

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова**

Кафедра теоретической физики

**УТВЕРЖДАЮ**

Декан физического факультета  
  
(подпись) И.С. Огнев

23 мая 2023 года

**Рабочая программа дисциплины**  
**«Эффективные теории распадов адронов»**

Направление подготовки  
03.04.02 Физика

Направленность (профиль)  
«Теоретическая физика»

Форма обучения  
очная

Программа одобрена  
на заседании кафедры  
от «17» апреля 2023 года, протокол № 8

Программа одобрена НМК  
физического факультета  
протокол № 5 от « 25» апреля 2023 года

Ярославль

## 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Эффективные теории распадов адронов» является знакомство с современными эффективными теориями, используемыми в физике частиц, и их применение к вычислению вероятностей распадов, дифференциальных распределений и других измеряемых на опыте величин в рамках упрощающих эффективных теорий.

## 2. Место дисциплины в структуре ОП магистратуры

Дисциплина «Эффективные теории распадов адронов» является курсом по выбору части Блок Б1, формируемой участниками образовательных отношений.

Для освоения данной дисциплины студенты должны знать квантовую теорию поля, владеть математическим аппаратом квантовой механики, иметь представление о стандартной модели взаимодействий частиц.

## 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОП магистратуры

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
<b>Профессиональные компетенции</b>		
<b>ПК-1</b> Способен осуществлять научно-исследовательскую деятельность по решению комплексных фундаментальных задач физики	<b>ИД-ПК-1_1</b> Знает теоретические методы проведения и анализа научных исследований	<b>Знать:</b> • нерелятивистские КЭД и КХД; • эффективную теорию тяжелых кварков; • эффективную теорию мягких и коллинеарных мод. <b>Уметь:</b> • вычислять вероятности распадов адронов; • делать разложение полей тяжелых кварков по скорости; • проводить разложение полей вблизи светового конуса <b>Владеть навыками:</b> • навыками интегрирования по фазовому объему квантовых процессов; • диаграммной техникой Фейнмана.
	<b>ИД-ПК-1_2</b> Знает современные теории и модели физики	<b>Знать:</b> • классификацию и свойства адронов; • лагранжиан эффективного четырехфермионного слабого взаимодействия; • дополнительные операторы, индуцированные сильным взаимодействием; <b>Уметь:</b> • вычислять вильсоновские коэффициенты в операторном разложении; <b>Владеть навыками:</b>

		навыками построения эффективных лагранжианов для конкретных процессов.
--	--	--

#### 4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 акад. часа.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	С е м е с т р	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости
			Контактная работа						Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			ле кц ии	пр ак ти че ск ие	ла бо ра то рн ые	ко нс ул ьт ац ии	ат те ст ац ио нн ые ис п ыт ан ия	сам осто ятел ьная раб ота	
1	Введение.	4	2					3	Индивидуальные консультации
2	Эффективный лагранжиан слабых распадов адронов.	4	6	6		1		3	Индивидуальные консультации
3	Нерелятивистские КЭД и КХД.	4	5	4		1		3	Индивидуальные консультации
4	Эффективная теория тяжелого кварка (ЭТТК).	4	5	7		1		3	Индивидуальные консультации
5	Эффективная теория мягких и коллинеарных мод (ЭТМКМ).	4	6	7		1		3	Индивидуальные консультации
							0,3	4,7	Зачет
	<b>Всего</b>	<b>4</b>	<b>24</b>	<b>24</b>		<b>4</b>	<b>0,3</b>	<b>19,7</b>	

## Содержание разделов дисциплины:

1. **Введение**
  - 1.1. Лагранжиан Стандартной модели взаимодействий частиц.
  - 1.2. Низкоэнергетический предел в лептонном секторе. Константа Ферми.
2. **Эффективный лагранжиан слабых распадов адронов.**
  - 2.1. Лагранжиан заряженных и нейтральных токов в древесном приближении.
  - 2.2. Лептонные и полулептонные распады адронов. Константы распадов. Форм-факторы переходов.
  - 2.3. Эффективные гамильтонианы нейтральных токов, меняющих аромат.
  - 2.4. Аномалия аксиальных токов. Электромагнитные распады нейтральных псевдоскалярных мезонов.
3. **Нерелятивистские КЭД и КХД.**
  - 3.1. Нерелятивистская КЭД.
  - 3.2. Нерелятивистская КХД.
  - 3.3. Электромагнитные и сильные распады кваркониев
4. **Эффективная теория тяжелого кварка (ЭТТК).**
  - 4.1. Симметрия ЭТТК. Лагранжиан, определяющий слабые распады адронов.
  - 4.2. Факторизация адронных распадов мезонов.
  - 4.3. Переходы тяжелого адрона в тяжелый и тяжелого в легкий. Полулептонные распады.
  - 4.4. Предел больших энергий ЭТТК. Обобщенная факторизация амплитуд распадов.
5. **Эффективная теория мягких и коллинеарных мод (ЭТМКМ).**
  - 5.1. Разложение кварковых и глюонных полей вблизи светового конуса. Классификация мягких и коллинеарных мод по степени виртуальности.
  - 5.2. Факторизация адронных амплитуд в ЭТМКМ.

## 5. Образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

**Вводная лекция** – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

**Академическая лекция** (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

**Практическое занятие** – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков и закреплению полученных на лекции знаний.

## 6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программы Microsoft Office;
- издательская система LaTeX;
- Adobe Acrobat Reader.

#### **7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)**

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

1. Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)
2. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU на сайте <http://elibrary.ru/>

#### **а) основная литература**

1. Иоффе Б. Л., Липатов Л. Н., Фадин В. С. Физика элементарных частиц: квантовая хромодинамика в 2 т. Т. 1. — М. : Издательство Юрайт, 2019. — 408 с.  
<https://urait.ru/bcode/441447>
2. Иоффе Б. Л., Липатов Л. Н., Фадин В. С. Физика элементарных частиц: квантовая хромодинамика в 2 т. Т. 2. — М. : Издательство Юрайт, 2019. — 344 с.  
<https://urait.ru/bcode/441566>

#### **б) дополнительная литература**

1. Пескин М., Шредер Д. Введение в квантовую теорию поля. Ижевск: РХД, 2001. 784 с.  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=300794&cat\\_cd=YARSU](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=300794&cat_cd=YARSU)
2. Высоцкий М. И. Современное состояние физики элементарных частиц : курс лекций — М. : Издательский дом МЭИ, 2015. - 60 с.  
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383009499.html>

#### **в) ресурсы сети «Интернет»**

1. Научная энциклопедия на сайте <http://elementy.ru/physics>.

#### **9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа и практических занятий (семинаров);
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций,
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Специальные помещения укомплектованы средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, хранящиеся на электронных носителях и обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие

рабочим программам дисциплин.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Число посадочных мест в лекционной аудитории больше либо равно списочному составу потока, а в аудитории для практических занятий (семинаров) – списочному составу группы обучающихся.

Автор:

Заведующий кафедрой теоретической физики, к.ф.-м.н. \_\_\_\_\_ А.Я. Пархоменко  
(подпись)

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины  
«Эффективные теории распадов адронов»**

**Фонд оценочных средств  
для проведения текущей и промежуточной аттестации студентов  
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания или иные материалы,  
необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности,  
характеризующих этапы формирования компетенций**

**1.1 Контрольные задания и иные материалы,  
используемые в процессе текущей аттестации**

1. Вычислить вероятность лептонного распада  $\pi^+$ -мезона. Найти константу лептонного распада  $f_\pi$ , воспользовавшись экспериментальными данными для массы и времени жизни  $\pi^+$ -мезона.
2. Основываясь на экспериментальных данных по массам, временам жизни и лептонным распадам заряженных псевдоскалярных мезонов, найти константы лептонных распадов этих мезонов.
3. Вычислить дифференциальную и полную вероятности полулептонного распада  $\pi^+$ -мезона. На основе экспериментальных данных найти численные значения переходных формфакторов при нулевом переданном импульсе и сравнить с теоретическими значениями, следующими из изоспиновой симметрии токов.
4. Вычислить дифференциальную и полную вероятности полулептонного распада  $K^+$ -мезона.
5. Вычислить дифференциальную и полную вероятности полулептонного распада нейтрона. На основе экспериментальных данных найти численные значения переходных формфакторов при нулевом переданном импульсе и сравнить с теоретическими значениями, следующими из изоспиновой симметрии токов.
6. Вычислить вероятность распада  $\pi^0$ -мезона, обобщив электромагнитную киральную аномалию как эффективный лагранжиан взаимодействия  $\pi^0$ -мезона с двумя фотонами.
7. Получить соотношения между амплитудами полулептонных распадов обычных барионов и гиперонов на основе ароматовой  $SU(3)$ -симметрии легких кварков.
8. Построить базис эффективных операторов, ответственных за нелептонные распады странных частиц.
9. Построить базис операторов, ответственных за редкие распады  $B$ -мезонов, обусловленные нейтральными токами с изменением аромата.
10. Построить эффективный лагранжиан взаимодействия двух нерелятивистских кварков.
11. Построить эффективный лагранжиан взаимодействия нерелятивистских кварка и антикварка.

**1.2. Список вопросов и (или) заданий для проведения итоговой аттестации**

**Список вопросов к зачету:**

1. Стандартная модель взаимодействий частиц.
2. Эффективный четырехфермионный лагранжиан взаимодействий заряженных и нейтральных токов (древесное приближение).

3. Лептонные распады мезонов. Определение константы распада мезона.
4. Полулептонные распады мезонов.  $\beta$ -распад пиона.
5. Полулептонные распады барионов.  $\beta$ -распад нейтрона.
6. Учет сильных взаимодействий при построении эффективного слабого лагранжиана.
7. Эффективный гамильтониан нейтральных токов, изменяющих аромат.
8. Инклюзивный распад  $B \rightarrow X_s \gamma$ .
9. Нерелятивистская квантовая электродинамика.
10. Нерелятивистская квантовая хромодинамика.
11. Радиационные распады кваркониев.
12. Адронные распады кваркониев.
13. Эффективная теория тяжелых кварков.
14. Факторизация адронных распадов.
15. Переходы тяжелого адрона в тяжелый. Распад  $B \rightarrow D / \nu$ .
16. Переходы тяжелого адрона в легкий. Распад  $B \rightarrow \pi / \nu$ .
17. Радиационный распад  $B \rightarrow V \gamma$ .
18. Эффективная теория мягких и коллинеарных мод.
19. Двухчастичные адронные распады B-мезона.
20. Спектр энергии фотона в радиационном распаде  $Y(nS) \rightarrow X + \gamma$ .

### 1.3 Описание процедуры выставления оценки

Оценка «зачет» выставляется студенту, который владеет основным объемом знаний по программе дисциплины; знает основную терминологию данной области знаний; логически правильно излагает материал; отвечает на вопросы без существенных ошибок; владеет инструментарием дисциплины, умеет его использовать в решении стандартных (типовых) задач; способен самостоятельно применять типовые решения в рамках рабочей программы дисциплины; знает базовые теории, концепции и направления по изучаемой дисциплине; самостоятельно работал на практических занятиях, участвовал в групповых обсуждениях.

Оценка «незачтено» выставляется студенту, который не владеет основным объемом знаний по программе дисциплины; не знает основную терминологию данной области знаний; логически неправильно излагает материал; отвечает на вопросы с существенными ошибками; не владеет инструментарием дисциплины, не умеет его использовать в решении стандартных (типовых) задач; не способен самостоятельно применять типовые решения в рамках рабочей программы дисциплины; не знает базовые теории, концепции и направления по изучаемой дисциплине; не проявлял самостоятельности при выполнении заданий на практических занятиях, не участвовал в групповых обсуждениях.



## **Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Эффективные теории распадов адронов»**

### **Методические указания для студентов по освоению дисциплины**

Дисциплина «Эффективные теории распадов адронов» вырабатывает у студентов навыки постановки и аналитического решения сложных физических задач по курсу классической электродинамики, обеспечивает умение самостоятельно решать задачи и пользоваться справочной литературой по теоретической физике.

Широко практикуется индивидуальная методика решения задач, при которой студенты в большой степени самостоятельно решают задачи при индивидуальной помощи и комментариях преподавателя по ходу решения задачи каждым конкретным студентом с последующим обобщением результата и возможных методов его получения. Таким образом, на практических занятиях студенты приобретают навыки самостоятельных вычислений, анализа поставленной задачи и полученного результата.

Распределение времени для изучения данного курса лучше всего планировать, предусматривая регулярное повторение пройденного материала. Материал необходимо регулярно дополнять информацией, полученной из учебной литературы.

Для подготовки к практическим занятиям рекомендуется использовать литературу из прилагаемого списка основной и дополнительной литературы.

Важной частью самостоятельной работы студентов является подготовка к зачету. Список вопросов к зачету прилагается.