

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Кинетика и неравновесная термодинамика

---

Уровень высшего образования

Магистратура

---

Направление подготовки / специальность

03.04.03 - Радиофизика

---

Направленность образовательной программы

Электромагнитные волны в средах

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.03 Кинетика и неравновесная термодинамика относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области физики и радиофизики при решении задач своей профессиональной деятельности	<p>ПК-1.1: Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач</p> <p>ПК-1.2: Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий</p> <p>ПК-1.1: Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач</p> <p>ПК-1.2: Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных</p>	<p>ПК-1.1:</p> <p>Знать: методы критического анализа и оценки современных научных достижений в области своей профессиональной деятельности;</p> <p>Уметь: определять наиболее актуальные направления исследований в области профессиональной деятельности;</p> <p>Владеть: навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации по тематике проводимых исследований</p> <p>ПК-1.2:</p> <p>Знать: современные информационные и коммуникационные технологии сбора и анализа большого объема данных;</p> <p>Уметь: систематизировать и анализировать данные большого объема;</p> <p>Владеть: навыками работы с большим объемом данных, полученных из различных источников</p> <p>ПК-1.1:</p> <p>Знать: методы критического</p>	Индивидуальное устное собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы Задачи

	технологий	<p>анализа и оценки современных научных достижений в области своей профессиональной деятельности;</p> <p>Уметь: определять наиболее актуальные направления исследований в области профессиональной деятельности;</p> <p>Владеть: навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации по тематике проводимых исследований</p> <p>ПК-1.2:</p> <p>Знать: современные информационные и коммуникационные технологии сбора и анализа большого объема данных;</p> <p>Уметь: систематизировать и анализировать данные большого объема;</p> <p>Владеть: навыками работы с большим объемом данных, полученных из различных источников</p>		
<p>ПК-2: Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области физики и радиофизики и оформлять их результаты</p>	<p>ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов</p> <p>ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи</p> <p>ПК-2.3: Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР</p> <p>ПК-2.4: Анализирует полученные данные,</p>	<p>ПК-2.1:</p> <p>Знать: современное состояние исследований, современные подходы к описанию различных явлений в области своей профессиональной деятельности;</p> <p>Уметь: анализировать современное состояние исследований в области физики и радиофизики;</p> <p>Владеть: навыками моделирования различных явлений в области физики и радиофизики</p> <p>ПК-2.2:</p> <p>Знать: современные подходы к моделированию различных явлений;</p>	Тест	<p>Зачёт:</p> <p>Контрольные вопросы</p> <p>Задачи</p>

	<p>формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики</p> <p>ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов</p> <p>ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи</p> <p>ПК-2.3: Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР</p> <p>ПК-2.4: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики</p>	<p>Уметь: выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования;</p> <p>Владеть: навыками проведения моделирования или эксперимента для решения конкретной научно-исследовательской задачи</p> <p>ПК-2.3:</p> <p>Знать: основные принципы организации научного исследования;</p> <p>Уметь: анализировать процесс выполнения научного исследования и, в случае необходимости, корректировать план исследования на определенных этапах;</p> <p>Владеть: навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов</p> <p>ПК-2.4:</p> <p>Знать: современные подходы к оценке полученных результатов в области своей профессиональной деятельности;</p> <p>Уметь: анализировать полученные данные, формулировать выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики;</p> <p>Владеть: навыками оценки полученных результатов и формулировки выводов для выполненной научно-исследовательской задачи</p> <p>ПК-2.1:</p> <p>Знать: современное состояние исследований, современные подходы к описанию различных явлений в</p>		
--	--	---	--	--

		<p>области своей профессиональной деятельности;</p> <p>Уметь: анализировать современное состояние исследований в области физики и радиофизики;</p> <p>Владеть: навыками моделирования различных явлений в области физики и радиофизики</p> <p>ПК-2.2:</p> <p>Знать: современные подходы к моделированию различных явлений;</p> <p>Уметь: выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования;</p> <p>Владеть: навыками проведения моделирования или эксперимента для решения конкретной научно-исследовательской задачи</p> <p>ПК-2.3:</p> <p>Знать: основные принципы организации научного исследования;</p> <p>Уметь: анализировать процесс выполнения научного исследования и, в случае необходимости, корректировать план исследования на определенных этапах;</p> <p>Владеть: навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов</p> <p>ПК-2.4:</p> <p>Знать: современные подходы к оценке полученных результатов в области своей профессиональной деятельности;</p> <p>Уметь: анализировать</p>		
--	--	---	--	--

		полученные данные, формулировать выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики; Владеть: навыками оценки полученных результатов и формулировки выводов для выполненной научно-исследовательской задачи		
ПК-3: Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок	<p>ПК-3.1: Использует знание нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР, применяет заданные требования и правила при оформлении рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях</p> <p>ПК-3.2: Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу</p> <p>ПК-3.3: Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика</p> <p>ПК-3.1: Использует знание нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР, применяет заданные требования и правила при оформлении рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях</p> <p>ПК-3.2: Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу</p> <p>ПК-3.3: Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика</p>	<p>ПК-3.1:</p> <p>Знать: основные требования к составлению научно-технических отчетов и документации;</p> <p>Уметь: применять заданные требования и правила к оформлению рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях;</p> <p>Владеть: навыками составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов и обзоров, публикаций</p> <p>ПК-3.2:</p> <p>Знать: основные способы представления и продвижения результатов НИР;</p> <p>Уметь: структурировать презентационный материал, выделять основные результаты деятельности для их представления и расставлять акценты;</p> <p>Владеть: навыками представления результатов НИР перед научным и академическим сообществом</p> <p>ПК-3.3:</p> <p>Знать: основные этапы подготовки НИР и составления проекта НИР;</p> <p>Уметь: анализировать проектную документацию на выполнение НИР;</p> <p>Владеть: навыками составления части проектной документации для проведения</p>	Задания	Зачёт: Задания

		<p>НИР</p> <p>ПК-3.1:</p> <p>Знать: основные требования к составлению научно-технических отчетов и документации;</p> <p>Уметь: применять заданные требования и правила к оформлению рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях;</p> <p>Владеть: навыками составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов и обзоров, публикаций</p> <p>ПК-3.2:</p> <p>Знать: основные способы представления и продвижения результатов НИР;</p> <p>Уметь: структурировать презентационный материал, выделять основные результаты деятельности для их представления и расставлять акценты;</p> <p>Владеть: навыками представления результатов НИР перед научным и академическим сообществом</p> <p>ПК-3.3:</p> <p>Знать: основные этапы подготовки НИР и составления проекта НИР;</p> <p>Уметь: анализировать проектную документацию на выполнение НИР;</p> <p>Владеть: навыками составления части проектной документации для проведения НИР</p>		
--	--	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
--	-------

<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>2</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	1
<b>самостоятельная работа</b>	<b>39</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>0</b> <b>Зачёт</b>

### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Цели и задачи курса. Особенности статистического и термодинамического описания неравновесных макроскопических систем.	3	1		1	2
Цепочка уравнений Боголюбова для неравновесных функций распределения. Её вывод и необходимость разрыва.	4	2		2	2
Кинетическое уравнение самосогласованного поля. Модель изотропной плазмы. Дебаевское экранирование. Вывод уравнения Власова.	4	2		2	2
Газокинетическое уравнение Больцмана Обрыв цепочки Боголюбова при пренебрежении тройными столкновениями атомов нейтрального газа. Вывод интеграла столкновений.	4	2		2	2
Стационарное решение уравнения Больцмана. Возрастание энтропии. Средняя длина свободного пробега. Модельный интеграл столкновений.	4	2		2	2
Кинетическая теория волн в плазме. Пространственная дисперсия в плазме. Диэлектрическая проницаемость бесстолкновительной плазмы. Волны в плазме. Затухание Ландау.	4	2		2	2
Вывод уравнений динамики сплошной среды из кинетического уравнения Больцмана. Уравнения баланса массы, импульса, энергии.	4	2		2	2
Уравнение непрерывности. Уравнение непрерывности многокомпонентной системы. Диффузионный поток.	4	2		2	2
Закон изменения плотности импульса. Уравнения для макроскопической скорости вязкой среды.	4	2		2	2
Закон изменения плотности энергии. Локальная формулировка первого принципа термодинамики.	4	2		2	2
Уравнение баланса энтропии. Второй принцип термодинамики для элемента сплошной среды. Источники производства энтропии.	4	2		2	2



Малые отклонения от равновесия. Феноменологические уравнения. Симметрия кинетических коэффициентов.	4	2		2	2
Динамические и флуктуационные характеристики неравновесных систем. Динамика и флуктуации. Броуновское движение. Пространственно-временная симметрия микродинамики и ее макропроявления.	5	2		2	3
Статистический анализ Вероятность траекторий. Вариационный статистический аппарат. Полиспектрально-организованные структуры.	3	1		1	2
Функциональная форма флуктуационно-диссипационной теории Временная обратимость и причинность. Статистические инварианты и их термодинамические следствия. Флуктуационно-диссипационные теоремы.	3	1		1	2
Соотношения симметрии Перекрестные физические эффекты. Соотношения Онсагера и их обобщения.	3	1		1	2
Статистическая структура уравнений переноса. Открытые системы. Формулы Грина-Кубо и их нелинейные обобщения. Электромагнитные шумы. Эффективная температура.	3	1		1	2
Теория флуктуаций и нелинейные физические модели. Марковская теория и уравнения Ланжевена. Эволюция основных идей кинетики и статистики от Больцмана до наших дней.	7	3		3	4
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	32	0	33	39

### Содержание разделов и тем дисциплины

#### 1. Цели и задачи курса.

Особенности статистического и термодинамического описания неравновесных макроскопических систем.

#### 2. Цепочка уравнений Боголюбова для неравновесных функций распределения.

Её вывод и необходимость разрыва.

#### 3. Кинетическое уравнение самосогласованного поля.

Модель изотропной плазмы. Дебаевское экранирование. Вывод уравнения Власова.

#### 4. Газокинетическое уравнение Больцмана

Обрыв цепочки Боголюбова при пренебрежении тройными столкновениями атомов нейтрального газа. Вывод интеграла столкновений.

#### 5. Стационарное решение уравнения Больцмана.

Возрастание энтропии. Средняя длина свободного пробега. Модельный интеграл столкновений.

#### 6. Кинетическая теория волн в плазме.

Пространственная дисперсия в плазме. Диэлектрическая проницаемость бесстолкновительной плазмы.

Волны в плазме. Затухание Ландау.

#### 7. Вывод уравнений динамики сплошной среды из кинетического уравнения Больцмана.

Уравнения баланса массы, импульса, энергии.

#### 8. Уравнение непрерывности.

Уравнение непрерывности многокомпонентной системы. Диффузионный поток.

#### 9. Закон изменения плотности импульса.

Уравнения для макроскопической скорости вязкой среды.

#### 10. Закон изменения плотности энергии.

Локальная формулировка первого принципа термодинамики.

#### 11. Уравнение баланса энтропии.

Второй принцип термодинамики для элемента сплошной среды. Источники производства энтропии.

#### 12. Малые отклонения от равновесия.

Феноменологические уравнения. Симметрия кинетических коэффициентов.

13. Динамические и флуктуационные характеристики неравновесных систем.

Динамика и флуктуации. Броуновское движение. Пространственно-временная симметрия микродинамики и ее макропроявления.

14. Статистический анализ

Вероятность траекторий. Вариационный статистический аппарат. Полиспектрально-организованные структуры.

15. Функциональная форма флуктуационно-диссипационной теории

Временная обратимость и причинность. Статистические инварианты и их термодинамические следствия. Флуктуационно-диссипационные теоремы.

16. Соотношения симметрии

Перекрестные физические эффекты. Соотношения Онсагера и их обобщения.

17. Статистическая структура уравнений переноса.

Открытые системы. Формулы Грина-Кубо и их нелинейные обобщения. Электромагнитные шумы. Эффективная температура.

18. Теория флуктуаций и нелинейные физические модели.

Марковская теория и уравнения Ланжевена. Эволюция основных идей кинетики и статистики от Больцмана до наших дней.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

1. Бочков Г.Н., Кузовлев Ю.Е. Флуктуационно-диссипационные соотношения: до-стижения и недоразумения. УФН, 2013. т. 183, №6, с. 617-630. DOI: 10.3367/UFNr.0183.201306d.0617

2. Lavenda, B. H. A new perspective on thermodynamics [Electronic resource] / B. H. Lavenda. - Electronic text data. - New York, NY : Springer Science+Business Media LLC, 2010. - on-line. - ISBN 978-1-4419-1430-9; Б. ц. DOI: 10.1007/978-1-4419-1430-9

#### **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

**5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

**5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Индивидуальное устное собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1:**

1. Источники производства энтропии.

2. Малые отклонения от равновесия. Феноменологические уравнения.

3. Броуновское движение. Стохастическое уравнение Ланжевена.

**Критерии оценивания (оценочное средство - Индивидуальное устное собеседование)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»

**5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-2:**

1. Средняя длина свободного пробега молекул газа (в виде жёстких шаров) при увеличении температуры

- 1) увеличивается,
- 2) не изменяется,
- 3) уменьшается.

2. Дисперсия флуктуаций скорости броуновской частицы известной массы в жидкости при увеличении температуры

- 1) увеличивается,
- 2) не изменяется,
- 3) уменьшается.

3. Энтропия замкнутой макроскопической системы при обратимых процессах

- 1) увеличивается,
- 2) не изменяется,
- 3) уменьшается.

**Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»

Оценка	Критерии оценивания
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»

### 5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

Оформить отчет по итогам решения задачи.

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»

### 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

#### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые	Продemonстрированы все основные умения. Решены все	Продemonстрированы все основные умения. Решены все	Продemonстрированы все основные умения. Решены	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные

	вследствие отказа обучающегося от ответа	умения. Имели место грубые ошибки	задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

**5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:**

### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Источники производства энтропии. Обобщенные потоки и термодинамические силы.
2. Малые отклонения от равновесия. Феноменологические уравнения. Кинетические коэффициенты.
3. Броуновское движение. Стохастическое уравнение Ланжевена. Проблемы феноменологического подхода.

### 5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Цепочка уравнений Боголюбова для функций распределения.
2. Кинетическое уравнение самосогласованного поля Власова.
3. Газокинетическое уравнение Больцмана.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»

### 5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1

#### Задача 1

Вычислить групповую скорость поперечной волны частоты  $\omega$  в бесстолкновительной электронной плазме при известных значениях заряда и массы электрона, а также концентрации и температуры плазмы.

#### Задача 2

Вычислить групповую скорость слабозатухающей продольной волны частоты  $\omega$  в бесстолкновительной электронной плазме при известных значениях заряда и массы электрона, а также концентрации и температуры плазмы.

### 5.3.4 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-2

#### Задача 1

Оценить среднюю длину свободного пробега молекул газа при известных значениях размера молекул, их массы, концентрации газа и его температуры.

## Задача 2

Вычислить показатель преломления поперечной волны частоты  $\omega$  в бесстолкновительной электронной плазме при известных значениях заряда и массы электрона, а также концентрации и температуры плазмы.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»

### 5.3.5 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-3

Оформить отчет по итогам выполнения зачетного задания.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Румер Юрий Борисович. Термодинамика, статистическая физика и кинетика : [учеб. пособие для физ. специальностей вузов]. - М. : Наука, 1972. - 400 с. : с черт. - 0.93., 43 экз.
2. Ансельм А. И. Основы статистической физики и термодинамики : [для физ. специальностей вузов]. - М. : Наука, 1973. - 423 с. : черт. - 1.01., 12 экз.
3. Ландау Лев Давыдович. Теоретическая физика : учеб. пособие для студентов физ.

специальностей ун-тов : в 10 т. Т. 10 : Физическая кинетика / под ред. Л. П. Питаевского. - 2-е изд., испр. - М. : Физматлит, 2001. - 536 с. - ISBN 5-9221-0125-0 (т. 10). - ISBN 5-9221-0053-X : 167.00., 3 экз.

Дополнительная литература:

1. Климонтович Юрий Львович. Кинетическая теория электромагнитных процессов. - М. : Наука, 1980. - 373 с. - 2.40., 3 экз.
2. Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов / пер. с англ. В. В. Михайлова ; под ред. Н. С. Акулова. - М. : Изд-во иностр. лит., 1960. - 127 с. - 4.00., 1 экз.
3. Гроот С. Р. Неравновесная термодинамика / пер. с англ. В. Т. Хозяинова ; под ред. Д. Н. Зубарева. - М. : Мир, 1964. - 456 с. - 1.75., 2 экз.
4. Зубарев Дмитрий Николаевич. Неравновесная статистическая термодинамика. - М. : наука, 1971. - 415 с. - 1.80., 2 экз.
5. Странотович Руслан Леонтьевич. Нелинейная неравновесная термодинамика. - М. : Наука, 1985. - 479 с. : ил. - 3.70., 2 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. Microsoft Office (номера лицензий: 62421356 (12 шт.), 62421349);
2. Acrobat Professional 11.0 (номера лицензий: 65195558, 6 шт.);
3. Электронно-библиотечные системы (электронная библиотека):  
<http://e.lanbook.com/>;  
<http://www.biblioclub.ru>.

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.04.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Гавриленко Владимир Георгиевич, доктор физико-математических наук, профессор.

Рецензент(ы): Кудрин Александр Владимирович, доктор физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Калинин Андрей Владимирович, доктор технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18.12.2023, протокол № 09/23.