

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

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы физики
и исследований им. Ландау
А.В. Рогачев**

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Голографические методы в квантовой теории поля
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра квантовой теории поля, теории струн и математической физики
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 45 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: А.С. Горский, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры квантовой теории поля, теории струн и математической физики
27.03.2025

Аннотация

В рамках курса будет изучена голографическая модель систем большого числа степеней свободы с сильной связью. Будет детально изучена голографическая модель для $N=4$ суперсимметричной теории Янга-Миллса и рассмотрены примеры вычислений, основанных на голографической дуальности. Будет изучена голографическая модель КХД в фазах конфайнмента и деконфайнмента. Будут рассмотрены голографические вычисления энтропии запутывания и их применения к квантовой теории информации. Голографические модели будут применены к различным задачам физики твердого тела, включая вычисление транспортных коэффициентов и моделям сверхпроводимости.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

изучение дуальных струнных модели. Дальнейшее последовательное изучение разделов студентами, специализирующихся по квантовой теории поля будет, таким образом, базироваться на данном курсе.

Задачи дисциплины

- формирование у обучающихся базовых знаний и концепций,
- умение проводить основные вычисления, встречающиеся в курсе,
- знание основных утверждений,
- формирование умений применять полученные знания для решения задач, характерных в теории струн, и самостоятельного анализа полученных результатов.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности
	УК-6.2 Оценивает свою деятельность, соотносит цели, способы и средства выполнения деятельности с её результатами
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	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности

проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
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-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
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
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- голографическую дуальность между калибровочной квантовой теорией поля и теорией струн в искривленном пространстве;
- основные примеры теории струн, состав частиц, симметрии.

уметь:

- работать с основными объектами теории струн: амплитуды, физические вертексы;
- решать задачи на анализ состояний в теории струн.

владеть:

математическим аппаратом конформной теории поля в приложении к теории струн.

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

	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.
--	---

№	Тема (раздел) дисциплины	Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Суперсимметрия в квантовой механике.	3	9		9
2	Центральные заряды и солитонные конфигурации в суперсимметричных теориях поля.	3	9		9
3	Суперсимметричная электродинамика.	3	9		9
4	Теории с расширенной суперсимметрией и вакуумные долины.	3	9		9
5	Теория Зайберга-Виттена и вакуумное решение.	3	9		9
Итого часов		15	45		45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

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

Семестр: 2 (Весенний)

1. Суперсимметрия в квантовой механике.

- а. Индекс Виттена. Алгебра суперсимметрии в одном измерении. Вырождение спектра. Индекс Виттена и примеры его вычисления. Простейшие модели суперсимметричных теорий поля.
- б. Модель Весса-Зумино. Алгебра суперсимметрии в теории поля. Модель Весса-Зумино и классификация суперполей. Вакуумная структура модели и ее приложения.

2. Центральные заряды и солитонные конфигурации в суперсимметричных теориях поля.

- а. Определения центральных зарядов и их свойства. Состояния, сохраняющие половину суперсимметрии. Множественность состояний. Стабильность спектра.
- б. Суперсимметричные сигма-модели на поверхности струны. Суперсимметрия в теории струн. Действие суперструн. Суперструны в присутствии гравитационного поля. Центральные заряды на мировой поверхности струны.

3. Суперсимметричная электродинамика.

- а. Вакуумы. Суперсимметричное обобщение электродинамики. Состав полей. Спектр теории. Перенормировки.
- б. Теория Янга-Миллса. Суперсимметричная КХД. Состав полей и лагранжианы.

4. Теории с расширенной суперсимметрией и вакуумные долины.

- а. Калибровочные теории с расширенной суперсимметрией. Примеры в разном числе измерений. Вычисление индекса Виттена. Физические приложения.
- б. Петлевые вычисления в неабелевых суперсимметричных теориях. Примеры вычисления перенормировок в суперсимметричных калибровочных теориях. Бэта-функция. Конформная суперсимметричная КХД.

5. Теория Зайберга-Виттена и вакуумное решение.

- a. Спектр масс стабильных частиц. Формулировка теории Зайберга-Виттена. Аналитические свойства препотенциала. Спектр масс стабильных частиц. Ренормгруппа и интегрируемость. Нарушение симметрии и дуальный эффект Мейсснера.
- b. $N=1$ суперсимметричные теории поля. Глюонный конденсат. Доменные стенки.

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

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий: компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система).

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Начальный курс теории струн. Б.Цвибах . 2011- 784 стр.-ISBN-978-5-354-01367-8
2. IТЕР Lectures on Particle Physics and Field Theory. M.Shifman.1999.484 pages, ISBN-981-02-3945-3
3. Сборник «Физика фундаментальных взаимодействий» , 2008, 498 стр. ISBN-978-57297-0293-2

Дополнительная литература

1. Успехи физических наук, 48, 2005, 1993-2031 «Калибровочные теории как теории струн. Первые результаты»

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

<http://astrolyceum.lpi.ru>, <http://astronet.ru>

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

Журналы ЖЭТФ и ТМФ, интернет-ресурсы (<http://astrolyceum.lpi.ru>, <http://astronet.ru>), электронные конспекты лекций, учебные пособия и сборники задач, разработанные для данного курса.

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 дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента в соответствии с данными в рабочей программе. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях и практических занятиях;
- при необходимости подготовку к практическим занятиям, коллоквиумам, экзамену.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи. Для формирования умения применять знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач.

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

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

ПРИЛОЖЕНИЕ

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 квантовой теории поля, теории струн и математической физики
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен	
Разработчик:	А.С. Горский, д-р физ.-мат. наук, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности
	УК-6.2 Оценивает свою деятельность, соотносит цели, способы и средства выполнения деятельности с её результатами
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-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
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-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования

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
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Голографические методы в квантовой теории поля» обучающийся должен:

знать:

- голографическую дуальность между калибровочной квантовой теорией поля и теорией струн в искривленном пространстве;
- основные примеры теории струн, состав частиц, симметрии.

уметь:

- работать с основными объектами теории струн: амплитуды, физические вертексы;
- решать задачи на анализ состояний в теории струн.

владеть:

математическим аппаратом конформной теории поля в приложении к теории струн.

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

Пример домашнего задания:

Задача 1. Классифицировать все типы геодезических в AdS_3 . Связать классификацию геодезических с классификацией классов сопряженности группы $SL(2, \mathbb{R})$.

Задача 2. Вычислить в $N=4$ SYM в терминах голографии коррелятор двух тензоров энергии-импульса.

Задача 3. Вычислить в режиме сильной связи в $N=4$ SYM Вильсоновскую линию на границе в виде угла с раствором θ .

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

Примерный перечень вопросов:

1. Суперсимметрия в квантовой механике. Индекс Виттена. Алгебра суперсимметрии в одном измерении. Вывод спектра. Индекс Виттена и примеры его вычисления.
2. Простейшие модели суперсимметричных теорий поля. Модель Весса-Зумино. Алгебра суперсимметрии в теории поля. Модель Весса-Зумино и классификация суперполей. Вакuumная структура модели и ее приложения.
3. Центральные заряды и солитонные конфигурации в суперсимметричных теориях поля. Определения центральных зарядов и их свойства. Состояния, сохраняющие половину суперсимметрии. Множественность состояний. Стабильность спектра.
4. Суперсимметричные сигма-модели на поверхности струны. Суперсимметрия в теории струн. Действие суперструн. Суперструны в присутствии гравитационного поля. Центральные заряды на мировой поверхности струны.
5. Суперсимметричная электродинамика. Вакуумы. Суперсимметричное обобщение электродинамики. Состав полей. Спектр теории. Перенормировки.
6. Теория Янга-Миллса. Суперсимметричная КХД. Состав полей и лагранжианы.

7. Теории с расширенной суперсимметрией и вакуумные долины. Калибровочные теории с расширенной суперсимметрией. Примеры в разном числе измерений. Вычисление индекса Виттена. Физические приложения.
8. Петлевые вычисления в неабелевых суперсимметричных теориях. Примеры вычисления перенормировок в суперсимметричных калибровочных теориях. Бэта-функция. Конформная суперсимметричная КХД.
9. Теория Зайберга-Виттена и вакуумное решение. Спектр масс стабильных частиц. Формулировка теории Зайберга-Виттена. Аналитические свойства препотенциала. Спектр масс стабильных частиц. Ренормгруппа и интегрируемость. Нарушение симметрии и дуальный эффект Мейсснера.
10. $N=1$ суперсимметричные теории поля. Глюонный конденсат. Доменные стенки. Свойство конфайнмента в теории. Индекс Виттена. Точная перенормировка заряда. Центральный заряд теории. Доменные стенки и неабелевы струны. Топологические корреляторы и глюонный конденсат.
11. Дуальность Малдасены между теорией поля и теорией струн. Браны и создаваемая ими метрика. Пространство Анти-ДеСиттера. Дуальность Малдасены. Различные пределы дуальных систем. Соответствие симметрий и параметров. Интерпретация ренормгруппы.
12. Вычисление корреляторов методом дуальности. Формулировка метода вычисления корреляторов в теории поля через эффективную супергравитацию. Примеры вычисления корреляторов.
13. Вычисление петель Вильсона и аномальных размерностей. Примеры вычисления петель Вильсона через минимальные поверхности в кривой.

Примеры билетов:

Билет 1.

1. Суперсимметрия в квантовой механике. Алгебра суперсимметрии в одном измерении. Вырождение спектра. Индекс Виттена и примеры его вычисления.
2. Теория Янга-Миллса. Суперсимметричная КХД. Состав полей и лагранжианы.

Билет 2.

1. Простейшие модели суперсимметричных теорий поля. Модель Весса-Зумино. Алгебра суперсимметрии в теории поля. Модель Весса-Зумино и классификация суперполей. Вакuumная структура модели и ее приложения.
2. Теории с расширенной суперсимметрией и вакуумные долины. Калибровочные теории с расширенной суперсимметрией. Примеры в разном числе измерений. Вычисление индекса Виттена. Физические приложения.

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему 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 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

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

Прием экзамена проводится по билетам. В каждом билете представлено два задания. Обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.