

**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**  
**«Дополнительные главы квантовой механики»**

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 «Дополнительные главы квантовой механики» является приобретение студентами дополнительных знаний и умений по отдельным вопросам квантовой механики и релятивистской квантовой теории поля, недостаточно освещенным или отсутствующим в базовых курсах.

### 2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Дополнительные главы квантовой механики» является курсом по выбору вариативной части Блока Б1.

Дисциплина «Дополнительные главы квантовой механики» расширяет базовые знания студентов для успешного освоения дисциплин магистерской программы «Теоретическая физика», являясь логическим продолжением и углублением курсов по квантовой теории и теории конденсированного состояния.

Для овладения данной дисциплиной студенты должны знать основы дисциплин «Квантовая теория», «Введение в квантовую теорию поля», «Методы математической физики».

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

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:

Код компетенции	Формулировка компетенции	Перечень планируемых результатов обучения
<b>Профессиональные компетенции</b>		
ПК-1	ИД-ПК-1_2 Знает современные теории и модели физики	<b>Знать</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• лагранжеву механику релятивистских классических полей;</li><li>• простейшие солитоны теории поля – кинк и вихрь Абрикосова;</li><li>• вероятность распада метастабильного состояния при туннелировании квантового объекта.</li></ul> <b>Уметь</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• получать из действия уравнения движения и функционал энергии релятивистских полей;</li><li>• вычислять вероятность туннелирования методами евклидовой лагранжевой механики;</li><li>• получать из уравнения движения частицеподобные решения (кинк, вихрь Абрикосова, инстантон).</li></ul> <b>Владеть навыками</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• вычисления первой и второй вариации действия релятивистских классических полей;</li><li>• исследования механизма Хиггса в калибровочных теориях со спонтанным нарушением симметрии.</li></ul>

#### 4. Структура и содержание дисциплины «Дополнительные главы математической физики»

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 акад. часов.

№ 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  Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа						сам ост оят ель ная раб ота
			ле кц и и	пр ак ти че ск ие	ла бо ра то рн ые	ко нс ул ьт ац и и	а тт ес та ци он н ые ис пы та ния		
1	Релятивистская теория классических полей	1	4	8		1		12	Индивидуальные консультации
2	Механизм Хиггса	1	4	9		1		12	Индивидуальные консультации
3	Простейшие солитоны в теории поля	1	4	9		1		12	Индивидуальные консультации
4	Туннелирование и евклидовы классические решения в квантовой механике	1	5	8		1		12	Индивидуальные консультации
							0,3	4,7	Зачет
	Всего за 1 семестр		17	34		4	0,3	52,7	
	Всего		17	34		4	0,3	52,7	

#### Содержание разделов дисциплины:

##### 1. Релятивистская теория классических полей.

- 1.1. Действие, уравнение движения и функционал энергии вещественного скалярного поля.
- 1.2. Комплексное скалярное поле. Уравнения движения и функционал энергии.
- 1.3. Действие для электромагнитного поля при взаимодействии с внешними источниками. Уравнения движения и тензор энергии-импульса.
- 1.4. Калибровочно-инвариантное взаимодействие в скалярной электродинамике.
- 1.5. Неабелевы калибровочные поля. Уравнения движения и функционал энергии.
- 1.6. Теорема Нётер.

##### 2. Механизм Хиггса.

- 2.1. Потенциал Хиггса. Спонтанное нарушение глобальной  $U(1)$ -симметрии. Намбу-голдстоуновский бозон.
- 2.2. Скалярная электродинамика со спонтанным нарушением  $U(1)$ -симметрии. Механизм Хиггса.
3. **Простейшие солитоны в теории поля.**
  - 3.1. Кинк. Функционал энергии и эффективная масса кинка.
  - 3.2. Топологический заряд кинка. Устойчивость кинка при малых возмущениях.
  - 3.3. Скалярная электродинамика с потенциалом Хиггса в  $(2+1)$ -мерном пространстве-времени. Уравнения движения.
  - 3.4. Сингулярные калибровочные преобразования. Вихрь Абрикосова-Нильсена-Олесена. Топологический заряд вихря.
4. **Туннелирование и евклидовы классические решения в квантовой механике.**
  - 4.1. Распад метастабильного состояния при туннелировании в квантовой механике.
  - 4.2. Вероятность распада ложного вакуума в теории скалярного поля.
  - 4.3. Евклидовы калибровочные теории. Инстантон в теории Янга-Миллса.
  - 4.4. Классические вакуумы и  $\theta$ -вакуумы.

## **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 с элементами лекции-беседы** – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Элементы лекции-беседы обеспечивают контакт преподавателя с аудиторией, что позволяет привлекать внимание студентов к наиболее важным темам дисциплины, активно вовлекать их в учебный процесс, контролировать темп изложения учебного материала в зависимости от уровня его восприятия.

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

**Консультации** – вид учебных занятий, являющийся одной из форм контроля самостоятельной работы студентов. На консультациях по просьбе студентов рассматриваются наиболее сложные моменты при освоении материала дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы студентов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

В процессе обучения используются следующие технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии:

**Электронный учебный курс «Метод континуального интеграла в квантовой теории поля» в LMS Электронный университет Moodle ЯрГУ**, в котором:

- представлены задания для самостоятельной работы обучающихся по темам дисциплины;

- осуществляется проведение отдельных мероприятий текущего контроля успеваемости студентов;
- представлены тексты лекций по отдельным темам дисциплины;
- представлены правила прохождения промежуточной аттестации по дисциплине;
- представлен список учебной литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины;
- представлена информация о форме и времени проведения консультаций по дисциплине в режиме онлайн;
- посредством форума осуществляется синхронное и (или) асинхронное взаимодействие между обучающимися и преподавателем в рамках изучения дисциплины.

#### **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:

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)

#### **8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

##### **а) основная литература:**

1. Михеев Н.В., Нарынская Е.Н. Введение в калибровочную теорию классических полей (метод. указания). Ярославль: ЯрГУ, 2009. 32 с.  
<http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20090730.pdf>
2. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика. Т. IV. Квантовая электродинамика: Учеб. пособ.: для вузов. / Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. - 4-е изд., испр. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 720 с. - ISBN 5-9221-0058-0.  
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922100580.html>

##### **б) дополнительная литература:**

1. Вайнберг, С. Квантовая теория поля. Т. 2. Современные приложения / Вайнберг С.; Пер. с англ.; под ред. В. Ч. Жуковского. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 528 с. - ISBN 5-9221-0404-7. <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922104047.html>

#### **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;
- учебные аудитории для проведения 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.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ЯрГУ.

Автор:

Профессор кафедры теоретической физики, д.ф.-м.н.

А.А. Гвоздев

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины  
«Дополнительные главы квантовой механики»**

**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**

**Задания по темам №1-4:**

Задания из книги Рубаков В.А. Классические калибровочные поля. М.:  
Эдиториал УРСС, 1999. 336 с.

**Тема №1**

Задания 2.1 – 2.10, 2.12 – 2.17, 2.27 – 2.29.

**Тема №2**

Задания 5.1 – 5.4, 6.1, 6.2.

**Тема №3**

Задания 7.1, 7.3, 7.9 – 7.11.

**Тема №4**

Задания 11.1 – 11.5, 12.1.

**1.2 Список вопросов  
к зачету по спецкурсу «Дополнительные главы  
квантовой механики»**

1. Действие, уравнение движения и функционал энергии вещественного скалярного поля.
2. Комплексное скалярное поле. Уравнения движения и функционал энергии.
3. Действие для электромагнитного поля при взаимодействии с внешними источниками. Уравнения движения и тензор энергии-импульса.
4. Калибровочно-инвариантное взаимодействие в скалярной электродинамике.
5. Неабелевы калибровочные поля. Уравнения движения и функционал энергии.
6. Теорема Нётер.
7. Потенциал Хиггса. Спонтанное нарушение глобальной  $U(1)$ -симметрии. Намбу-голдстоуновский бозон.
8. Скалярная электродинамика со спонтанным нарушением  $U(1)$ -симметрии. Механизм Хиггса.
9. Кинк. Функционал энергии и эффективная масса кинка.
10. Топологический заряд кинка. Устойчивость кинка при малых возмущениях.
11. Скалярная электродинамика с потенциалом Хиггса в  $(2+1)$ -мерном пространстве-времени. Уравнения движения.
12. Сингулярные калибровочные преобразования. Вихрь Абрикосова-Нильсена-Олесена. Топологический заряд вихря.
13. Распад метастабильного состояния при туннелировании в квантовой механике.
14. Вероятность распада ложного вакуума в теории скалярного поля.



15. Евклидовы калибровочные теории. Инстантон в теории Янга-Миллса.

16. Классические вакуумы и  $\theta$ -вакуумы.

Оценивание уровня сформированности компетенций в процессе освоения дисциплины осуществляется по следующей трехуровневой шкале:

**Пороговый уровень** - предполагает отражение тех ожидаемых результатов, которые определяют минимальный набор знаний и (или) умений и (или) навыков, полученных студентом в результате освоения дисциплины. Пороговый уровень является обязательным уровнем для студента к моменту завершения им освоения данной дисциплины. Освоено «знать»

**Продвинутый уровень** - предполагает способность студента использовать знания, умения, навыки и (или) опыт деятельности, полученные при освоении дисциплины, для решения профессиональных задач. Продвинутый уровень превосходит пороговый уровень по нескольким существенным признакам. Освоено «знать» и «уметь»

**Высокий уровень** - предполагает способность студента использовать потенциал интегрированных знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, полученных при освоении дисциплины, для творческого решения профессиональных задач и самостоятельного поиска новых подходов в их решении путем комбинирования и использования известных способов решения применительно к конкретным условиям. Высокий уровень превосходит пороговый уровень по всем существенным признакам. Освоено «знать», «уметь» и «владеть»

В зависимости от уровня сформированности каждой компетенции по окончании освоения дисциплины студенту выставляется оценка. Для дисциплин, изучаемых в течение нескольких семестров, оценка может выставляться не только по окончании ее освоения, но и в промежуточных семестрах. Вид оценки («зачтено», «незачтено») определяется рабочей программой дисциплины в соответствии с учебным планом.

Оценка «зачет» выставляется студенту, у которого каждая компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована не ниже, чем на пороговом уровне.

Оценка «незачтено» выставляется студенту, у которого хотя бы одна компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована ниже, чем на пороговом уровне.

## **Приложение № 2 к рабочей программе дисциплины «Дополнительные главы квантовой механики»**

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

Основной формой изложения учебного материала по дисциплине «Дополнительные главы квантовой механики» являются лекции. Это связано с тем, что в основе дисциплины лежит особый математический аппарат, с помощью которого решаются довольно сложные и громоздкие задачи. По всем темам предусмотрены практические занятия, на которых происходит закрепление лекционного материала путем применения его к конкретным задачам и отработка навыков работы с аппаратом математической физики.

Для успешного освоения дисциплины важно решение достаточно большого количества задач, как в аудитории, так и самостоятельно в качестве домашних заданий. Примеры решения задач разбираются на лекциях и практических занятиях. Основная цель решения задач – помочь усвоить фундаментальные понятия и основы математической физики. Для решения всех задач необходимо знать и понимать лекционный материал. Поэтому в процессе изучения дисциплины рекомендуется регулярное повторение пройденного лекционного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо дома еще раз прорабатывать и при необходимости дополнять информацией, полученной на практических занятиях или из учебной литературы.

Большое внимание должно быть уделено выполнению домашней работы. В качестве заданий для самостоятельной работы дома студентам предлагаются задачи, аналогичные разобранным на лекциях и практических занятиях или немного более сложные, которые являются результатом объединения нескольких базовых задач.

Для проверки и контроля усвоения теоретического материала, приобретенных практических навыков работы с аппаратом математической физики в течение обучения проводятся мероприятия текущей аттестации в виде самостоятельных работ.

В конце изучения дисциплины студенты сдают зачет. Зачет принимается по решению задач из каждой темы курса.

Освоить вопросы, излагаемые в процессе изучения дисциплины «Дополнительные главы квантовой механики» самостоятельно студенту крайне сложно. Это связано со сложностью изучаемого материала и большим объемом курса. Поэтому посещение всех аудиторных занятий является совершенно необходимым. Без упорных и регулярных занятий в течение семестра сдать зачет по итогам изучения дисциплины студенту практически невозможно.