

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

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан физического факультета

С.Н. Филимонов
«15» апреля 2021 г.


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
2021

Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.01.01.07

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП

О.Н. Чайковская

Председатель УМК

О.М. Сюсина

Томск – 2021

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

– ПК-1 – Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК-1.1. Знает основные стратегии исследований в выбранной области физики, критерии эффективности, ограничения применимости;

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 аппарат квантовой теории поля с нестабильным вакуумом применительно к задачам теоретической физики.

– Научиться применять методы квантовой электродинамики с нестабильным вакуумом для исследования теоретико-полевых моделей и решения практических задач профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

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 4 з.е., 144 часов, 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.

Квантовая электродинамика с внешним полем. Критическое поле. Интерпретация КЭД с внешним полем. Картина Фарри. Квантованное заряженное спиновое 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.

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 T-постоянным электрическим полем. Универсальное поведение вакуумной нестабильности в медленно меняющихся сильных электрических полях.

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

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

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится с применением балльно-рейтинговой системы, включающей контроль посещаемости, результаты выполнения контрольных работ, заданий и тестов по материалам курсу, и фиксируется в форме баллов (нарастающим итогом): посещаемость – максимальный балл 10, выполнение контрольных заданий – 40, тестов – 10. Контрольная точка проводится не менее одного раза в семестр.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Экзамен во 2 семестре проводится в письменной форме по билетам. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

На промежуточную аттестацию планируется не более 40% рейтинга.

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Экзаменационная оценка определяется исходя из результатов экзамена и текущей аттестации в течение семестра и согласуется с принятым соответствием с 5-ти балльной шкалой оценивания: 99-86 — «отлично»; 85-66 — «хорошо»; 65-45 — «удовлетворительно», менее 45 — «неудовлетворительно».

Экзаменационный билет состоит из трех частей.

Первая часть представляет собой тест из 3-х основных вопросов, проверяющих сформированность компетенции ПК-1 в соответствии с индикаторами ИПК-1.1 и ИПК-1.2. Ответы даются в развернутой форме, включая практические задачи.

Вторая часть содержит 2 дополнительных вопроса из списка контрольных вопросов по курсу (приведен в разделе 11), проверяющих соответствие индикатору достижения компетенции ИПК-1.3. Ответ на вопрос второй части дается в краткой форме, включающей краткую интерпретацию полученных результатов.

Примерный перечень теоретических вопросов.

Вопрос 1. Объясните связь между собственностью линейных канонических преобразований и рождением пар внешним электромагнитным полем.

Вопрос 2. Найдите спиновые интегралы симметрии уравнения Дирака в электрическом поле, заданном ступенчатым потенциалом.

Вопрос 3. Задача. Получить выражение для дифференциального числа рождающихся пар в $(2+1)$ -мерном пространстве-времени для нестационарного поля типа ступеньки Клейна.

Дополнительные вопросы.

Вопрос 1. Что такое представление собственного времени для фейнмановской функции Грина?

Вопрос 2. Сформулировать обобщенную теорему Вика.

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.

Перечень вопросов, выносимых на экзамен.

1. Проблемы квантовой электродинамики с внешним полем.
2. Критическое поле. Интерпретация КЭД с внешним полем.
3. Картина Фарри.
4. Квантованное заряженное спинорное поле во внешнем электромагнитном поле.
5. Диагонализация гамильтониана в in- и out- областях.
6. In- и out- вакуумы. In- и out- состояния частиц.
7. Линейные канонические преобразования.
8. Собственные канонические преобразования.
9. Обобщенная нормальная форма операторов относительно in- и out- вакуумов.
10. Среднее число электронов в данном квантовом состоянии, рожденных из вакуума внешним полем.
11. Уравнение Дирака в нестационарных полях ступенчатого типа.
12. Квадрирование уравнения Дирака в нестационарных полях ступенчатого типа.
13. Определение in- и out- состояний.
14. Выражение для дифференциального числа рожденных пар внешним полем.
15. Рождение пар в нестационарном поле типа Заутера.
16. Рождение пар Т-постоянным электрическим полем.
17. Универсальное поведение вакуумной нестабильности в медленно меняющихся сильных электрических полях.
18. Матричные элементы тензора энергии-импульса в обобщенном представлении Фарри.
19. Однопетлевые матричные элементы тензора энергии-импульса спинорного поля.
20. Представления собственного времени для функции Грина в Т-постоянном электрическом поле.
21. Средние тензора энергии-импульса в Т-постоянном электрическом поле.

в) План семинарских / практических занятий по дисциплине.

1. Интерпретации КЭД с внешним полем
2. Диагонализация гамильтониана.
3. Рождение пар в нестационарном потенциале типа ступеньки Клейна .
4. Рождение пар в нестационарном потенциале типа Заутера.
5. Рождение пар в Т-постоянном электрическом поле.

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студента включает:
углубленное теоретическое изучение разделов курса при подготовке лекционным и практическим занятиям;
подготовку к обсуждению материала, в том числе самостоятельный поиск необходимых источников информации, включая научно-образовательные ресурсы сети Интернет;
подготовку к экзамену.

Вопросы, вынесенные на самостоятельное изучение.

1. Производящий функционал функций Грина.
2. Теория возмущений по радиационному взаимодействию для средних значений.
3. Матрица плотности частиц, рожденных во внешнем поле.
4. Вероятность распада состояний во внешнем поле.

Темы для рефератов и учебно-методическая литература для самостоятельной работы по разделам дисциплины «Квантовая электродинамика с нестабильным вакуумом»:

Тема 1. Нахождение функций Грина во внешнем поле методом функционального интегрирования.

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. Фрадкин Е. С., Шварцман Ш. М. Континуальный подход в теории Янга—Миллса во внешнем неабелевом поле.//Труды ФИАН. – 1990. – Т. 201. – С. 3-32.

Тема 2. Вероятность излучения фотона из одноэлектронного состояния.

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.

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 OneNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook); системы компьютерной вёрстки LaTeX; системы компьютерной алгебры Wolfram Mathematica, Waterloo Maple;

– 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 практических занятий, 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 для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешанном формате, оснащенные системой («Актру»).

15. Информация о разработчиках

Бреев Александр Игоревич, кандидат физико-математических наук, кафедра теоретической физики физического факультета ТГУ, доцент.