

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

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И КОСМОФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ВВЕДЕНИЕ В КВАНТОВУЮ ТЕОРИЮ ПОЛЯ

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, экз./зач./КР/КП
7	2	72	16	16	0		13	0	Э
Итого	2	72	16	16	0	0	13	0	

АННОТАЦИЯ

С позиций современных теоретико-полевых методов излагается релятивистское обобщение квантовой механики. В частности, рассматриваются: основные представления современной теории фундаментальных взаимодействий (стандартной модели); уравнения Дирака и Вейля для свободных (киральных) фермионов; инвариантная теория возмущений, диаграммы Фейнмана и перенормировка в квантовой электродинамике; спонтанное нарушение симметрии и механизм Хиггса в неабелевых калибровочных теориях, а также решения полевых моделей с нетривиальной топологией (кинки, магнитные монополи, инстантоны и т.д.). Параллельно с лекциями проводятся семинарские занятия, на которых подробно разбираются задачи по курсу.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель: ознакомление студентов с основными принципами, понятиями и методами квантовой теории поля (релятивистского обобщения квантовой механики).

Задачи: освоение построения теоретико-полевых моделей с заданными симметриями, описания скалярного, фермионного и электромагнитного квантованных полей и диаграммной техники для расчета физических процессов, выделения физических степеней свободы и (голового) спектра масс в неабелевых калибровочных теориях со спонтанно нарушенными симметриями, анализа существования топологически нетривиальных классических решений в полевых моделях.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Знания, полученные при изучении курса необходимы для освоения многих 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			
изучение научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по направлению исследований;	элементарные частицы, атомное ядро и плазма, газообразное и конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками,	ПК-9.1 [1] - Способен осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий; <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-9.1[1] - знать методы поиска, хранения, обработки и анализа информации из различных источников и баз данных, методы представления ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий;; У-ПК-9.1[1] - уметь осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий; В-ПК-9.1[1] - владеть методами поиска, хранения, обработки и анализа информации из различных источников и баз данных, методами представления ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий;
проведение экспериментов по заданным методикам, обработка и анализ результатов;	элементарные частицы, атомное ядро и плазма, газообразное и конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения	ПК-9.2 [1] - Способен участвовать в научных исследованиях в области физики частиц и ядра, космофизике и космологии, к самостоятельному определению необходимых средств и к их использованию	З-ПК-9.2[1] - Знать методы исследования в области физики частиц и ядра, космофизике и космологии, методы определения необходимых средств и их использования для решения поставленных задач; У-ПК-9.2[1] - Уметь

	их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками,	для решения поставленных задач <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	применять методы исследования в области физики частиц и ядра, космофизике и космологии, уметь применять методы определения необходимых средств и их использования для решения поставленных задач; В-ПК-9.2[1] - Владеть методами исследования в области физики частиц и ядра, космофизике и космологии, и методы определения необходимых средств и их использования для решения поставленных задач
проведение экспериментов по заданным методикам, обработка и анализ результатов;	элементарные частицы, атомное ядро и плазма, газообразное и конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками,	ПК-9.4 [1] - Способен к общему физическому анализу процессов взаимодействия элементарных частиц, их эффектов на коллайдерах и в космическом пространстве; <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-9.4[1] - Знать методы физического анализа процессов взаимодействия элементарных частиц, их эффектов на коллайдерах и в космическом пространстве;; У-ПК-9.4[1] - Уметь выполнять физический анализ процессов взаимодействия элементарных частиц, их эффектов на коллайдерах и в космическом пространстве;; В-ПК-9.4[1] - Владеть методами физического анализа процессов взаимодействия элементарных частиц, их эффектов на коллайдерах и в космическом

			пространстве;
проектный			
участие в комплексном проектировании по принципу CDIO: планирование, проектирование, производство и применение реальных систем, процессов и продуктов, применению принципа в атомной отрасли и других высокотехнологичных отраслях;	разработка ядерных и физических установок, технологии применения приборов и установок для регистрации излучений, разделения изотопных и молекулярных смесей, а также анализа веществ,	ПК-9.7 [1] - Способен к участию в комплексном проектировании по принципу CDIO: планирование, проектирование, производство и применение реальных систем, процессов и продуктов, применению принципа в атомной отрасли и других высокотехнологичных отраслях; <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-9.7[1] - методы комплексного проектировании по принципу CDIO: планирование, проектирование, производство и применение реальных систем, процессов и продуктов; У-ПК-9.7[1] - применять принцип CDIO при комплексное проектирование в атомной отрасли и других высокотехнологичных отраслях; В-ПК-9.7[1] - методами комплексного проектировании по принципу CDIO, методами применения принципа в атомной отрасли и других высокотехнологичных отраслях
сбор и анализ информационных источников и исходных данных для проектирования приборов и установок;	элементарные частицы, атомное ядро и плазма, газообразное и конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная электронная схмотехника, электронные системы ядерных и физических	ПК-9.8 [1] - Способен проводить основные расчёты при проектировании различных детекторов и установок в области физики частиц и ядра, а также контроль их соответствия исходным требованиям с использованием средств диагностики; <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-9.8[1] - методы проведения расчётов при проектировании различных детекторов и установок в области физики частиц и ядра, а также методы контроля их соответствия исходным требованиям с использованием средств диагностики;; У-ПК-9.8[1] - проводить расчёты при проектировании различных детекторов и установок в области физики частиц и ядра, а также осуществлять контроль их

	установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками,		соответствия исходным требованиям с использованием средств диагностики;; В-ПК-9.8[1] - методами проведения расчётов при проектировании различных детекторов и установок в области физики частиц и ядра, а также методами контроля их соответствия исходным требованиям с использованием средств диагностики;
--	---	--	--

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
-----------------------------	-------------------------	------------------------------------

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	8/8/0		25	КИ-8	З-ПК-9.1, У-ПК-9.1, В-ПК-9.1, З-ПК-9.2, У-ПК-9.2, В-ПК-9.2, З-ПК-9.4, У-ПК-9.4, В-ПК-9.4, З-ПК-9.7, У-ПК-9.7,

							В-ПК-9.7, З-ПК-9.8, У-ПК-9.8, В-ПК-9.8
2	Часть 2	9-16	8/8/0		25	КИ-16	З-ПК-9.1, У-ПК-9.1, В-ПК-9.1, З-ПК-9.2, У-ПК-9.2, В-ПК-9.2, З-ПК-9.4, У-ПК-9.4, В-ПК-9.4, З-ПК-9.7, У-ПК-9.7, В-ПК-9.7, З-ПК-9.8, У-ПК-9.8, В-ПК-9.8
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		16/16/0		50		
	Контрольные мероприятия за 7 Семестр				50	Э	З-ПК-9.1, У-ПК-9.1, В-ПК-9.2, З-ПК-9.4, У-ПК-9.4, В-ПК-9.4, З-ПК-9.7, У-ПК-9.7, В-ПК-9.7, З-ПК-9.8, У-ПК-9.8, В-ПК-9.8, З-ПК-9.1, З-ПК-9.2, У-ПК-9.2

* – 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>	16	16	0

1-8	Часть 1	8	8	0
1 - 2	Основные положения релятивистской квантовой теории поля Релятивистское волновое уравнение. Релятивистская частица во внешнем поле. Парадокс Кляйна. Квантование свободного скалярного поля	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 5	Основы теории групп Понятие группы. Групповые постулаты и принцип относительности. Вывод преобразований Лоренца на основе групповых требований. Непрерывные группы. Группы Ли и алгебра Ли. Компактные и некомпактные группы. Алгебра Ли группы вращений. Алгебра Ли группы Лоренца. Оператор Казимира. Восстановление группы по генераторам. Гомоморфизм. Представление групп. Неприводимые и приводимые представления. Лемма Шура	Всего аудиторных часов		
		4	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
6 - 7	Неприводимые группы и коэффициенты Клебша-Гордона. Биспиноры Неприводимые представления группы вращения. Примеры неприводимых представлений группы вращения. Прямые произведения неприводимых представлений группы вращения и его разбиение на неприводимые коэффициенты Клебша-Гордона. Конечномерные неприводимые представления группы Лоренца. Эквивалентность представлений (j_1, j_2) , (j_2, j_1) . Спиновое содержание неприводимых представлений группы Лоренца. Примеры. Представления $(1/2, 0)$, $(0, 1/2)$, $(1, 0)$, $(0, 1)$, $(1/2, 1/2)$. Явный вид матриц спинорных представлений группы Лоренца $(1/2, 0)$ и $(0, 1/2)$ и группы $SL(2, C)$. Разложение прямого произведения неприводимых представлений группы Лоренца. Инверсия пространства. Неприводимые представления ортогональной группы и полной группы Лоренца. Биспиноры Дирака. Прямое произведение двух биспиноров Дирака и его разбиение на неприводимые величины. Матрицы Дирака и их свойства. Различные представления матриц Дирака (представление Дирака, Вейля и др.)	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	Часть 2	8	8	0
8 - 9	Квантование спинорных и векторных полей Свободное спинорное поле Дирака: лагранжиан, Уравнение Дирака. Полная система решений уравнения Дирака. Гамильтонова Форма уравнения Дирака. Классификация спиновых состояний. Релятивистский потенциал. Тензор энергии-импульса дираковского поля. Квантование по принципу "запрета". Коммутационные соотношения операторов дираковского поля. Квантование массивного векторного поля. Перестановочные соотношения для операторов векторного поля. Особенности квантования электромагнитного поля.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
10 - 12	Законы сохранения	Всего аудиторных часов		

	Общие свойства квантованных релятивистских полей. Теорема о связи спина со статистикой. Калибровочные преобразования первого рода. Определение вектора плотности тока. Закон сохранения 4-х тока. Закон сохранения заряда. Операторы тока. Преобразование зарядового сопряжения ("C"), пространственного отражения ("P") и обращения времени ("T"). Преобразование операторов поля при дискретных преобразованиях C,P,T. СРТ-теорема.	2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	Уравнение Дирака во внешнем поле Общие свойства квантованных релятивистских полей. Теорема о связи спина со статистикой. Калибровочные преобразования первого рода. Определение вектора плотности тока. Закон сохранения 4-х тока. Закон сохранения заряда. Операторы тока. Преобразование зарядового сопряжения ("C"), пространственного отражения ("P") и обращения времени ("T"). Преобразование операторов поля при дискретных преобразованиях C,P,T. СРТ-теорема.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
15 - 16	Взаимодействие квантованных полей Взаимодействие квантованных полей. Лагранжиан и Гамильтониан взаимодействующих полей. Размерность констант взаимодействия. Представление Шредингера, Гейзенберга и представление взаимодействия в квантовой теории поля. Матрица рассеяния (S-матрица) в квантовой теории поля и ее выражение через T-упорядоченную экспоненту в представлении взаимодействия. Свойства S-матрицы: унитарность и др.. Выражение наблюдаемых величин через элементы матрицы рассеяния.	Всего аудиторных часов		
		2	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

Использование в обучении активных и интерактивных форм обучения с применением LMS, электронных ресурсов и информационно-коммуникационных технологий, а также традиционных образовательных технологий: лекций, семинарских занятий с разбором задач и примеров.

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-9.1	З-ПК-9.1	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-9.1	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-9.1	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-9.2	З-ПК-9.2	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-9.2	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-9.2	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-9.4	З-ПК-9.4	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-9.4	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-9.4	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-9.7	З-ПК-9.7	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-9.7	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-9.7	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-9.8	З-ПК-9.8	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-9.8	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-9.8	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 твердо 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 –	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет
60-64	«удовлетворительно»		

			знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
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 К 32 Квантовая теория поля Т. 1 Общая теория, , : , 2015
2. ЭИ Л75 Сборник задач по квантовой электродинамике : учебное пособие для вузов, Никитин Ю.П., Ломоносова Т.А., Москва: НИЯУ МИФИ, 2010
3. ЭИ В 31 Теоретическая физика. Квантовая электродинамика : учебник для вузов, Вергелес С. Н., Москва: Юрайт, 2023

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 537 А95 Квантовая электродинамика : , Берестецкий В.Б., Ахиезер А.И., М.: Наука, 1981
2. 53 Б74 Квантовые поля : , Ширков Д.В., Боголюбов Н.Н., М.: Физматлит, 2005
3. 53 Л75 Сборник задач по квантовой электродинамике : учебное пособие для вузов, Никитин Ю.П., Ломоносова Т.А., Москва: НИЯУ МИФИ, 2010
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

Перед началом занятий внимательно ознакомиться с учебным планом проведения лекций и списком рекомендованной литературы.

- Перед посещением очередной лекции освежить в памяти основные концепции пройденного ранее материала. Подготовить при необходимости вопросы преподавателю.

- На лекции основное внимание следует уделять содержанию изучаемых вопросов, определениям и постановкам задач.

- В процессе изучения лекционного курса необходимо по возможности часто возвращаться к основным понятиям и методам решения задач.

- Желательно использовать конспекты лекций, в которых используется принятая преподавателем система обозначений.

- Для более подробного изучения курса следует работать с рекомендованными литературными источниками и вновь появляющимися источниками.

а) ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Берестецкий, В. Б., Лифшиц, Е. М., Питаевский, Л. П. Квантовая электродинамика. — Издание 4-е, исправленное. — М.: Физматлит, 2002. — 720 с.

2. А.И. Ахиезер, В.Б. Берестецкий. Квантовая электродинамика, - Изд. 3-е, перераб. - М. : Наука, 1969. - 623 с.

б) ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Пескин М., Шредер Д., Введение в квантовую теорию поля, М.; Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2001, -784 с

2. Бьёркен Дж. Д.Дрелл С. Д., Релятивистская квантовая теория в 2-х т., М.: Наука, 1978. -407 с

3. Боголюбов Н.Н., Ширков Д.В., Квантовые поля, -2-е изд.,испр.и доп., М.: Физ.-мат. лит., 1993. -333 с.

в) ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<http://www.library.mephi.ru/> библиотека НИЯУ МИФИХ

<http://www.gpntb.ru/> государственная публичная научно-техническая библиотекаХ

<http://elibrary.ru/> база данных научных статейХ

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

- Необходимо регулярно проверять степень освоения материала, используя математические и физические задачи в качестве тестовых примеров.

- Акцентировать внимание студентов на современных исследованиях в области ядерной физики и физики высоких энергий.

- Показать решающую роль экспериментов и наблюдений в современных исследованиях.

а) ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Берестецкий, В. Б., Лифшиц, Е. М., Питаевский, Л. П. Квантовая электродинамика. — Издание 4-е, исправленное. — М.: Физматлит, 2002. — 720 с.

2. А.И. Ахиезер, В.Б. Берестецкий. Квантовая электродинамика, - Изд. 3-е, перераб. - М. : Наука, 1969. - 623 с.

б) ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Пескин М., Шредер Д., Введение в квантовую теорию поля, М.; Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2001, -784 с

2. Бьёркен Дж. Д.Дрелл С. Д., Релятивистская квантовая теория в 2-х т., М.: Наука, 1978. -407 с

3. Боголюбов Н.Н., Ширков Д.В., Квантовые поля, -2-е изд.,испр.и доп., М.: Физ.-мат. лит., 1993. -333 с.

в) ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<http://www.library.mephi.ru/> библиотека НИЯУ МИФИХ

<http://www.gpntb.ru/> государственная публичная научно-техническая библиотекаХ

<http://elibrary.ru/> база данных научных статейХ

Автор(ы):

Нефедьев Алексей Владимирович, к.ф.-м.н.

Рецензент(ы):

А.М. Федотов