

**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 неравновесных явлений
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра проблем физики и астрофизики
курс:	1
квалификация:	магистр

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

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: А.Г. Семенов, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры проблем физики и астрофизики 04.06.2020

Аннотация

Курс предназначен для студентов первого курса магистратуры МФТИ и имеет своей целью обучение студентов методам, используемым при описании различных квантовых неравновесных явлений в современной физике конденсированного состояния вещества, космологии, физике высоких энергий и др. Также в рамках курса студенты будут ознакомлены с рядом задач из различных областей физики, к которым могут быть применены данные методы. В частности, будет подробно обсуждено то, как из квантовой унитарной эволюции возникает диссипативное и классическое поведение сложных многочастичных и полевых систем, и как данное поведение может быть описано в редуцированных терминах. Помимо этого, будет подробно обсужден вопрос о рождении частиц в сильных полях.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

формирование знаний и умений, необходимых для проведения теоретических исследований с использованием таких методов, как неравновесная диаграммная техника, техника Келдыша, квантовое кинетическое уравнение и др. в различных областях современной физики.

Задачи дисциплины

- Формирование у обучающихся знаний о современных задачах, связанных с описанием поведения квантовых систем вдали от состояния равновесия
- Обучение студентов методам, используемым при описании различных квантовых неравновесных явлений
- Формирование умений и навыков применять полученные знания для решения задач при помощи неравновесной диаграммной техники, техники Келдыша и других подходов, рассматриваемых в данном курсе

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
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области 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-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
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
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

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- Основные подходы и проблемы возникающие при описания квантовых систем вдали от состояния равновесия;
- Основные понятия курса: матрица плотности, функции Грина, неравновесная диаграммная техника, квантовое кинетическое уравнение, функционал влияния, стохастическое дифференциальное уравнение, флуктуационно-диссипативная теорема, обобщенный Гиббсовский ансамбль;
- Смысл применяемых в курсе методов.

уметь:

- Применять обсуждаемые в рамках курса подходы к решению задач;
- Анализировать применимость описанных методов к описания тех или иных неравновесных явлений.

владеть:

- Теоретическим и понятийным аппаратом физики неравновесных систем.

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	Метод функционального интегрирования для описания квантовых частиц, полей и ансамблей большого числа частиц	2	1		5
2	Квантовая механика диссипативных систем	2	1		5
3	Функционал влияния Фейнмана-Вернона	2	1		5
4	Уравнение Ланжевена	3	1		5
5	Квантовая теория поля на контуре Келдыша	3	1		5
6	Классические и квантовые компоненты полей	3	2		5
7	Связь операторного подхода и подхода континуального интегрирования	3	2		6
8	Пример скалярной теории с кубическим взаимодействием	3	2		6
9	Рождение частиц в сильных полях	3	1		6
10	Рождение частиц в искривленном пространстве-времени	3	1		6
11	Неравновесные состояния в реальных системах	3	2		6
Итого часов		30	15		60
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. Метод функционального интегрирования для описания квантовых частиц, полей и ансамблей большого числа частиц

Функциональный интеграл для описания бозонных, фермионных и спиновых систем. Напоминание основных фактов.

2. Квантовая механика диссипативных систем

Пример частицы, взаимодействующая с окружением и модель Калдейры-Леггетта.

3. Функционал влияния Фейнмана-Вернона

Понятие о функционале влияния. Вывод соответствующего функционала для случая линейного диссипативного окружения.

4. Уравнение Ланжевена

Связь функционала влияния с описанием в терминах уравнения Ланжевена и иными подходами. Идеи стохастического квантования.

5. Квантовая теория поля на контуре Келдыша

Континуальный интеграл на контуре Келдыша. Сравнение in-in и in-out формализма.

6. Классические и квантовые компоненты полей

Келдышевский поворот для бозонных и фермионных полей. Связь с квазиклассическим разложением.

7. Связь операторного подхода и подхода континуального интегрирования

Связь различных подходов и возникающие при этом проблемы. Выбор регуляризации. Вывод кинетического уравнения.

8. Пример скалярной теории с кубическим взаимодействием

Структура взаимодействия, Вывод кинетического уравнения и времени релаксации.

9. Рождение частиц в сильных полях

Использование техники Келдыша для описания рождения частиц. Пример сильного электрического поля.

10. Рождение частиц в искривленном пространстве-времени

Рождение частиц в пространстве Де-Ситера.

11. Неравновесные состояния в реальных системах

Некоторые нерешенные проблемы описания неравновесных состояний в реальных системах.

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

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 10 : Физическая кинетика : учеб. пособие для вузов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского .— 2-е изд., испр. — М. : Физматлит, 2001, 2002, 2007 .— 536 с.
2. A.Kamenev, Field theory of non-equilibrium systems,Cambridge University Press, 2011.

Дополнительная литература

1. G. D. Mahan, Many-Particle Physics, Plenum, New York, 1990.
2. J. Berges, Nonequilibrium Quantum Fields: From Cold Atoms to Cosmology, arXiv:1503.02907

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

база электронных препринтов arXiv.org, электронные конспекты лекций, учебные пособия и сборники задач, разработанные для данного курса.

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

Нет.

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:

- 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 проблем физики и астрофизики
курс: 1
квалификация: магистр

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

Разработчик: А.Г. Семенов, канд. физ.-мат. наук

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
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области 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-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
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
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

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Квантовая теория неравновесных явлений» обучающийся должен:

знать:

- Основные подходы и проблемы возникающие при описания квантовых систем вдали от состояния равновесия;
- Основные понятия курса: матрица плотности, функции Грина, неравновесная диаграммная техника, квантовое кинетическое уравнение, функционал влияния, стохастическое дифференциальное уравнение, флуктуационно-диссипативная теорема, обобщенный Гиббсовский ансамбль;
- Смысл применяемых в курсе методов.

уметь:

- Применять обсуждаемые в рамках курса подходы к решению задач;
- Анализировать применимость описанных методов к описания тех или иных неравновесных явлений.

владеть:

- Теоретическим и понятийным аппаратом физики неравновесных систем.

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

Примеры контрольных заданий:

- 1 Вывод функционала влияния для случая линейного диссипативного окружения
- 2 Вывод кинетического уравнения и времени релаксации.
- 3 Использование техники Келдыша для описания рождения частиц: Пример сильного электрического поля.

- 4 Вывод связи функционала влияния с описанием в терминах уравнения Ланжевена.
- 5 Описание рождение частиц в пространстве Де-Ситера.

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

Перечень контрольных вопросов:

1. Понятие о функционале влияния.
2. Келдышевский поворот для бозонных и фермионных полей.
3. Сравнение in-in и in-out формализма.
4. Связь с квазиклассическим разложением.
5. Связь различных подходов и возникающие при этом проблемы.
6. Рождение частиц в искривленном пространстве-времени
7. Континуальный интеграл на контуре Келдыша.

Примеры экзаменационных билетов в 10-ом семестре:

Билет 1.

1. Понятие о функционале влияния.
2. Рождение частиц в пространстве Де-Ситера.

Билет 2.

1. Уравнение Ланжевена. Связь функционала влияния с описанием в терминах уравнения.
2. Использование техники Келдыша для описания рождения частиц. Пример сильного электрического поля.

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 недочётами.

Оценка "хорошо" (7 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо 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 твёрдо 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

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать одного астрономического часа. Оценивание знаний производится в соответствии с вышеуказанными критериями в соответствии с содержанием дисциплины.