

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
ТАДЖИКИСТАН
МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКО-ТАДЖИКСКИЙ (СЛАВЯНСКИЙ) УНИВЕРСИТЕТ»**



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
«Квантовая электродинамика»
Направление подготовки - 03.03.02 «Физика»
Профиль подготовки «Общая физика»
Форма подготовки - очная
Уровень подготовки - бакалавриат

Душанбе - 2025

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования РФ №891 от 07.08.2020 г.

При разработке рабочей программы учитываются

- требования работодателей, профессиональных стандартов по направлению;
- содержание программ дисциплин, изучаемых на предыдущих и последующих этапах обучения;
- новейшие достижения в данной предметной области.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры математики и физики, протокол № 1 от «28» августа 2025 г.

Рабочая программа утверждена УМС естественнонаучного факультета, протокол № 1 от «28» августа 2025 г.

Рабочая программа утверждена Ученым советом естественнонаучного факультета, протокол № 1 от «29» августа 2025 г.

Заведующий кафедрой,
к.ф.-м.н., доцент
Зам. председателя УМС
факультета, ст.
преподаватель
Разработчик, к.ф.-м.н.,
доцент

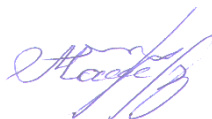


Гулбоев Б.Дж.

Мирзокаримов О.А.

Насруллоев Х.

Разработчик от
организации, к.ф.-м.н.,
зам. директора Физико-
технического института
им. С.У. Умарова НАН
Таджикистана



Махмадбегов Р.С.

Расписание занятий дисциплины

Таблица 1

Ф.И.О. преподавателя	Аудиторные занятия			Приём СРС	Место работы преподавателя
	лекция	Практические занятия (КСР, лаб.)	Лабораторная занятия		
Насруллоев Х.					ЕНФ, РТСУ

1. ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И ТРЕБОВАНИИ К ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели изучения дисциплины

Целями изучения и освоения дисциплины «Квантовая электродинамика» является приобретение обучающимися знаний, умений и навыков в области релятивистской квантовой механики, формирование у студентов теоретических знаний и практических навыков в области взаимодействия заряженных частиц с электромагнитным полем с учетом релятивистских и квантовых эффектов. Для освоения учебной дисциплины «Квантовая электродинамика» требуется знание математического анализа, линейной алгебры, общей физики, теоретической механики, квантовой механики, классической электродинамики, специальной теории относительности, а также полезно знание статистической физики. В рамках курса подробно рассматриваются уравнения для частиц со спином 0 и $\frac{1}{2}$. Анализируется уравнение Дирака с учетом взаимодействия частиц. Особое внимание уделяется релятивистской теории рассеяния. Курс насыщен большим количеством примеров из разных разделов физики, иллюстрирующих эффекты, которые предсказывает квантовая электродинамика.

1.2. Задачи изучения дисциплины

Основная задача курса – сформировать необходимый теоретический фундамент для возможности работы с классической и квантовой теорией поля, физикой элементарных частиц, квантовой физике и другими науками, которые опираются на квантовую электродинамику. Таким образом, для достижения поставленной цели осуществляется путем решения следующих основных задач: ознакомление студентов с основными понятиями, законами квантовой электродинамики, т.е. овладение понятиями и определениями изложенными в данном курсе; умение изучать и анализировать природу микромира; изучение способов квантовой электродинамики, необходимых для исследования теоретических вопросов квантовой физики.

1.3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины «Квантовая электродинамика» направлен на формирование следующих общекультурных и профессиональных компетенций, необходимых для осуществления профессиональной деятельности:

Таблица 2

Коды компетенции	Содержание компетенций	Перечень результатов обучения по дисциплине	Вид оценочного средства
ПК-2	Способностью проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью	ИПК 2.1. Знает: - основных методов теоретической и экспериментальной физики, экспериментальные основы научных приборов и методика проведения современного научного эксперимента в различных областях физики. - современные методы измерений и	Дискуссия Устный опрос

	современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	способы проведения эксперимента по определению основных физических величин во всех разделах физики, такие как оптика и спектроскопия, физика твердого тела, ядерной физики и т.д. - основные достижения, современные тенденции и современную экспериментальную базу в области физики. ИПК 2.2. Умеет: - проводить измерения физических характеристик объектов и осуществлять приготовление образцов и подготовку приборов для проведения измерений. - обрабатывать полученные экспериментальные данные и проводить необходимые математические преобразования физических проблем, а также делать оценки по порядку величины. ИПК 2.3. Владеет: - навыками работы с современными экспериментальными научными приборами и компьютерного управления современными экспериментальными установками с использованием специального программного обеспечения; - компьютерной обработки полученных экспериментальных данных и использования электронно-вычислительной техники для расчетов и презентации полученных научных результатов. - грамотного использования физического научного языка для оформления ВКР, проектов и т.п.	Коллоквиум
--	---	---	------------

2.МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Квантовая электродинамика», относится к первому блоку вариативной части профессионального цикла Б1.В.ДВ.05.01 учебного плана, изучается в 8 семестре. При освоении данной дисциплины необходимы умения и готовность («входные» знания) обучающегося по дисциплине физики и математики из 1-3 курсов.

№	Название дисциплины	Семестр	Место дисциплины в структуре ООП
1.	Механика	1	Б.1 О.23
2.	Молекулярная физика	2	Б.1 О.26
3.	Электричество и магнетизм	3	Б.1 В.10
4.	Атомная и ядерная физика	5	Б.1 В.12
5.	Электродинамика	5-6	Б1.О.27

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ КУРСА, КРИТЕРИИ НАЧИСЛЕНИЯ БАЛЛОВ

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часа, из которых: лекции – 12 часов, практические занятия – 12 часов, КСР – 12 часов, самостоятельная работа – 18 часов, конт. – 54 час., интерактивный - 16 часов, всего часов аудиторной нагрузки – 36 часов. Форма контроля - экзамен.

3.1. Структура и содержание теоретической части курса

Тема 1. Фотон и бозоны – 2 часа.

(Введение. Соотношения неопределенности в релятивистской области.

Квантование свободного электромагнитного поля. Фотоны. Калибровочная инвариантность. Электромагнитное поле в квантовой теории. Момент и четность фотона. Сферические волны фотонов. Поляризация фотона. Система двух фотонов. Волновое уравнение для частиц со спином. Частицы и античастицы. Истинно нейтральные частицы. Преобразования C , P , T . Волновое уравнение для частицы со спином 1.)

Тема 2. Фермионы. – 2 часа.

(Четырехмерные спиноры. Связь спиноров с 4-векторами. Инверсия спиноров. Уравнение Дирака в спинорном представлении. Симметричная форма уравнения Дирака. Алгебра матриц Дирака. Плоские волны. Сферические волны. Связь спина со статистикой. Зарядовое сопряжение и обращение спиноров по времени. Внутренняя симметрия частиц и античастиц. Билинейные формы. Поляризационная матрица плотности. Нейтрино.)

Тема 3. Частица во внешнем поле. – 2 часа.

(Уравнение Дирака для электрона во внешнем поле. Разложение по степеням $1/\alpha$. Тонкая структура уровней атома водорода. Движение в центрально-симметричном поле. Движение в кулоновом поле. Рассеяние в центрально-симметричном поле. Рассеяние в ультрарелятивистском случае. Система волновых функций непрерывного спектра для рассеяния в кулоновом поле. Электрон в поле плоской электромагнитной волны. Движение, спина во внешнем поле.)

Тема 4. Излучение. – 2 часа.

(Оператор электромагнитного взаимодействия. Испускание и поглощение. Дипольное излучение. Электрическое мультипольное излучение. Магнитное мультипольное излучение. Угловое распределение и поляризация излучения. Излучение атомов. Электрический тип. Излучение атомов. Магнитный тип. Излучение атомов. Эффекты Зеемана и Штарка. Излучение атомов. Атом водорода. Излучение двухатомных молекул. Электронные спектры. Излучение двухатомных молекул. Колебательный и вращательный спектры. Фотоэффект. Нерелятивистский случай. Фотоэффект. Релятивистский случай. Фоторасщепление дейтрона.)

Тема 5. Рассеяние света. Матрица рассеяния. Инвариантная теория возмущений – 2 часа.

(Тензор рассеяния. Рассеяние свободно ориентируемыми системами. Рассеяние на молекулах. Естественная ширина спектральных линий. Матрица рассеяния. Амплитуда рассеяния. Реакции с поляризованными частицами. Кинематические инварианты.

Физические области. Разложение по парциальным амплитудам. Инвариантные амплитуды. Условие унитарности. Инвариантная теория возмущений. Хронологическое произведение. Диаграммы Фейнмана для рассеяния электронов. Диаграммы Фейнмана для рассеяния фотона. Электронный пропагатор. Фотонный пропагатор. Общие правила диаграммной техники. Перекрестная инвариантность.)

Тема 6. Взаимодействие электронов. – 2 часа.

(Рассеяние электрона во внешнем поле. Рассеяние электронов и позитронов на электроне. Ионизационные потери быстрых частиц. Уравнение Брейта. Позитроний. Взаимодействие атомов на далеких расстояниях. Взаимодействие электронов с фотонами. Рассеяние фотона электроном. Рассеяние фотона электроном. Поляризационные эффекты. Двухфотонная аннигиляция электронной пары. Аннигиляция позитрония. Магнитотормозное излучение. Образование пар фотоном в магнитном поле. Тормозное излучение электрона на ядре. Нерелятивистский случай. Тормозное излучение электрона на ядре. Релятивистский случай. Образование пар фотоном в поле ядра. Точная теория рождения пар в ультрарелятивистском случае. Точная теория тормозного излучения в ультрарелятивистском случае. Тормозное излучение электрона на электроне в ультрарелятивистском случае. Излучение мягких фотонов при столкновениях. Метод эквивалентных фотонов. Образование пар при столкновениях частиц. Излучение фотона электроном в поле интенсивной электромагнитной волны.)

Итого 12ч

3.2. Структура и содержание практической части курса

Цель практических занятий – способствовать лучшему усвоению и закреплению теоретических знаний, полученных из лекционного курса и изучения литературы.

Практические занятия состоят из трех частей - вводной, основной и заключительной.

Вводная часть занятия содержит формулировку его цели, ответы на вопросы студентов по домашнему заданию, контроль его выполнения в любой форме и обсуждение понятий, утверждений и методов, знание которых необходимо для продуктивной работы на занятии.

Основная часть занятия включает в себя обсуждение типовых задач по теме занятия, методов и их решения, а также самостоятельное решение задач под руководством и при необходимой помощи преподавателя. В основную часть занятия входит также обучение студентов умению проверять, анализировать и интерпретировать полученные результаты.

Заключительная часть занятия содержит анализ тех знаний и умений, которые осваивались на занятии и должны быть закреплены при выполнении домашнего задания. Полезно также обсудить, при изучении, каких разделов данного курса и других дисциплин эти знания и умения будут необходимы. Выдача заданий для самостоятельной работы студентов и подробные рекомендации по его выполнению.

Занятие 1. Решение задач и обсуждение тем о фотон и бозоны. – 2 часа.

Занятие 2. Решение задач и обсуждение тем о фермионы. – 2 часа.

Занятие 3. Решение задач и обсуждение тем о частица во внешнем поле. – 2 часа.

Занятие 4. Решение задач и обсуждение тем о излучение.– 2 часа.

Занятие 5. Решение задач и обсуждение тем о рассеяние света, матрица рассеяния и инвариантная теория возмущений. – 2 часа.

Занятие 6. Решение задач и обсуждение тем о взаимодействие электронов. – 2 часа.

Итого 12ч

3.3. Структура и содержание КСР

Занятие 1. Контроль самостоятельных работ на тему: Волновое уравнение для частиц с высшими целыми спинами. Спиральные состояния частицы. – 2 часа.

Занятие 2. Контроль самостоятельных работ на тему: Волновое уравнение для частицы со спином $3/2$. – 2 часа.

Занятие 3. Контроль самостоятельных работ на тему: Рассеяние нейтронов в электрическом поле. – 2 часа.

Занятие 4. Контроль самостоятельных работ на тему: Излучение ядер. – 2 часа.

Занятие 5. Контроль самостоятельных работ на тему: Резонансная флуоресценция. Симметрия спиральных амплитуд рассеяния. Контроль самостоятельных работ на тему: Виртуальные частицы. – 2 часа.

Занятие 6. Контроль самостоятельных работ на тему: Излучение фотона электроном в поле интенсивной электромагнитной волны. – 2 часа.

Итого 12ч

Таблица 4

№ п/п	Раздел дисциплины	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)					Лит- ра	Кол-во баллов в неделю
		Лек	Пр	Лаб	КСР	СРС		
1.	Фотон и бозоны.	2				2	1-5	12,5
2	Решение задач и обсуждение тем о фотон и бозоны		2				1-5	12,5
3	Волновое уравнение для частиц с высшими целыми спинами. Спиральные состояния частицы.				2	2	1-5	12,5
4	Фермионы.	2					1-5	12,5
5	Решение задач и обсуждение тем о фермионы.		2			2	1-5	12,5
6	Волновое уравнение для частицы со спином 3/2.				2		1-5	12,5
7	Частица во внешнем поле.	2				2	1-5	12,5
8	Решение задач и обсуждение тем о частица во внешнем поле.		2				1-5	12,5
9	Рассеяние нейтронов в электрическом поле.				2	2	1-5	12,5
10	Излучение.	2					1-5	12,5
11	Решение задач и обсуждение тем о излучение.		2			2	1-5	12,5
12	Излучение ядер.				2		1-5	12,5
13	Рассеяние света. Матрица рассеяния. Инвариантная теория возмущений	2				2	1-5	12,5
14	Решение задач и обсуждение тем о рассеяние света, матрица рассеяния и виртуальные частицы.		2				1-5	12,5
15	Резонансная флуоресценция.				2	2	1-5	12,5
16	Взаимодействие электронов.	2					1-5	12,5
17	Решение задач и обсуждение тем о взаимодействие электронов.		2			2	1-5	12,5
18	Излучение фотона электроном в поле интенсивной электромагнитной волны.				2		1-5	12,5

		12	12		12	18		200
--	--	----	----	--	----	----	--	-----

3.4. Формы контроля и критерии начисления баллов

Контроль усвоения студентом каждой темы осуществляется в рамках балльно-рейтинговой системы (БРС), включающей текущий, рубежный и итоговый контроль. Студенты обучающиеся по кредитно-рейтинговой системе обучения, могут получить максимально возможное количество баллов - 300. Из них на текущий и рубежный контроль выделяется 200 баллов или 49% от общего количества.

На итоговый контроль знаний студентов выделяется 51% или 100 баллов.

Порядок выставления баллов: 1-й рейтинг (1-7 недели до 12,5 баллов+12,5 баллов (8 неделя – Рубежный контроль №1) = 100 баллов), 2-й рейтинг (9-15 недели до 12,5 баллов+12,5 баллов (16 неделя – Рубежный контроль №2) = 100 баллов), итоговый контроль 100 баллов.

К примеру, за текущий и 1-й рубежный контроль выставляется 100 баллов: лекционные занятия – 21 балл, за практические занятия (КСР, лабораторные) – 31,5 балл, за СРС – 17,5 баллов, требования ВУЗа – 17,5 баллов, рубежный контроль – 12,5 баллов.

В случае пропуска студентом занятий по уважительной причине (при наличии подтверждающего документа) в период академической недели деканат факультета обращается к проректору по учебной работе с представлением об отработке студентом баллов за пропущенные дни по каждой отдельной дисциплине с последующим внесением их в электронный журнал.

Итоговая форма контроля по дисциплине (зачет) проводится как в форме тестирования, так и в традиционной (устной) форме. Тестовая форма итогового контроля по дисциплине предусматривает: для естественнонаучных направлений – 10 тестовых вопросов на одного студента, где правильный ответ оценивается в 10 баллов. Тестирование проводится в электронном виде, устный экзамен на бумажном носителе с выставлением оценки в ведомости по аналогичной системе с тестированием.

Критерии оценивания

таблица 5

Неделя	Активное участие на лекционных занятиях, написание конспекта и выполнение других видов работ*	Активное участие на практических (семинарских) занятиях, КСР	СРС Написание реферата, доклада, эссе Выполнение других видов работ	Выполнение положения высшей школы (установленная форма одежды, наличие рабочей папки, а также других пунктов устава высшей школы)	Всего
1	2	3	4	5	7

1	3	4	3	2,5	12,5
2	3	4	3	2,5	12,5
3	3	4	3	2,5	12,5
4	3	4	3	2,5	12,5
5	3	4	3	2,5	12,5
6	3	4	3	2,5	12,5
7	3	4	3	2,5	12,5
8	3	4	3	2,5	12,5
Первый рейтинг	24	32	24	20	100
1	3	4	3	2,5	12,5
2	3	4	3	2,5	12,5
3	3	4	3	2,5	12,5
4	3	4	3	2,5	12,5
5	3	4	3	2,5	12,5
6	3	4	3	2,5	12,5
7	3	4	3	2,5	12,5
8	3	4	3	2,5	12,5
Второй рейтинг	24	32	24	20	100
Итого	48	64	48	40	200

Формула вычисления результатов дистанционного контроля и итоговой формы контроля по дисциплине за семестр

$$ИБ = \left[\frac{(P_1 + P_2)}{2} \right] \cdot 0,49 + Эи \cdot 0,51$$

, где ИБ – итоговый балл, P_1 - итоги первого рейтинга, P_2 - итоги второго рейтинга, $Эи$ – результаты итоговой формы контроля (зачет).

4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Самостоятельная работа позволяет оптимально сочетать теоретическую и практическую составляющие обучения. При этом обеспечивается упорядочивание теоретических знаний, что в конечном счёте, приводит к повышению мотивации обучающихся в их освоении. Самостоятельная работа планируется и организуется с целью углубления и расширения теоретических знаний, формирования самостоятельного логического мышления. Организация этой работы позволяет оперативно обновлять содержание образования, создавая предпосылки для формирования базовых (ключевых) компетенций категории интеллектуальных (аналитических) и обеспечивая, таким образом, качество подготовки специалистов на конкурентоспособном уровне. Из всех ключевых компетенций, которые формируются в процессе выполнения самостоятельных работ, следует выделить следующие: умение учиться, умение осуществлять поиск и интерпретировать информацию, повышение ответственности за собственное обучение.

Самостоятельная работа студентов проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать справочную и специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности студентов;
- творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;

–формирования самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;

–развития исследовательских умений.

По дисциплине «Квантовой физики» используется два вида самостоятельной работы:

–аудиторная;

–внеаудиторная.

К основным аудиторным видам относятся:

–активная работа на лекциях

–активная работа на практических занятиях

–контрольно-обучающие программы тестирования (КОПТ).

–выполнение контрольных работ.

Внеаудиторная работа проводится в следующих видах:

–проработка лекционного материала,

–подготовка к практическим занятиям,

–подготовка к аудиторным контрольным работам,

–выполнение ИДЗ,

–подготовка к защите ИДЗ,

–подготовка к зачету, экзамену.

Таблица 6

№ п/п	Объем СРС в ч.	Тема самостоятельной работы	Форма и вид СРС	Форма контроля
1	9	Фотон. Введение. Соотношения неопределенности в релятивистской области. Квантование свободного электромагнитного поля. Фотоны. Калибровочная инвариантность. Электромагнитное поле в квантовой теории. Момент и четность фотона. Сферические волны фотонов. Поляризация фотона. Система двух фотонов. Бозоны. Волновое уравнение для частиц со спином. Частицы и античастицы. Истинно нейтральные частицы. Преобразования C , P , T . Волновое уравнение для частицы со спином 1. Волновое уравнение для частиц с высшими целыми спинами. Спиральные состояния частицы. Решение задач.	Письменное решение упражнений и задач (индивидуальные домашние задание)	Защита работы
2	9	Фермионы. Четырехмерные спиноры. Связь спиноров с 4-векторами. Инверсия спиноров. Уравнение Дирака в спинорном представлении. Симметричная форма уравнения Дирака. Алгебра матриц Дирака. Плоские волны. Сферические волны. Связь спина со статистикой. Зарядовое сопряжение и обращение спиноров по времени. Внутренняя симметрия частиц и античастиц. Билинейные формы. Поляризационная матрица плотности. Нейтрино. Волновое уравнение для частицы со спином 3/2. Решение задач.	Письменное решение упражнений и задач (индивидуальные домашние задание)	Защита работы

3	9	Частица во внешнем поле. Уравнение Дирака для электрона во внешнем поле. Разложение по степеням $1/\alpha$. Тонкая структура уровней атома водорода. Движение в центрально-симметричном поле. Движение в кулоновом поле. Рассеяние в центрально-симметричном поле. Рассеяние в ультрарелятивистском случае. Система волновых функций непрерывного спектра для рассеяния в кулоновском поле. Электрон в поле плоской электромагнитной волны. Движение, спина во внешнем поле. Рассеяние нейтронов в электрическом поле. Решение задач.	Письменное решение упражнений и задач (индивидуальные домашние задание)	Защита работы
4	9	Излучение. Оператор электромагнитного взаимодействия. Испускание и поглощение. Дипольное излучение. Электрическое мультипольное излучение. Магнитное мультипольное излучение. Угловое распределение и поляризация излучения. Излучение атомов. Электрический тип. Излучение атомов. Магнитный тип. Излучение атомов. Эффекты Зеемана и Штарка. Излучение атомов. Атом водорода. Излучение двухатомных молекул. Электронные спектры. Излучение двухатомных молекул. Колебательный и вращательный спектры. Излучение ядер. Фотоэффект. Нерелятивистский случай. Фотоэффект. Релятивистский случай. Фоторасщепление дейтрона. Решение задач.	Письменное решение упражнений и задач (индивидуальные домашние задание)	Защита работы
5	9	Рассеяние света. Тензор рассеяния. Рассеяние свободно ориентирующимися системами. Рассеяние на молекулах. Естественная ширина спектральных линий. Резонансная флуоресценция. Решение задач.	Письменное решение упражнений и задач	Защита работы
6	9	Матрица рассеяния. Амплитуда рассеяния. Реакции с поляризованными частицами. Кинематические инварианты. Физические области. Разложение по парциальным амплитудам. Симметрия спиральных амплитуд рассеяния. Инвариантные амплитуды. Условие унитарности. Решение задач.	индивидуальные домашние задание	Защита работы
7	9	Инвариантная теория возмущений. Хронологическое произведение. Диаграммы Фейнмана для рассеяния электронов. Диаграммы Фейнмана для рассеяния фотона. Электронный пропагатор. Фотонный пропагатор. Общие правила диаграммной техники.	Письменное решение упражнений и задач (индивидуальные домашние задание)	Защита работы

		Перекрестная инвариантность. Виртуальные частицы. Решение задач.		
8	9	Взаимодействие электронов. Рассеяние электрона во внешнем поле. Рассеяние электронов и позитронов на электроне. Ионизационные потери быстрых частиц. Уравнение Брейта. Позитроний. Взаимодействие атомов на далеких расстояниях. Взаимодействие электронов с фотонами. Рассеяние фотона электроном. Рассеяние фотона электроном. Поляризационные эффекты. Двухфотонная аннигиляция электронной пары. Аннигиляция позитрония. Магнитотормозное излучение. Образование пар фотоном в магнитном поле. Тормозное излучение электрона на ядре. Нерелятивистский случай. Тормозное излучение электрона на ядре. Релятивистский случай. Образование пар фотоном в поле ядра. Точная теория рождения пар в ультрарелятивистском случае. Точная теория тормозного излучения в ультрарелятивистском случае. Тормозное излучение электрона на электроне в ультрарелятивистском случае. Излучение мягких фотонов при столкновениях. Метод эквивалентных фотонов. Образование пар при столкновениях частиц. Излучение фотона электроном в поле интенсивной электромагнитной волны. Решение задач.	Письменное решение упражнений и задач (индивидуальные домашние задание)	Защита работы
Итого 72ч				

5. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Основная литература:

1. Вергелес, С. Н. Теоретическая физика. Квантовая электродинамика [Электронный ресурс]: учебник для бакалавриата и магистратуры / С. Н. Вергелес. — 4-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 262 с. <https://biblio-online.ru>
2. Вергелес, С. Н. Теоретическая физика. Общая теория относительности [Электронный ресурс]: учебник для бакалавриата и магистратуры / С. Н. Вергелес. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 190 с. . <https://biblio-online.ru>
3. Дадаматов, Х. Д. Физика [Текст] : учеб. пособие. Т.3 . Механика, Молекулярная физика, Электричества, Магнетизм, Оптика, Атом и ядра. / Х. Д. Дадаматов, А. Тоиров ; ред. Ю. Хасанов ; Рос. - Тадж. (славян.) ун-т. - Душанбе : Илм, 2016. – 248 с.
4. Гладков, С. О. Теоретическая и математическая физика. Сборник задач в 2 ч. Часть 1 [Электронный ресурс]: учебное пособие для академического бакалавриата / С. О. Гладков. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 241 с.. <https://biblio-online.ru>

5. Никеров, В. А. Физика [Электронный ресурс]: учебник и практикум для академического бакалавриата / В. А. Никеров. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 415 с..
<https://biblio-online.ru>

5.2.Дополнительная литература:

1. [Вайнберг С. Квантовая теория поля. Том 1. Общая теория.](#) М.: Физматлит, 2003. -648с. - ISBN 5-9221-0403-9
2. Вайнберг С. Квантовая теория поля. Том 2. Современные приложения. М.: Физматлит, 2003. — 528с. — ISBN 5-9221-0404-7
3. [Ван дер Варден Б.Л. Алгебра.](#) М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1979. - 623с
4. Боголюбов Н.Н., Ширков Д.В. [Введение в теорию квантованных полей.](#)— 4-е изд. М.: Наука 1984. -600с
5. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. 6-е издание. М.: государственный центр «Академия», 2007. —720 с.

Интернет-ресурсы:

1. <https://biblio-online.ru>
2. <http://webmath.exponenta.ru>.
3. <https://urait.ru/viewer/teoreticheskaya-mehanika>

6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Рекомендуется следующим образом организовать время, необходимое для изучения дисциплины:

Работа с литературой — 3 час в неделю;

Подготовка к практическому занятию — 3 час;

Подготовка к экзамену — 4 часов;

Для понимания материала и качественного его усвоения рекомендуется следующая последовательность действий:

1. В течение недели выбрать время для работы с литературой по физике конденсированной сред.

2. При подготовке к практическим занятиям следующего дня, необходимо сначала прочитать основные понятия и теоремы по теме домашнего задания. При выполнении упражнения или задачи нужно сначала понять, что требуется в задаче, какой теоретический материал нужно использовать, наметить план решения задачи. Если это не дало результатов, и Вы сделали задачу «по образцу» аудиторной задачи, или из методического пособия, нужно после решения такой задачи обдумать ход решения и попробовать решить аналогичную задачу самостоятельно.

Основная часть теоретического материала курса дается в ходе практических занятий, хотя часть материала может изучаться и самостоятельно по учебной литературе.

Рекомендуется использовать текст лекций преподавателя (если он имеется), пользоваться рекомендациями по изучению дисциплины; использовать литературу, рекомендуемую составителями программы; использовать вопросы к зачету, примерные контрольные работы. Учесть требования, предъявляемые к студентам и критерии оценки знаний.

Учебно-методический комплекс (УМК) призван помочь студенту понять специфику изучаемого материала, а в конечном итоге – максимально полно и качественно его освоить.

В первую очередь студент должен осознать предназначение комплекса: его структуру, цели и задачи. Для этого он знакомится с преамбулой, оглавлением УМК, говоря иначе, осуществляет первичное знакомство с ним.

Далее студент внимательно прочитывает и осмысливает тот раздел, задания которого ему необходимо выполнить.

Выполнение *всех* заданий, определяемых содержанием курса, предполагает работу с научными исследованиями (монографиями и статьями). Перед работой с научными источниками студенту следует обратиться к основной учебной литературе – учебным пособиям и хрестоматиям. Это позволит ему сформировать общее представление о существе интересующего вопроса.

Системный подход к изучению предмета предусматривает не только тщательное чтение специальной литературы, но и обращение к дополнительным источникам – справочникам, энциклопедиям, словарям. Эти источники – важное подспорье в самостоятельной работе студента (СРС и НИРС), поскольку глубокое изучение именно их материалов позволит студенту уверенно «распознавать», а затем самостоятельно оперировать научными категориями и понятиями, следовательно – освоить новейшую научную терминологию. Такого рода *работа с литературой* обеспечивает решение студентом поставленной перед ним задачи (подготовка к практическому занятию, выполнение контрольной работы и т.д.).

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

При проведении занятий по дисциплине «Квантовая электродинамика» используются как классические формы и методы обучения (лекции, практические занятия), так и активные методы обучения (контрольно-обучающие программы тестирования по всем разделам изучаемого материала, работа с ЭУК при подготовке к занятиям, контрольным работам и рейтингового контроля.). Применение любой формы обучения предполагает также использование новейших ИТ-обучающих технологий.

При проведении лекционных занятий по дисциплине «Аналитическая геометрия» целесообразно использовать мультимедийное презентационное оборудование, чтобы сделать более наглядными и понятными доказательства теорем, методики и алгоритмы решения задач и примеров, иллюстрирующих теоретические выводы и их прикладную направленность. Преподаватель использует компьютерные и мультимедийные средства обучения (презентации, содержащиеся в ЭУК), а также наглядно-иллюстрационные (в том числе раздаточные) материалы.

В Университете созданы специальные условия обучающихся с ограниченными возможностями здоровья - специальные учебники, учебные пособия и дидактические материалы, специальные технические средства

обучения коллективного и индивидуального пользования, предоставление услуг ассистента (помощника), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь, проведение групповых и индивидуальных коррекционных занятий, обеспечение доступа в здания организаций и другие условия, без которых невозможно или затруднено освоение дисциплины обучающимися с ограниченными возможностями здоровья.

Обучающимся с ограниченными возможностями здоровья предоставляются бесплатно специальные учебники и учебные пособия, иная учебная литература, а также обеспечивается:

- наличие альтернативной версии официального сайта организации в сети "Интернет" для слабовидящих;
- присутствие ассистента, оказывающего обучающемуся необходимую помощь;
- обеспечение выпуска альтернативных форматов печатных материалов (крупный шрифт или аудиофайлы);
- возможность беспрепятственного доступа обучающихся в учебные помещения, столовые, туалетные и другие помещения организации, а также пребывания в указанных помещениях (наличие пандусов, поручней, расширенных дверных проёмов, лифтов).

8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Форма итоговой аттестации: 8 семестр – экзамен.

Итоговая система оценок по кредитно-рейтинговой системе с использованием буквенных символов

Оценка по буквенной системе	Диапазон соответствующих наборных баллов	Численное выражение оценочного балла	Оценка по традиционной системе
A	10	95-100	Отлично
A-	9	90-94	
B+	8	85-89	Хорошо
B	7	80-84	
B-	6	75-79	
C+	5	70-74	Удовлетворительно
C	4	65-69	
C-	3	60-64	
D+	2	55-59	
D	1	50-54	
Fx	0	45-49	Неудовлетворительно

Содержание текущего контроля, промежуточной аттестации, итогового контроля раскрываются в фонде оценочных средств, предназначенных для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям ФГОС ВО.

ФОС по дисциплине является логическим продолжением рабочей программы учебной дисциплины. ФОС по дисциплине прилагается.