

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**и.о. директора физтех-школы
физики и исследований им.
Ландау**

А.А. Воронов

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине:	Квантовая теория поля на решетке
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра теоретической астрофизики и квантовой теории поля
курс:	2
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: В.В. Брагута, д-р физ.-мат. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры теоретической астрофизики и квантовой теории поля 04.06.2020

Аннотация

Курс посвящен изучению методов решеточного моделирования теории сильного взаимодействия – Квантовой Хромодинимики (КХД). В рамках курса рассмотрена решеточная формулировка глюодинамики. Изучены методы разложения по сильной константе связи, правила Фейнмана в области слабой связи, перенормировка и ренормгруппа в решеточной КХД, фазовые переходы в глюодинамике при конечной температуре и др. вопросы. Другой темой, рассмотренной в курсе, является введение фермионов на решетке. В этой области будут рассмотрены следующие вопросы: дублирование фермионных ароматов и киральная симметрия, Вильсоновские, staggered и overlap фермионы. Введение фермионов позволяет изучать свойства КХД. В курсе будут рассмотрены фазовые переходы в КХД, влияние внешних условий (магнитное поле, барионная плотность, температура и др) на свойства КХД, явление конфайнмента, уравнение состояния и др. вопросы. Отдельно будут рассмотрены численные методы, которые позволяют вычислять функциональный интеграл в различных сильновзаимодействующих теориях.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

получение начальных знаний по решеточному моделированию теории сильных взаимодействий.

Задачи дисциплины

- формирование у обучающихся базовых знаний по решеточному моделированию теории сильных взаимодействий;
- формирование понимания глубокой связи между различными разделами теоретической физики;
- формирование умений и навыков применять полученные знания для решения различных задач, самостоятельного анализа полученных результатов.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений

ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях; современные проблемы физики, химии, математики; теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях; принципы симметрии и законы сохранения; новейшие открытия естествознания; постановку проблем физико-математического моделирования; о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

уметь:

эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы; представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания; абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций.

владеть:

планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента; научной картиной мира; математическим моделированием физических задач.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Функциональный интеграл в квантовой теории поля		5		5
2	Калибровочные теории на решетке		5		5
3	Фермионы на решетке		5		5
4	Численные методы вычисления функциональных интегралов в сильновзаимодействующих теориях		5		5
5	Результаты численного моделирования КХД		5		5
6	Моделирование КХД во внешних условиях		5		5
Итого часов			30		30
Подготовка к экзамену		30 час.			

Общая трудоёмкость	90 час., 2 зач.ед.
--------------------	--------------------

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 3 (Осенний)

1. Функциональный интеграл в квантовой теории поля

Статистическая сумма для скалярной теории и теории с фермионами как интеграл по путям. Дискретизация непрерывной теории. Непрерывный предел. Вычисление пропагаторов в решеточной теории.

2. Калибровочные теории на решетке

Формулировка калибровочной теории на решетке. Калибровочная инвариантность. Фиксация калибровки. Разложение по большой константе связи. Правила Фейнмана для теории со слабой константой связи. Фиксация масштаба и ренормгруппа.

3. Фермионы на решетке

Проблема дублеров. Киральная симметрия. Вильсоновское действие. Staggered действие. Overlap фермионы.

4. Численные методы вычисления функциональных интегралов в сильно взаимодействующих теориях

Методы Метрополиса и тепловой ванны. Моделирование теории с фермионами: метод гибридного Монте Карло.

5. Результаты численного моделирования КХД

Фазовые переходы в КХД. Свойства КХД при высоких температурах. Потенциал взаимодействия статических кварков. Поляковская линия и петля Вильсона.

6. Моделирование КХД во внешних условиях

Введение химического потенциала и магнитного поля в фермионное действие. Фазовые переходы во внешних полях. Проблема знака и методы расчетов в теориях с проблемой знака.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Кварки, глюоны и решетки [Текст]/М. Кройц , Quarks, gluons and lattices, пер. с англ. В. П. Гердта, В. К. Митрюшкина , -М., Мир, 1987
2. Квантовая теория поля [Текст]. В 2 т. Т. 1/К. Ициксон, Ж.-Б. Зюбер , -М., Мир, 1984
3. Квантовая теория поля [Текст]. В 2 т. Т. 2/К. Ициксон, Ж.-Б. Зюбер , -М., Мир, 1984
3. István Montvay and Gernot Münster, Quantum Fields on a Lattice
4. Christof Gattringer, Quantum Chromodynamics on the Lattice

Дополнительная литература

1. Введение в квантовую теорию поля [Текст] : [учебник для вузов] / М. Пескин, Д. Шредер ; пер. с англ. под ред. А.А. Белавина, А. В. Беркова .— М. ; Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, 2001 .— 784 с.
2. Континуальный интеграл в квантовой механике [Текст]/Ж. Зинн-Жюстен , -М., Физматлит, 2010
3. Heinz J Rothe, Lattice Gauge Theories: An Introduction

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

SAO/NASA ADS Custom Query Form - http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html
SIMBAD Astronomical Database - <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>
NASA/IPAC Extragalactic Database - <http://ned.ipac.caltech.edu/>

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Компьютер, мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система) и соответствующее программное обеспечение

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения и понятия, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра теоретической астрофизики и квантовой теории поля
курс:	2
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Экзамен	
Разработчик:	В.В. Брагута, д-р физ.-мат. наук, доцент

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Квантовая теория поля на решетке» обучающийся должен:

знать:

место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях; современные проблемы физики, химии, математики; теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях; принципы симметрии и законы сохранения; новейшие открытия естествознания; постановку проблем физико-математического моделирования; о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

уметь:

эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы; представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания; абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций.

владеть:

планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента; научной картиной мира; математическим моделированием физических задач.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Примеры вопросов и заданий:

1. Вычислить пропагатор скалярной частицы на решетке. Вычислить дисперсионное соотношение для этой частицы.
2. Формулировка калибровочной $U(1)$ теории на решетке.
3. Показать, что калибровочная инвариантность на решетке сводится к калибровочной инвариантности в непрерывной теории.
4. Вычислить пропагатор глюона на решетке.
5. Получить однопетлевое выражение для кирального конденсата в решеточной теории.
6. Вывести условие квантования магнитного поля на решетке с периодическими граничными условиями.
7. Расскажите о методах фиксации калибровки на решетке.
8. Каким образом фиксируется масштаб в решеточных вычислениях
9. Какие фазовые переходы имеются в КХД
10. Чем отличаются фазовые переходы в КХД от фазовых переходов в глюодинамике.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Перечень контрольных вопросов:

1. Вывести формулу для натяжения струны в явлении конфайнмента в приближении сильной связи.
2. Что является параметром порядка для фазового перехода конфайнмент/деконфайнмент в глюодинамике
3. Чем отличаются параметры порядка для перехода конфайнмент/деконфайнмент в КХД и глюодинамике
4. Как можно ввести химический потенциал кварков. В чем разница между различными способами.
5. Сколько ароматов фермионов получится в наивной дискретизации действия в $3x$ мерном пространстве

Примеры контрольных заданий:

1. Определить спектр теории из пропагатора для staggered фермионов.
2. Вычислить натяжение струны для $U(1)$ теории в области сильной связи.
3. Определить коэффициенты улучшенного действия глюонного поля
4. Вычислить плотность энергии для теории с фермионами и ненулевым химическим потенциалом.
5. Найти остаточное калибровочное преобразование в максимально абелевой калибровке.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

1. Вычислить первую поправку к натяжению струны для $U(1)$ теории в сильной связи
2. Метод Метрополиса

Билет 2.

1. Вычислить массу глюбола в $U(1)$ теории в сильной связи
2. Метод тепловой ванны.

Билет 3.

1. Вычислить кварковую плотность в теории с химическим потенциалом.
2. Найти выражение для плакетика в $SU(2)$ калибровочной теории.

Билет 4.

1. Найти члены, которые нарушают тейстовую симметрию в действии staggered фермионов
2. Метод гибридного Монте-Карло

Билет 5.

- 1.Вычислить плотность энергии при ненулевой температуре для решеточной скалярной теории
- 2.Фазовые переходы в КХД при конечной температуре.

Критерии оценивания

Оценка «отлично (10)» выставляется обучающемуся, если он показал всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений;

оценка «отлично (9)» выставляется обучающемуся, если он показал всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений, но при этом были допущены небольшие неточности, которые были самостоятельно обнаружены и исправлены;

оценка «отлично (8)» выставляется обучающемуся, если он показал всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений, но при этом были допущены небольшие неточности, которые после указания экзаменатора были самостоятельно исправлены;

оценка «хорошо (7)» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает неточности в ответе или делает несущественные ошибки при решении задач;

оценка «хорошо (6)» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает небольшие ошибки в ответе и (или) при решении задач;

оценка «хорошо (5)» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но отвечает неуверенно и (или) допускает ошибки при решении задач;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется обучающемуся, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, неточные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, если при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется обучающемуся, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, неточные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, не владеющему некоторыми разделами учебной программы, но умеющему применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется обучающемуся, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач;

оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется обучающемуся, показавшему полное незнание учебной программы дисциплины.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Экзамен проводится в устной форме по билетам. В каждом билете представлено два теоретических вопроса. При проведении экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.