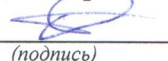


**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова**

Кафедра теоретической физики

**УТВЕРЖДАЮ**

Декан физического факультета



(подпись)

И.С. Огнев

« 17 » мая 2022 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**«Радиационные поправки и теория перенормировок»**

Направление подготовки  
03.04.02 Физика

Направленность (профиль)  
«Теоретическая физика»

Форма обучения  
очная

Программа одобрена  
на заседании кафедры  
от «18» апреля 2022 года, протокол № 8

Программа одобрена НМК  
физического факультета  
протокол № 5 от « 11 » мая 2022 года

Ярославль

## 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Радиационные поправки и теория перенормировок» является освоение методов нахождения вкладов высших порядков теории возмущений в вероятности, сечения и другие измеряемые на опыте величины при изучении релятивистской квантовой теории поля.

## 2. Место дисциплины в структуре ОП магистратуры

Дисциплина «Радиационные поправки и теория перенормировок» относится к части Блока Б1, формируемой участниками образовательных отношений.

Для освоения данной дисциплиной студенты должны знать квантование калибровочной теории поля и квантовую электродинамику, в частности, владеть математическим аппаратом квантовой механики и диаграммной техникой Фейнмана, иметь представление о стандартной модели взаимодействий частиц.

## 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОП магистратуры

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
<b>Профессиональные компетенции</b>		
<b>ПК-1</b> Способен осуществлять научно-исследовательскую деятельность по решению комплексных фундаментальных задач физики	<b>ИД-ПК-1_1</b> Знает теоретические методы проведения и анализа научных исследований	<b>Уметь:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• исследовать на расходимость произвольную диаграмму <math>n</math>-го порядка;</li><li>• проводить перенормировку волновой функции электрона и фотона;</li><li>• проводить перенормировку заряда и массы электрона.</li></ul> <b>Владеть навыками:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• навыками вычисления интегралов по инвариантному объему в <math>n</math>-мерном импульсном пространстве;</li><li>• проверки калибровочной инвариантности выражения.</li></ul>
	<b>ИД-ПК-1_2</b> Знает современные теории и модели физики	<b>Знать:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• о пределах применимости КЭД;</li><li>• оптическую теорему;</li><li>• функцию Грина электрона и фотона;</li><li>• тождество Уорда.</li></ul>

#### 4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 акад. часа.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	С е м е с т р	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости  Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа						
			ле кц ии	пр ак ти че ск ие	ла бо ра то рн ые	ко нс ул ьт ац ии	ат те ст ац ио нн ые ис п ыт ан ия	сам осто ятел ьная раб ота	
1	Введение.	3	2	3				2	Индивидуальные консультации
2	Функция Грина.	3	8	5		1		8	Индивидуальные консультации
3	Электронная собственно энергетическая диаграмма.	3	8	8		1		8	Индивидуальные консультации
4	Фотонная собственно энергетическая диаграмма.	3	8	8		1		8	Индивидуальные консультации
5	Радиационные поправки к закону Кулона. Аномальный магнитный момент электрона.	3	8	10		1		8	Индивидуальные консультации
						2	0,5	33,5	Экзамен
	Всего	3	34	34		6	0,5	69,5	

#### Содержание разделов дисциплины:

##### 1. Введение

- 1.1. Иллюстрация трудностей с расходимостями в КЭД на примере электронной собственно энергетической диаграммы второго порядка. Введение граничного импульса. Экспериментальные поиски пределов применения КЭД.
- 1.2. Элемент телесного угла и полный телесный угол в n-мерном евклидовом пространстве. Скалярный, векторный и тензорный интегралы в n-мерном импульсном пространстве.

2. **Функция Грина.**
  - 2.1. Условие унитарности S-оператора эволюции. Оптическая теорема.
  - 2.2. Функция Грина электрона и фотона. Уравнения Дайсона.
3. **Электронная собственно энергетическая диаграмма.**
  - 3.1. Перенормировка массы, волновой функции и заряда электрона. Контрчлены.
  - 3.2. Перенормировка заряда. Тождество Уорда. Сокращение перенормировок заряда, происходящих от электронной собственно энергетической диаграммы и вершинной диаграммы.
4. **Фотонная собственно энергетическая диаграмма.**
  - 4.1. Перенормировка волновой функции фотона.
  - 4.2. Калибровочная инвариантность.
5. **Радиационные поправки к закону Кулона. Аномальный магнитный момент электрона.**
  - 5.1. Модификация закона Кулона.
  - 5.2. Формфакторы электрона в однопетлевом приближении.
  - 5.3. Амплитуда рассеяния электрона во внешнем постоянном магнитном поле.
  - 5.4. Аномальный магнитный момент электрона в нерелятивистском случае.

## **5. Образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

**Вводная лекция** – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

**Академическая лекция** (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

**Практическое занятие** – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков и закреплению полученных на лекции знаний.

## **6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программы Microsoft Office;
- издательская система LaTeX;
- Adobe Acrobat Reader.

## **7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)**

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

- Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)

## **8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

### **а) основная литература**

1. Добрынина А.А., Нарынская Е.Н. Радиационные поправки и теория перенормировок (учебное пособие). Ярославль: ЯрГУ, 2015. 100 с.  
<http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20150703.pdf>
2. А. А. Добрынина, И. С. Огнев, А. Я. Пархоменко, М. В. Чистяков Радиационные поправки и теория перенормировок (дополнительные задания): учебно-методическое пособие. Ярославль: ЯрГУ, 2020. - 40 с.  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=2389887&cat\\_cd=YARSUEPS](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=2389887&cat_cd=YARSUEPS)
3. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика. Т. IV. Квантовая электродинамика: Учеб. пособ.: Для вузов. / Ландау Л. Д. , Лифшиц Е. М. - 4-е изд. , испр. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 720 с.  
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922100580.html>

### **б) дополнительная литература**

1. Михеев Н.В. Методы вычислений электромагнитных и слабых процессов в квантовой теории поля (учебное пособие). Ярославль: ЯрГУ, 1998. 44 с.  
<http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/19971702.pdf>
2. Пескин М., Шредер Д. Введение в квантовую теорию поля. — Ижевск: РХД, 2001. — 784 с.  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=300794&cat\\_cd=YARSU](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=300794&cat_cd=YARSU)
3. Ахизер А.И., Берестецкий В.Б. Квантовая электродинамика. М.: Наука, 1981. 432 с. <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=474067>
4. Боголюбов, Н. Н. Квантовые поля: учебное пособие для вузов / Боголюбов Н. Н. , Ширков Д. В. - 3-е изд. , доп. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 384 с.  
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922105804.html>

## **9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа и практических занятий (семинаров);
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций,
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Специальные помещения укомплектованы средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, хранящиеся на электронных носителях и обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие рабочим программам дисциплин.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Число посадочных мест в лекционной аудитории больше либо равно списочному составу потока, а в аудитории для практических занятий (семинаров) – списочному составу группы обучающихся.

Автор:

Заведующий кафедрой теоретической физики, к.ф.-м.н. \_\_\_\_\_ А.Я. Пархоменко  
(подпись)

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины  
«Радиационные поправки и теория перенормировок»**

**Фонд оценочных средств  
для проведения текущей и промежуточной аттестации студентов  
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания или иные материалы,  
необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности,  
характеризующих этапы формирования компетенций**

**1.1 Контрольные задания и иные материалы,  
используемые в процессе текущей аттестации**

**Задания по темам №2-5:**

Задания из учебного пособия Добрынина А.А., Нарынская Е.Н. Радиационные поправки и теория перенормировок. Ярославль: ЯрГУ, 2015. 100 с.

**1.2 Список вопросов и (или) заданий для проведения итоговой аттестации**

**Список вопросов к экзамену:**

1. Иллюстрация трудностей с расходимостями в КЭД на примере электронной собственно энергетической диаграммы второго порядка. Введение граничного импульса. Экспериментальные поиски пределов применения КЭД.
2. Исследование на расходимость произвольной диаграммы  $n$ -го порядка. Классификация расходимостей.
3. Классификация диаграмм: электронная собственно энергетическая диаграмма, фотонная собственно энергетическая диаграмма, вершинная диаграмма и трех фотонная вершина.
4. Теорема Фарри. Четырехфотонная диаграмма.
5. Элемент телесного угла и полный телесный угол в  $n$ -мерном евклидовом пространстве.
6. Скалярный, векторный и тензорный интегралы в импульсном пространстве.
7. Условие унитарности  $S$ -оператора эволюции.
8. Оптическая теорема.
9. Функции Грина электрона и фотона. Уравнения Дайсона.
10. Перенормировка массы, волновой функции и заряда электрона. Контрчлены.
11. Вершинная диаграмма. Тождество Уорда. Сокращение перенормировок заряда, происходящих от электронной собственно энергетической диаграммы и вершинной диаграммы.
12. Перенормировка волновой функции фотона. Калибровочная инвариантность.
13. Точный Комптон-эффект в пределе  $v \rightarrow 0$ . Формула Томсона. Смысл перенормировки заряда.
14. Радиационные поправки к закону Кулона.
15. Формфакторы электрона в однопетлевом приближении.
16. Амплитуда рассеяния электрона во внешнем постоянном магнитном поле.
17. Аномальный магнитный момент электрона в нерелятивистском случае.

### 1.3 Правила выставления оценки на экзамене.

В экзаменационный билет включается два теоретических вопроса. На подготовку к ответу дается не менее 1 часа.

По итогам экзамена выставляется одна из оценок: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

**Оценка «Отлично»** выставляется студенту, который демонстрирует глубокое и полное владение материалом; осуществляет межпредметные связи; умеет связывать теорию с практикой. Студент дает развернутые, полные и четкие ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, соблюдает логическую последовательность при изложении материала. Грамотно использует введенную терминологию.

**Оценка «Хорошо»** выставляется студенту, ответ которого на экзамене в целом соответствуют указанным выше критериям, но отличается меньшей обстоятельностью, глубиной, обоснованностью и полнотой. В ответе имеют место отдельные неточности (несущественные ошибки), которые исправляются самим студентом после дополнительных и (или) уточняющих вопросов экзаменатора.

**Оценка «Удовлетворительно»** выставляется студенту, который дает недостаточно полные и последовательные ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, но при этом демонстрирует умение выделить существенные и несущественные признаки и установить причинно-следственные связи. Ответы излагаются с использованием введенных терминов, но при этом допускаются ошибки в определении и раскрытии некоторых основных понятий, формулировке положений, которые студент затрудняется исправить самостоятельно. При аргументации ответа студент не обосновывает свои суждения. На часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

**Оценка «Неудовлетворительно»** выставляется студенту, который демонстрирует разрозненные, бессистемные знания; беспорядочно и неуверенно излагает материал; не умеет выделять главное и второстепенное, не умеет соединять теоретические положения с практикой, не устанавливает межпредметные связи; допускает грубые ошибки при определении сущности раскрываемых понятий, явлений, вследствие непонимания их существенных и несущественных признаков и связей; дает неполные ответы, логика и последовательность изложения которых имеют существенные и принципиальные нарушения, в ответах отсутствуют выводы. Дополнительные и уточняющие вопросы экзаменатора не приводят к коррекции ответов студента. На основную часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

Оценка «Неудовлетворительно» выставляется также студенту, который взял экзаменационный билет, но отвечать отказался.



## **Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Радиационные поправки и теория перенормировок»**

### **Методические указания для студентов по освоению дисциплины**

Дисциплина «Радиационные поправки и теория перенормировок» вырабатывает у студентов навыки постановки и аналитического решения сложных физических задач по курсу классической электродинамики, обеспечивает умение самостоятельно решать задачи и пользоваться справочной литературой по теоретической физике.

Широко практикуется индивидуальная методика решения задач, при которой студенты в большой степени самостоятельно решают задачи при индивидуальной помощи и комментариях преподавателя по ходу решения задачи каждым конкретным студентом с последующим обобщением результата и возможных методов его получения. Таким образом, на практических занятиях студенты приобретают навыки самостоятельных вычислений, анализа поставленной задачи и полученного результата.

Распределение времени для изучения данного курса лучше всего планировать, предусматривая регулярное повторение пройденного материала. Материал необходимо регулярно дополнять информацией, полученной из учебной литературы.

Для подготовки к практическим занятиям рекомендуется использовать литературу из прилагаемого списка основной и дополнительной литературы.

Важной частью самостоятельной работы студентов является подготовка к зачету. Список вопросов к зачету прилагается.