МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Физический факультет

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Квантовая электродинамика

Кафедра общей и теоретической физики, физического факультета

Образовательная программа
03.04.02 Физика

Профиль подготовки
Теоретическая и математическая физика

Уровень высшего образования
Магистратура

Форма обучения
очная

Статус дисциплины: *вариативная по выбору*

Махачкала 2020

Рабочая программа дисциплины «Квантовая электродинамика» составлена в 2020 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки *03.04.02 – «Физика»* (уровень магистратура) от « 28 » августа 2015г. № 913 .

Разработчик: *кафедра общей и теоретической физики,*
Муртазаев Акай Курбанович, д.ф.-м.н., профессор

Рабочая программа дисциплины одобрена:
на заседании кафедры теоретической и математической физики от «21» января 2020г., протокол №5.

Зав. кафедрой Муртазаев А.К.

на заседании Методической комиссии физического факультета от «28» февраля 2020г., протокол №6

.

Председатель Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением « 26» марта 2020г.

Начальник УМУ . Гасангаджиева А.Г

Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «Квантовая электродинамика» входит в вариативную часть по выбору образовательной программы магистратуры по направлению *03.04.02 – «Физика»* (профиль – Теоретическая и математическая физика).

Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой общей и теоретической физики.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с изучением вопросов релятивистской квантовой теории, формированием навыков применения различных методов расчета при решении конкретных задач.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника:

общекультурных – ОК-3;

общепрофессиональных – ОПК-6;

профессиональных – ПК-2, ПК-3

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: *лекции, практические занятия, самостоятельную работу..*

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме *текущий контроль в форме опросов, коллоквиума* и промежуточный контроль в форме *зачет*.

Объем дисциплины 2 зачетные единицы, в том числе в академических часах по видам учебных занятий

Семестр	Учебные занятия								Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцированный зачет, экзамен
	в том числе								
	Всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем						СРС, в том числе экзамен	
		Всего	из них						
			Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	КСР	консультации		
2	72	18	8	-	10	-	-	54	Зачет

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Квантовая электродинамика» являются:

- изучение основных разделов курса, в которых изложены вопросы релятивистской квантовой теории.
- формирование навыков применения различных методов расчета при решении конкретных задач.

- рассмотрение и умение применять асимптотические формулы квантовой электродинамики.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП магистратуры

Дисциплина входит в вариативную часть по выбору образовательной программы магистратуры по направлению *03.04.02– «Физика»* (профиль – Теоретическая и математическая физика) и является дисциплиной по выбору.

Студенты в процессе прохождения данного курса ознакамливаются с такими понятиями как: четырехмерные спиноры, инвариантная теория возмущений, операторы полей в представлении Гейзенберга, формфакторы адронов.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения).

КОД компетенции из ФГОС ВО	Наименование компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения
ОК-3	готовность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала	Знает: • лекционный материал преподаваемый на аудиторных занятиях, а также материал задаваемый на самостоятельное изучение. Умеет: • самостоятельно анализировать учебный материал, составлять опорные конспекты, ориентироваться в многообразии учебной литературы, применять полученные знания к конкретным задачам на занятиях. Владеет: • методами обработки получаемых знаний, её систематизации для быстрого и успешного освоения учебного материала.

ОПК-6	Способность использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе	Знает: • основные понятия и законы квантовой механики и статистической физики применительно к системам многих частиц. Физическую картину квазичастиц и модели квантово-статистического описания системы из многих частиц. • понимает те методы квантовой теории системы многих частиц, которые применяются в специальных дисциплинах; порядок применения теоретического аппарата квантовой статистики в важнейших практических приложениях. Умеет: • применять полученные знания для решения конкретных задач квантовой электродинамики, квантовой статистики, физической кинетики, квантовой теории поля и специальных дисциплинах теоретической физики; • интерпретировать явления при помощи соответствующего теоретического аппарата; • пользоваться определениями и понятийным аппаратом квантовой электродинамики для правильного истолкования их смысла; • пользоваться справочной литературой. Владеет: полным понятийным аппаратом и теоретическими методами квантовой электродинамики для решения профессиональных задач.
ПК-2	способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности	Знает: • основные модели квантово-статистических явлений, идеологию моделирования квантовых систем электродинамики и принципы построения математических моделей данных систем. Умеет: • пользоваться терминологией характерной для различных разделов квантовой электродинамики; • строить различные модели используя известные правила и методики приближений в квантовой электродинамике и решать конкретные практические задачи по квантовой

		электродинамике. Владеет: • различными методами расчета при решении конкретных задач в квантовой электродинамике.
ПК-3	способность принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности	Знает: • методы и приемы решения задач; • методы исследования в квантовой электродинамике, расчета, исходя из поставленной задачи. Умеет: • пользоваться при аналитическом и численном исследованиях квантово-механических моделей многих тел возможностями современных компьютеров и информационных технологий; • использовать справочную литературу и стандарты; • выбирать соответствующие методы математического моделирования при построении квантово-статистических моделей; • уметь применять аналитические методы квантовой статистики к конкретным моделям; • правильно интерпретировать полученные результаты и находить в них физическое обоснование. Владеет: • методами расчёта в квантовой электродинамике.

4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа.

4.2. Структура дисциплины.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Самостоят. работа	Формы текущего контроля успеваемости *(по неделям семестра)* Форма промежуточной аттестации *(по семестрам)*
				Лекции	Практические занятия	Лабораторны	Контроль самост. раб		
Модуль 1. Бозоны и фермионы									
1.	Квантование свободного электромагнитного поля. Колибровочная инвариантость. Электромагнитное поле в квантовой теории	2		1	1			8	опрос
2	Момент импульса и четность фотона. Сферические волны фотонов. Поляризация фотонов	2		1	1			8	опрос
3	Спинорное представление уравнения Дирака. Симметричная форма уравнения Дирака. Алгебра матриц Дирака. Связь спина со статистикой.	2		1	2			8	опрос
4.	Уравнение Дирака для частицы во внешнем поле. Тонкая структура уровней атома водорода.	2		1	2			8	опрос
Итого по модулю 1				4	6			32	коллоквиум
Модуль 2. Частицы во внешнем поле.									

5	Движение в центрально-симметричном поле. Движение в кулоновском поле ядра. Рассеяние в центрально-симметричном поле.	2		1	1			6	опрос
6	Движение спина во внешнем поле. Рассеяние нейронов в электрическом поле.	2		1	1			6	опрос
7.	Операторы полей и их представления. Фотонный пропогатор. Электронный пропогатор.	2		1	1			6	опрос
8	Уравнение Дайсона. Тождество Уорда. Электронный пропогатор во внешнем поле.	2		1	1			4	
Итого по модулю 2				4	4			22	зачет
ИТОГО				**8**	**10**			**54**	

4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам).

4.3.1. Содержание лекционных занятий по дисциплине.

Модуль 1. Бозоны и фермионы.

- **Тема 1**. Квантование свободного электромагнитного поля. Колибровочная инвариантость. Электромагнитное поле в квантовой теории
- **Тема 2.** Момент импульса и четность фотона. Сферические волны фотонов. Поляризация фотонов.

- **Тема 3.** Спинорное представление уравнение Дирака. Симметричная форма уравнения Дирака. Алгебра матриц Дирака. Связь спина со статистикой.
- **Тема 4.** Уравнение Дирака для частицы во внешнем поле. Тонкая структура уровней атома водорода.

Модуль 2. **Частица во внешнем поле.**

Тема 5. Движение в центрально-симметричном поле. Движение в кулоновском поле ядра. Рассеяние в центрально-симметричном поле.

Тема 6. Движение спина во внешнем поле. Рассеяние нейтронов в электрическом поле.

Тема 7. Операторы полей и их представления. Фотонный пропогатор. Электронный пропогатор.

Тема 8. Уравнение Дайсона. Тождество Уорда. Электронный пропогатор во внешнем поле.

4.3.2. Содержание лабораторно-практических занятий по дисциплине.

Модуль 1. Бозоны и фермионы.		
Название темы	***Содержание темы***	***Объем в часах***
Квантование свободного электромагнитного поля	Колибровочная инвариантность. Электромагнитное поле в квантовой теории.	2
Момент импульса и четность фотона.	Написать матрицу плотности фотона с циркулярными осями координат.	2
Четырехмерные спиноры.	Спиноры и их представление. Показать соответствие между спинорами четного ранга и 4-тензорами.	1
Уравнение Дирака в спинорном представлении.	Симметричная форма уравнения Дирака. Алгебра матриц Дирака. Найти лагранжиан спинового поля.	***1***
	Модуль 2. **Частица во внешнем поле.**	
Тонкая структура уравней атома	Определить изменение направления поляризации частицы при движении в плоскости	***1***

водорода. Частица в поле	перпендикулярной магнитному полю.	
Движение в центрально-симметричном поле.	Рассмотреть в качестве примера движение частицы в поле ядра и определить расстояние в таком поле.	***1***
Движение спина во внешнем поле	Определить направление поляризации частицы при движении вдоль направления магнитного и электрического полей.	***1***
Операторы полей и их представления.	Рассмотреть фотонный и электронный пропогаторы. Разобраться с инвариантной теорией возмущений и общими правилами диаграммной техники. Рассмотреть электронный пропогатор во внешнем электронном поле и аналитические свойства фотонного пропогатора	***1***

5. Образовательные технологии

В течение семестра студенты посещают лекции, решают задачи, указанные преподавателем, к каждому семинару. В семестре проводятся контрольные работы (на семинарах). Аттестация проводится после решения всех задач контрольных работ, выполнения домашних и самостоятельных работ.

При проведении занятий используются компьютерные классы, оснащенные современной компьютерной техникой. При изложении теоретического материала используется лекционный зал, оснащенный мультимедиа проекционным оборудованием и интерактивной доской.

Обучающие и контролирующие модули внедрены в учебный процесс и размещены на Образовательном сервере Даггосуниверситета (http://edu.icc.dgu.ru), к которым студенты имеют свободный доступ.

В рамках учебного процесса предусмотрено приглашение для чтения лекций ведущих ученых из центральных вузов и академических институтов России.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студентов:

- проработка учебного материала (по конспектам лекций учебной и научной литературе) и подготовка докладов на семинарах и практических занятиях;

- поиск и обзор научных публикаций и электронных источников по тематике дисциплины;
- выполнение курсовых работ (проектов);
- работа с вопросами для самопроверки.

Виды и содержание самостоятельной работы
1. Квантование свободного поля.
2. Колибровочная инвариантность.
3. Четырехмерные спиноры и их свойства.
4. Уравнение Дирака в спинорном представлении, алгебра матрицы Дирака.
5. Плоские и сферические волны.
6. Волновые функции для частиц со спином, равным нулю.
7. Уравнение Дирака для частиц во внешнем поле.
8. Движение спина во внешнем поле.
9. Рассеяние частиц в центрально-симметричном поле.
10. Движение в кулоновском поле.
11. Тонкая структура уровней энергии.
12. Матрицы Дирака.
13. Инверсия спиноров.

Результаты самостоятельной работы учитываются при аттестации магистранта (зачет). При этом проводятся: опрос на практических занятиях, проверка контрольных работ и т.д.

Студентам представляется раздаточный материал: методическое пособие и литература.

7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

Перечень компетенций с указанием этапов их формирования приведен в описании образовательной программы.

Код и наименование компетенции из ФГОС ВО	**Наименование компетенции из ФГОС ВО**	**Планируемые результаты обучения**	**Процедура освоения**
ОК-3	готовность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала	Знает: • лекционный материал преподаваемый на аудиторных занятиях, а также материал задаваемый на самостоятельное изучение. Умеет: • самостоятельно анализировать учебный материал, составлять опорные конспекты, ориентироваться в многообразии учебной литературы, применять полученные знания к конкретным задачам на занятиях. Владеет: • методами обработки получаемых знаний, её систематизации для быстрого и успешного освоения учебного материала.	Устный опрос
ОПК-6	способность использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе	Знает: • основные понятия и законы квантовой механики и статистической физики применительно к системам многих частиц. Физическую картину квазичастиц и модели квантово-статистического описания системы из многих частиц. • понимать те методы квантовой теории системы многих частиц, которые применяются в специальных дисциплинах; порядок применения теоретического аппарата квантовой статистики в важнейших практических приложениях. Умеет: • применять полученные знания для решения конкретных задач квантовой электродинамики, квантовой статистики, физической кинетики, квантовой теории поля и специальных дисциплинах теоретической физики; • интерпретировать явления при помощи соответствующего теоретического аппарата; • пользоваться определениями и понятийным аппаратом квантовой электродинамики для правильного истолкования их смысла; • пользоваться справочной литературой. Владеет: полным понятийным аппаратом и теоретическими методами квантовой электродинамики для решения профессиональных задач.	Устный опрос, письменный опрос, разноуровневые задачи и задания.
ПК-2	способность	Знает:	Устный

	свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности	• основные модели квантово-статистических явлений, идеологию моделирования квантовых систем многих частиц и принципы построения математических моделей данных систем. Умеет: • пользоваться терминологией характерной для различных разделов квантовой электродинамики; • строить различные модели используя известные правила и методики приближений в квантовой статистике и решать конкретные практические задачи по квантовой электродинамике. Владеет: • различными методами расчета при решении конкретных задач в квантовой электродинамике.	опрос, письменный опрос, разноуровневые задачи и задания, доклад.
ПК-3	способность принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности	Знает: • методы и приемы решения задач; • методы исследования в квантовой электродинамике, расчета, исходя из поставленной задачи. Умеет: • пользоваться при аналитическом и численном исследованиях квантово- механических моделей многих тел возможностями современных компьютеров и информационных технологий; • использовать справочную литературу и стандарты; • выбирать соответствующие методы математического моделирования при построении квантово-статистических моделей; • уметь применять аналитические методы квантовой статистики к конкретным моделям; • правильно интерпретировать полученные результаты и находить в них физическое обоснование. Владеет: • методами расчёта в квантовой электродинамике.	Устный опрос, письменный опрос.

7.2. Типовые контрольные задания

7.2.1.Перечень примерных контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы

1. Квантование свободного поля.
2. Колибровочная инвариантность.
3. Четырехмерные спиноры и их свойства.

4. Уравнение Дирака в спинорном представлении, алгебра матрицы Дирака.
5. Плоские и сферические волны.
6. Волновые функции для частиц со спином, равным нулю.
7. Уравнение Дирака для частиц во внешнем поле.
8. Движение спина во внешнем поле.
9. Рассеяние частиц в центрально-симметричном поле.
10. Движение в кулоновском поле.
11. Тонкая структура уровней энергии.
12. Матрицы Дирака.
13. Инверсия спиноров.
14. Операторы полей в представлении Гейзенберга.
15. Уравнение Дайсона и Уорта.
16. Интегралы Феймана.
17. Электронный пропогатор во внешнем поле.
18. Свойства фотонного пропогатора.
19. Рассеяние электронов адронами.

7.1.2.Перечень вопросов к зачету.

1. Электромагнитное поле в квантовой теории.
2. Фермионы и бозоны и их особенности.
3. Спиральное состояние частицы.
4. Четырехмерные спиноры и их особенности.
5. Уравнение Дирака в спинорном представлении.
6. Поляризационная матрица плотности.
7. Уравнение Дирака для частицы во внешнем поле.
8. Движение спина во внешнем поле.
9. Диаграммная техника.
10. Электронный пропогатор.
11. Уравнение Дайсона и тождество Уорда.

20. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Общий результат выводится как интегральная оценка, складывающая из текущего контроля - 50% и промежуточного контроля - 50%.

Текущий контроль по дисциплине включает:

Лабораторные занятия

- посещение занятий и наличие конспекта – 15 баллов,
- получение допуска к выполнению работы – 20 баллов,
- выполнение работы и отчета к ней – 25 баллов,

- защита лабораторной работы – 40 баллов.

Промежуточный контроль по дисциплине включает:

- устный опрос – 60 баллов,
- письменная контрольная работа – 30 баллов,
- тестирование – 10 баллов.

8.Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.

а) основная литература:

1. Балашов В.В. Курс квантовой механики [Электронный ресурс] / В.В. Балашов, В.К. Долинов. — Электрон. текстовые данные. — Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2001. — 336 c. — 5-93972-077-3. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/16546.html(12.10.2018)
2. Толмачев В.В. Основы квантовой механики [Электронный ресурс]: Учебное пособие/ Толмачев В.В., Федотов А.А., Федотова С.В.— Электрон. текстовые данные.— Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2005.— 240 c.— Режим доступа: http://www.bibliocomplectator.ru/book/id=16586.— «БИБЛИОКОМПЛЕКТАТОР», http://www.iprbookshop.ru/16546.html (12.10.2018)
3. Борчердс Р.Е. Квантовая теория поля [Электронный ресурс] / Р.Е. Борчердс. — Электрон. текстовые данные. — Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2006. — 96 c. — 978-5-93972-627-6. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/16540.html (12.10.2018)
4. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Под ред. Л.П.Питаевского. Механика. — («Теоретическая физика», Т. I), М.: Физматлит, 4-е изд.,2007г.
5. Ландау, Л. Д., Лифшиц, Е. М. Квантовая механика (нерелятивистская теория). — («Теоретическая физика», Т. III) М.: Физматлит, 2008.

б) дополнительная литература:

1. Ли Р.Н. Квантовая теория рассеяния и излучения. Уч. пособие. Новосибирск, НГУ, 2012г.
2. Бирман М.Ш. Математическая теория рассеяния. Функция

спектрального сдвига. Избранные труды. 2010г.

9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

1. ЭБС IPRbooks: http://www.iprbookshop.ru/
   Лицензионный договор № 2693/17от 02.10.2017г. об оказании услуг по предоставлению доступа. Дост*уп открыт с с 02.10.2017 г. до 02.10.2018 по подписке(доступ будет продлен)*
2. Электронно-библиотечная сист*ема* «Университетская библиотека онлайн» www.biblioclub.ru договор № 55_02/16 от 30.03.2016 г. об оказании информационных услуг.(доступ продлен до сентября 2019 года).
3. Доступ к электронной библиотеки на http://elibrary.ru основании лицензионного соглашения между ФГБОУ ВПО ДГУ и «ООО» «Научная Электронная библиотека» от 15.10.2003. (Раз в 5 лет обновляется лицензионное соглашение)
4. Национальная электронная библиотека https://нэб.рф/. Договор №101/НЭБ/101/НЭБ/1597 от 1.08.2017г. Договор действует в течении 1 года с момента его подписания.
5. Федеральный портал «Российское образование» http://www.edu.ru/ (единое окно доступа к образовательным ресурсам).
6. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» http://school-collection.edu.ru/
7. Российский портал «Открытого образования» http://www.openet.edu.ru
8. Сайт образовательных ресурсов Даггосуниверситета http://edu.icc.dgu.ru
9. Информационные ресурсы научной библиотеки Даггосуниверситета http://elib.dgu.ru (доступ через платформу Научной электронной библиотеки elibrary.ru).
10. Федеральный центр образовательного законодательства http://www.lexed.ru
11. http://www.phys.msu.ru/rus/library/resources-online/ - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета МГУ.
12. http://www.phys.spbu.ru/library/ - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета Санкт-Петербургского госуниверситета.
13. **Springer.** Доступ ДГУ предоставлен согласно договору № 582-13SP подписанный Министерством образования и науки предоставлен по

контракту 2017-2018 г.г., подписанный ГПНТБ с организациями-победителями конкурса. http://link.springer.com. Доступ предоставлен на неограниченный срок

3. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

Перечень учебно-методических материалов, предоставляемых студентам во время занятий:

- рабочие тетради студентов;
- наглядные пособия;
- словарь терминов;
- тезисы лекций,
- раздаточный материал по тематике лекций.

Оптимальным путем освоения дисциплины является посещение всех лекций и семинаров, выполнение предлагаемых заданий в виде задач, тестов и устных вопросов.

На лекциях рекомендуется деятельность студента в форме активного слушания, т.е. предполагается возможность задавать вопросы на уточнение понимания темы и рекомендуется конспектирование лекции. На семинарских занятиях деятельность студента заключается в активном обсуждении задач, решенных другими студентами, решении задач самостоятельно, выполнении контрольных заданий. В случае, если студентом пропущено лекционное или семинарское занятие, он может освоить пропущенную тему самостоятельно с опорой на план занятия, рекомендуемую литературу и консультативные рекомендации преподавателя.

В целом рекомендуется регулярно посещать занятия и выполнять текущие задания, что обеспечит достаточный уровень готовности к сдаче зачета.

4. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.

1. Ресурсы Российской электронной библиотеки www.elibrary.ru;
2. Электронные ресурсы Издательства «Лань» http://e.lanbook.com/ http://physweb.ru/db/section/e190500000;

3. Информационные материалы, компьютерное оборудование, имеющиеся на кафедре теоретической и математической физики ДГУ.

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

Лекционные и практические занятия проводятся в аудиториях факультета.

Технические средства обучения, используемые в учебном процессе для освоения дисциплины:

1. компьютерное оборудование, которое используется в ходе изложения лекционного материала;
2. пакет плакатов и графиков, используемых в ходе текущей работы, а также для промежуточного и итогового контроля;
3. электронная библиотека курса и Интернет-ресурсы – для самостоятельной работы.