

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:
Декан физического факультета
С.Н. Филимонов

Рабочая программа дисциплины

Квантовая электродинамика с нестабильным вакуумом

по направлению подготовки

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки:
«Фундаментальная и прикладная физика»

Форма обучения
Очная

Квалификация
Магистр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
О.Н. Чайковская

Председатель УМК
О.М. Сюсина

Томск – 2025

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПК-1 – Способен проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК-1.1 – Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования.

ИПК-1.2 – Умеет выделять и систематизировать основные цели исследований в выбранной области физики, извлекать информацию из различных источников, включая периодическую печать и электронные коммуникации, представлять её в понятном виде и эффективно использовать.

ИПК-1.3 Владеет навыками аналитической переработки информации, проведения исследований с помощью современной аппаратуры и информационных технологий, обобщения и представления результатов, полученных в процессе решения задач исследования.

2. Задачи освоения дисциплины

– Освоить понятийный аппарат и методы квантовой электродинамики с нестабильным вакуумом.

– Научиться применять понятийный аппарат и квантовой электродинамики с нестабильным вакуумом для решения практических задач профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплина (модули) по выбору 1 (ДВ.1)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине Семестр 2, экзамен.

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Математический анализ, Линейная алгебра и аналитическая геометрия, Дифференциальные уравнения, Методы математической физики, Квантовая теория поля, Квантовая электродинамика.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часа, из которых:

– лекции: 16 ч.;

– практические занятия: 16 ч.;

в том числе практическая подготовка: 16 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Тема 1. Картина Фарри и рождение пар внешним полем.

Краткое содержание темы.

Квантовая электродинамика с внешним полем. Критическое поле. Интерпретация КЭД с внешним полем. Картина Фарри. Квантованное заряженное спинорное поле во внешнем электромагнитном поле. Диагонализация гамильтониана в in- и out- областях, in- и out- вакуумы. In- и out- состояния частиц. Линейные канонические преобразования. Собственные канонические преобразования. Обобщенная нормальная форма операторов относительно in- и out- вакуумов. Среднее число электронов в данном квантовом состоянии, рожденных из вакуума внешним полем.

Тема 2. Нестационарные внешние поля, нарушающие стабильность вакуума.

Краткое содержание темы.

Уравнение Дирака в нестационарных полях ступенчатого типа. Квадрирование уравнения Дирака. Определение in- и out- состояний. Выражение для дифференциального числа рожденных пар внешним полем. Рождение пар в нестационарном поле типа Заутера. Рождение пар Т-постоянным электрическим полем. Универсальное поведение вакуумной неустойчивости в медленно меняющихся сильных электрических полях.

Тема 3. Тензор энергии-импульса в КЭД с сильным полем.

Краткое содержание темы.

Матричные элементы тензора энергии-импульса в обобщенном представлении Фарри. Однопетлевые матричные элементы тензора энергии-импульса спинорного поля. Представления собственного времени для функции Грина в Т-постоянном электрическом поле. Средние тензора энергии-импульса в Т-постоянном электрическом поле.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине осуществляется путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, тестов по лекционному материалу и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр. Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Экзамен во втором семестре проводится в письменной форме по билетам. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» – <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=32994>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (<https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>).

в) План семинарских / практических занятий по дисциплине.

Тема 1. Решение уравнения Дирака в нестационарном электрическом поле типа ступеньки. Вычисление интегралов движения уравнения Дирака. Вычисление нормировки in- и аут- состояний.

Тема 2. Общее решение уравнения Дирака и Клейна-Гордона для потенциала типа Заутера. Определение in- и аут- состояний в потенциале типа Заутера. Исследование предельного случая ступеньки Клейна.

Тема 3. Вычисление дифференциального числа рождающихся пар в потенциале типа Заутера. Основной вклад в полное число рождающихся пар. Решение уравнения Дирака для постоянного однородного электрического поля.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Фрадкин Е. С., Гитман Д. М., Шварцман Ш. М. Квантовая электродинамика с нестабильным вакуумом. – 1991. – 296 с.
2. Ритус В. И. Квантовые эффекты взаимодействия элементарных частиц с интенсивным электромагнитным полем //Труды ФИАН. – 1979. – Т. 111. – С. 5-151.
3. Тернов И. М., Жуковский В. Ч., Борисов А. В. Квантовые процессы в сильном внешнем поле: Учебное пособие. – МГУ, 1989.

б) дополнительная литература:

- Рощупкин С. П., Лебедь А. А. Эффекты квантовой электродинамики в сильных импульсных лазерных полях //К.: Наук. Думка. – 2013.
- Гитман Д. М., Тютин И. В. Каноническое квантование полей со связями. – Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986.

в) ресурсы сети Интернет:

- Furry's theorem

https://en.wikipedia.org/wiki/Furry%27s_theorem

– Quantum Electrodynamics (QED)

<https://www.youtube.com/watch?v=crfY2vzVMbI>

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

- Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);
- публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ –
<http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ –
<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
- ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
- Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
- ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
- ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Аудитории, оборудованные соответствующей техникой (в том числе «Актру»), для реализации учебного процесса в смешанном формате.

15. Информация о разработчиках

Бреев Александр Игоревич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры теоретической физики ФФ НИ ТГУ.