

*Приложение к приказу первого проректора  
по учебной и научной работе*

от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

**Правительство Российской Федерации  
Санкт-Петербургский государственный университет**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

*Взаимодействие излучения с веществом  
Interaction of Radiation with Matter*

**Язык(и) обучения**

Русский

Трудоёмкость (границы трудоёмкости) в зачетных единицах: 4

Регистрационный номер рабочей программы: \_\_\_\_\_

Санкт-Петербург

2014

## **Раздел 1. Характеристики учебных занятий**

### **1.1. Цели и задачи учебных занятий**

Формирование у студентов представлений о физике взаимодействия ядерного излучения – электронов, протонов, альфа-частиц, нейтронов, гамма-квантов и др. с веществом, об основных эффектах и явлениях, сопровождающих прохождение излучения через вещество и методах экспериментального наблюдения и описания процессов взаимодействия. Изучение механизмов взаимодействия заряженных и нейтральных частиц, рентгеновского и гамма-излучения с веществом; зависимостей вероятностей процессов взаимодействия от энергии, квантовых характеристик и углов рассеяния; потерь энергии от свойств частиц и среды; законов сохранения в элементарных актах взаимодействия.

### **1.2. Требования к подготовленности обучающегося к освоению содержания учебных занятий (пререквизиты)**

Знание общего курса физики, основ статистической физики, основ квантовой механики, математического анализа и аналитической геометрии в объеме соответствующих курсов физического факультета СПбГУ.

### **1.3. Перечень результатов обучения (learning outcomes)**

ОКБ-3 - владеет культурой мышления, способен к восприятию, обобщению, анализу информации, к постановке цели и выбору путей ее достижения, способен анализировать философские, мировоззренческие, социально и лично значимые проблемы

ПК1 - применять в своей профессиональной деятельности углубленные знания, полученные в соответствии с профилем подготовки.

ПК-2 -использовать знание современных проблем физики и новейших достижений физики в своей научно-исследовательской деятельности

ПК-3 - уметь ставить задачи теоретических и (или) экспериментальных научных исследований и решать их с помощью соответствующего физико-математического аппарата, современной аппаратуры и информационных технологий

ПК-4 - уметь самостоятельно осваивать новые дисциплины и методы исследований

### **1.4. Перечень активных и интерактивных форм учебных занятий**

1. Традиционная лекция – монолог преподавателя.

2. Лабораторные работы для углубленного усвоения материала и практического знакомства с полученными теоретическими знаниями.

## **Раздел 2. Организация, структура и содержание учебных занятий**

### **2.1. Организация учебных занятий**

#### **2.1.1 Основной курс**

Трудоёмкость, объёмы учебной работы и наполняемость групп обучающихся																		
Период обучения (модуль)	Контактная работа обучающихся с преподавателем												Самостоятельная работа				Объём активных и интерактивных форм учебных занятий	Трудоёмкость
	лекции	семинары	консультации	практические занятия	лабораторные работы	контрольные работы	коллоквиумы	текущий контроль	промежуточная аттестация	итоговая аттестация	под руководством преподавателя	в присутствии преподавателя	сам.раб. с использованием методических материалов	текущий контроль (сам.раб.)	промежуточная аттестация (сам.раб.)	итоговая аттестация (сам.раб.)		
<b>ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ</b>																		
<b>очная форма обучения</b>																		
Семестр 7	32		2					2			32	11		29		36	4	
	1-10		1-10					1-10			1-10	1-10		1-10				
<b>ИТОГО</b>	<b>32</b>		<b>2</b>					<b>2</b>			<b>32</b>	<b>11</b>		<b>29</b>		<b>36</b>	<b>4</b>	

Формы текущего контроля успеваемости, виды промежуточной и итоговой аттестации			
Период обучения (модуль)	Формы текущего контроля успеваемости	Виды промежуточной аттестации	Виды итоговой аттестации (только для программ итоговой аттестации и дополнительных образовательных программ)
<b>ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ</b>			
<b>очная форма обучения</b>			
Семестр 7		экзамен	

## 2.2. Структура и содержание учебных занятий

**Основной курс    Основная траектория    Очная форма обучения**

Период обучения (модуль): **Семестр 7**

№ п/п	Наименование темы (раздела, части)	Вид учебных занятий	Количество часов
1	Введение 1.1. Типы и характеристики частиц. 1.2. Кинематика упругих соударений нерелятивистских частиц.	лекции	2

2	<p>Прохождение тяжелых заряженных частиц через вещество.</p> <p>2.1. Рассеяние тяжелых заряженных частиц.</p> <p>2.2. Рассеяние одинаковых частиц.</p> <p>2.3. Рассеяние тяжелых частиц на более легких.</p> <p>2.4. Многократное рассеяние тяжелых частиц.</p> <p>2.5. Торможение тяжелых заряженных частиц. Теория ионизационных потерь энергии.</p> <p>2.6. Статистический разброс потерь энергии. Пробеги тяжелых частиц.</p> <p>2.7. Излучение Вавилова–Черенкова.</p> <p>2.8. Каналирование тяжелых заряженных частиц в кристаллах.</p> <p>2.9. Торможение многозарядных ионов.</p>	лекции	12
3	<p>Прохождение электронов и позитронов через вещество.</p> <p>3.1. Общие свойства электронов и позитронов.</p> <p>3.2. Рассеяние электронов на электронах.</p> <p>3.3. Потери энергии на ионизацию.</p> <p>3.4. Радиационные потери электронов.</p> <p>3.5. Многократное рассеяние электронов.</p>	лекции	8
4	Прохождение нейтральных частиц через вещество	лекции	2

5	<p>Взаимодействие рентгеновского и гамма-излучения с веществом.</p> <p>5.1. Источники рентгеновского и гамма-излучения.</p> <p>5.2. Оптика рентгеновских и гамма-лучей.</p> <p>5.3. Рассеяние рентгеновских и гамма-лучей.</p> <p>5.4. Поглощение рентгеновского и гамма-излучения.</p> <p>5.5. Ослабление интенсивности пучка гамма-лучей при прохождении через вещество.</p>	лекции	8
6	Энергетика ядерных превращений	Самостоятельная работа в присутствии преподавателя	3
		Самостоятельная работа с использованием методических материалов	1
7	Критические размеры ядерного реактора и альbedo нейтронов	Самостоятельная работа в присутствии преподавателя	3
		Самостоятельная работа с использованием методических материалов	1
8	Прохождение нейтронов через вещество	Самостоятельная работа в присутствии преподавателя	3
		Самостоятельная работа с использованием методических материалов	1
9	Временные характеристики ядерного реактора (запаздывающие нейтроны)	Самостоятельная работа в присутствии преподавателя	3
		Самостоятельная работа с использованием методических материалов	1
10	Ядерный реактор	Самостоятельная работа в присутствии преподавателя	3

		Самостоятельная работа с использованием методических материалов	с	1
11	Черенковский счетчик	Самостоятельная работа в присутствии преподавателя	в	3
		Самостоятельная работа с использованием методических материалов	с	1
12	Распределение Пуассона	Самостоятельная работа в присутствии преподавателя	в	3
		Самостоятельная работа с использованием методических материалов	с	1
13	Определение радионуклидов различных пробах	Самостоятельная работа в присутствии преподавателя	в	3
		Самостоятельная работа с использованием методических материалов	с	1
14	Компьютерное моделирование "йодной ямы" ядерного реактора	Самостоятельная работа в присутствии преподавателя	в	2
		Самостоятельная работа с использованием методических материалов	с	1
15	Компьютерное моделирование процесса деления	Самостоятельная работа в присутствии преподавателя	в	3
		Самостоятельная работа с использованием методических материалов	с	1
16	Бета частицы	Самостоятельная работа в присутствии преподавателя	в	3
		Самостоятельная работа с использованием методических материалов	с	1

### **Раздел 3. Обеспечение учебных занятий**

#### **3.1. Методическое обеспечение**

##### **3.1.1 Методические указания по освоению дисциплины**

Студенты прорабатывают с использованием рекомендованной литературы и методических пособий темы, кратко затронутые в лекциях, а также знакомятся с лабораторными работами на основе описаний. Для проведения лабораторной работы преподаватель должен:

- за неделю до начала занятий выдать студентам описания лабораторных работ,
- проверить готовность студентов к выполнению предстоящей лабораторной работы (принять коллоквиум),
- пояснить студентам особенности лабораторных установок и порядок выполнения работ,
- дать студентам рекомендации по наиболее качественному составлению отчетов с использованием компьютера.

Студент должен

- подготовиться к выполнению лабораторной работы и получить допуск (сдать коллоквиум),
- на основании полученного задания произвести экспериментальное исследование физической величины,
- произвести обработку полученной физической информации на компьютере с оценкой погрешности определяемой физической величины,
- оформить по установленным правилам физический отчет о проведенном исследовании.

##### **3.1.2 Методическое обеспечение самостоятельной работы**

Описания лабораторных работ, развернутая программа курса с подготовленными для ряда разделов текстовыми материалами по теме, программы для выполнения работ по моделированию физических процессов и обработки результатов измерений.

##### **3.1.3 Методика проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации и критерии оценивания**

Текущий контроль включает в себя краткий опрос по ранее изученному материалу в ходе каждой лекции, собеседования перед каждой лабораторной работой, коллоквиума и предоставления отчета по выполненным лабораторным работам. Экзаменационная оценка выставляется при условии успешного выполнения лабораторных работ.

##### **3.1.4 Методические материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации (контрольно-измерительные материалы, оценочные средства)**

*Перечень примерных контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы.*

1. Распределение потерь энергии при прохождении частиц через тонкие пленки. Эффект Ландау. Методы его наблюдения.
2. Излучение Вавилова–Черенкова. Применение эффекта для определения энергии релятивистских заряженных частиц.

3. Тормозное излучение электронов. Методы монохроматизации пучков гамма-лучей: кристалл-дифракционный метод и метод “меченых” фотонов.
4. Оптика рентгеновских и гамма-лучей: преломление и полное внутреннее отражение. Соотношение интенсивностей преломленного и отраженного лучей в зависимости от среды.

*Примерный перечень вопросов к экзамену по всему курсу.*

1. Источники электронов, протонов, альфа-частиц, нейтронов, тяжелых ионов,  $\pi$ -, K- и  $\mu$ -мезонов и др. частиц, рентгеновского и гамма-излучения.
2. Эффективное поперечное сечение. Единицы измерения. Упругое и неупругое рассеяние. Ядерные реакции. Функция возбуждения.
3. Системы координат. Скорости частиц в ЛС и СЦИ. Импульсные диаграммы.
4. Движение заряженных частиц в центральном кулоновском поле. Связь между углом рассеяния и параметром удара. Формула Резерфорда.
5. Квантовомеханический эффект, связанный с тождественностью частиц. Формулы Мотта для рассеяния протонов на водороде и альфа-частиц на гелии.
6. Вывод формулы для сечения потерь энергии при упругом рассеянии тяжелых частиц на более легких. Дельта-электроны.
7. Многократное рассеяние тяжелых заряженных частиц. Определение энергии частиц по величине среднеквадратичного угла отклонения.
8. Теория ионизационных потерь энергии частицами. Поправки на эффект связи электронов и поляризационный эффект. Кривая ионизационных потерь. Относительные тормозные способности веществ.
9. Статистический разброс потерь энергии. Эффект Ландау. Распределение потерь энергии в случае толстых мишеней.
10. Эмпирические соотношения пробег–энергия для тяжелых частиц. Причины разброса пробегов моноэнергетических частиц.
11. Механизм образования излучения Вавилова–Черенкова. Пороговые значения энергии частиц, угловое распределение и энергетический спектр излучения.
12. Каналирование тяжелых заряженных частиц в кристаллах. “Эффект теней”. Применение эффекта для определения времени протекания ядерных реакций и структуры кристаллов.
13. Методы получения и применение многозарядных ионов. Особенности торможения тяжелых ионов. Роль соударений с ядрами.
14. Резерфордовское рассеяние электронов и позитронов. Квантовомеханическая формула Мотта. Отношение сечений рассеяния “электрон-электрон” и “позитрон-электрон”.
15. Ионизационные потери нерелятивистских и релятивистских электронов и позитронов. Кривые ионизационных потерь электронов в разных веществах.
16. Радиационные потери электронов. Формула Бете–Гайтлера для разных областей энергии и разной степени экранирования. Критическая энергия. Радиационная длина. Образование ливней.
17. Многократное рассеяние электронов. Пробег электронов. Диффузия электронов.



18. Аннигиляция позитронов: одно-, двух- и трехквантовая. Образование и распад позитрония. Аннигиляция «на лету».
19. Рассеяние нейтронов на ядрах. Ядерные реакции под действием нейтронов. Три сорта нейтрино и антинейтрино. Взаимодействие нейтрино и антинейтрино с веществом.
20. Ионизация и возбуждение среды при прохождении частиц. Ионизационный дефект.
21. Преломление рентгеновских и гамма-лучей. Величина угла отклонения. Учет преломления в законе Брэгга–Вульфа.
22. Полное внутреннее отражение рентгеновских и гамма-лучей. Связь между величиной предельного угла полного внутреннего отражения и показателем преломления.
23. Атомный фотоэффект. Уравнение Эйнштейна. Невозможность фотоэффекта на свободном электроде. Основные эмпирические закономерности фотоэффекта.
24. Элементы теории фотоэффекта. Формулы Гайтлера, Штоббе, Заутера и Холла для сечения фотоэффекта на К-оболочке атома. Соотношения вероятностей фотоэффекта на К-, L- и M-оболочках.
25. Пространственное распределение фотоэлектронов от неполяризованного и поляризованного гамма-излучения в зависимости от энергии. Оже-эффект. Экспериментальное изучение фотоэффекта.
26. Классическая теория рассеяния гамма-лучей. Формула Томсона для интенсивности рассеянного излучения на свободном неподвижном электроде. Угловое распределение и поляризация рассеянного излучения.
27. Основные выводы квантовой теории рассеяния. Формула Комптона для энергии рассеянного излучения. Энергетический спектр и угловое распределение рассеянного излучения и электронов отдачи.
28. Формула Клейна–Нишины–Тамма для дифференциального сечения рассеяния на свободном неподвижном электроде. Интенсивность рассеянного излучения.
29. Полное сечение комптоновского рассеяния. Поляризация рассеянного излучения.
30. Рассеяние гамма-лучей на свободном движущемся электроде. Обратный эффект Комптона.
31. Рассеяние гамма-лучей на связанных электронах. Рассеяние на одноэлектронном атоме. Фактор электронной структуры.
32. Рассеяние гамма-лучей на многоэлектронном атоме. Атомный фактор. Рассеяние гамма-лучей многоатомными молекулами, газами, жидкостями и кристаллами.
33. Множественный комптон-эффект. Томсоновское рассеяние гамма-лучей на ядрах. Дельбрюкковское рассеяние. Резонансное рассеяние гамма-лучей.
34. Экспериментальная проверка теории рассеяния гамма-лучей.
35. Поглощение гамма-лучей с образованием электронно-позитронных пар. Теория “дырок” Дирака. Энергетический порог образования электронно-позитронных пар в поле атомного ядра.
36. Дифференциальное и полное сечение образования электронно-позитронных пар. Зависимость сечения от энергии квантов и заряда вещества. Учет экранирования поля ядра электронным облаком.

37. Распределение электронов и позитронов по энергии в процессе образования электронно-позитронных пар. Влияние заряда ядра на энергетическое распределение электронов и позитронов.

38. Образование электронно-позитронных пар в поле электрона. Энергетический порог и основные закономерности явления. Полная вероятность образования пар в поле ядра и электронов атома.

39. Внутренняя конверсия гамма-лучей с образованием электронно-позитронных пар. Другие способы образования пар.

40. Ослабление интенсивности пучка гамма-лучей при прохождении через вещество. Вклад различных процессов (фотоэффект, рассеяние, образование электронно-позитронных пар).

3.1.5 Методические материалы для оценки обучающимися содержания и качества учебного процесса

Не требуются

### **3.2. Кадровое обеспечение**

3.2.1 Образование и (или) квалификация преподавателей и иных лиц, допущенных к проведению учебных занятий

Ученая степень не ниже кандидата физико-математических наук по специальности физика атомного ядра и элементарных частиц и научная деятельность в области физики ядра.

3.2.2 Обеспечение учебно-вспомогательным и (или) иным персоналом

Для проведения лабораторных работ требуется вспомогательный персонал для обеспечения работы лаборатории (заведующий учебной лабораторией, лаборант).

### **3.3. Материально-техническое обеспечение**

3.3.1 Характеристики аудиторий (помещений, мест) для проведения занятий

Стандартно оборудованные лекционные аудитории, удовлетворяющие действующим санитарным и противопожарным нормам. Лабораторные работы, предлагаемые в рамках настоящего курса не используют источников ионизирующих излучений, требующих сертифицированных аудиторий.

3.3.2 Характеристики аудиторного оборудования, в том числе неспециализированного компьютерного оборудования и программного обеспечения общего пользования

Для представления лекционного материала желательно наличие мультимедийного оборудования и офисного оборудования (ноутбук с операционной системой MS Windows, пакетом MS Office, Mathtype, TeX2Word, Word2TeX, MS Visual Studio, Intel Fortran Compiler, Origin Pro и выходом в Интернет, проектор, цветной принтер, сканер с автоподатчиком, экран, доска).

3.3.3 Характеристики специализированного оборудования

Оригинальные компьютерные программы, позволяющие моделировать процессы взаимодействие нейтронов с веществом и средой ядерных реакторов, свойства атомных ядер, компьютер с установленными программами, детектор СТС-5, счетные приборы ПС-

20, установка для регистрации заряженных частиц типа «телескоп», состоящая из двух черенковских счетчиков и схемы совпадений.

### 3.3.4 Характеристики специализированного программного обеспечения

#### SRIM

### 3.3.5 Перечень и объемы требуемых расходных материалов

Фломастеры для белой доски, фломастеры цветные, губки, бумага формата А4, канцелярские товары, картриджи принтеров, диски, флеш-накопители и др. в объеме, необходимом для организации и проведения занятий, по заявкам преподавателей, подаваемым в установленные сроки.

## 3.4. Информационное обеспечение

### 3.4.1 Список обязательной литературы

1. Барсуков, Олег Александрович. Основы физики атомного ядра. Ядерные технологии / О. А. Барсуков. - М. : Физматлит, 2011. - 559 с.

### 3.4.2 Список дополнительной литературы

1. Мухин, К. Н. Экспериментальная ядерная физика : в 3-х т.: Учебник / К. Н. Мухин. - 7-е изд., стер. - СПб.; М.; Краснодар : Лань, 2009; и 6-е изд.
2. Альфа-, бета- и гамма-спектроскопия, под ред. К. Зигбана, М., Атомиздат, 1969.
3. Ковалев В. П., Вторичные излучения ускорителей электронов, МГУ, 1978.
4. Калашников Н. П., Ремизович В. С., Рязанов М. Н., Столкновения быстрых заряженных частиц в твердых телах, М., Атомиздат, 1980.
5. Черенков П. А., Излучение частиц сверхсветовой скорости и некоторые применения этого излучения в экспериментальной физике, УФН, т. 68, вып. 3, с. 337.
6. Бонч-Осмоловская Н. А., Атомный фотоэффект в области гамма-лучей, под. ред. Б. С. Джеллепова, М.-Л., Изд. АН СССР, 1959.
7. Волков А. Г., Христофоров В. А., Ушаков Н. П., Методы ядерной спектрометрии, М., Энергоатомиздат, 1990.
8. Claude Leroy, Pier-Giorgio Rancoita. Principles of Radiation Interaction in Matter and Detection. Singapore: World Scientific, 2009. 930 p.  
([http://books.google.ru/books?id=e5Zh1T8M\\_mgC&dq=editions%3AISBN9812389091&hl=ru&source=gbs\\_book\\_other\\_versions](http://books.google.ru/books?id=e5Zh1T8M_mgC&dq=editions%3AISBN9812389091&hl=ru&source=gbs_book_other_versions)).
9. Hooshang Nikjoo, Shuzo Uehara, Dimitris Emfietzoglou. Interaction of Radiation with Matter. Boca Raton: CRC Press, 2012.
10. Стародубцев С. В., Романов А. М., Прохождение заряженных частиц через вещество, Изд. АН Узб. ССР, Ташкент, 1962.
11. Блохин М. А., Физика рентгеновских лучей, гл. 2, 6, 7, М., Гостехтеориздат, 1957.
12. Ишханов Б. С., Капитонов И. М., Взаимодействие электромагнитного излучения с атомными ядрами, М., Изд. МГУ, 1979.

13. Кумахов М. А., Ширмер Г., Атомные столкновения в кристаллах, М., Атомиздат, 1980.
14. Тулин А. Ф., Влияние кристаллической решетки на некоторые атомные и ядерные процессы, УФН, т. 87, вып. 4, с. 585.
15. Николаев В. С., Захват и потеря электронов быстрыми ионами в атомных столкновениях, УФН, т. 87, вып. 4, с. 679.
16. J. Beringer et al. (PDG) // Phys. Rev. D. 2012. V.86. 010001 (<http://pdg.lbl.gov/2013/reviews/rpp2013-rev-passage-particles-matter.pdf>)
17. Беспалов В.И. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008.
18. Онучин, Алексей Павлович. Экспериментальные методы ядерной физики. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2010.

### 3.4.3 Перечень иных информационных источников

1. <http://www.srim.org>

## Раздел 4. Разработчики программы

Фамилия, имя, отчество	Учёная степень	Учёное звание	Должность	Контактная информация
Сергиенко Василий Александрович	к.ф. -м.н.	доцент	доцент	
Власников Александр Константинович	к.ф. -м.н.		доцент	428-44-97 <a href="mailto:a.vlasnikov@spbu.ru">a.vlasnikov@spbu.ru</a> vlasnik@list.ru

В соответствии с порядком организации внутренней и внешней экспертизы образовательных программ проведена двухуровневая экспертиза:

первый уровень (оценка качества содержания рабочей программы и применяемых педагогических технологий)		
Наименование кафедры	Дата заседания	№ протокола

второй (соответствие целям подготовки и учебному плану образовательной программы)		уровень	
Экспертиза второго уровня выполнена в порядке, установленном приказом			
<i>должностное лицо</i>		<i>дата приказа</i>	<i>№ приказа</i>
Уполномоченный (должностное лицо)	орган	Дата принятия решения	№ документа

Иные документы об оценке качества рабочей программы

Документ об оценке качества	Дата документа	№ документа

Утверждение рабочей программы

Уполномоченный (должностное лицо)	орган	Дата принятия решения	№ документа

Внесение изменений в рабочую программу