

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы физики  
и исследований им. Ландау  
А.В. Рогачев**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Прохождение заряженных частиц и квантов света через вещество
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра фундаментальных взаимодействий и космологии
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: В.Л. Матушко, старший преподаватель

Программа обсуждена на заседании кафедры фундаментальных взаимодействий и космологии 01.07.2021

## Аннотация

Данная дисциплина посвящена изучению физических основ прохождения излучения через вещество. Описываются потери энергии различных частиц при прохождении через вещество. Рассмотрены различные механизмы взаимодействия лептонов: электронов и мюонов, с веществом и механизмы взаимодействия адронов. Также, рассматриваются механизмы взаимодействия гамма-квантов с веществом.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- изучение физических основ прохождения излучения через вещество;
- приобретение навыков использования полученных знаний в исследовательской работе.

#### Задачи дисциплины

- ☐ освоение студентами базовых знаний в области прохождения излучения через вещество;
- ☐ приобретение теоретических знаний в области изучения прохождения тяжелых заряженных частиц, бета-частиц и фотонов через вещество;
- ☐ оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических и ориентированных на практическое применение исследований в области прохождения излучения через вещество;
- ☐ приобретение навыков применения полученных знаний в смежных и междисциплинарных научных областях.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов
	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- ☐ фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;
- ☐ порядки численных величин, характерные для различных разделов физики;
- ☐ современные проблемы физики и математики;
- ☐ общие подходы к решению прикладных и теоретических задач прохождения заряженных частиц и квантов света через вещество.

уметь:

- ☐ абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
- ☐ пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- ☐ делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- ☐ производить численные оценки по порядку величины;
- ☐ делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- ☐ видеть в технических задачах физическое содержание;
- ☐ осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- ☐ эффективно использовать полученные знания, имеющиеся методы решения задач прохождения заряженных частиц и квантов света через вещество для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

- ☐ навыками освоения большого объема информации;
- ☐ навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- ☐ культурой постановки и моделирования физических задач;
- ☐ навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;
- ☐ практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- ☐ навыками теоретического анализа реальных задач, связанных с прохождением заряженных частиц и квантов света 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	Удельные ионизационные потери.	3			1
2	Зависимость пробег-энергия.	2			1
3	Дельта-электроны. Связь потерь энергии с ионизацией.	2			1
4	Многократное кулоновское рассеяние.	2			1
5	Флуктуации потерь энергии.	2			1
6	Методы детектирования заряженных частиц.	2			1
7	Удельные ионизационные потери.	2			1
8	Радиационное торможение электронов.	2			1
9	Черенковское рассеяние.	2			1
10	Многократное кулоновское рассеяние электронов.	2			1
11	Флуктуации потерь энергии.	2			1
12	Поглощение гамма-лучей.	2			1
13	Рассеяние гамма-лучей.	2			1
14	Образование пар.	1			1

15	Общий характер взаимодействия фотонов со средой.	1			1
16	Электронно-фотонные ливни.	1			
Итого часов		30			15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

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

##### Семестр: 1 (Осенний)

##### 1. Удельные ионизационные потери.

Классический и кватомеханический подход к проблеме ионизационного торможения тяжелых заряженных частиц. Вывод формулы Бора и формулы Бете-Блоха.

##### 2. Зависимость пробег-энергия.

Средний пробег, экстраполированный пробег, разброс пробегов. Полуэмпирические формулы пробегов.

##### 3. Дельта-электроны. Связь потерь энергии с ионизацией.

Получение энергетического спектра дельта-электронов. Первичная, вторичная и полная ионизация.

##### 4. Многократное кулоновское рассеяние.

Формула Резерфорда. Средний угол рассеяния и его связь со средним смещением.

##### 5. Флуктуации потерь энергии.

Причины флуктуаций. Пределы применимости распределений Ландау, Вавилова и гауссовского.

##### 6. Методы детектирования заряженных частиц.

Обзор методов детектирования и их связь с ионизационными потерями энергии.

##### 7. Удельные ионизационные потери.

Формулы удельных ионизационных потерь бета-частиц. Учет тождественности частиц. Формулы Мота.

##### 8. Радиационное торможение электронов.

Тормозное излучение электронов. Радиационная единица, критическая энергия.

##### 9. Черенковское рассеяние.

Черенковское рассеяние. Вывод формулы для угла излучения.

##### 10. Многократное кулоновское рассеяние электронов.

Формула Резерфорда для электронов. Многократное кулоновское рассеяние электронов.

11. Флуктуации потерь энергии.

Флуктуации потерь энергии электронов. Прохождение через фольги.

12. Поглощение гамма-лучей.

Фотоэффект. Рентгеновское излучение, электроны Оже.

13. Рассеяние гамма-лучей.

Томсоновское рассеяние. Комптоновское рассеяние.

14. Образование пар.

Образование электрон-позитронных пар.

15. Общий характер взаимодействия фотонов со средой.

Полное сечение поглощения. Понятие об альбедо.

16. Электронно-фотонные ливни.

Электронно-фотонные ливни. Введение в физику космических лучей. Атмосферные ливни.

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

Учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном, доской.

## **6.Перечень рекомендуемой литературы**

### **Основная литература**

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. Физматлит, 2004.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. Физматлит, 2012.
3. Новиков Г.И. Введение в ядерную физику. НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2004.

### **Дополнительная литература**

1. Бете Г.А. , Ашкин Ю. Прохождение излучения через вещество., сборник “Экспериментальная ядерная физика” стр.141-297, том 1,.М.,И\*Л, 1955.
2. Мухин К.Н. Введение в ядерную физику. М.: Атомиздат, 1965.
3. Ремизович В.С., Рогозкин Д.Б., Рязанов М.И. Флуктуации пробега заряженных частиц. М. Энергоатомиздат, 1988.

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

<http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».

<http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.

## **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. В процессе самостоятельной работы обучающихся возможно использование таких программных средств, как Mathcad, Scilab и др.

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

Студент, изучающий курс «Прохождение заряженных частиц и квантов света через вещество», 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 порядки численных величин, характерные для различных разделов физики, общие подходы к решению прикладных и теоретических задач прохождения заряженных частиц и квантов света через вещество. Студент должен уметь абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций, производить численные оценки по порядку величины, осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики; он также должен уметь эффективно использовать полученные знания, имеющиеся методы решения задач прохождения заряженных частиц и квантов света через вещество для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов. Обучающийся должен овладеть навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач, а также навыками теоретического анализа реальных задач, связанных с прохождением заряженных частиц и квантов света через вещество.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях;
- подготовку к дифференцированному зачёту.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач. При решении задач каждое действие необходимо аргументировать, ссылаясь на известные теоретические сведения.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра фундаментальных взаимодействий и космологии
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет	
<b>Разработчик:</b>	В.Л. Матушко, старший преподаватель

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов
	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Прохождение заряженных частиц и квантов света через вещество» обучающийся должен:

### знать:

- ☐ фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;
- ☐ порядки численных величин, характерные для различных разделов физики;
- ☐ современные проблемы физики и математики;
- ☐ общие подходы к решению прикладных и теоретических задач прохождения заряженных частиц и квантов света через вещество.

### уметь:

- ☐ абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
- ☐ пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- ☐ делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- ☐ производить численные оценки по порядку величины;
- ☐ делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- ☐ видеть в технических задачах физическое содержание;
- ☐ осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- ☐ эффективно использовать полученные знания, имеющиеся методы решения задач прохождения заряженных частиц и квантов света через вещество для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

### владеть:



- ☐ навыками освоения большого объема информации;
- ☐ навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- ☐ культурой постановки и моделирования физических задач;
- ☐ навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;
- ☐ практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- ☐ навыками теоретического анализа реальных задач, связанных с прохождением заряженных частиц и квантов света через вещество.

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

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлого занятия.

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

Промежуточная аттестация по дисциплине «Прохождение заряженных частиц и квантов света через вещество» осуществляется в форме дифференцированного зачета. Дифференцированный зачет проводится в устной форме.

Перечень контрольных вопросов:

1. Удельные ионизационные потери тяжелых заряженных частиц. Классический подход. Формула Бора и ее область применения.
2. Удельные ионизационные потери тяжелых заряженных частиц. Квантовомеханический подход. Формула Бете-Блоха.
3. Зависимость пробег-энергия для тяжелых заряженных частиц. Связь между средним и экстраполированным пробегом, разброс пробегов.
4. Дельта-электроны.
5. Связь потерь энергии тяжелых заряженных частиц с ионизацией среды.
6. Упругое рассеяние тяжелых заряженных частиц на атомах. Формула Резерфорда.
7. Многократное кулоновское рассеяние тяжелых заряженных частиц.
8. Флуктуации потерь энергии тяжелых заряженных частиц.
9. Удельные ионизационные потери бета-частиц. Формулы Мота.
10. Тормозное излучение электронов. Радиационная единица, критическая энергия.
11. Черенковское рассеяние. Вывод формулы для угла излучения.
12. Многократное кулоновское рассеяние электронов.
13. Флуктуации потерь энергии электронов. Прохождение через фольги.
14. Фотоэффект. Рентгеновское излучение, электроны Оже.
15. Томсоновское рассеяние.
16. Комптоновское рассеяние.
17. Образование электрон-позитронных пар.
18. Общий характер взаимодействия фотонов со средой.
19. Электронно-фотонные ливни.

### Критерии оценивания

Оценку «отлично (10)» заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного программного материала, самостоятельно выполнивший все предусмотренные программой задания, глубоко усвоивший основную и дополнительную литературу, рекомендованную программой, активно работавший на практических, семинарских, лабораторных занятиях, разбирающийся в основных научных концепциях по изучаемой дисциплине, проявивший творческие способности и научный подход в понимании и изложении учебного программного материала, ответ отличается богатством и точностью использованных терминов, материал излагается последовательно и логично.

Оценка «отлично (9)» заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое знание учебного программного материала, самостоятельно выполнивший все предусмотренные программой задания, глубоко усвоивший основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной программой, активно работавший на практических, семинарских, лабораторных занятиях, показавший систематический характер знаний по дисциплине, достаточный для дальнейшей учебы, а также способность к их самостоятельному пополнению, ответ отличается точностью использованных терминов, материал излагается последовательно и логично.

Оценку «отлично (8)» заслуживает студент, обнаруживший полное знание учебно-программного материала, не допускающий в ответе существенных неточностей, самостоятельно выполнивший все предусмотренные программой задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную программой, активно работавший на практических, семинарских, лабораторных занятиях, показавший систематический характер знаний по дисциплине, достаточный для дальнейшей учебы, а также способность к их самостоятельному пополнению.

Оценку «хорошо (7)» заслуживает студент, обнаруживший достаточно полное знание учебно-программного материала, не допускающий в ответе существенных неточностей, самостоятельно выполнивший все предусмотренные программой задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную программой, активно работавший на практических, семинарских, лабораторных занятиях, показавший систематический характер знаний по дисциплине, достаточный для дальнейшей учебы, а также способность к их самостоятельному пополнению.

Оценку «хорошо (6)» заслуживает студент, обнаруживший достаточно полное знание учебно-программного материала, не допускающий в ответе существенных неточностей, самостоятельно выполнивший основные предусмотренные программой задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную программой, отличавшийся достаточной активностью на практических (семинарских) и лабораторных занятиях, показавший систематический характер знаний по дисциплине, достаточный для дальнейшей учебы.

Оценку «хорошо (5)» заслуживает студент, обнаруживший знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, не отличавшийся активностью на практических (семинарских) и лабораторных занятиях, самостоятельно выполнивший основные предусмотренные программой задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную программой, однако допустивший некоторые погрешности при их выполнении и в ответе на экзамене, но обладающий необходимыми знаниями для их самостоятельного устранения.

Оценку «удовлетворительно (4)» заслуживает студент, обнаруживший знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, не отличавшийся активностью на практических (семинарских) и лабораторных занятиях, самостоятельно выполнивший основные предусмотренные программой задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную программой, однако допустивший некоторые погрешности при их выполнении и в ответе на экзамене, но обладающий необходимыми знаниями для устранения под руководством преподавателя допущенных погрешностей.

Оценку «удовлетворительно (3)» заслуживает студент, обнаруживший знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, не отличавшийся активностью на практических (семинарских) и лабораторных занятиях, самостоятельно выполнивший основные предусмотренные программой задания, однако допустивший погрешности при их выполнении и в ответе на экзамене, но обладающий необходимыми знаниями для устранения под руководством преподавателя наиболее существенных погрешностей.

Оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях или отсутствие знаний по значительной части основного учебно-программного материала, не выполнившему самостоятельно предусмотренные программой основные задания, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий, не отработавшему основные практические, семинарские, лабораторные занятия, допускающему существенные ошибки при ответе, и который не может продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

Оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется студенту, не ответившему на заданные (отказ от ответа, представленный ответ полностью не по существу содержащихся в экзаменационном задании вопросов).

Оценка «зачтено» выставляется студенту, если по десятибалльной шкале его знания оцениваются не ниже «удовлетворительно»; оценка «не зачтено» выставляется обучающемуся в противном случае.

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

При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется не менее 45 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на дифференцированном зачете не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также всей необходимой литературой для решения задачи; при ответах на устные вопросы пользоваться литературой запрещено.