке труда и успешной профессиональной карьере.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина логически, содержательно и методически опирается на следующие дисциплины ООП: «Теоретическая механика», «Гидродинамика», «Электродинамика», «Статистическая физика и термодинамика», «Оптика», «Квантовая механика», «Введение в квантовую теорию поля», «Атомная физика», и «Ядерная физика». Она призвана формировать систематические знания в области современной физики сильного взаимодействия.

Для успешного освоения положений данной дисциплины студент должен:

- знать: иностранный язык в объеме, необходимом для получения информации профессионального содержания из зарубежных источников; понятия и методы математического анализа: дифференциальное исчисление, интегральное исчисление и функции многих переменных; аналитическую геометрию; линейную алгебру; векторный и тензорный анализ; теорию функций комплексного переменного; обыкновенные дифференциальные уравнения; теорию вероятности и математическую статистику; общую физику: механику, молекулярную физику и термодинамику, электричество и магнетизм, волны и оптику; основные положения квантовой механики, статистической физики, атомной и ядерной физики.

- уметь: использовать математические методы в физических приложениях; решать алгебраические уравнения и системы дифференциальных уравнений, применительно к

реальным процессам; применять методы решения задач анализа и расчета характеристик механических, электромагнитных, квантовых, атомных и ядерных систем;

- владеть: методами математического анализа; методами решения задач анализа и расчета характеристик физических систем; основными методами работы на ПЭВМ в том числе методами работы с прикладными программными продуктами; математическим описанием микрообъектов в рамках атомной физики и квантовой механики; математическими методами анализа явлений.

Данная дисциплина является основополагающей для последующего освоения следующих дисциплин и практик: квантовая теория поля, квантовая хромодинамика, астрофизика компактных объектов, космология ранней Вселенной, физика космических лучей, ускорительная физика высоких энергий, автоматизация физического эксперимента и др.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
УК-1 [1] – Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	3-УК-1 [1] – Знать: методики сбора и обработки информации; актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности; метод системного анализа У-УК-1 [1] – Уметь: применять методики поиска, сбора и обработки информации; осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников В-УК-1 [1] – Владеть: методами поиска, сбора и обработки, критического анализа и синтеза информации; методикой системного подхода для решения поставленных задач
УК-3 [1] – Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде	3-УК-3 [1] – Знать: основные приемы и нормы социального взаимодействия; основные понятия и методы конфликтологии, технологии межличностной и групповой коммуникации в деловом взаимодействии У-УК-3 [1] – Уметь: устанавливать и поддерживать контакты, обеспечивающие успешную работу в коллективе; применять основные методы и нормы социального взаимодействия для реализации своей роли и взаимодействия внутри команды В-УК-3 [1] – Владеть: простейшими методами и приемами социального взаимодействия и работы в команде
УК-4 [1] – Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской	3-УК-4 [1] – Знать: принципы построения устного и письменного высказывания на русском и иностранном языках; правила и закономерности деловой устной и письменной коммуникации

<p>Федерации и иностранном(ых) языке(ах)</p>	<p>У-УК-4 [1] – Уметь: применять на практике деловую коммуникацию в устной и письменной формах, методы и навыки делового общения на русском и иностранном языках; методикой составления суждения в межличностном деловом общении на русском и иностранном языках  В-УК-4 [1] – Владеть: навыками чтения и перевода текстов на иностранном языке в профессиональном общении; навыками деловых коммуникаций в устной и письменной форме на русском и иностранных языках; методикой составления суждения в межличностном деловом общении на русском и иностранном языках</p>
<p>УКЕ-1 [1] – Способен использовать знания естественнонаучных дисциплин, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в поставленных задачах</p>	<p>З-УКЕ-1 [1] – знать: основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования  У-УКЕ-1 [1] – уметь: использовать математические методы в технических приложениях, рассчитывать основные числовые характеристики случайных величин, решать основные задачи математической статистики; решать типовые расчетные задачи  В-УКЕ-1 [1] – владеть: методами математического анализа и моделирования; методами решения задач анализа и расчета характеристик физических систем, основными приемами обработки экспериментальных данных, методами работы с прикладными программными продуктами</p>
<p>УКЦ-1 [1] – Способен в цифровой среде использовать различные цифровые средства, позволяющие во взаимодействии с другими людьми достигать поставленных целей</p>	<p>З-УКЦ-1 [1] – Знать: современные информационные технологии и цифровые средства коммуникации, в том числе отечественного производства, а также основные приемы и нормы социального взаимодействия и технологии межличностной и групповой коммуникации с использованием дистанционных технологий  У-УКЦ-1 [1] – Уметь: выбирать современные информационные технологии и цифровые средства коммуникации, в том числе отечественного производства, а также устанавливать и поддерживать контакты, обеспечивающие успешную работу в коллективе и применять основные методы и нормы социального взаимодействия для реализации своей роли и взаимодействия внутри команды с использованием дистанционных технологий  В-УКЦ-1 [1] – Владеть: навыками применения современных информационных технологий и цифровых средств коммуникации, в том числе отечественного производства, а также методами и приемами социального взаимодействия и работы в команде с использованием дистанционных технологий</p>
<p>УКЦ-2 [1] – Способен искать</p>	<p>З-УКЦ-2 [1] – Знать: методики сбора и обработки</p>

<p>нужные источники информации и данные, воспринимать, анализировать, запоминать и передавать информацию с использованием цифровых средств, а также с помощью алгоритмов при работе с полученными из различных источников данными с целью эффективного использования полученной информации для решения задач</p>	<p>информации с использованием цифровых средств, а также актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности, принципы, методы и средства решения стандартных задач профессиональной деятельности с использованием цифровых средств и с учетом основных требований информационной безопасности</p> <p>У-УКЦ-2 [1] – Уметь: применять методики поиска, сбора и обработки информации; с использованием цифровых средств, осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников, и решать стандартные задачи профессиональной деятельности с использованием цифровых средств и с учетом основных требований информационной безопасности</p> <p>В-УКЦ-2 [1] – Владеть: методами поиска, сбора и обработки, критического анализа и синтеза информации с использованием цифровых средств для решения поставленных задач, навыками подготовки обзоров, аннотаций, составления рефератов, научных докладов, публикаций и библиографии по научно-исследовательской работе с использованием цифровых средств и с учетом требований информационной безопасности</p>
--	---

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

<b>Задача профессиональной деятельности (ЗПД)</b>	<b>Объект или область знания</b>	<b>Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции</b>
научно-исследовательский			
<p>1 Изучение и анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования; математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований; проведение</p>	<p>1 Объектами профессиональной деятельности выпускников по основной образовательной программе «Экспериментальные исследования и моделирование фундаментальных взаимодействий» являются: атомное ядро, элементарные частицы и плазма, газообразное и</p>	<p>ПК-3 [1] - Способен проводить физические эксперименты по заданной методике, составлять описания проводимых исследований, отчетов, анализу результатов и подготовке научных публикаций</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>3-ПК-3[1] - знать основные физические законы и методы обработки данных ; У-ПК-3[1] - уметь работать по заданной методике, составлять описания проводимых исследований и отчеты, подготавливать материалы для научных публикаций;</p>

<p>экспериментов по заданной методике, составление описания проводимых исследований и анализ результатов; подготовка данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций, участие во внедрении результатов исследований и разработок;</p>	<p>конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ускорители заряженных частиц, современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками, разработка ядерных и физических установок, технологии применения приборов и установок для регистрации излучений, разделения изотопных и молекулярных смесей, а также анализа веществ, радиационное воздействие ионизирующих излучений на человека и окружающую среду, радиационные технологии в медицине, математические модели для теоретических, экспериментальных и прикладных исследований явлений и закономерностей в области физики ядра, частиц, плазмы, газообразного и конденсированного состояния вещества, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы,</p>		<p>В-ПК-3[1] - владеть навыками проведения физических экспериментов по заданной методике, основами компьютерных и информационных технологий, научной терминологией</p>
--	--	--	--

	экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики.		
организационно-управленческий			
организация работы исполнителей, принятие исполнительских решений в условиях спектра мнений, определение порядка выполнения работ; поиск оптимальных решений с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и защиты окружающей среды; составление рефератов; подготовка документов к выполнению работ по стандартизации и сертификации экспериментального оборудования	управление работой малых коллективов, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных объектов, стандартизация и сертификация экспериментального оборудования	ПК-26.1 [1] - Способен формулировать исходные данные, а также выработать и обосновывать организационные решения при проведении исследований в области физики космических излучений, решать поставленные задачи с выбором необходимых физико-технических средств.  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-26.1[1] - Знать основные методы постановки задач и организации работ в области физики космических излучений.; У-ПК-26.1[1] - Уметь решать поставленные задачи в области физики космических излучений с выбором необходимых физико-технических средств.; В-ПК-26.1[1] - Владеть методами проведения выбора и обоснования организационных решений в области проектирования ядерно-физических установок, методами проведения исследований в области физики космических излучений. с выбором необходимых физико-технических средств.

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Гражданское и патриотическое	Создание условий, обеспечивающих,	1. Использование воспитательного потенциала дисциплины "История"

воспитание	формирование патриотического самосознания, стремления к реализации интересов Родины (В4)	для: - формирования сопричастности к судьбе Родины, индивидуально-личностного отношения к истории Отечества посредством изучения истории собственной семьи, региона в контексте истории России; - формирования чувства гордости героическим прошлым народа, посредством изучения героических страниц истории Отечества, наполнения содержания дисциплины патриотическим содержанием; - формирование неприятия искажения истории посредством выполнения учебно-исследовательских заданий, ориентированных на изучение и проверку исторических фактов, критический анализ публикаций по истории России. 2. Использование воспитательного потенциала дисциплины "Основы гуманитарного знания" "Введение в специальность", «История атомной отрасли» и других дисциплин для формирования стремления к соучастию в обеспечении технологического суверенитета России посредством выполнения исследовательских и творческих заданий, направленных на данные цели.
Интеллектуальное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры умственного труда (В11)	Использование воспитательного потенциала дисциплин гуманитарного, естественнонаучного, общепрофессионального и профессионального модуля для формирования культуры умственного труда посредством вовлечения студентов в учебные исследовательские задания, курсовые работы и др.
Профессиональное и трудовое воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование глубокого понимания социальной роли профессии, позитивной и активной установки на ценности избранной специальности, ответственного отношения к профессиональной	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин естественнонаучного и общепрофессионального модуля для: - формирования позитивного отношения к профессии инженера (конструктора, технолога), понимания ее социальной значимости и роли в обществе, стремления следовать нормам



	<p>деятельности, труду (B14)</p>	<p>профессиональной этики посредством контекстного обучения, решения практико-ориентированных ситуационных задач. - формирования устойчивого интереса к профессиональной деятельности, способности критически, самостоятельно мыслить, понимать значимость профессии посредством осознанного выбора тематики проектов, выполнения проектов с последующей публичной презентацией результатов, в том числе обоснованием их социальной и практической значимости; - формирования навыков командной работы, в том числе реализации различных проектных ролей (лидер, исполнитель, аналитик и пр.) посредством выполнения совместных проектов.</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплины «Экономика и управление в промышленности на основе инновационных подходов к управлению конкурентоспособностью», «Юридические основы профессиональной деятельности» для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования навыков системного видения роли и значимости выбранной профессии в социально-экономических отношениях через контекстное обучение</li> </ul>
<p>Профессиональное и трудовое воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры исследовательской и инженерной деятельности (B16)</p>	<p>Использование воспитательного потенциала дисциплин "Основы конструирования и САПР", "Курсовой проект: основы конструирования и САПР", "Инженерная и компьютерная графика", "Детали машин и основы конструирования" для формирования навыков владения эвристическими методами поиска и выбора технических решений в условиях неопределенности через специальные задания (методики ТРИЗ, морфологический анализ, мозговой штурм и др.), культуры инженера-разработчика через организацию проектной, в том числе самостоятельной работы</p>

<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (В17)</p>	<p>обучающихся с использованием программных пакетов.</p> <p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за достижение лидерства России в ведущих научно-технических секторах и фундаментальных исследованиях, обеспечивающих ее экономическое развитие и внешнюю безопасность, посредством контекстного обучения, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок.</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности ученого за результаты исследований и их последствия, развития исследовательских качеств посредством выполнения учебно-исследовательских заданий, ориентированных на изучение и проверку научных фактов, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечения в реальные междисциплинарные научно-исследовательские проекты.</p>
<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (В19)</p>	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований.</li> </ul> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в</p>

		<p>специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед;</li> <li>- формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.</li> </ul>
<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование навыков коммуникации, командной работы и лидерства (B20)</p>	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов</p>

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>8 Семестр</i>						
1	Кинематика и геометрия ядерных взаимодействий	1-4	16/6/0	Кл-4 (25)	25	КИ-4	3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-26.1, У-ПК-26.1, В-ПК-26.1, 3-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, 3-УК-3, У-УК-3, В-УК-3, 3-УК-4, У-УК-4, В-УК-4, 3-УКЕ-

							1, У- УКЕ- 1, В- УКЕ- 1, 3- УКЦ- 1, У- УКЦ- 1, В- УКЦ- 1, 3- УКЦ- 2, У- УКЦ- 2, В- УКЦ- 2
2	Введение в КХД и фазовая диаграмма сильно взаимодействующей материи	5-7	14/4/0	Дкл-7 (25)	25	КИ-7	3-ПК- 3, У- ПК-3, В- ПК-3, 3-ПК- 26.1, У- ПК- 26.1, В- ПК- 26.1, 3-УК- 1, У- УК-1, В- УК-1, 3-УК- 3, У- УК-3, В- УК-3, 3-УК-

							4, У- УК-4, В- УК-4, 3- УКЕ- 1, У- УКЕ- 1, В- УКЕ- 1, 3- УКЦ- 1, У- УКЦ- 1, В- УКЦ- 1, 3- УКЦ- 2, У- УКЦ- 2, В- УКЦ- 2
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		30/10/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 8 Семестр</b>				50	Э	3-ПК- 26.1, У- ПК- 26.1, В- ПК- 26.1, 3-ПК- 3, У- ПК-3, В- ПК-3, 3-УК- 1, У- УК-1, В-

							УК-1, 3-УК- 3, У- УК-3, В- УК-3, 3-УК- 4, У- УК-4, В- УК-4, 3- УКЕ- 1, У- УКЕ- 1, В- УКЕ- 1, 3- УКЦ- 1, У- УКЦ- 1, В- УКЦ- 1, 3- УКЦ- 2, У- УКЦ- 2, В- УКЦ- 2
--	--	--	--	--	--	--	--

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозна чение	Полное наименование
Кл	Коллоквиум
Дкл	Доклад
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недел и	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем. , час.	Лаб., час.
	<i>8 Семестр</i>	30	10	0
<b>1-4</b>	<b>Кинематика и геометрия ядерных взаимодействий</b>	16	6	0
1	<b>Введение. Основы кинематики.</b> Введение Фундаментальные взаимодействия. Понятие о Стандартной модели. Одна из важнейших задач физики микромира – построение теории сильных взаимодействий. Междисциплинарность изучения взаимодействий тяжелых ионов: от структуры ядра до космологии ранней Вселенной. Основы кинематики Системы отсчета. Преобразования Лоренца 4-импульса. Основные кинематические параметры. Манделъстамовские инварианты и их физический смысл.	Всего аудиторных часов		
		4	1	0
		Онлайн		
2	<b>Элементы кинематики ядро-ядерных столкновений. Типы процессов. Сечение.</b> Элементы кинематики ядро-ядерных столкновений Энергия пучка: полная и в расчете на нуклон. Энергия столкновения: полная и в расчете на нуклон. Приближение высоких энергий. Типы процессов. Сечение Кинематические типы процессов / измерений в физике микромира. Сечение взаимодействия. Типы сечений: неупругое, упругое, полное.	Всего аудиторных часов		
		4	1	0
		Онлайн		
3	<b>Элементы геометрии столкновений ядер. Модель Глаубера. 1.</b> Элементы геометрии столкновений ядер Ядро как протяженный объект. Прицельный параметр. Нуклоны-участники и нуклоны-спектаторы. Распределение зарядов и материи в ядре. Распределение зарядов в различных ядрах. Модель Глаубера. 1. Основные положения модели. Измеряемые параметры. Функция ядерной толщины. Функция перекрытия двух ядер. Вероятность нуклон-нуклонного столкновения во взаимодействии тяжелых ионов.	Всего аудиторных часов		
		4	2	0
		Онлайн		
4	<b>Модель Глаубера. 2.</b> Число нуклон-нуклонных столкновений в ядро-ядерных взаимодействиях. Упругие и неупругие столкновения. Оценки среднего числа столкновений и числа нуклонов-участников. Центральность.	Всего аудиторных часов		
		4	2	0
		Онлайн		
5-7	<b>Введение в КХД и фазовая диаграмма сильно взаимодействующей материи</b>	14	4	0
		Всего аудиторных часов		
		4	2	0
5	<b>Кварки и глюоны. Базисные свойства сильного взаимодействия.</b> Кварки и глюоны	Всего аудиторных часов		
		4	2	0
		Онлайн		



	От адронов к кваркам - эволюция представлений об элементарных частицах сильного взаимодействия. Квантовая хромодинамика (КХД): определение и фундаментальные поля. Базисные свойства сильного взаимодействия. Некоторые основные элементы КХД: тип кварка и цветовой заряд, адронные состояния. Асимптотическая свобода, удержание цветовых зарядов и киральная симметрия.	0	0	0
6	<b>Фазы сильновзаимодействующей материи: основные понятия. Диаграмма состояния при малых плотностях. Диаграмма состояния при высоких плотностях.</b> Фазы сильновзаимодействующей материи: основные понятия. Холодная ядерная материя. Термодинамический подход. Формула Хагедорна. Температура Хагедорна. Переход от адронной к кварк-глюонной материи. Диаграмма состояния при малых плотностях Двухфазная модель. Оценка критических значений параметров для фазового перехода. Некоторые основные результаты расчетов на решетках в КХД. Диаграмма состояния при высоких плотностях Связь спина со статистикой, статистические распределения бозонов и фермионов. Критическая температура. Критическая плотность при малых температурах.	Всего аудиторных часов		
		5	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	<b>Экспериментальные исследования. Ядерная материя в космосе.</b> Экспериментальные исследования. 1. Взаимодействия тяжелых ионов как метод получения и изучения в лабораторных условиях сильно взаимодействующей материи при экстремальных условиях. Типы физического анализа. Исследования в XX в.: некоторые основные результаты. Экспериментальные исследования. 2. Современное состояние изучения ядро-ядерных столкновений: эксперименты на RHIC и LHC и их некоторые основные результаты. Ядерная материя в космосе Материя ранней Вселенной. Компактные астрофизические объекты: нейтронные, гибридные и кварковые звезды. Возможное образование кварк-глюонной материи в столкновениях частиц космических лучей ультравысоких энергий.	Всего аудиторных часов		
		5	1	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы

АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Преподавание дисциплины основано на традиционной технологии: чтение лекций, проведение семинаров по каждой теме и выборочный контроль в качестве тестирования степени усвоения материала; экзамен.

## 7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-26.1	З-ПК-26.1	Э, КИ-4, КИ-7, Дкл-7
	У-ПК-26.1	Э, КИ-4, КИ-7, Дкл-7
	В-ПК-26.1	Э, КИ-4, КИ-7, Дкл-7
ПК-3	З-ПК-3	Э, КИ-4, КИ-7, Кл-4, Дкл-7
	У-ПК-3	Э, КИ-4, КИ-7, Кл-4, Дкл-7
	В-ПК-3	Э, КИ-4, КИ-7, Кл-4, Дкл-7
УК-1	З-УК-1	Э, КИ-4, КИ-7, Кл-4, Дкл-7
	У-УК-1	Э, КИ-4, КИ-7, Кл-4, Дкл-7
	В-УК-1	Э, КИ-4, КИ-7, Кл-4, Дкл-7
УК-3	З-УК-3	Э, КИ-4, КИ-7, Кл-4, Дкл-7
	У-УК-3	Э, КИ-4, КИ-7, Кл-4, Дкл-7
	В-УК-3	Э, КИ-4, КИ-7, Кл-4, Дкл-7
УК-4	З-УК-4	Э, КИ-4, КИ-7, Кл-4, Дкл-7
	У-УК-4	Э, КИ-4, КИ-7, Кл-4, Дкл-7
	В-УК-4	Э, КИ-4, КИ-7, Кл-4, Дкл-7
УКЕ-1	З-УКЕ-1	Э, КИ-4, КИ-7, Кл-4, Дкл-7
	У-УКЕ-1	Э, КИ-4, КИ-7, Кл-4, Дкл-7
	В-УКЕ-1	Э, КИ-4, КИ-7, Кл-4, Дкл-7
УКЦ-1	З-УКЦ-1	Э, КИ-4, КИ-7, Кл-4, Дкл-7
	У-УКЦ-1	Э, КИ-4, КИ-7, Кл-4, Дкл-7
	В-УКЦ-1	Э, КИ-4, КИ-7, Кл-4, Дкл-7
УКЦ-2	З-УКЦ-2	Э, КИ-4, КИ-7, Кл-4, Дкл-7
	У-УКЦ-2	Э, КИ-4, КИ-7, Кл-4, Дкл-7
	В-УКЦ-2	Э, КИ-4, КИ-7, Кл-4, Дкл-7

## Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – <i>«отлично»</i>	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – <i>«хорошо»</i>	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – <i>«удовлетворительно»</i>	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – <i>«неудовлетворительно»</i>	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## 8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

- 52 Ф57 Гравитация, астрофизика, космология : дополнительные главы курса общей физики, Москва: Либроком, 2017
- ЭИ К 93 Курс общей физики Т. 5 Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц, , 2022

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 53 Н72 Нобелевские лекции по физике. 1995-2004 : , , Москва: Институт Компьютерных исследований, 2009
2. 53 О-51 Фракталы в фундаментальной физике. Адронные струи при высоких энергиях: фрактальность и самоподобие : , В. А. Огороков, Е. В. Сандракова, Москва: МИФИ, 2005
3. ЭИ О-51 Фракталы в фундаментальной физике. Фрактальные свойства множественного образования частиц и топология выборки : , В. А. Огороков, Е. В. Сандракова, Москва: МИФИ, 2009
4. 539.1 Г63 Кинематические методы в физике высоких энергий : , В. И. Гольданский, Ю. П. Никитин, И. Л. Розенталь, Москва: Наука, 1987
5. 539.1 П27 Введение в физику высоких энергий : , Перкинс Д., М.: Энергоатомиздат, 1991
6. 530 П28 Введение в квантовую теорию поля : , Пескин М.Е.,Шредер Д.В.;Пер.с англ., М.;Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2001

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

#### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. Портал "Российское образование" (<http://edu.ru/>)
2. ScienceDirect is a leading full-text scientific database offering journal articles and book chapters (<http://www.sciencedirect.com/science/journals/>)
3. Springer. Providing researchers with access to millions of scientific documents from journals, books (<http://link.springer.com/>)
4. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU. (<http://elibrary.ru/>)
5. Электронная библиотека НИЯУ МИФИ ([www.library.mephi.ru](http://www.library.mephi.ru))  
<https://online.mephi.ru/>  
<http://library.mephi.ru/>

#### **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

#### **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

В силу большого объема изучаемого материала и ограниченного количества занятий работа студента над заданиями во многом должна быть самостоятельной. Допускается использование любой литературы и Интернет-ресурсов. Одобряется обращаться к преподавателю за консультациями.

Рабочей программой дисциплины «Взаимодействие тяжелых ионов» предусмотрена самостоятельная работа студентов. Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- изучение отдельных разделов тем дисциплины по материалам лекции и рекомендованной литературе;

- подготовку к практическим занятиям;

- работу с источниками в сети Интернет;

- подготовку к различным формам контроля.

Программой дисциплины предусмотрено решение задач в рамках домашних заданий.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение настоящей дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в рабочей программе.

По каждой из тем для самостоятельного изучения, приведенных в рабочей программе данной дисциплины следует сначала прочитать рекомендованную литературу и при необходимости составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме и для освоения последующих разделов курса.

Для расширения знаний по дисциплине рекомендуется использовать Интернет-ресурсы: проводить поиск в различных системах и использовать материалы сайтов, рекомендованных преподавателем на лекционных занятиях.

Материалы, используемые при контроле знаний студентов

1. Выборочный контроль домашнего задания.

2. Коллоквиум, проверка и приём реферативных сообщений (докладов) в течение семестра.

3. Устный опрос на семинаре.

## **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

Цель курса – познакомить с идеями и методами современной релятивистской ядерной физики и, частично, физики космоса; выработать у студентов навыки научно-исследовательского подхода к решению практических задач, возникающих в процессе проведения исследования ядерно- и космо-физических явлений.

В процессе преподавания разделов курса необходимо особое внимание уделить вводным разделам, в которых широко используются понятия квантовой механики и квантовой теории поля, атомной и ядерной физики и, в частности, термодинамики и статистической физики. В связи с этим необходимо сделать упор на изложении материала в приложении к задачам классических курсов «Ядерная физика», «Введение в физику высоких энергий». Лекции должны сопровождаться наглядным иллюстративным материалом, в частности, с использованием компьютерных презентаций. Следует уделить особое внимание практическим расчетам, выполняемым самими студентами при работе над текущими заданиями. Допускается

использование студентами справочных материалов, необходимых для проведения численных расчетов. Формулировку практических заданий следует выполнять подробно, а так же допускать использование ресурсов сети Интернет при работе над заданиями.

Контроль работы студента проводить в виде проверки и приема реферативных сообщений (докладов) по заданным темам, а также выборочного опроса по выполненному домашнему заданию. Все реферативные сообщения (доклады) должны быть сданы преподавателю до 7-й недели включительно.

Отношение преподавателя к студентам должно носить характер доброжелательной требовательности. Для стимулирования работы студентов нужно использовать поощрение, одобрение, похвалу, но не порицание (порицание может применяться лишь как исключение).

Автор(ы):

Окороков Виталий Алексеевич, д.ф.-м.н., профессор