

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе  
Сибирского отделения Российской академии наук  
(ИТ СО РАН)**

УТВЕРЖДАЮ



Директор  
академик РАН

Д.М.Маркович

«21» апреля 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Неравновесная термодинамика и законы излучения**

Научная специальность 1.3.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника

Новосибирск 2022

Дисциплина «Неравновесная термодинамика и законы излучения» реализуется в рамках образовательной программы высшего образования – программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 1.3.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника по очной форме обучения на русском языке.

Дисциплина «Неравновесная термодинамика и законы излучения» реализуется в шестом семестре в составе модуля «Теплофизика и теоретическая теплотехника» и является базовой для выполнения научно-исследовательской деятельности и подготовки к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

## 1. Цели и задачи освоения дисциплины

### Цели дисциплины

Достижение понимания концептуального единства математических моделей неравновесной термодинамики и законов излучения при всем имеющемся их разнообразии в конкретных разделах теплофизики и теоретической теплотехники.

### Задачи дисциплины

Усвоение понятий, связанных с математическими моделями неравновесной термодинамики и законов излучения, рассмотрение физических методов и подходов в термодинамике и статистической физике, теории и законам излучения, развитие базовых навыков в области термодинамики неравновесных газодинамических процессов.

## 2. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 108 академических часов.

### 2.1. Структура дисциплины

Наименование дисциплины	Объем учебной работы (в часах)						Вид итогового контроля
	Всего	В контактной форме	Лекц	Контактных часов на аттестацию	Консультации	Сам. работа	
Неравновесная термодинамика и законы излучения	108	56	48	5	3	52	Зачёт

### 2.2. Содержание дисциплины

### 2.2.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах)	
		Лекции	Самостоятельная работа
1	Равновесная термодинамика и статистическая физика	8	10
2	Теория флуктуаций и случайные процессы	8	10
3	Термодинамическая теория необратимых процессов и примеры применения теории Онзагера	12	11
4	Обобщенная восприимчивость и спектральные разложения	10	11
5	Теория и законы излучения	10	10

### 2.2.2. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятий
1	Равновесная термодинамика и статистическая физика	Термодинамические системы. Первое и второе начало термодинамики. Энтропия. Максимальная и минимальная работа. Термодинамические функции и условия термодинамического равновесия. Преобразования Лежандра. Внутренняя энергия, свободная энергия Гельмгольца, потенциал Гиббса, химический потенциал. Уравнение Гиббса-Дюгема. Равновесие двух систем. Термодинамические неравенства. Принцип Ле-Шателье – Брауна. Микроканоническое, каноническое и большое каноническое распределения. Статистические суммы канонических распределений. Энтропия – статистическая интерпретация.	Лекции, самостоятельная работа
2	Теория флуктуаций и случайные процессы	Биномиальное распределение, распределения Пуассона и Гаусса. Второе начало для неквазистатических процессов. Общая формула для вероятности флуктуационного отклонения от равновесного состояния. Термодинамические флуктуации. Флуктуации в классических системах. Флуктуации в квантовых системах, флуктуации . неравновесного излучения. Случайные процессы. Эргодичность случайного процесса. Стационарный марковский случайный	Лекции, самостоятельная работа

		<p>процесс. Гауссовский случайный стационарный марковский процесс. Спектральные представления для случайной переменной и корреляционной функции. Смещение во времени случайной величины и формула Эйнштейна. Формула Найквиста.</p>	
3	<p>Термодинамическая теория необратимых процессов и примеры применения теории Онзагера</p>	<p>Общий формализм. Термодинамические силы и термодинамические потоки в линейном приближении. Уравнение баланса массы, импульса, энергии и энтропии. Производство энтропии в гидродинамических системах для смесей химически реагирующих газов. Соотношения взаимности Онзагера для кинетических коэффициентов. Принцип Кюри. Связь между кинетическими коэффициентами различной тензорной размерности. Принцип Лешателье – Брауна с точки зрения неравновесной термодинамики. Теорема о минимуме производства энтропии для стационарных состояний. Диффузия, теплопроводность, вязкость, термодиффузия (эффект Соре). Термомеханические явления, капиллярные явления, формула Пуазейля, эффект Джоуля-Томсона, изоэнтропическое перетекание (турбина Капицы). Термоэлектрические эффекты. Термо ЭДС (явление Зеебека) – возникновение разности потенциала на концах разомкнутой электрической цепи, когда спаи проводников поддерживаются при разных температурах. Эффект Пельтье – выделение тепла при прохождении тока через спаи различных проводников в изотермической системе. Эффект Томсона – перенос тепла электрическим током вдоль однородного проводника при наличии перепада температуры. Термомагнитные явления. Эффект Реге-Ледюка – возникновение вторичной разности температур в проводнике с градиентом температур, помещенном в магнитное поле.</p>	<p>Лекции, самостоятельная работа</p>
4	<p>Обобщенная восприимчивость и спектральные разложения</p>	<p>Эффект Холла – возникновение электрического поля, перпендикулярного плотности тока и магнитному полю. Эффект Эттингсхаузена – возникновение градиента температуры в проводнике с током под действием магнитного поля. Системы с памятью. Принцип причинности. Спектральные представления для силы, отклика, восприимчивости. Динамическая восприимчивость. Аналитические свойства <math>\chi(\omega)</math>. Дисперсионные соотношения Крамерса-</p>	<p>Лекции, самостоятельная работа</p>

		Кронига. Связь спектральных представлений для кинетических коэффициентов Онзагера с динамической восприимчивостью. Условие на обобщенную динамическую восприимчивость. Связь производства энтропии с мнимой частью динамической восприимчивости. Периодические воздействия. Стационарные колебания системы под воздействием внешней силы.	
5	Теория и законы излучения	Теория равновесного излучения. Распределение Планка, закон Стефана-Больцмана. Абсолютно черное тело. Законы излучения Кирхгофа. Закон Ламберта. Вынужденное излучение в классической и квантовой теориях. Коэффициенты Эйнштейна. Рассеяние, поглощение и испускание излучения в газах. Типы электронных переходов. Свободно-свободные переходы. Тормозное излучение. Свободно-связанные переходы. Фотоионизация и фоторекомбинация. Связанно-связанные переходы. Излучательные переходы между дискретными уровнями атомов и молекул. Спектры атомов и молекул. Рэлеевское и рамановское (комбинационное) рассеяние. Рассеяние Мандельштама-Бриллюэна (роль флуктуаций, акустических и фононных колебаний в среде). Уширение спектральных линий. Форма спектральных линий. Распространение излучения в плазме. Распространение резонансного излучения в слабоионизованной плазме. Уравнение переноса излучения. Излучение от полупространства и от слоя конечной толщины. Методы решения кинетического уравнения для излучения. Приближение «вперед-назад», разложение по сферическим гармоникам. Диффузионное приближение, приближение Росселанда и Планка. равновесие и приближение лучистого теплообмена. Неравновесное излучение низкотемпературной плазмы. Светоиндуцированный дрейф. Элементы физики лазеров.	Лекции, самостоятельная работа

### 3. Технология обучения

В ходе реализации учебного процесса по дисциплине проводятся лекционные занятия ( в контактной форме и в on-line режиме). Материал лекционного курса увязывается с передовыми исследованиями всюду, где это допускается уровнем знаний и подготовки аспирантов. Специально указываются темы, активно обсуждающиеся в текущей профессиональной научной литературе. По темам, изучаемым самостоятельно, проводятся консультации.

#### 4. Правила аттестации аспирантов по учебной дисциплине

По дисциплине «Неравновесная термодинамика и законы излучения» проводятся текущая и промежуточная аттестации.

Текущий контроль по дисциплине «Неравновесная термодинамика и законы излучения» проводится представлением доклада (в форме презентации) на семинаре по одному из разделов программы курса, по результатам которой выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено». Оценка «зачтено» по результатам является одним из условий допуска к прохождению промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Неравновесная термодинамика и законы излучения» проводится в рамках промежуточной аттестации по модулю «Теплофизика и теоретические основы теплообмена».

#### 5. Материально-техническое обеспечение

№	Наименование	Назначение
1	Презентационное оборудование (мультимедиа-проектор, экран, компьютер для управления)	Для проведения лекционных занятий
2	Компьютер на рабочем месте (с выходом в Internet)	Для организации самостоятельной работы обучающихся

#### 6. Литература

##### Основная литература

1. И.А.Квасников. Термодинамика и статистическая физика. Теория неравновесных систем. Москва, Издательство Московского Университета, 1987, Глава I, IV.
2. К.П. Гуров. Феноменологическая термодинамика необратимых процессов. М. «Наука», 1987.
3. П. Гленсдорф, И. Пригожин. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. «Мир», М. 1973
4. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Статистическая физика. М. «Наука», 1976.
5. И.П. Базаров. Термодинамика. М. Высшая школа. 1991.
6. Ю.Б. Румер, М.Ш. Рывкин. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. Новосибирск, Изд. НГУ, 2000, Глава X.
7. К.Хир. Статистическая механика, кинетическая теория и стохастические процессы. - М.: «Мир», 1976.
8. Р. Кубо. Термодинамика, - М. : «Мир», 1970.
9. Д.Н. Зубарев. Неравновесная статистическая термодинамика. М. «Мир», 1971.
10. Р. Балеску. Равновесная и неравновесная статистическая механика. - М.: «Мир», 1978.
11. Я.Б. Зельдович, Ю.П. Райзер. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М. «Наука», 1966. (Главы II, V).
12. Дж. Бонд, К. Уотсон, Дж. Уэлч. Физическая теория газовой динамики. М. «Мир», 1968. (Главы 4, 10-12).
13. В.Г. Севастьяненко. Перенос излучения. Учебное пособие. Новосибирск, НГУ. 1979.
14. К. Кейз, П. Цвайфель. Линейная теория переноса. М. «Мир», 1972.

15. Л.М. Биберман, В.С. Воробьев, И.Т. Якубов. Кинетика неравновесной низкотемпературной плазмы. М.: Наука, 1982.
16. Р. Качмарек. Введение в физику лазеров. М. «Мир», 1981.
17. Н.В. Карлов. Лекции по квантовой электронике. М. «Наука», 1983.

Дополнительная литература:

1. В.А. Журавлев. Термодинамика необратимых процессов в задачах и решениях. М. «Наука», 1979.
2. Ю.Л. Климонтович. Кинетическая теория неидеального газа и неидеальной плазмы. М. «Наука», 1975.
3. С. де Гроот, П.Мазур, Неравновесная термодинамика. М. ИЛ, 1964.
4. В.В. Соболев. Курс теоретической астрофизики. М. «Наука», 1975.
5. Б.М. Смирнов. Физика слабоионизованного газа. (В задачах с решениями). Издание второе. - М.: «Наука», 1978.

Утверждена на заседании Ученого совета 15 апреля 2022 протокол № 05-2022

Рабочую программу разработал д.ф.-м.н., профессор С.И. Лежнин

Согласовано:

Зам. директора по научной работе  
к.ф.-м.н.



Д.Ф.Сиковский