

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»*

*Факультет физико-математических и естественных наук  
Институт физических исследований и технологий*

Рекомендовано МССН

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ГЛАВЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ**

**Рекомендуется для направления подготовки/специальности  
03.03.02 «Физика»**

**Квалификация (степень) выпускника  
бакалавр**

### 1. Цели и задачи дисциплины:

Дисциплина «Дополнительные главы теоретической физики» входит в состав учебного цикла, предназначенного для бакалавров 3 курса по направлению 03.03.02 Физика. Цель курса «Дополнительные главы теоретической физики» – формирование у студентов широких представлений о направлениях развития современной теоретической физики. Содержание курса посвящено изложению фундаментальных сведений по методам теории калибровочных полей в применении к задачам физики элементарных частиц. В курсе даются основные представления о методах описания элементарных частиц и способах включения взаимодействий между ними. Задача дисциплины «Дополнительные главы теоретической физики» состоит в том, чтобы студенты могли применять основные законы, правила и расчетные методы физики при решении конкретных теоретических и экспериментальных задач.

### 2. Место дисциплины в структуре ОП ВО:

Дисциплина «Дополнительные главы теоретической физики» относится к вариативной части, элективные дисциплины, блок Б1.В.ДВ.05.

В таблице № 1 приведены предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций дисциплины в соответствии с матрицей компетенций ОП ВО.

Таблица № 1

#### Предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций

№ п/п	Шифр и наименование компетенции	Предшествующие дисциплины	Последующие дисциплины (группы дисциплин)
1	ПК-1: Способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	Классическая и квантовая теория поля	

### 3. Требования к результатам освоения дисциплины:

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование ряда компетенций в соответствии с ОС ВО РУДН.

В результате изучения дисциплины студент должен:

**Знать:** основы теории элементарных частиц и кварков, классификацию элементарных частиц, теорию о слабых взаимодействиях.

**Уметь:** проводить элементарные расчеты, а также вычислять необходимые параметры для элементарных частиц и кварков, и уметь правильно использовать знания по теории слабого взаимодействия.

**Владеть:** способностью оперировать углубленными знаниями в области математики и естественных наук; способностью выдвигать новые идеи; способностью к свободному владению знаниями фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач; способностью внедрять результаты прикладных научных исследований в перспективные приборы, устройства и системы, основанные на колебательно-волновых принципах функционирования; способностью описывать новые методики инженерно-технологической деятельности.

### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры	
		Е	
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	
В том числе:	-	-	
<i>Лекции</i>			

Практические занятия (ПЗ)		32	32	
Семинары (С)				
Лабораторные работы (ЛР)				
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>		<b>76</b>	<b>76</b>	
Общая трудоемкость	час	<b>108</b>	<b>108</b>	
	зач. ед.	<b>3</b>	<b>3</b>	

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)
1	Бета-распад. Ток-токовая теория.	<p>Векторные и аксиально-векторные токи, заряженные и нейтральные токи, лептонные и адронные токи, странные и нестранные токи, токи первого и второго рода по классификации Вайнберга относительно операторов G-четности. Гипотезы о токах. Сохранение векторного тока и частичное сохранение аксиально-векторного тока.</p> <p>Спектры электронов в процессах <math>\beta\beta</math>-распада. Гипотеза Паули о нейтрино. Гипотеза Ферми о векторном 4-х фермионом взаимодействии. Угловое и энергетическое распределение конечных частиц в процессах <math>\beta\beta</math>-распада в теории Ферми.</p> <p>S, P, T, V, A - варианты слабой связи фермионов. Выражения для вероятностей <math>\beta</math>-распада ядер в случае их суперпозиции. Нерелятивистский предел.</p> <p><math>\beta</math>-распад поляризованных нейтронов. Нарушение C и P инвариантностей в слабых взаимодействиях. Выбор V - A варианта связи токов.</p>
2	Локальные, глобальные, абелевы, неабелевы симметрии.	<p>Реакции распада и захвата <math>\mu</math>-мезонов. Распады <math>\kappa</math>-мезонов и CP-неинвариантность. Временная четность. CPT-теорема. Распады гиперонов. Структура адронного тока. Гипотеза Кабиббо. Нейтральные и заряженные токи. Диагональные и недиагональные процессы рассеяния частиц и их распада. Феноменологическое описание структуры частиц. Слабые форм-факторы. Спиновые эффекты в слабых взаимодействиях.</p> <p>Унитарный предел в слабых взаимодействиях.</p> <p>Расходимости в теории. Гипотеза о промежуточном бозоне. Неперенормируемость теории с промежуточным бозоном. Сохранение электрического заряда в электродинамике и калибровочная инвариантность. Абелевы и неабелевы симметрии. Локальная и глобальная калибровочные</p>
3	Модель Вайнберга - Салама	<p>Поля Янга-Миллса. Преобразование полей и потенциалов под действием калибровочных преобразований. Лагранжиан и уравнения Янга-Миллса. Точные решения. Монополю Т-Хофта-Полякова. Перенормировка пропагаторов, вершин и зарядов в теории Янга-Миллса. Асимптотическая свобода и безразмерный параметр.</p> <p>Спонтанное нарушение дискретных, непрерывных, глобальных и локальных симметрий. Приобретение масс полями Хиггса, а также фермионными и бозонными векторными полями. Теорема Голдстоуна.</p>
4	Стандартная модель	Основные предсказания модели. Калибровочная модель

		Вайнберга - Салама на группе $SU(2) \times U(1)$ . Нейтральные и заряженные токи, связь между константами взаимодействий. Массы $w$ и $z$ -бозонов. Сравнение предсказаний теории с экспериментальными данными. Включение в теорию других лептонов и кварков. Симметричная схема электрослабых взаимодействий (Глэшоу, Иллиопулоса, Майями). Стандартная модель Глэшоу–Вайнберга–Салама.
5	Великое объединение	Глюоны и цветные кварки. Лагранжиан КХД. Описание взаимодействий адронов. Проблема инфракрасной расходимости. Связанные кварковые состояния. Тяжелый кварконий и константа $\alpha_s$ . S-матрица и теория возмущений. SU-6-модель и великое объединение. Лагранжиан. Фермионы и бозоны (скалярные и векторные калибровочные) в SU-6-теории. Распад протона. Несколько поколений фермионов. Горизонтальные симметрии. Суперсимметричные модели.

## 5.2. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекц.	Практ. зан.	Семина.	СРС	Всего час.
1.	Бета-распад. Ток-токовая теория.		6		15	21
2.	Локальные, глобальные, абелевы, неабелевы симметрии.		6		15	21
3.	Модель Вайнберга–Салама		6		15	21
4.	Стандартная модель		6		15	21
5.	Великое объединение		8		16	24

## 6. Лабораторный практикум – не предусмотрен

## 7. Практические занятия (семинары)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудо-емкость (час.)
1.	1.	Бета-распад. Ток-токовая теория.	6
2.	2.	Локальные, глобальные, абелевы, неабелевы симметрии.	6
3.	3.	Модель Вайнберга–Салама	6
4.	4.	Стандартная модель	6
5.	5.	Великое объединение	8

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лабораторная база Университета позволяет проводить лекционные и лабораторные занятия с мультимедийными средствами обучения.

## 9. Информационное обеспечение дисциплины

а) пакет программ MS Office (текстовые документы - Microsoft Word, презентации - Power Point);

б) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

телекоммуникационная учебно-информационная система (ТУИС)

Учебный портал РУДН

Научная электронная библиотека РУДН

<http://www.edu.ru/> – федеральный образовательный портал.

<http://genphys.phys.msu.ru/rus/demo/>- кабинет физических демонстраций МГУ.

<http://genphys.phys.msu.ru/rus/ofp/>

## 10. Учебно-методическое обеспечение дисциплины:

а) основная литература:

1. *Л.Б. Окунь*. Лептоны и кварки. М.: «Наука», 1981, 346 с.
2. *С.М. Биленький*. Лекции по физике нейтринных и лептон-нуклонных процессов. М.: «Энергоиздат», 1981, 283 с.
3. *М.Б. Волошин, К.А. Тер-Мартirosян*. Теория калибровочных взаимодействий элементарных частиц. М.: «Энергоатомиздат», 1984, 296 с.
4. *Дж. Тейлор*, Калибровочные теории слабых взаимодействий. М.: «Мир», 1978. 206 с.

б) дополнительная литература

1. *А.А. Славнов, Л.Д. Фаддеев*. Введение в квантовую теорию калибровочных полей. М.: «Наука», 1988, 270 с.
2. *Н.П. Коноплева, В.Н. Попов*. Калибровочные поля. М.: «Атомиздат», 1980, 238 с.
3. Квантовая теория калибровочных полей //Сб. статей под ред. Коноплевой Н.П.. М.: «Мир», 1977, 436 с.

## 11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Необходимо обеспечить себя рекомендованными учебными материалами. Для получения глубоких и прочных знаний, твердых навыков и умений, необходима, кроме проработки лекционного материала, систематическая самостоятельная работа студента. Дополнить конспект лекций, выделить главное студент должен самостоятельно, пользуясь предлагаемыми учебными пособиями.

Самостоятельная работа нужна при выполнении домашних заданий, для усвоения лекционного (теоретического) материала и для подготовки к контрольным работам.

Студенты обязаны сдавать задания в сроки, установленные преподавателем. Работы, предоставленные с опозданием, не оцениваются.

Студентам предлагается делать самостоятельные доклады с использованием источников из обязательной части литературы.

Студенты обязаны выполнять письменные работы (контрольные тестовые работы) в сроки, установленные преподавателем. График проведения письменных контрольных работ формируется в соответствии с календарным планом курса. Перечень вопросов письменной контрольной работы определяется программой курса. Контрольные работы не переписываются.

Использование источников (в том числе конспектов лекций и лабораторных занятий) во время выполнения письменной контрольной работы возможно только с разрешения преподавателя.

Время, которое отводится студенту на выполнение письменной работы (контрольной тестовой работы), устанавливается преподавателем. По завершении отведенного времени студент должен сдать работу преподавателю, вне зависимости от того, завершена она или нет. Необходимым условием освоения данного курса является обязательное посещение семинаров, а также добросовестное и качественное выполнение домашних заданий. Для оценки знаний студентов применяется балльно-рейтинговая система.

В течение семестра студентам необходимо в соответствии с учебным планом выполнить 9 заданий по СРС, а также 1-2 контрольных (самостоятельных) и представить их на проверку преподавателю. В качестве полезных пособий для СРС рекомендуется использовать позицию 3 из основной литературы и позицию 1 из дополнительной. Студенту рекомендуется в ходе семестра вести «параллельный» конспект, добавляя к полученным на лекции сведениям дополнительные сведения из рекомендованной литературы.

Для итоговой аттестации по дисциплине студенту необходимо в установленные деканатом сроки сдать экзамен (как правило, в устной форме), включающий 3-4 вопроса по всем

основным разделам курса. На подготовку к ответу отводится 45 минут, после чего проводится устный опрос студента.

Результаты письменных контрольных работ публикуются в течение недели на стенде и/или на сайте кафедры.

## **12. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)**

### **Шкала оценок**

Соответствие систем оценок (согласно Приказу Ректора № 996 от 27.12.2006 г.)

Баллы БРС	Традиционные оценки в РФ	Баллы для перевода оценок	Оценки	Оценки
86-100	5	95-100	5+	A
		86-94	5	B
69-85	4	69-85	4	C
51-68	3	61-68	3+	D
		51-60	3	E
0-50	2	31-50	2+	FX
		0-30	2	F
51-60	Зачет		Зачет	Passed

**Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине** Дополнительные главы теоретической физики

Направление/Специальность: 03.03.02

Раздел	Тема	Формы контроля уровня освоения ООП					Баллы темы	Баллы раздела
		Контрольная работа	Выполнение ДЗ	Экзамен	Коллоквиум	Посещение		
1. Бета-распад. Ток-токовая теория..	<p>Векторные и аксиально-векторные токи, заряженные и нейтральные токи, лептонные и адронные токи, странные и нестранные токи, токи первого и второго рода по классификации Вайнберга относительно операторов G-четности. Гипотезы о токах. Сохранение векторного тока и частичное сохранение аксиально-векторного тока.</p> <p>Спектры электронов в процессах <math>\beta\beta</math>-распада. Гипотеза Паули о нейтрино. Гипотеза Ферми о векторном 4-х фермионом взаимодействии. Угловое и энергетическое распределение конечных частиц в процессах <math>\beta\beta</math>-распада в теории Ферми.</p> <p>S, P, T, V, A-варианты слабой связи фермионов. Выражения для вероятностей <math>\beta</math>-распада ядер в случае их суперпозиции. Нерелятивистский предел.</p> <p><math>\beta</math>-распад поляризованных нейтронов. Нарушение C и P инвариантностей в слабых взаимодействиях. Выбор V-A варианта связи токов.</p>	10	5	25			15	100
2. Локальные, глобальные, абелевы, неабелевы симметрии.	<p>Реакции распада и захвата <math>\mu</math>-мезонов. Распады <math>\kappa</math>-мезонов и CP-неинвариантность. Временная четность. CPT-теорема.</p> <p>Распады гиперонов. Структура адронного тока. Гипотеза Кабиббо. Нейтральные и заряженные токи. Диагональные и недиагональные процессы рассеяния частиц и их распада. Феноменологическое описание структуры частиц. Слабые факторы. Спиновые эффекты в слабых взаимодействиях.</p> <p>Унитарный предел в слабых взаимодействиях. Расходимости в теории. Гипотеза о промежуточном бозоне. Неперенормируемость теории с промежуточным бозоном.</p> <p>Сохранение электрического заряда в электродинамике и калибровочная инвариантность. Абелевы и неабелевы симметрии. Локальная и глобальная калибровочные инвариантности. Свойства симметрии основных уравнений</p>	10	5				15	

	квантовой механики и теории поля по отношению к локальным и глобальным калибровочным преобразованиям групп $U(1)$ и $SU(2)$ .						
3. Модель Вайнберга - Салама.	Поля Янга–Миллса. Преобразование полей и потенциалов под действием калибровочных преобразований. Лагранжиан и уравнения Янга–Миллса. Точные решения. Монополь Т–Хофта–Полякова. Перенормировка пропагаторов, вершин и зарядов в теории Янга-Миллса. Асимптотическая свобода и безразмерный параметр. Спонтанное нарушение дискретных, непрерывных, глобальных и локальных симметрий. Приобретение масс полями Хиггса, а также фермионными и бозонными векторными полями. Теорема Голдстоуна.	<b>10</b>	<b>5</b>				<b>15</b>
4. Стандартная модель.	Основные предсказания модели. Калибровочная модель Вайнберга–Салама на группе $SU(2) \times U(1)$ . Нейтральные и заряженные токи, связь между константами взаимодействий. Массы $w$ и $z$ -бозонов. Сравнение предсказаний теории с экспериментальными данными. Включение в теорию других лептонов и кварков. Симметричная схема электрослабых взаимодействий (Глэшоу, Иллиопулоса, Майями). Стандартная модель Глэшоу- Вайнберга–Салама.	<b>10</b>	<b>5</b>				<b>15</b>
5. Великое объединение	Глюоны и цветные кварки. Лагранжиан КХД. Описание взаимодействий адронов. Проблема инфракрасной расходимости. Связанные кварковые состояния. Тяжелый кварконий и константа $\alpha_s$ . S-матрица и теория возмущений. $SU(6)$ -модель и великое объединение. Лагранжиан. Фермионы и бозоны (скалярные и векторные калибровочные) в $SU(6)$ -теории. Распад протона. Несколько поколений фермионов. Горизонтальные симметрии. Суперсимметричные модели.	<b>10</b>	<b>5</b>				<b>15</b>





## Примерные вопросы к итоговой аттестации по курсу

### «Дополнительные главы теоретической физики»

1. Энергетические спектры электронов (позитронов) в процессах  $\beta\pm$ -распадов. Гипотеза Паули о существовании нейтрино.
2. Теория Ферми векторного 4-х фермионного взаимодействия.
3. Векторный ток в электродинамике. Его сохранение. Обобщение на случай структурных частиц, описываемых форм-факторами.
4. Классификация токов и гипотезы о токах.
5. Сохранение слабого векторного тока и частичное сохранение аксиально-векторного тока.
6. S, P, T, V, A - варианты слабой связи фермионов. Выражения для вероятностей  $\square$ -распада ядер в случае их суперпозиции.
7. Нарушение C и P четностей. Выбор V- A варианта связи токов.  $\square$ -распад поляризованных нейтронов. CP-инвариантность теории  $\square$ -распада.
8. Различные типы нейтрино. Законы сохранения лептонных чисел.
9. Распады K-мезонов и CP-неинвариантность. CPT-теорема Людерса–Паули.
10. Универсальная V-A теория слабого взаимодействия. Распады гиперонов. Гипотеза Кабиббо.
11. Безмассовые Вейлевские и массивные Дираковские и Майорановские нейтрино. Нейтринные осцилляции.
12. Недостатки ток-токовой теории. Расходимости. Гипотеза о промежуточной бозоне. Неперенормируемость теории.
13. Сохранение электрического заряда в электродинамике и калибровочная инвариантность.
14. Абелевы и неабелевы симметрии. Локальная и глобальная калибровочная инвариантности.
15. Локальная SU(2) симметрия. Лангранжиан и уравнения Янга–Миллса. Точные решения. Монополю Т–Хофта–Полякова.
16. Спонтанное нарушение дискретных, непрерывных, глобальных и локальных симметрий. Приобретение масс полями. Теорема Голдстоуна.
17. Модель Вайнберга–Салама на группе SU(2) $\times$ U(1). Включение взаимодействия и спонтанное нарушение симметрии.
18. Лангранжиан. Модель Вайнберга-Салама. Нейтральные и заряженные токи. Связь между константами взаимодействий.
19. Массы W и Z- бозонов в модели Вайнберга–Салама. Предельный переход к ток-токовой теории.
20. Сравнение предсказаний модели Вайнберга–Салама с экспериментальными данными. 21. Расходимости в модели Вайнберга - Салама. Их устранение.
22. Обобщения модели Вайнберга - Салама на другие лептоны и кварки. Модель Глэшоу–Вайнберга–Салама.
23. Глюоны и цветные кварки. Лангранжиан КХД. Тяжёлый кварконий и спектроскопия мезонов.
24. Стандартная модель. Возможные обобщения. Великое объединение взаимодействий. Суперсимметричные теории.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО РУДН.

Руководитель направления 03.03.02

Директор института физических исследований и технологий, д.ф.-м.н., профессор



О.Т. Лоза