**Санкт-Петербургский государственный университет**

**Р А Б О Ч А Я П Р О Г Р А М М А**

**УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Неравновесная термодинамика и метод проектирующих операторов

Non-Equilibrium Thermodynamics and Projection Operator Method

**Язык(и) обучения**

русский

Трудоемкость в зачетных единицах: 4

Регистрационный номер рабочей программы: 000545

**Раздел 1. Характеристики учебных занятий**

**1.1. Цели и задачи учебных занятий**

Формирование у студентов, обучающихся по учебному плану кафедры статистической физики, начальных представлений о методах неравновесной термодинамики; выработка навыков построения теории сложного физического явления, знакомство с общими принципами построения неравновесной функции распределения; формулировка универсальных закономерностей; изучение основных элементов классического и квантового описания.

**1.2. Требования подготовленности обучающегося к освоению содержания учебных занятий (пререквизиты)**

Обучающиеся должны знать основные положения термодинамики и статистической физики, классической и квантовой механик

**1.3. Перечень результатов обучения (learning outcomes)**

Прослушав курс, студенты должны:  
- уметь грамотно поставить и решить вариационную задачу для конкретной несложной термодинамической модели  
- в рамках классической теории знать принцип построения неравновесной функции распределения как функционала от квазиравновесной функции распределения  
- понимать связь иерархии временных масштабов с возможностью сокращенного описания системы на различных стадиях неравновесного процесса  
- понимать смысл скалярного произведения и операции проектирования на квазиинтегралы системы  
- уметь строить в общих чертах систему уравнений для сохраняющихся величин

**1.4. Перечень и объём активных и интерактивных форм учебных занятий**

Интерактивные и активные семинары, дискуссии по результатам самостоятельной работы, обсуждение проблем неравновесной термодинамики.

**Раздел 2. Организация, структура и содержание учебных занятий**

**2.1. Организация учебных занятий**

**2.1.1 Основной курс**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Трудоёмкость, объёмы учебной работы и наполняемость групп обучающихся | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Код модуля в составе дисциплины,  практики и т.п. | Контактная работа обучающихся с преподавателем | | | | | | | | | | | | Самостоятельная работа | | | | Объём активных и интерактивных  форм учебных занятий | Трудоёмкость |
| лекции | семинары | консультации | практические  занятия | лабораторные работы | контрольные работы | коллоквиумы | текущий контроль | промежуточная  аттестация | итоговая аттестация | под руководством преподавателя | в присутствии  преподавателя | сам. раб. с использованием  методических материалов | текущий контроль (сам.раб.) | промежуточная аттестация (сам.раб.) | итоговая аттестация  (сам.раб.) |
| ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Форма обучения: очная | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Семестр 7 |  |  |  | 30 |  |  |  |  |  |  |  | 28 | 28 |  | 3 |  | 32 | 4 |
|  |  |  |  | 10-25 |  |  |  |  |  |  |  | 0-0 | 1-1 |  | 1-1 |  |  |  |
| ИТОГО |  |  |  | 30 |  |  |  |  |  |  |  | 28 | 28 |  | 3 |  |  | 4 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Виды, формы и сроки текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации | | | | | | |
| Код модуля в составе дисциплины, практики и т.п. | Формы текущего контроля успеваемости | | Виды промежуточной аттестации | | Виды итоговой аттестации  (только для программ итоговой аттестации и дополнительных образовательных программ) | |
| Формы | Сроки | Виды | Сроки | Виды | Сроки |
| ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ | | | | | | |
| Форма обученияочная | | | | | | |
| Семестр 7 |  |  | зачёт, устно, традиционная форма | по графику промежуточной аттестации |  |  |

**2.2. Структура и содержание учебных занятий**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Наименование темы (раздела, части) | Вид учебных занятий | Количество часов |
| 1 | Введение. Термодинамический метод изучения состояний макроскопических систем. Внутренние и внешние параметры термодинамической системы. Термодинамическое равновесие. Процесс релаксации. Постулаты о термодинамическом равновесии. Температура. Уравнения состояния. Изменение состояния системы. Энергия. Работа и теплота. Равновесные и неравновесные процессы. I и II начала термодинамики. Энтропия. | интерактивный семинар | 2 |
| в присутствии преподавателя | 1 |
| по методическим материалам | 2 |
| 2 | Введение. Статистический метод изучения состояний макроскопических систем. Γ- пространство. Наиболее вероятное распределение. Основной физический постулат статистической физики как связующее звено между статистическим и термодинамическим способами описания термодинамической системы. | интерактивный семинар | 2 |
| в присутствии преподавателя | 1 |
| по методическим материалам | 1 |
| 3 | Необходимость существования флуктуаций. Асимптотический характер статистической термодинамики. Термодинамический предельный переход. | семинар | 2 |
| в присутствии преподавателя | 1 |
| по методическим материалам | 2 |
| 4 | μ-пространство. Тождественные частицы. Различимые частицы. Модельная задача о распределении тождественных частиц по ящикам с ячейками. Постановка вариационной задачи. а) Фермионы. Энтропия произвольного состояния. Распределение Ферми - Дирака. Энтропия равновесного состояния. Нахождение множителей Лагранжа из сравнения с основным термодинамическим соотношением. | интерактивный семинар | 1 |
| текущий контроль | 1 |
| по методическим материалам | 1 |
| 5 | б) Бозоны. Энтропия произвольного состояния. Распределение Бозе - Эйнштейна. Энтропия равновесного состояния. Нахождение множителей Лагранжа из сравнения с основным термодинамическим соотношением. в) Различимые частицы. Энтропия произвольного состояния. Распределение Максвелла -Больцмана как предельный случай распределений Ферми - Дирака и Бозе - Эйнштейна. Парадокс Гиббса. Переход к непрерывно меняющейся энергии. | семинар | 2 |
| в присутствии преподавателя | 1 |
| по методическим материалам | 2 |
| 6 | Связь равновесных функций распределения с максимумом информационной энтропии. Вывод микроканонического распределения из условия максимума информационной энтропии. Вывод канонического распределения из условия максимума информационной энтропии. Функция Масье - Планка, ее связь с энтропией. Производящие свойства функции Масье - Планка и энтропии. Дисперсия энергии. | интерактивный семинар | 2 |
| в присутствии преподавателя | 1 |
| по методическим материалам | 1 |
| 7 | Вывод большого канонического распределения из условия максимума информационной энтропии. Функция Масье - Планка, ее связь с энтропией. Производящие свойства функции Масье - Планка и энтропии. Дисперсия энергии, числа частиц и коррелятор энергии и числа частиц. Вывод изотермо-изобарического распределения из условия максимума информационной энтропии. Функция Масье - Планка, ее связь с энтропией. Производящие свойства функции Масье - Планка и энтропии. Дисперсия энергии, объема, коррелятор энергии и объема.. | семинар | 2 |
| в присутствии преподавателя | 1 |
| по методическим материалам | 2 |
| 8 | Неравновесный процесс и его сокращенное описание. Иерархия временных масштабов. Различные стадии неравновесного процесса. Начальная стадия неравновесного процесса и многочастичные функции распределения для его описания. Кинетическая стадия неравновесного процесса и его описание с помощью одночастичной функции распределения. | интерактивный семинар | 1 |
| текущий контроль | 1 |
| по методическим материалам | 1 |
| 9 | Гидродинамическая стадия неравновесного процесса и его описание с помощью плотностей сохраняющихся величин. Вывод квазиравновесной функции распределения из условия максимума информационной энтропии. | семинар | 2 |
| в присутствии преподавателя | 1 |
| по методическим материалам | 2 |
| 10 | Метод проектирующих операторов Цванцига. Формулировка условий существования иерархии временных масштабов. Основной параметр неравновесной теории. Время корреляции. Условие временного ослабления корреляций. Выбор начального условия ослабления корреляций. Обратимость во времени уравнения Лиувилля и необратимость управляющего уравнения. | семинар | 2 |
| в присутствии преподавателя | 1 |
| по методическим материалам | 1 |
| 11 | Плотности энергии, числа частиц, импульса и момента импульса. Локальные законы сохранения. Плотность потока числа частиц. | интерактивный семинар | 2 |
| в присутствии преподавателя | 1 |
| по методическим материалам | 2 |
| 12 | Плотность потока энергии, импульса. Преобразование плотностей и потоков плотностей сохраняющихся величин в подвижную систему отсчета. Сопутствующая система отсчета. Квазиравновесная функция распределения в сопутствующей системе отсчета. | интерактивный семинар | 1 |
| текущий контроль | 1 |
| по методическим материалам | 1 |
| 13 | Отсутствие диссипативных потоков в квазиравновесном состоянии. | семинар | 2 |
| в присутствии преподавателя | 1 |
| по методическим материалам | 2 |
| 14 | Операторы проектирования на гидродинамические квазиинтегралы движения.  Квазиравновесная функция распределения и отвечающие ей операторы проектирования. Некумулянтные проекторы. | семинар | 2 |
| в присутствии преподавателя | 1 |
| по методическим материалам | 1 |
| 15 | Исключение временных производных из неравновесной функции распределения. | семинар | 2 |
| по методическим материалам | 3 |
|  |  |

**Раздел 3. Обеспечение учебных занятий**

**3.1. Методическое обеспечение**

**3.1.1 Методические указания по освоению дисциплины**

Обязательная и дополнительная литература

**3.1.2 Методическое обеспечение самостоятельной работы**

Обязательная и дополнительная литература

**3.1.3 Методика проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации и критерии оценивания**

Промежуточной аттестацией является дифференцированный зачет. Студент получает билет, который состоит из 2 вопросов. Знания курса оцениваются по пятибалльной шкале:

5 баллов - Ответ полный, без замечаний, дана интерпретация полученных результатов, проиллюстрировано практическими примерами, есть элементы творческого отношения к предмету.

4 балла - В ответе есть незначительные упущения, вывод основных соотношений дан недостаточно подробно, дана интерпретация полученных результатов, проиллюстрировано практическими примерами.

3 балла - В ответе есть упущения, не все основные соотношения написаны или в их выводе допущены ошибки, не полная интерпретация полученных результатов, проявлена несистематичность в знаниях.

2 балла - Продемонстрировано знание некоторых основных положений теории при существенных упущениях в деталях, слабое представление о практическом применении теории.

1 балл - Нет ответа на поставленный вопрос (основные соотношения отсутствуют или написаны неверно).

Зачет проводится в соответствии с расписанием промежуточной аттестации.

Оценке отлично соответствует 5 баллов.

Оценке хорошо соответствует 4 балла.

Оценке удовлетворительно соответствует 3 балла.

Оценке неудовлетворительно соответствует 1 или 2 балла.

**3.1.4 Методические материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации (контрольно-измерительные материалы, оценочные средства)**

"Окончательный контроль знаний по дисциплине осуществляется на зачете, проводимом в устной форме.

"

Примерный перечень вопросов к зачету по курсу

1. - Найти распределение ферми-частиц по ящикам и ячейкам и вычислить энтропию произвольного состояния.

2. Найти состояние, реализуемое наибольшим числом способов распределения ферми-частиц по ящикам и ячейкам, и вычислить энтропию равновесного состояния.

3. Найти распределение бозе-частиц по ящикам и ячейкам и вычислить энтропию произвольного состояния.

4. Найти состояние, реализуемое наибольшим числом способов распределения бозе-частиц по ящикам и ячейкам, и вычислить энтропию равновесного состояния.

5. Найти распределение тождественных различимых частиц по ящикам и ячейкам и вычислить энтропию произвольного состояния.

6. Найти состояние, реализуемое наибольшим числом способов распределения тождественных различимых частиц по ящикам и ячейкам, и вычислить энтропию равновесного состояния.

7. Найти квазиравновесную функцию распределения, соответствующую гидродинамической стадии неравновесного процесса.

**3.1.5 Методические материалы для оценки обучающимися содержания и качества учебного процесса**

Примерная анкета-отзыв по преподаванию дисциплины

Просим Вас заполнить анонимную анкету-отзыв по пройденному Вами курсу. Обобщенные данные анкет будут использованы для совершенствования преподавания. По каждому вопросу проставьте соответствующие оценки по шкале от 1 до 10 баллов (обведите выбранный Вами балл). В случае необходимости впишите свои комментарии.

1. Насколько Вы удовлетворены содержанием дисциплины в целом?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Комментарий\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. Насколько Вы удовлетворены формами преподавания?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Комментарий\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. Как Вы оцениваете качество подготовки предложенных учебно–методических материалов?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Комментарий\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. Насколько Вы удовлетворены использованием преподавателями интерактивных и активных методов обучения ?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Комментарий\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. Какие из тем дисциплины Вы считаете наиболее полезными, ценными с точки зрения дальнейшего обучения и/или применения в последующей практической деятельности?
2. Что бы Вы предложили изменить в методическом и содержательном плане для совершенствования преподавания данной дисциплины?

СПАСИБО!

**3.2. Кадровое обеспечение**

**3.2.1 Образование и (или) квалификация штатных преподавателей и иных лиц, допущенных к проведению учебных занятий**

учёная степень кандидат физико-математических наук

**3.2.2 Обеспечение учебно-вспомогательным и (или) иным персоналом**

не требуется

**3.3. Материально-техническое обеспечение**

**3.3.1 Характеристики аудиторий (помещений, мест) для проведения занятий**

аудитории на 15 человек

**3.3.2 Характеристики аудиторного оборудования, в том числе неспециализированного компьютерного оборудования и программного обеспечения общего пользования**

Компьютер, мультимедийный проектор

**3.3.3 Характеристики специализированного оборудования**

нет

**3.3.4 Характеристики специализированного программного обеспечения**

Стандартное программное обеспечение

**3.3.5 Перечень и объёмы требуемых расходных материалов**

1 коробка мела, фломастеры для доски

**3.4. Информационное обеспечение**

**3.4.1 Список обязательной литературы**

1. Куни Ф.М. Статистическая физика и термодинамика. Изд-во «Наука», 1981, М.  
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Часть 1.Изд-во «""Наука», 2011, М  
3. Балеску Р. Равновесная и неравновесная статистическая механика. Т.1, Изд-во «Мир», 1978, М.  
  
4. Куни Ф.М., Щекин А.К., Новожилова Т.Ю. Сокращенное статистическое описание макроскопических систем. Учебно-методическое пособие. РОПИ СПбГУ 2009 г.  
5. Куни Ф.М., Щекин А.К., Новожилова Т.Ю. Кинетическая стадия многостадийного неравновесного процесса в макроскопических системах. Учебно-методическое пособие. РОПИ СПбГУ 2009 г.  
6. Аджемян Л.Ц., Куни Ф.М. Теор. и мат. физика, Т.24, С.368, 1975.  
7. Комарова М.В., Новожилова Т.Ю. От термодинамики к статистической физике. Учебно-методическое пособие. ООП СПбГУ 2011 г. 8. Комарова М.В., Новожилова Т.Ю. Большой канонический ансамбль. Учебно-методическое пособие. ООП СПбГУ 2011 г.

**3.4.2 Список дополнительной литературы**

1. Аджемян Л.Ц., Куни Ф.М., Новожилова Т.Ю. Теор. и мат. физика, Т.18, С.383, 1974.  
2. Аджемян Л.Ц., Куни Ф.М., Новожилова Т.Ю. Теор. и мат. физика, Т.19, С.125, 1974.  
3. Аджемян Л.Ц., Куни Ф.М. Теор. и мат. физика, Т.24, С.368, 1975.

**3.4.3 Перечень иных информационных источников**

1.Куни Ф.М., Щекин А.К., Новожилова Т.Ю.Сокращенное статистическое описание макроскопических систем. РОПИ СПбГУ 2009 г.

**Раздел 4. Разработчики программы**

Новожилова Татьяна Юрьевна к.ф.-м.н., доцент novotat@inbox.ru +7-812-428-43-03   
Куни Федор Максимилианович д.ф.-м.н., проф