

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования "Пермский  
государственный национальный исследовательский  
университет"**

**Кафедра теоретической физики**

Авторы-составители: **Хеннер Виктор Карлович**  
**Демин Виталий Анатольевич**

Рабочая программа дисциплины  
**КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА**  
Код УМК 63700

Утверждено  
Протокол №6  
от «08» июня 2020 г.

Пермь, 2020

## **1. Наименование дисциплины**

Квантовая электродинамика

## **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина входит в вариативную часть Блока « Б.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **03.03.02** Физика

направленность Фундаментальная физика

### **3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

В результате освоения дисциплины **Квантовая электродинамика** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

**03.03.02** Физика (направленность : Фундаментальная физика)

**ОПК.7** способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач

**ПК.1** способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин

#### 4. Объем и содержание дисциплины

<b>Направления подготовки</b>	03.03.02 Физика (направленность: Фундаментальная физика)
<b>форма обучения</b>	очная
<b>№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины</b>	11
<b>Объем дисциплины (з.е.)</b>	4
<b>Объем дисциплины (ак.час.)</b>	144
<b>Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:</b>	56
<b>Проведение лекционных занятий</b>	28
<b>Проведение практических занятий, семинаров</b>	28
<b>Самостоятельная работа (ак.час.)</b>	88
<b>Формы текущего контроля</b>	Итоговое контрольное мероприятие (1) Письменное контрольное мероприятие (2)
<b>Формы промежуточной аттестации</b>	Экзамен (11 триместр)

## **5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины**

### **Квантовая электродинамика. Первый семестр**

#### **Волновые релятивистские уравнения**

Волновые релятивистские уравнения: Клейна-Гордона, Дирака. Свойства уравнения Дирака, свойства гамма матриц. Решение уравнения Дирака для свободных частиц.

Нерелятивистское приближение и уравнение Паули. Спин. Атом водорода - релятивистские поправки. Проблема отрицательных энергий.

#### **Теория поля**

Полевой подход. Симметрии и законы сохранения. Скалярное классическое действительное поле.

Процедура квантования. Скалярное комплексное поле. Дираковское поле. Векторные поля.

#### **Теория возмущений и диаграммы Фейнмана**

Взаимодействующие поля. S-матрица.

Теория возмущений. Взаимодействие электромагнитного поля и заряженных частиц. Теорема Вика.

Вывод правил Фейнмана.

#### **Основные процессы квантовой электродинамики**

Комптон эффект во втором порядке теории возмущений.

Взаимодействия электронов и позитронов во втором порядке теории возмущений.

Высшие порядки теории возмущений. Аномальный магнитный момент электрона. Основы теории перенормировок.

## **6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

## **7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

## 8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

### Основная:

1. Иоффе, Б. Л. Физика элементарных частиц: квантовая хромодинамика в 2 т. Том 2 : учебное пособие для вузов / Б. Л. Иоффе, Л. Н. Липатов, В. С. Фадин. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 344 с. — (Авторский учебник). — ISBN 978-5-534-08087-2. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. <https://www.urait.ru/bcode/441566>
2. Ландау Л. Д. Теоретическая физика. учебное пособие для студентов физических специальностей университетов : в 10 т. Т. 3. Квантовая механика (нерелятивистская теория)/Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; ред. Л. П. Питаевский. -5-е изд., стер.-Москва:ФИЗМАТЛИТ,2004, ISBN 5-9221-0530-2.-800
3. Савельев, И.В. Курс физики : учебное пособие : в 3 томах / И.В. Савельев. — 7-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, [б. г.]. — Том 3 : Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц — 2019. — 308 с. — ISBN 978-5-8114-4254-6. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: <https://e.lanbook.com/book/117716> <https://elis.psu.ru/node/580913>

### Дополнительная:

1. Ведринский, Р. В. Квантовая теория рассеяния : учебник / Р. В. Ведринский. — Ростов-на-Дону : Издательство Южного федерального университета, 2008. — 192 с. — ISBN 978-5-9275-0626-2. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/46977.html>
2. Овсюк Е. М. Квантовая механика частиц со спином в магнитном поле/Овсюк Е. М.- Минск:Белорусская наука,2017, ISBN 978-985-08-2132-4.-510. <http://www.iprbookshop.ru/74074.html>
3. Демин В. А. Теория элементарных частиц. Кварки и глюоны:учебно-методическое пособие/В. А. Демин.-Пермь,2007, ISBN 5-7944-0788-3.-43.-Библиогр.: с. 42

## **9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины**

[library.psu.ru/node/738](http://library.psu.ru/node/738) Ресурсы Научной библиотеки ПГНИУ

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Образовательный процесс по дисциплине **Квантовая электродинамика** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС)
- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.
- Интернет-сервисы и электронные ресурсы (поисковые системы, электронная почта и т.д.)

Перечень необходимого лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения:

- приложение, позволяющее просматривать PDF-файлы
- офисный пакет приложений «LibreOffice»
- пакет аналитических вычислений Maxima

Дополнительный перечень используемых информационных технологий определяется преподавателями дисциплины.

При освоении материала и выполнении заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ ([student.psu.ru](http://student.psu.ru)).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

- система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).
- система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.
- система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

## **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Для лекционных занятий требуется аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения практических занятий - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для групповых (индивидуальных) консультаций - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения текущего контроля - аудитория, оснащенная меловой (и) или маркерной доской.  
Самостоятельная работа студентов: аудитория, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», с обеспеченным доступом в электронную информационно-



образовательную среду университета, помещения Научной библиотеки ПГНИУ

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютера с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине  
Квантовая электродинамика**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции и  
критерии их оценивания**

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p><b>ПК.1</b> способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин</p>	<p>Знать: основные физические явления и результаты КЭД. Уметь: описывать эффект Комптона, взаимодействия электронов и позитронов. Владеть: приемами построения высших порядков теории возмущений, иметь представление об основах теории перенормировок.</p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>Не знает основные физические явления и результаты КЭД. Не умеет производить расчеты, описывать эффект Комптона, взаимодействия электронов и позитронов. Не владеет приемами построения высших порядков теории возмущений, не имеет представления об основах теории перенормировок.</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Общие, но не структурированные знания основных физических явлений и результатов КЭД. Демонстрирует частично сформированное умение производить расчёты, описывать взаимодействие частиц, давать интерпретацию результатов. Имеет представление об основах теории перенормировок, приемах построения высших порядок теории возмущений.</p> <p align="center"><b>Хорошо</b></p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных физических явлений и результатов КЭД. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения производить расчёты, давать интерпретацию результатов, контролировать правильность вычислений, самостоятельно приобретать новые знания. В целом успешно, но с отдельными пробелами владеет приемами построения высших порядков теории возмущений, имеет представление об основах теории перенормировок.</p> <p align="center"><b>Отлично</b></p> <p>Сформированные систематические знания основных физических явлений и результатов КЭД. Сформированное умение производить</p>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>расчёты, описывать эффект Комптона, взаимодействия электронов и позитронов. Успешное и систематическое применение приемов построения высших порядков теории возмущений, базовых методов теории перенормировок.</p>
<p><b>ОПК.7</b> способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p>	<p>Знать: представление взаимодействия. Уметь: строить теорию возмущений для описания взаимодействия полей. Владеть: навыками описания взаимодействия электромагнитного поля и заряженных частиц, правилами Фейнмана.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>Не знает представление взаимодействия. Не умеет строить теорию возмущений для описания взаимодействия полей. Не владеет навыками описания взаимодействия электромагнитного поля и заряженных частиц, правилами Фейнмана.</p> <p style="text-align: center;"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Общие, но не структурированные знания представления взаимодействия. Демонстрирует частично сформированное умение строить теорию возмущений для описания взаимодействия полей, давать интерпретацию результатов. Имеет представление о правилах Фейнмана, методах описания взаимодействия.</p> <p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания представления взаимодействия. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения производить расчёты, давать интерпретацию результатов, контролировать правильность вычислений, самостоятельно приобретать новые знания. В целом успешно, но с отдельными пробелами владеет правилами Фейнмана, методами описания взаимодействия.</p> <p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>Сформированные систематические знания представления взаимодействия. Сформированное умение производить расчёты, строить теорию возмущений для взаимодействия полей, давать интерпретацию результатов. Успешное и систематическое применение навыков построения диаграмм Фейнмана, методов описания взаимодействия.</p>

## Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : СУОС 1

**Вид мероприятия промежуточной аттестации :** Экзамен

**Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации :** Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

**Максимальное количество баллов :** 100

### Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 50 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 50 балла

Компетенция	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<b>ОПК.7</b> способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	Теория поля <b>Письменное контрольное мероприятие</b>	Владение базовыми понятиями теории поля
<b>ОПК.7</b> способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	Теория возмущений и диаграммы Фейнмана <b>Письменное контрольное мероприятие</b>	Знание правил Фейнмана, теоремы Вика, представления взаимодействия.
<b>ПК.1</b> способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	Основные процессы квантовой электродинамики <b>Итоговое контрольное мероприятие</b>	Знание основных результатов квантовой электродинамики, квантовой теории поля. Умение анализировать взаимодействие элементарных частиц.

### Спецификация мероприятий текущего контроля

#### Теория поля

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **20**

Проходной балл: **10**

Показатели оценивания	Баллы
Владение понятиями скалярных, спинорных и векторных полей.	7
Умение исследовать и описывать явления в терминах скалярных, спинорных и векторных полей.	7
Умение переходить к полевым операторам	3
Знание основ полевого подхода	3

### Теория возмущений и диаграммы Фейнмана

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **20**

Показатели оценивания	Баллы
Знание правил Фейнмана, умение строить и читать диаграммы.	12
Умение описывать физические процессы в представлении взаимодействия.	10
Знание теоремы Вика.	10
Владение базовыми методами теории возмущений.	8

### Основные процессы квантовой электродинамики

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **20**

Показатели оценивания	Баллы
Умение описывать основные взаимодействия электронов, позитронов и фотонов во втором порядке теории возмущений.	14
Владение навыками расчёта эффективных сечений различных процессов.	10
Знание методов построения диаграмм высших порядков и их анализа	10
Знание основ теории перенормировок.	6