

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН
МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКО-ТАДЖИКСКИЙ (СЛАВЯНСКИЙ) УНИВЕРСИТЕТ»**

«Утверждаю»
Декан естественнонаучного факультета
Муродзода Д.С.
08 _____ 2024 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
«Неравновесная термодинамика»
Направление 03.03.02 - «Физика»
Профиль подготовки - «Общая физика»
Форма подготовки – очная
Уровень подготовки – бакалавр**

ДУШАНБЕ 2024

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 07.08.2020г. №891.

При разработке рабочей программы учитываются

- требования работодателей, профессиональных стандартов по направлению (для общепрофессиональных и профессиональных дисциплин);
- содержание программ дисциплин, изучаемых на предыдущих и последующих этапах обучения;
- новейшие достижения в данной предметной области.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры математики и физики, протокол № 1 от 28 августа 2024г.

Рабочая программа утверждена УМС Естественного факультета, протокол № 1 от 29 августа 2024г.

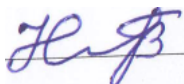
Рабочая программа утверждена Ученым советом Естественного факультета, протокол № 1 от 30.08.2024г.

Заведующий кафедрой к.ф.-м.н., доцент



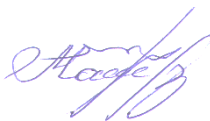
Гулбоев Б.Дж.

Зам. председатель УМС факультета



Халимов И.И.

Разработчик: к.ф.-м.н., доцент



Махмадбегов Р.С.

Разработчик от организации:



Акдодов Д.М.

Расписание занятий дисциплины

Таблица 1

Ф.И.О. преподавателя	Аудиторные занятия			Приём СРС	Место работы преподават еля
	лекция	Практические занятия (КСР, лаб.)	Лаборатор ная занятия		
Махмадбегов Р.С.	Четверг	Четверг		Среда	ЕНФ, РТСУ

1. ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И ТРЕБОВАНИИ К ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели изучения дисциплины

Дисциплина представляет собой одну из важных общепрофессиональных дисциплин при подготовке бакалавров по направлению 03.03.02 - физика. Изучение дисциплины базируется на материале предшествующих естественно-научных и общепрофессиональных дисциплин, такие как механика, молекулярная физика и термодинамика, векторного и тензорного анализа и других математических дисциплин. Целью изучения дисциплины является овладение сведениями по термодинамике неравновесных процессов, в частности в конденсированных средах, и, в первую очередь, в жидкостях; овладение методами термодинамики неравновесных процессов; подготовка к научным исследованиям в данной области и преподаванию физических дисциплин, базирующихся на термодинамике неравновесных процессов; формирование профессиональных компетенций, необходимых для осуществления профессиональной деятельности по предусмотренным настоящим стандартом видам. Программа курса разработана в соответствие с требованиями Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по специальности 03.03.02 "Физика" утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 07.08.2020г. №891.

1.2. Задачи изучения дисциплины

Главной задачей курса «Неравновесная термодинамика», является расширение фундаментальной базы физических знаний студентов, на основе которой в дальнейшем можно развивать более глубокое и детализированное изучение в области физика неравновесных процессов. В результате изучения дисциплины студент должен приобрести знания, умения и навыки, необходимые для его профессиональной деятельности по направлению физика.

1.3. Требования к результатам освоения дисциплины:

Процесс изучения дисциплины «Неравновесная термодинамика», направлен на формирование следующих общекультурных и профессиональных компетенций, необходимых для осуществления профессиональной деятельности:

Таблица 2

код	Формируемая компетенция	Этапы формир ования компете нции	Содержание этапа формирования компетенции	Вид оценочн ого средств а
ПК- 2	Способностью проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной	Начальн ый этап (знания)	Знает: - основных методов теоретической и экспериментальной физики, экспериментальные основы научных приборов и методика проведения современного научного эксперимента в различных областях физики. - современные методы измерений и способы проведение эксперимента по определению основных физических величин во всех разделах физики, такие как оптик и спектроскопия, физика твердого тела, ядерной физики и т.д. - основные достижения, современные тенденции и современную экспериментальную базу в	Коллоквиум

приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта		области физики.	
	Продвинутый этап (навыки)	<p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - проводить измерения физических характеристик объектов и осуществлять приготовление образцов и подготовку приборов для проведения измерений. - обрабатывать полученные экспериментальные данные и проводить необходимые математические преобразования физических проблем, а также делать оценки по порядку величины. 	Разноуровневые задачи и задания
	Завершающий этап (умения)	<p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками работы с современными экспериментальными научными приборами и компьютерного управления современными экспериментальными установками с использованием специального программного обеспечения; - компьютерной обработки полученных экспериментальных данных и использования электронно-вычислительной техники для расчетов и презентации полученных научных результатов. - грамотного использования физического научного языка для оформления ВКР, проектов и т.п. 	Коллоквиум

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

2.1. Дисциплина «Неравновесная термодинамика», относится к первому блоку вариативной части профессионального цикла Б1.В.ДВ.3 учебного плана, изучается в 7 семестре. При освоении данной дисциплины необходимы умения и готовность («входные» знания) обучающегося по дисциплине физики и математики из 1-3 курсов

2.2. К исходным требованиям, необходимым для изучения дисциплины «Неравновесная термодинамика» относятся знания, умения и виды деятельности, сформированные в процессе изучения дисциплин механика, молекулярная физика, векторного и тензорного анализа, механика сплошных сред и других математических дисциплин.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ КУРСА, КРИТЕРИИ НАЧИСЛЕНИЯ БАЛЛОВ

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единиц, всего 108 часов, из которых: лекции – 16 часов (первой семестр), практические занятия – 16 часов (шестой семестр), лабораторная работа – 0 часов (шестой семестр), КСР – 16 часов (шестой семестр), самостоятельная работа – 60 часов, всего часов аудиторной нагрузки – 48 часов. Зачет – 7 семестр.

3.1. Структура и содержание теоретической части курса (16ч)

Тема 1. Феноменологическая термодинамика необратимых процессов – 4ч

(Основные положения неравновесной термодинамики. Термодинамическое описание равновесных и неравновесных систем. Принцип локального равновесия. Уравнение баланса энтропии и законы сохранения. Обобщенные потоки и обобщенные термодинамические силы. Обобщенные кинетические коэффициенты и соотношения симметрии Онсагера. Вариационные принципы в линейной неравновесной термодинамике. Принцип минимального производства энтропии для слабо неравновесных стационарных состояний. Примеры применения теории Онсагера. Термоэлектрические явления. Эффекты Пельтье, Зеебека, Томсона и их взаимосвязь. Эффекты, возникающие во внешнем магнитном поле. Самоорганизация в сильнонеравновесных системах. Диссипативные неравновесные структуры. Универсальный критерий эволюции Гленсдорфа – Пригожина. Способы описания сильнонеравновесных систем. Устойчивость

состояний сильнонеравновесных систем. Глобальный критерий устойчивости по Ляпунову. Динамические системы с одной степенью свободы. Динамические системы с двумя степенями свободы. Динамический хаос. Динамический хаос в одномерных отображениях).

Тема 2. Броуновское Движение - 4ч

(Уравнение Ланжевена для броуновской частицы. Характер движения броуновской частицы. Случайные силы. Смещение броуновской частицы. Уравнение Фоккера – Планка для броуновской частицы. Вывод уравнения Фоккера – Планка. Решение уравнения Фоккера – Планка).

Тема 3. Кинетические уравнения в неравновесной статистической механике – 4ч

(Описание неравновесных систем в статистической механике. Интегрируемые и неинтегрируемые динамические системы. Эволюция динамических систем в фазовом пространстве. Обоснование квазиклассических кинетических уравнений. Уравнение Лиувилля для функции распределения. Цепочка уравнений Боголюбова. Уравнение для одночастичной функции распределения. Приближение времени релаксации. Кинетическое уравнение Власова для бесстолкновительной плазмы. Уравнение Больцмана для газа малой плотности. Качественный вывод уравнения Больцмана. Вывод уравнения Больцмана из цепочки уравнений Боголюбова. Уравнение Фоккера – Планка. Решение кинетических уравнений. Решение уравнения Больцмана для равновесного состояния. H-теорема Больцмана. Разложение Гильберта. Метод Энскога – Чепмена. Вывод уравнений гидродинамики. Метод моментов).

Тема 4. Кинетическое уравнение для электронов и фононов в проводящих кристаллах -4ч. (Кинетические коэффициенты в приближении времени релаксации. Кинетическое уравнение для электронов и его решение в приближении времени релаксации. Условия применимости квазиклассического описания электронов в проводящих кристаллах. Определение потоков заряда и тепла. Вычисление кинетических коэффициентов в случае $H=0$. Рассеяние электронов на колебаниях решетки. Гамильтониан взаимодействия электронов с заряженными примесными центрами. Интеграл столкновений при взаимодействии электронов с фононами Явление фононного увлечения. Выражения для потоков заряда и тепла в магнитном поле. Тензорная структура кинетических коэффициентов. Гальваномагнитные и термомагнитные эффекты в полупроводниках с параболическим законом дисперсии. Гидродинамическое описание системы горячих электронов. Переход к гидродинамическому описанию. Уравнение баланса импульса. Уравнения баланса энергии и числа частиц. Решение системы уравнений баланса энергии, импульса и числа частиц. Приложения гидродинамического подхода. Отрицательное дифференциальное сопротивление).

Итого: 16 часа

3.2. Структура и содержание практической части курса (16 ч)

Цель практических занятий – способствовать лучшему усвоению и закреплению теоретических знаний, полученных из лекционного курса и изучения литературы.

Практические занятия состоят из трех частей — вводной, основной и заключительной.

Вводная часть занятия содержит формулировку его цели, ответы на вопросы студентов по домашнему заданию, контроль его выполнения в любой форме и обсуждение понятий, утверждений и методов, знание которых необходимо для продуктивной работы на занятии.

Основная часть занятия включает в себя обсуждение типовых задач по теме занятия, методов и их решения, а также самостоятельное решение задач под руководством и при необходимой помощи преподавателя. В основную часть занятия входит также обучение студентов умению проверять, анализировать и интерпретировать полученные результаты.

Заключительная часть занятия содержит анализ тех знаний и умений, которые осваивались на занятии и должны быть закреплены при выполнении домашнего задания. Полезно также обсудить, при изучении, каких разделов данного курса и других дисциплин эти знания и умения будут необходимы. Выдача заданий для самостоятельной работы студентов и подробные рекомендации по его выполнению.

Занятие 1. Феноменологическая термодинамика необратимых процессов. Решение задач. – 2 час.

Занятие 2. Феноменологическая термодинамика необратимых процессов. Решение задач. – 2 час.

Занятие 3. Броуновское Движение. Решение задач. – 2 час.

Занятие 4. Броуновское Движение. Решение задач – 2 час.

Занятие 5. Кинетические уравнения в неравновесной статистической механике. Решение задач. – 2 час.

Занятие 6. Кинетические уравнения в неравновесной статистической механике. Решение задач. – 2 час.

Занятие 7. Кинетическое уравнение для электронов и фононов в проводящих кристаллах. Решение задач. – 2 час.

Занятие 8. Кинетическое уравнение для электронов и фононов в проводящих кристаллах. Решение задач – 2 часа.

Итого: 16 часов

3.4 Программа лабораторного практикума (0 ч)

(не рассматривается)

3.3. Структура и содержание КСР (16 ч)

Занятие 1. Контроль самостоятельных работ на тему: Обобщенные потоки и обобщенные термодинамические силы. Обобщенные кинетические коэффициенты и соотношения симметрии Онсагера – 2 часа

Занятие 2. Контроль самостоятельных работ на тему: Диссипативные неравновесные структуры. Универсальный критерий эволюции Гленсдорфа – Пригожина. – 2 часа

Занятие 3. Контроль самостоятельных работ на тему: Случайные силы. Смещение броуновской частицы – 2 часа.

Занятие 4. Контроль самостоятельных работ на тему: Вывод уравнения Фоккера – Планка. Решение уравнения Фоккера – Планка – 2 часа

Занятие 5. Контроль самостоятельных работ на тему: Цепочка уравнений Боголюбова. Уравнение для одночастичной функции распределения. – 2 часа.

Занятие 6. Контроль самостоятельных работ на тему: Решение кинетических уравнений. Решение уравнения Больцмана для равновесного состояния. – 2 часа.

Занятие 7. Контроль самостоятельных работ на тему: Условия применимости квазиклассического описания электронов в проводящих кристаллах. Определение потоков заряда и тепла.– 2 часа.

Занятие 8. Контроль самостоятельных работ на тему: Гидродинамическое описание системы горячих электронов. – 2 часа.

Итого: 16 часов

Таблица 3.

№ п/п	Раздел Дисциплины	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)					Лит-ра	Кол-во баллов в неделю
		Лек	Пр	Лаб	КСР	СРС		
Семестр								
1	Основные положения неравновесной термодинамики. Термодинамическое описание равновесных и неравновесных систем	2				2	1-8	12,5
2	Феноменологическая термодинамика необратимых процессов. Решение задач		2			2		
3	Обобщенные потоки и обобщенные термодинамические силы. Обобщенные кинетические коэффициенты и соотношения симметрии Онсагера				2	2		12,5
4	Вариационные принципы в линейной неравновесной термодинамике. Принцип минимального производства энтропии для	2				2	1-8	

	слабо неравновесных стационарных состояний. Термоэлектрические явления.							
5	Примеры применения теории Онсагера. Феноменологическая термодинамика необратимых процессов. Решение задач		2			2	1-8	12,5
6	Диссипативные неравновесные структуры. Универсальный критерий эволюции Гленсдорфа – Пригожина				2	2		12,5
7	Уравнение Ланжевена для броуновской частицы. Характер движения броуновской частицы.	2				2	1-8	12,5
8	Броуновское Движение. Решение задач		2			2	1-8	
9	Случайные силы. Смещение броуновской частицы				2	2	1-8	12,5
10	Уравнение Фоккера – Планка для броуновской частицы	2				2	1-8	
11	Броуновское Движение. Решение задач		2			2	1-8	12,5
12	Вывод уравнения Фоккера – Планка. Решение уравнения Фоккера – Планка				2	2	1-8	12,5
13	Описание неравновесных систем в статистической механике. Интегрируемые и неинтегрируемые динамические системы. Эволюция динамических систем в фазовом пространстве.	2				2	1-8	12,5
14	Кинетические уравнения в неравновесной статистической механике. Решение задач		2			2	1-8	
15	Цепочка уравнений Боголюбова. Уравнение для одночастичной функции распределения				2	2	1-8	12,5
16	Кинетическое уравнение Власова для бесстолкновительной плазмы. Уравнение Больцмана для газа малой плотности.	2				2	1-8	
17	Кинетические уравнения в неравновесной статистической механике. Решение задач		2			2	1-8	12,5
18	Решение кинетических уравнений. Решение уравнения Больцмана для равновесного состояния.				2	2	1-8	12,5
19	Кинетические коэффициенты в приближении времени релаксации. Кинетическое уравнение для электронов и его решение в приближении времени релаксации.	2				2	1-8	12,5
20	Кинетическое уравнение для электронов и фононов в проводящих кристаллах. Решение задач.		2			2	1-8	
21	Условия применимости квазиклассического описания электронов в проводящих кристаллах. Определение потоков заряда и тепла				2	2	1-8	12,5
22	Интеграл столкновений при взаимодействии электронов с фононами Явление фононного увлечения. Выражения для потоков заряда и тепла в магнитном поле	2				2	1-8	
23	Кинетическое уравнение для электронов и		2			2	1-8	12,5

	фононов в проводящих кристаллах. Решение задач.							
24	Гидродинамическое описание системы горячих электронов				2	2	1-8	12,5
		16	16		16	60		200

3.4. Формы контроля и критерии начисления баллов

Контроль усвоения студентом каждой темы осуществляется в рамках балльно-рейтинговой системы (БРС), включающей текущий, рубежный и итоговый контроль. Студенты **1 курсов**, обучающиеся по кредитно-рейтинговой системе обучения, могут получить максимально возможное количество баллов - 300. Из них на текущий и рубежный контроль выделяется 200 баллов или 49% от общего количества.

На итоговый контроль знаний студентов выделяется 51% или 100 баллов.

Порядок выставления баллов: 1-й рейтинг (1-7 недели до 12,5 баллов+12,5 баллов (8 неделя – Рубежный контроль №1) = 100 баллов), 2-й рейтинг (9-15 недели до 12,5 баллов+12,5 баллов (16 неделя – Рубежный контроль №2) = 100 баллов), итоговый контроль 100 баллов.

К примеру, за текущий и 1-й рубежный контроль выставляется 100 баллов: лекционные занятия – 21 балл, за практические занятия (КСР, лабораторные) – 31,5 балл, за СРС – 17,5 баллов, требования ВУЗа – 17,5 баллов, рубежный контроль – 12,5 баллов.

В случае пропуска студентом занятий по уважительной причине (при наличии подтверждающего документа) в период академической недели деканат факультета обращается к проректору по учебной работе с представлением об отработке студентом баллов за пропущенные дни по каждой отдельной дисциплине с последующим внесением их в электронный журнал.

Итоговая форма контроля по дисциплине проводится как в форме тестирования, так и в традиционной (устной) форме. Тестовая форма итогового контроля по дисциплине предусматривает: для естественнонаучных направлений – 10 тестовых вопросов на одного студента, где правильный ответ оценивается в 10 баллов. Тестирование проводится в электронном виде, устный экзамен на бумажном носителе с выставлением оценки в ведомости по аналогичной системе с тестированием.

Контроль усвоения студентом каждой темы осуществляется в рамках балл-рейтинговой системы (БРС), включающей текущий, рубежный и итоговый контроль.

Таблица 4.

Неделя	Активное участие на лекционных занятиях, написание конспекта и выполнение других видов работ*	Активное участие на практических (семинарских) занятиях, КСР	СРС Написание реферата, доклада, эссе Выполнение других видов работ	Выполнение положения высшей школы (установленная форма одежды, наличие рабочей папки, а также других пунктов устава высшей школы)	Всего
1	2	3	4	5	7
1	3	4	3	2,5	12,5
2	3	4	3	2,5	12,5
3	3	4	3	2,5	12,5

4	3	4	3	2,5	12,5
5	3	4	3	2,5	12,5
6	3	4	3	2,5	12,5
7	3	4	3	2,5	12,5
8	3	4	3	2,5	12,5
Первый рейтинг	24	32	24	20	100
1	3	4	3	2,5	12,5
2	3	4	3	2,5	12,5
3	3	4	3	2,5	12,5
4	3	4	3	2,5	12,5
5	3	4	3	2,5	12,5
6	3	4	3	2,5	12,5
7	3	4	3	2,5	12,5
8	3	4	3	2,5	12,5
Второй рейтинг	24	32	24	20	100
Итого	48	64	48	40	200

Формула вычисления результатов дистанционного контроля и итоговой формы контроля по дисциплине за семестр для студентов 1-х курсов:

$$ИБ = \left[\frac{(P_1 + P_2)}{2} \right] \cdot 0,49 + Эи \cdot 0,51 ,$$

где ИБ – итоговый балл, P_1 - итоги первого рейтинга, P_2 - итоги второго рейтинга, $Эи$ – результаты итоговой формы контроля (экзамен).

4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Самостоятельная работа позволяет оптимально сочетать теоретическую и практическую составляющие обучения. При этом обеспечивается упорядочивание теоретических знаний, что в конечном счёте, приводит к повышению мотивации обучающихся в их освоении. Самостоятельная работа планируется и организуется с целью углубления и расширения теоретических знаний, формирования самостоятельного логического мышления. Организация этой работы позволяет оперативно обновлять содержание образования, создавая предпосылки для формирования базовых (ключевых) компетенций категории интеллектуальных (аналитических) и обеспечивая, таким образом, качество подготовки специалистов на конкурентоспособном уровне. Из всех ключевых компетенций, которые формируются в процессе выполнения самостоятельных работ, следует

выделить следующие: умение учиться, умение осуществлять поиск и интерпретировать информацию, повышение ответственности за собственное обучение.

Самостоятельная работа студентов проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать справочную и специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности студентов:
- творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирования самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развития исследовательских умений.

По дисциплине «Неравновесная термодинамика» используется два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

К основным аудиторным видам относятся:

- активная работа на лекциях
- активная работа на практических занятиях
- контрольно-обучающие программы тестирования (КОПТ).
- выполнение лабораторных работ.
- выполнение контрольных работ.

Внеаудиторная работа проводится в следующих видах:

- проработка лекционного материала,
- подготовка к лабораторным занятиям,
- подготовка к практическим занятиям,
- подготовка к аудиторным контрольным работам,
- выполнение ИДЗ,
- подготовка к защите ИДЗ,
- подготовка к экзамену или зачету.

4.1. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Гидродинамика» включает в себя:

Таблица 5

№ п/п	Объем СРС в ч.	Тема самостоятельной работы	Форма и вид СРС	Форма контроля
1	15	Феноменологическая термодинамика необратимых процессов. Основные положения неравновесной термодинамики. Термодинамическое описание равновесных и неравновесных систем. Принцип локального равновесия. Уравнение баланса энтропии и законы сохранения. Обобщенные потоки и обобщенные термодинамические силы. Обобщенные кинетические коэффициенты и соотношения симметрии Онсагера. Вариационные принципы в линейной неравновесной термодинамике. Принцип минимального производства энтропии для слабо неравновесных стационарных состояний. Примеры применения теории Онсагера. Термоэлектрические явления. Эффекты Пельтье, Зеебека, Томсона и их взаимосвязь. Эффекты, возникающие во внешнем магнитном поле. Самоорганизация в сильнонеравновесных системах. Диссипативные	Письменное решение упражнений и задач	Защита работы

		<p>неравновесные структуры. Универсальный критерий эволюции Гленсдорфа – Пригожина. Способы описания сильнонеравновесных систем. Устойчивость состояний сильнонеравновесных систем. Глобальный критерий устойчивости по Ляпунову. Динамические системы с одной степенью свободы. Динамические системы с двумя степенями свободы. Динамический хаос. Динамический хаос в одномерных отображениях.</p>		
2	15	<p>Броуновское Движение. Уравнение Ланжевена для броуновской частицы. Характер движения броуновской частицы. Случайные силы. Смещение броуновской частицы. Уравнение Фоккера – Планка для броуновской частицы. Вывод уравнения Фоккера – Планка. Решение уравнения Фоккера – Планка.</p>	(индивидуальные домашние задание)	Защита работы
3	15	<p>Кинетические уравнения в неравновесной статистической механике. Описание неравновесных систем в статистической механике. Интегрируемые и неинтегрируемые динамические системы. Эволюция динамических систем в фазовом пространстве. Обоснование квазиклассических кинетических уравнений. Уравнение Лиувилля для функции распределения. Цепочка уравнений Боголюбова. Уравнение для одночастичной функции распределения. Приближение времени релаксации. Кинетическое уравнение Власова для бесстолкновительной плазмы. Уравнение Больцмана для газа малой плотности. Качественный вывод уравнения Больцмана. Вывод уравнения Больцмана из цепочки уравнений Боголюбова. Уравнение Фоккера – Планка. Решение кинетических уравнений. Решение уравнения Больцмана для равновесного состояния. H-теорема Больцмана. Разложение Гильберта. Метод Энскога – Чепмена. Вывод уравнений гидродинамики. Метод моментов.</p>	Письменное решение упражнений и задач	Защита работы
4	15	<p>Кинетическое уравнение для электронов и фононов в проводящих кристаллах -4ч. (Кинетические коэффициенты в приближении времени релаксации. Кинетическое уравнение для электронов и его решение в приближении времени релаксации. Условия применимости квазиклассического описания электронов в проводящих кристаллах. Определение потоков заряда и тепла. Вычисление кинетических коэффициентов в случае $H=0$. Рассеяние электронов на колебаниях решетки. Гамильтониан взаимодействия электронов с заряженными примесными центрами. Интеграл столкновений при взаимодействии электронов с фононами Явление фононного увлечения. Выражения для потоков заряда и тепла в магнитном поле. Тензорная структура кинетических коэффициентов. Гальваномагнитные и термомагнитные эффекты в полупроводниках с параболическим законом дисперсии. Гидродинамическое описание системы горячих электронов. Переход к гидродинамическому описанию. Уравнение баланса импульса. Уравнения баланса энергии и числа частиц. Решение системы уравнений баланса энергии, импульса и</p>	(индивидуальные домашние задание)	Защита работы

		числа частиц. Приложения гидродинамического подхода. Отрицательное дифференциальное сопротивление).		
Итого 60 ч				

5. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература:

1. Базаров И. П. Термодинамика. М.: Высш. шк., 1991.
2. Пригожин И., Кондепуди Д. Современная термодинамика. М.: Мир, 2002.
3. Кубо Р. Термодинамика. М.: Мир, 1970.
4. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. М.: Наука, 1976.
5. Гуров К. П. Феноменологическая термодинамика необратимых процессов. М.: Наука, 1978.
6. Базаров И. П., Геворкян Э. В., Николаев П. Н. Неравновесная термодинамика и физическая кинетика. М.: Изд-во МГУ, 1989.
7. Дьярмати И. Неравновесная термодинамика : теория поля и вариационные принципы. М.: Мир, 1974.
8. Аскеров Б. М. Кинетические эффекты в полупроводниках. М.: Наука, 1970.
9. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах. М.: Мир, 1979.
10. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979.
11. Хакен Г. Синергетика : иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М.: Мир, 1985.
12. Лоскутов А. Ю., Михайлов А. С. Введение в синергетику. М.: Наука, 1990.
13. Кайзер Дж. Статистическая термодинамика неравновесных процессов. М.: Мир, 1990.

Дополнительная литература

14. Иродов И. Е. Задачи по общей физике [Текст] : учеб. пособие / И. Е. Иродов. – 12-е изд., стер. – Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2007. – 416 с. (101 экз)
15. Савельев И.В. Курс физики. В 3-х тт. Т.1. Механика. Молекулярная физика. 4-е изд. / И.В. Савельев. – СПб.: Изд-во «Лань», 2008. – 352 с.
16. Зисман Г.А. Курс общей физики. В 3 т. : учеб. пособие. Т. 1. Механика. Молекулярная физика. Колебания и волны / Г. А. Зисман, О. М. Тодес. – 7-е изд., стер. – Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2007. – 339 с.
17. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики / В.С. Волькенштейн. – 3-е изд., испр.и доп. – СПб. : Книжный мир, 2003. – 328 с.

Интернет-ресурсы:

1. <https://biblio-online.ru>
2. <http://webmath.exponenta.ru>.
3. <https://urait.ru/viewer/teoreticheskaya-mehanika>

6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Рекомендуется следующим образом организовать время, необходимое для изучения дисциплины:

- Работа с литературой – 4 час в неделю;
- Подготовка к практическому занятию – 3 час;
- Подготовка к экзамену – 1 час;

Для понимания материала и качественного его усвоения рекомендуется следующая последовательность действий:

1. В течение недели выбрать время для работы с литературой по неравновесной термодинамике.

2. При подготовке к лабораторным занятиям следующего занятия, необходимо сначала осваивать теоретической части лабораторной работы, что студент смог бы выполнить практическую часть этой лабораторной работы.

3. При подготовке к практическим занятиям следующего дня, необходимо сначала прочитать основные понятия и теоремы по теме домашнего задания. При выполнении упражнения или задачи нужно сначала понять, что требуется в задаче, какой теоретический материал нужно использовать, наметить план решения задачи. Если это не дало результатов, и Вы сделали задачу «по образцу» аудиторной задачи, или из методического пособия, нужно после решения такой задачи обдумать ход решения и попробовать решить аналогичную задачу самостоятельно.

Основная часть теоретического материала курса дается в ходе практических занятий, хотя часть материала может изучаться и самостоятельно по учебной литературе.

Рекомендуется использовать текст лекций преподавателя (если он имеется), пользоваться рекомендациями по изучению дисциплины; использовать литературу, рекомендуемую составителями программы; использовать вопросы к зачету, примерные контрольные работы. Учесть требования, предъявляемые к студентам и критерии оценки знаний.

Учебно-методический комплекс (УМК) призван помочь студенту понять специфику изучаемого материала, а в конечном итоге – максимально полно и качественно его освоить.

В первую очередь студент должен осознать предназначение комплекса: его структуру, цели и задачи. Для этого он знакомится с преамбулой, оглавлением УМК, говоря иначе, осуществляет первичное знакомство с ним.

Далее студент внимательно прочитывает и осмысливает тот раздел, задания которого ему необходимо выполнить.

Выполнение *всех* заданий, определяемых содержанием курса, предполагает работу с научными исследованиями (монографиями и статьями). Перед работой с научными источниками студенту следует обратиться к основной учебной литературе – учебным пособиям и хрестоматиям. Это позволит ему сформировать общее представление о существе интересующего вопроса.

Системный подход к изучению предмета предусматривает не только тщательное чтение специальной литературы, но и обращение к дополнительным источникам – справочникам, энциклопедиям, словарям. Эти источники – важное подспорье в самостоятельной работе студента (СРС и НИРС), поскольку глубокое изучение именно их материалов позволит студенту уверенно «распознавать», а затем самостоятельно оперировать научными категориями и понятиями, следовательно – освоить новейшую научную терминологию. Такого рода *работа с литературой* обеспечивает решение студентом поставленной перед ним задачи (подготовка к практическому занятию, выполнение контрольной работы и т.д.).

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Аудитории Естественнонаучного факультета, в которых проводятся занятия по дисциплине «Неравновесная термодинамика» оснащены проектором для проведения презентаций, чтобы сделать более наглядными и понятными доказательства теорем, методики и алгоритмы решения задач и примеров, иллюстрирующих теоретические выводы и их прикладную направленность. Также в университете имеется обширный библиотечный фонд, не только печатных, но и электронных изданий, с которыми студенты могут ознакомиться в открытом доступе.

8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

8.1. Итоговая система оценок по кредитно-рейтинговой системе с использованием буквенных символов

Форма итоговой аттестации зачет в 7 семестре.

Форма промежуточной аттестации (1 и 2 рубежный контроль) проводится путем выполнения самостоятельного задания.

Итоговая система оценок по кредитно-рейтинговой системе с использованием буквенных СИМВОЛОВ

Таблица 6

Оценка по буквенной системе	Диапазон соответствующих наборных баллов	Численное выражение оценочного балла	Оценка по традиционной системе
A	10	95-100	Отлично
A-	9	90-94	
B+	8	85-89	Хорошо
B	7	80-84	
B-	6	75-79	
C+	5	70-74	Удовлетворительно
C	4	65-69	
C-	3	60-64	
D+	2	55-59	
D	1	50-54	
Fx	0	45-49	Неудовлетворительно
F	0	0-44	

Содержание текущего контроля, промежуточной аттестации, итогового контроля раскрываются в фонде оценочных средств, предназначенных для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям ФГОС ВО.

ФОС по дисциплине является логическим продолжением рабочей программы учебной дисциплины. ФОС по дисциплине прилагается.