

**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:	Неравновесная диаграммная техника
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: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 90 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 01.04.2024

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. Также в рамках курса студенты будут познакомлены с рядом задач, к которым могут быть применены данные методы. В частности, будет подробно обсуждено то, как строить диаграммную технику Келдыша и выводить квантовое кинетическое уравнение.

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
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	Эволюция в квантовой механике. Методы вычисления кинетических характеристик.	2	1		7
2	Основы построения диаграммной техники для неравновесных процессов в операторном подходе.	2	1		7
3	Функции Грина-Келдыша.	2	1		7
4	Правила вычисления диаграмм для разного типа взаимодействий.	3	1		8
5	Связь уравнений для функций Грина с кинетическим уравнением. Информация, которая содержится в функциях Грина-Келдыша.	3	1		8
6	Уравнения на функции Грина-Келдыша.	3	2		8
7	Собственно-энергетическая часть и уравнение Дайсона.	3	2		9
8	Примеры простых вычислений кинетических характеристик с помощью неравновесной диаграммной техники.	3	2		9
9	Пространственно-неоднородные неравновесные состояния.	3	1		9
10	Связь техники Келдыша с теорией линейного отклика и температурной диаграммной техникой.	3	1		9
11	Некоторые нерешенные проблемы.	3	2		9
Итого часов		30	15		90
Подготовка к экзамену		0 час.			

Общая трудоёмкость	135 час., 3 зач.ед.
--------------------	---------------------

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

Семестр: 1 (Осенний)

1. Эволюция в квантовой механике. Методы вычисления кинетических характеристик.

Квантовая кинетика и квантовая статистика. Оператор эволюции. Эволюция чистых и смешанных состояний. Слабо и сильно неравновесные состояния. Линейный и нелинейный отклик системы. Понятие о кинетических коэффициентах.

2. Основы построения диаграммной техники для неравновесных процессов в операторном подходе.

Понятие о контуре Келдыша. Удвоение числа полей. Построение теории возмущений.

3. Функции Грина-Келдыша.

Построение функций Грина-Келдыша. Их свойства симметрии и соотношения между ними. Случай теплового равновесия.

4. Правила вычисления диаграмм для разного типа взаимодействий.

Правила вычисления диаграмм для разного типа взаимодействий. Причинность и зануление ряда диаграмм.

5. Связь уравнений для функций Грина с кинетическим уравнением. Информация, которая содержится в функциях Грина-Келдыша.

Связь уравнений для функций Грина с кинетическим уравнением. Информация, которая содержится в функциях Грина-Келдыша. Преобразование Вигнера.

6. Уравнения на функции Грина-Келдыша.

Уравнения на функции Грина-Келдыша. Суммирование одночастично-неприводимых диаграмм.

7. Собственно-энергетическая часть и уравнение Дайсона.

Собственно-энергетическая часть. Уравнение Дайсона для разного типа взаимодействия. Вывод кинетического уравнения из уравнения Дайсона.

8. Примеры простых вычислений кинетических характеристик с помощью неравновесной диаграммной техники.

Примеры простых вычислений кинетических характеристик с помощью неравновесной диаграммной техники. Пример туннельных контактов. Использование неравновесной диаграммной техники для их описания.

9. Пространственно-неоднородные неравновесные состояния.

Пространственно-неоднородные неравновесные состояния. Квазиравновесные и стационарные неравновесные состояния.

10. Связь техники Келдыша с теорией линейного отклика и температурной диаграммной техникой.

Связь техники Келдыша с теорией линейного отклика и температурной диаграммной техникой. Вычисление функций линейного отклика в рамках техники Келдыша.

11. Некоторые нерешенные проблемы.

Некоторые нерешенные проблемы описания неравновесных состояний в реальных системах.

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

Стандартная учебная аудитория, компьютер, интернет-соединение.

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. G. D. Mahan, Many-Particle Physics, Plenum, New York, 1990.

Дополнительная литература

1. J. Berges, Nonequilibrium Quantum Fields: From Cold Atoms to Cosmology, arXiv:1503.02907
2. A. Kamenev, Field theory of non-equilibrium systems, Cambridge University Press, 2011.

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

www.arXiv.org

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

Zoom, Google meet.

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: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

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

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-1.2 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 «Неравновесная диаграммная техника» 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 кинетического уравнения из уравнения Дайсона.
- 2 Рассмотрение примера туннельных контактов.
- 3 Вычисление функций линейного отклика в рамках техники Келдыша.
- 4 Описание нелинейного отклика в рамках техники Келдыша.
- 5 Вывод связи между диаграммными техниками Келдыша и Мацубары.

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

Перечень контрольных вопросов:

1. Квантовая кинетика и квантовая статистика
2. Эволюция чистых и смешанных состояний.
3. Линейный и нелинейный отклик системы.
4. Понятие о кинетических коэффициентах.
5. Связь различных подходов и возникающие при этом проблемы.
6. Построение функций Грина-Келдыша.
7. Свойства симметрии и соотношения между ними.
8. Случай теплового равновесия.
9. Равновесные, стационарные и неравновесные состояния системы.
10. Вывод кинетического уравнения из уравнения Дайсона.

Примеры билетов для дифференцированного зачета:

Билет 1.

1. Квантовая кинетика и квантовая статистика.
2. Вычисление функций линейного отклика в рамках техники Келдыша.

Билет 2.

1. Эволюция чистых и смешанных состояний.
2. Вывод кинетического уравнения из уравнения Дайсона.

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

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