

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 14.03.02 Ядерные физика и технологии

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
7	3	108	32	16	0		24	0	Э
Итого	3	108	32	16	0	0	24	0	

АННОТАЦИЯ

Цель курса – ознакомить студентов с релятивистским обобщением квантовой механики, изучить основные принципы построения релятивистски-инвариантных моделей, основанных на группах симметрии вращения, методам построения и расчета фейнмановских диаграмм, специальным методом устранения расходимостей. Данный курс рассчитан на студентов-экспериментаторов, специализирующихся в физике элементарных частиц.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель курса – ознакомить студентов с релятивистским обобщением квантовой механики, изучить основные принципы построения релятивистски-инвариантных моделей, основанных на группах симметрии вращения, методам построения и расчета фейнмановских диаграмм, специальным методом устранения расходимостей. Данный курс рассчитан на студентов-экспериментаторов, специализирующихся в физике элементарных частиц.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Знания, полученные при изучении курса необходимы для освоения многих специализированных дисциплин по теоретической физике, изучаемых студентами старших курсов, таких как теория элементарных частиц, общая теория относительности, релятивистская астрофизика и космология.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
Получение новых знаний в области физики элементарных частиц и космологии, описание явлений в данной области. Участие в решении	Элементарные частицы, детекторы элементарных частиц, ускорители элементарных частиц (Большой Адронный Коллайдер и др.),	ПК-1 [1] - Способен использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике	3-ПК-1[1] - знать отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные

задач по физике элементарных частиц и космологии.	нейтрино, экзотические ядра, кварк-глюонная материя, скрытая масса и темная энергия, гравитация с многомерными обобщениями, и космология.	исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	технологии и информационные ресурсы в своей предметной области, ; У-ПК-1[1] - уметь использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области; В-ПК-1[1] - владеть современными компьютерными технологиями и методами использования информационных ресурсов в своей предметной области
производственно-технологический			
участие в разработке способов проведения экспериментов по физике элементарных частиц; разработка методов регистрации элементарных частиц, основываясь на различных видах процессов взаимодействия элементарных частиц с веществом.	Разработка и совершенствование современных ускорительно-накопительных комплексов.	ПК-6 [1] - Способен к контролю соблюдения технологической дисциплины и обслуживания оборудования <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-6[1] - знать технические характеристики и принципы безопасного обслуживания технологического оборудования ; У-ПК-6[1] - уметь контролировать соблюдение технологической дисциплины и обслуживание оборудования; В-ПК-6[1] - владеть методами контроля, проверок и испытаний систем и навыками выявления неисправностей в работе оборудования

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (В18)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (В19)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для: - формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед; - формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары)/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>7 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	16/8/0		25	КИ-8	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6
2	Часть 2	9-16	16/8/0		25	КИ-16	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		32/16/0		50		
	Контрольные мероприятия за 7 Семестр				50	Э	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
--------	---------------------------	------------	----------------	------------

	<i>7 Семестр</i>	32	16	0
1-8	Часть 1	16	8	0
1 - 3	Инвариантная теория возмущений. Инвариантная теория возмущений. Вычисление S-матрицы в теории возмущений. Нормальные произведения операторов поля (N-произведения). Пропогаторы бозонных и спинорных полей в координатном и импульсном представлениях, их соотношения с причинными функциями Грина свободных полей. Пропогаторы электромагнитного поля в различных калибровках. Теорема Вика для связи T- и N-произведений произвольного числа операторов взаимодействующих полей. Графическое представление слагаемых в теореме Вика. Правила фейнмановской диаграммной техники. Вычисление сечений. Суммирование и усреднение по поляризациям фермионов и бозонов. Инвариантность матрицы рассеяния в квантовой электродинамике относительно зарядового сопряжения. Теорема Фарри для диаграмм с замкнутыми электронными петлями. Обобщение теоремы Фарри для других взаимодействий фермионов с бозонами.	Всего аудиторных часов		
		6	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
4 - 6	Взаимодействие фермионов с массивными бозонами. Взаимодействие фермионов с массивными бозонами. Диаграммы второго порядка теории возмущений и отвечающие им физические процессы. Рассеяние бозона на фермионе (второй порядок теории возмущений). Рассеяние фермион-фермион за счет однобозонного обмена в нерелятивистском приближении. Основные электродинамические явления. Рассеяние электрона в кулоновском поле (формула Мотта). Рассеяние фотона на свободном электроне (комpton-эффект). Двухфотонная аннигиляция позитрона и электрона (второй порядок теории возмущений). Позитроний. Зарядовая четность орто - и парапозитрония, запрет двухфотонной аннигиляции ортопозитрония, аннигиляционная ширина состояния $1S_0$ (парапозитрония). Тормозное излучение электрона в кулоновском поле.	Всего аудиторных часов		
		6	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	Инфракрасная расходимость. Инфракрасная расходимость. Излучение мягких (длинноволновых) фотонов (низкоэнергетическая теорема – факторизация сечений). Когерентные состояния и точная постановка задачи. Методы устранения инфракрасных расходимостей в когерентных расчетах.	Всего аудиторных часов		
		4	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	Часть 2	16	8	0
9 - 10	Ультрафиолетовые расходимости в квантовой теории поля. Ультрафиолетовые расходимости в квантовой теории поля. Индекс расходимости диаграмм в перенормируемых вариантах квантовой теории поля (безразмерные константы связи). Расходящиеся диаграммы. Примеры наблюдаемых поправок в квантовой электродинамике	Всего аудиторных часов		
		4	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

	(сдвиг уровней атомов – Лэмбовский сдвиг и аномальный магнитный момент электрона). Идеи перенормировки массы и заряда. Устранение расходимости из матрицы рассеяния. Регуляризация диаграмм.			
11	Уравнение Липпмана-Швингера для амплитуды рассеяния Суммирование нерелятивистских лестничных диаграмм и уравнение Липпмана-Швингера для амплитуды рассеяния.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
12 - 14	Компактные поляризационные и собственно энергетические диаграммы. Компактные поляризационные и собственно энергетические диаграммы. "Точные" пропэгаторы бозонных и фермионных полей. Перенормировочные факторы Z и Z_1 . Перенормировка массы и заряда. "Точные" вершины оператора. Теорема Уорда в квантовой электродинамике. Группа мультипликативных перенормировок. Группа масштабных преобразований (ренорм группа). Связь между зарядами в квантовой электродинамике при асимптотически больших импульсах обрезания.	Всего аудиторных часов		
		6	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
15 - 16	Процессы излучения фотонов локализованной системой заряженных частиц Процессы излучения фотонов локализованной системой заряженных частиц (атом, ядро). Состояние фотона с данным угловым моментом. Вывод выражения для вектор-потенциалов поля E_L и M_L . Правила отбора для излучения фотонов "электрического" E_L и "магнитного" M_L типов данной мультипольности. Полная вероятность излучения в длинноволновом приближении. Угловые распределения и поляризация излучения типа E_L и M_L .	Всего аудиторных часов		
		4	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В курсе используются традиционные образовательные технологии: лекции, семинарские занятия с разбором задач и примеров, текущие домашние задания и большие домашние задания.

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-1	З-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-6	З-ПК-6	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-6	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-6	Э, КИ-8, КИ-16

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные

			ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.
--	--	--	--

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Д 93 MATLAB 7.*/R2006/R2007: Самоучитель : , Дьяконов В. П., Москва: ДМК Пресс, 2009
2. ЭИ П 60 Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB : , Поршнева С. В., Санкт-Петербург: Лань, 2022
3. ЭИ К 73 Компьютерное моделирование физических процессов с использованием Matlab : учебное пособие для вузов, Коткин Г. Л., Москва: Юрайт, 2021
4. ЭИ Б 74 Общие принципы квантовой теории поля : учебное пособие, Логунов А. А. [и др.], Москва: Физматлит, 2006
5. 53 Л75 Сборник задач по квантовой электродинамике : учебное пособие для вузов, Никитин Ю.П., Ломоносова Т.А., Москва: НИЯУ МИФИ, 2010
6. ЭИ Т 33 Теоретическая физика Т. 4 Квантовая электродинамика, , : , 2020

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 53 В14 Квантовая теория поля Т.1 Общая теория, , Москва: Физматлит, 2003
2. 53 В14 Квантовая теория поля Т.2 Современные приложения, Вайнберг С., Москва: Физматлит, 2004
3. 53 Д14 Релятивистская квантовая механика : , Дайсон Ф., Москва. Ижевск: Институт компьютерных исследований. Регулярная и хаотическая динамика, 2009
4. 53 Л22 Теоретическая физика Т.4 Квантовая электродинамика, Ландау Л.Д., Москва: Физматлит, 2006

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Методические рекомендации по освоению теоретического материала

Для успешного изучения курса необходимо придерживаться определенной методики занятий. Основное условие успеха — систематические занятия.

Для успешного освоения теоретической части курса необходимо регулярно посещать лекции и вести конспект. После каждой лекции следует внимательно разбирать лекционный материал, причём при необходимости следует проделывать некоторые дополнительные выкладки, если такие были оставлены лектором для самостоятельной работы. Перед началом каждой лекции имеет смысл просмотреть конспект, чтобы усвоение нового материала проходило лучше, так как в большинстве случаев изложение опирается на материал, прочитанный на предыдущих занятиях.

Для полного освоения курса недостаточно изучать лишь лекционный материал. В ходе освоения курса следует читать книги, предложенные в списке литературы по курсу. Настоятельно рекомендуется также использовать литературу, обозначенную как «дополнительная», а также самостоятельно или с помощью преподавателя искать и другие источники. При работе с литературой следует проделывать все или хотя бы основные выкладки. Важно осознавать, что только самостоятельно проделанные выкладки приводят к пониманию материала.

Методические рекомендации для подготовки к семинарским занятиям и решению задач

Программа курса и семестровый календарный план составлены так, что темы семинарских занятий следуют за темами лекций. И программа курса, и семестровый календарный план доступны каждому студенту на сайте учебного управления университета. Подготовиться к очередному семинарскому занятию - это, прежде всего, проработать лекционный материал, согласно методическим рекомендациям. Все невыясненные вопросы теории можно (и нужно) задать преподавателю в начале семинарского занятия. На семинаре, как правило, разбираются вопросы и качественные задачи, дающие возможность более глубоко постичь изучаемый раздел курса. Кроме того, на семинаре учат правильно ставить и решать задачи, анализировать решение задач. По пройденной на семинаре теме даются задачи для самостоятельного (домашнего) решения. Усвоение курса во многом зависит от осмысленного выполнения домашнего задания, вдумчивого решения большого количества задач.

При решении задач целесообразно руководствоваться следующими правилами:

1. Прежде всего нужно хорошо вникнуть в условие задачи, записать кратко ее условие.
2. Следует прикинуть, какие основные законы и уравнения и в каких приближениях следует использовать и записать их, после чего попытаться решить.
3. Задача должна быть сначала решена в максимально общем виде.
4. Получив решение в общем виде, нужно проверить, правильную ли оно имеет размерность.
5. Если это возможно, исследовать поведение решения в предельных случаях и изобразить характер изучаемой зависимости графически.

6. Если возможно, при получении того или иного результата, следует указать границы его применимости.

Решение задачи принесет наибольшую пользу только в том случае, когда обучающийся решит ее самостоятельно. Решить задачу без помощи часто не всегда удастся, но тем не менее попытки найти решение развивают мышление и укрепляют волю. Необходимо понимать, что для некоторых задач не удастся быстро найти решение, ведь решение задач относится к научной деятельности, которая предполагает творческий подход и длительное время обдумывания.

Из сказанного вытекает, что решение задач ни в коем случае не следует откладывать на последний вечер перед занятиями, как, к сожалению, нередко поступают студенты. В этом случае более сложные и притом наиболее содержательные и полезные задачи заведомо не могут быть решены.

В рекомендуемых сборниках задач, в разделе, который следует за ответами, содержатся указания к решению более трудных задач. Обращаться к ним нужно лишь после того, как несколько попыток решить задачу не приведут к успеху.

Методические рекомендации для подготовки к контрольным и проверочным работам

Контрольные работы проводятся для проверки качества усвоения материала и выполнения домашних заданий студентами. Они основываются строго на пройденном материале и не выходят за рамки излагаемого курса. Своевременное изучение лекционных материалов и выполнение домашних заданий гарантирует успешное выполнение контрольных и проверочных работ. При подготовке следует руководствоваться общепринятыми установками, т.е. повторить изученный материал, запомнить основные идеи, принципы и результаты курса. Не следует пытаться «вызубрить» материал, достаточно понять и запомнить логику вывода тех или иных результатов и решения задач и осознать их физический и математический смысл. При выполнении контрольной или проверочной работы необходимо записывать все основные шаги при решении задачи, не «перескакивая» к какому-то промежуточному или окончательному результату без каких-либо на то физических или математических обоснований.

Работа должна быть записана так, чтобы была понятна логика решения задач, при этом строгих правил оформления задач нет. Окончательный ответ необходимо выделить каким-либо способом так, чтобы проверяющему было понятно, что это и есть ответ к задаче.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Проведение практических занятий и выполнение самостоятельных работ

Студенты должны, используя полученный на лекциях материал, научиться решать задачи по курсу.

Следует использовать различные приемы вовлечения студентов в процесс освоения учебного материала:

- опрос студентов по содержанию прочитанных лекций;
- вызов студентов к доске для решения текущих задач;
- самостоятельное решение задачи со сверкой промежуточных и конечного результатов решения;
- показ преподавателем на доске решения типовых задач;
- самостоятельная работа над заданиями.

Организация контроля

Контроль знаний осуществляется путем проведения контрольных или самостоятельных работ с последующей проверкой.

На каждом семинаре выдается домашнее задание, которое обязательно проверяется в индивидуальном порядке. Также в курсе может быть выдано т.н. большое домашнее задание. Большие домашние задания (БДЗ) предназначены для самостоятельной работы студентов с последующей проверкой преподавателем. Как правило, сдача БДЗ проходит в виде устной защиты в середине или в конце учебного семестра, но форма и время проверки может быть изменена на усмотрение преподавателя.

На основании этих результатов выставляется внутрисеместровый зачет.

Проведение зачетов и экзаменов

Для допуска к зачету или экзамену необходимо иметь положительные оценки по каждой теме. Во время зачета студент получает индивидуальный билет и готовит ответы на вопросы по курсу.

Автор(ы):

Хангулян Владимир Андроникович, к.ф.-м.н.,
доцент

Ломоносова Татьяна Александровна, к.ф.-м.н.,
доцент

Рецензент(ы):

С.В. Попруженко