

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
природоподобных, плазменных и
ядерных технологий им. И.В.
Курчатова**

Т.Е. Григорьев

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине:	Физика взаимодействия заряженных частиц и излучения с веществом
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра теоретической астрофизики и квантовой теории поля
курс:	3
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 6 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 75 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: Д.В. Васильев, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры теоретической астрофизики и квантовой теории поля 28.03.2025

Аннотация

Основная задача этого курса – дать представление о способах создания пучков частиц материи и гамма-квантов и описания их взаимодействия с веществом при различных энергиях. Курс построен так, чтобы создать надежный базис для экспериментальных курсов по физике высоких энергий и методам создания детекторов частиц. Курс рассчитан на студентов, специализирующихся в физике высоких энергий. Для усвоения курса студенты должны быть знакомы с основами электродинамики, термодинамики и квантовой физики. Многие вопросы физики твердого тела, связанные с излагаемой тематикой, обсуждаются в самом курсе.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- дать представление о современной физике взаимодействия пучков частиц с веществом, уделяя внимание вопросам, в первую очередь важным для создания детекторов. Курс также знакомит студентов с базовыми конструкциями ускорителей. Курс построен так, чтобы создать надежный базис для самостоятельного углубленного изучения этих проблем.

Задачи дисциплины

- формирование у обучающихся базовых знаний по экспериментальным, так и теоретическим вопросам физики взаимодействия пучков частиц с веществом.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок
	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях

ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей
	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основы физики взаимодействия пучков частиц с веществом. Принципы формирования пучков элементарных частиц.

уметь:

- оценивать эффекты взаимодействия среды и заряженных частиц в различных условиях. Уметь пользоваться справочным материалом по теме курса.

владеть:

- методами расчёта прохождения частиц через вещество.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Физические принципы ускорения заряженных частиц.	4	6		5
2	Кинематика столкновений.	5	4		5
3	Сечения взаимодействия.	5	4		5
4	Упругие столкновения заряженных частиц.	4	4		10
5	Неупругие взаимодействия заряженных частиц.	2	6		10
6	Флуктуации потерянной энергии, коэффициенты пропускания и отражения заряженных частиц.	2	2		10
7	Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом.	2	2		15
8	Взаимодействие нейтронов с веществом.	6	2		15
Итого часов		30	30		75
Подготовка к экзамену		0 час.			

Общая трудоёмкость	135 час., 3 зач.ед.
--------------------	---------------------

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 6 (Весенний)

1. Физические принципы ускорения заряженных частиц.

Энергия, импульс и масса. Высоковольтное ускорение. Индукционное ускорение. Резонансное. Коллективные методы ускорения. Принцип автофазировки. Устойчивость и фокусировка пучка.

2. Кинематика столкновений.

Упругое рассеяние (нерелятивистский случай). Лабораторная система координат. Нерелятивистское упругое рассеяние. СЦИ. Связь физических величин в ЛСК и СЦИ. Релятивистская кинематика упругого рассеяния. Кинематика неупругих столкновений.

3. Сечения взаимодействия.

Микроскопическое сечение взаимодействия. Дифференциальные сечения. Вычисление средних величин. Сечения рассеяния и поглощения энергии. Преобразование сечений. Макроскопические коэффициенты взаимодействия.

4. Упругие столкновения заряженных частиц.

Использование законов сохранения для анализа движения (нерелятивистский случай). Задача Кеплера. Формула Резерфорда. Элементы квантовой теории упругого рассеяния. Приближение Борна. Упругое рассеяние заряженных частиц атомами. Экранирование. Особенности упругого рассеяния электронов и позитронов. Влияние упругого рассеяния на траекторию заряженной частицы в веществе. Многократное рассеяние.

5. Неупругие взаимодействия заряженных частиц.

Сечение ионизации атома заряженными частицами. Классическая теория потерь энергии на ионизацию и возбуждение атомов. Формула Бете-Блоха. Потери на столкновения легких заряженных частиц. Тормозное излучение заряженных частиц. Потери энергии на тормозное излучение. Полные потери энергии. Эффект аннигиляции. Роль ядерных реакций в ослаблении пучка заряженных частиц.

6. Флуктуации потерянной энергии, коэффициенты пропускания и отражения заряженных частиц.

Статистический разброс потерь энергии на столкновения. Распределение Ландау. Флуктуации в потерях энергии на излучение. Пробеги заряженных частиц в веществе. Коэффициенты пропускания. Коэффициенты отражения.

7. Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом.

Рассеяние электромагнитных волн на свободных зарядах. Формула Томсона. Рассеяние электромагнитных волн связанными зарядами. Рассеяние электромагнитных волн системой зарядов. Когерентное и некогерентное рассеяние. Эффект Комптона. Фотоэффект. Эффект образования электронно-позитронных пар. Фотоядерные реакции. Полное сечение взаимодействия фотонов. Эффект Мессбауэра.

8. Взаимодействие нейтронов с веществом.

Упругое рассеяние, неупругое рассеяние, радиационный захват, неупругие реакции с поглощением нейтронов и вылетом заряженных частиц или нескольких нейтронов, деление ядер. Полное сечение взаимодействия нейтронов.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, меловая доска, проектор, экран.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

Фонд литературы кафедры.

1. В.И. Беспалов Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом: учеб. пос.—5-е изд. доп., Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014.—427с.

Дополнительная литература

Фонд литературы кафедры.

1. М.Л. Тер-Микаелян «Электромагнитные процессы при высоких энергиях в аморфных и неоднородных средах» УФН 173 1265–1286 (2003)

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

K.A. Olive et al. (Particle Data Group), Chin. Phys. C, 38, 090001 (2014) The Review of Particle Physics. <http://pdg.lbl.gov/> (Или более поздние издания)

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра теоретической астрофизики и квантовой теории поля
курс:	<u>3</u>
квалификация:	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 6 (весенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	Д.В. Васильев, канд. физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок
	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей
	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Физика взаимодействия заряженных частиц и излучения с веществом» обучающийся должен:

знать:

- основы физики взаимодействия пучков частиц с веществом. Принципы формирования пучков элементарных частиц.

уметь:

- оценивать эффекты взаимодействия среды и заряженных частиц в различных условиях. Уметь пользоваться справочным материалом по теме курса.

владеть:

- методами расчёта прохождения частиц через вещество.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Не предусмотрено.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

1. Сечение ионизации атома заряженными частицами. Классическая теория потерь энергии на ионизацию и возбуждение атомов.
2. Распределение Ландау. Флуктуации в потерях энергии на излучение.
3. Рассеяние электромагнитных волн системой зарядов. Когерентное и некогерентное рассеяние.
4. Эффект Комптона. Фотоэффект. Эффект образования электронно-позитронных пар. Фотоядерные реакции.
5. Упругое рассеяние нейтронов, неупругое рассеяние нейтронов, радиационный захват.
6. Потери энергии мюонами при высокой энергии.
7. Электромагнитные каскады при взаимодействии электронов высокой энергии с веществом.
8. Примерный график зависимости полного сечения рассеяния фотона на свинце в диапазоне от десятков электрон-вольт до 100 гига электрон-вольт. Вклад различных физических эффектов.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

Вопрос 1. Упругое рассеяние нейтронов, неупругое рассеяние нейтронов, радиационный захват.

Вопрос 2. Примерный график зависимости полного сечения рассеяния фотона на свинце в диапазоне от десятков электрон-вольт до 100 гига электрон-вольт. Вклад различных физических эффектов.

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Дифференцированный зачет проводится по билетам.

В каждом билете представлено два теоретических вопроса и одна задача.

При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку.

Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.