

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Теплофизика и молекулярная физика

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ФИЗИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.09.02.02
Трудоемкость в зачетных единицах:	2 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	2 семестр - 16 часов;
Практические занятия	2 семестр - 32 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	2 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	2 семестр - 93,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Домашнее задание	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	2 семестр - 0,5 часа;

Москва 2024

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Захарова О.Д.
	Идентификатор	R53984920-ZakharovaOD-5e59536

О.Д. Захарова

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Яньков Г.Г.
	Идентификатор	Rbb1f0c84-YankovGG-11a2e4dc

Г.Г. Яньков

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Герасимов Д.Н.
	Идентификатор	Ra5495398-GerasimovDN-6b58615

Д.Н. Герасимов

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение основных, фундаментальных положений специального курса физики «Физическая кинетика», необходимых дипломированному выпускнику-теплофизику для решения сложных задач практики, связанных с процессами переноса в неравновесных средах (диффузия, тепломассообмен, неравновесные процессы в плазме и т.д.)

Задачи дисциплины

- формирование четкой связи между дисциплинами «Статистическая физика», «Неравновесная термодинамика», «Физическая кинетика»;
- овладение навыками расчета кинетических свойств неравновесных систем на примере методов и алгоритмов расчета молекулярно-кинетической теории разреженных газов.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен анализировать и моделировать физические процессы, используемые в атомной энергетике	ИД-1 _{ПК-1} Имеет навыки математического описания и моделирования процессов в рабочих телах и элементах энергетических установок	знать: - методы расчета теплофизических параметров веществ, основанные на молекулярно-кинетической теории; - современные достижения в области определения свойств веществ и параметров высокотемпературных и высокоэнергетических процессов; - способы описания физических процессов с помощью функций распределения молекул. уметь: - выбирать конкретные методы для определения параметров веществ в заданных агрегатных состояниях.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Теплофизика и молекулярная физика (далее – ОПОП), направления подготовки 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Физика (общая)
- знать Квантовая механика
- знать Статистическая физика

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Основы кинетической теории. Функция распределения.	26	2	4	-	8	-	-	-	-	-	14	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Основы кинетической теории. Функция распределения."</p> <p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Основы кинетической теории. Функция распределения. и подготовка к контрольной работе</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Основы кинетической теории. Функция распределения." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 13-21 [2], стр. 84-88 [3], стр. 3-10</p>	
1.1	Полевое описание неравновесной системы. Локальные средние значения динамических переменных. Локальные удельные термодинамические функции и их локальные плотности	8		2	-	2	-	-	-	-	-	-	4		-
1.2	Локальные плотности потоков динамических переменных	12		2	-	4	-	-	-	-	-	-	6		-
1.3	Функции распределения, средние значения и потоки в смесях	6		-	-	2	-	-	-	-	-	-	4		-
2	Элементарная кинетическая теория процессов переноса в газах	16		4	-	4	-	-	-	-	-	-	8		-
2.1	Элементарная кинетическая теория процессов переноса в	16		4	-	4	-	-	-	-	-	-	8		-

	газах												процессов переноса в газах" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях	
3	Столкновения молекул. Межмолекулярное взаимодействие. Процесс парного столкновения. Угол рассеяния частиц.	42	4	-	14	-	-	-	-	-	-	24	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Столкновения молекул. Межмолекулярное взаимодействие. Процесс парного столкновения. Угол рассеяния частиц." <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Столкновения молекул. Межмолекулярное взаимодействие. Процесс парного столкновения. Угол рассеяния частиц." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях
3.1	Столкновения молекул. Межмолекулярное взаимодействие. Процесс парного столкновения	16	2	-	6	-	-	-	-	-	-	8	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], стр. 89-96 [3], стр. 14-20
3.2	Столкновения молекул. Угол рассеяния частиц	26	2	-	8	-	-	-	-	-	-	16	-	
4	Сечения столкновений молекул. Дифференциальное сечение рассеяния. Газокинетические сечения. Кинетическое уравнение Больцмана.	24	4	-	6	-	-	-	-	-	-	14	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Сечения столкновений молекул. Дифференциальное сечение рассеяния. Газокинетические сечения. Кинетическое уравнение Больцмана." <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Сечения столкновений молекул. Дифференциальное сечение рассеяния. Газокинетические сечения. Кинетическое уравнение Больцмана." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях
4.1	Сечения столкновений молекул. Дифференциальное сечение рассеяния. Газокинетические сечения	12	2	-	4	-	-	-	-	-	-	6	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Сечения столкновений молекул. Дифференциальное сечение рассеяния. Газокинетические сечения. Кинетическое уравнение Больцмана."
4.2	Кинетическое уравнение Больцмана.	12	2	-	2	-	-	-	-	-	-	8	-	

	Экзамен	36.00		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.50	
	Всего за семестр	144.00		16	-	32	-	2	-	-	0.5	60	33.50	
	Итого за семестр	144.00		16	-	32	2		-		0.5	93.50		

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Основы кинетической теории. Функция распределения.

1.1. Полевое описание неравновесной системы. Локальные средние значения динамических переменных. Локальные удельные термодинамические функции и их локальные плотности

Распределение молекул по пространству и скоростям. Функция распределения молекул. Динамические переменные молекулы. Среднее значение динамической переменной. Средняя скорость. Скорость теплового движения молекул. Импульс. Кинетическая энергия. Максвелловская функция распределения. Локальное термодинамическое равновесие. Локальная температура неравновесной системы. Удельное свойство и его плотность. Удельный импульс и плотность импульса. Локальная удельная собственная энергия и её плотность. Локальная удельная внутренняя энергия..

1.2. Локальные плотности потоков динамических переменных

Локальная плотность потока. Плотность потока массы. Плотность потока импульса. Тензор напряжений. Плотность потока собственной энергии. Конвективный и тепловой вклады в плотности потоков. Полное и локальное термодинамическое равновесие..

1.3. Функции распределения, средние значения и потоки в смесях

Функции распределения молекул компонентов смеси. Локальный состав смеси. Локальные средние и свойства. Локальная скорость течения смеси. Тепловые скорости молекул и диффузионные скорости компонентов смеси. Плотность потока динамической переменной. Плотность потока массы компонента смеси. Собственная и внутренняя энергия, локальная температура. Плотность потока импульса, тензоры напряжений и давления. Плотность потока энергии и теплоты. Полное и локальное термодинамическое равновесие..

2. Элементарная кинетическая теория процессов переноса в газах

2.1. Элементарная кинетическая теория процессов переноса в газах

Основные понятия ЭКТ. Цель ЭКТ. Некоторые следствия максвелловского распределения. Столкновения молекул. Частота столкновений и длина свободного пробега молекул. Описание процессов переноса в чистом одноатомном разреженном газе на основе ЭКТ. Уравнение переноса. Линейное уравнение переноса. Перенос импульса. Вязкость. Перенос энергии теплового движения молекул. Теплопроводность. Сравнение результатов ЭКТ с экспериментом. Анализ допущений ЭКТ и попытки её уточнить. «Диффузия»..

3. Столкновения молекул. Межмолекулярное взаимодействие. Процесс парного столкновения. Угол рассеяния частиц.

3.1. Столкновения молекул. Межмолекулярное взаимодействие. Процесс парного столкновения

Межмолекулярное взаимодействие. Физическая природа взаимодействия молекул. Потенциалы взаимодействия молекул. Модельные потенциалы взаимодействия молекул. Парное столкновение. Интегралы движения и инварианты столкновения. Цель теории столкновений. Динамика парного упругого столкновения сферически симметричных частиц. Движение центра масс системы частиц. Относительное движение частиц. Момент импульса относительного движения. Плоскость рассеяния..

3.2. Столкновения молекул. Угол рассеяния частиц

Уравнение кривой столкновения. Расстояние наибольшего сближения. Расчёт угла рассеяния. Частицы – твёрдые шары. Заряженные частицы. Точечные центры отталкивания. Точечные центры притяжения. Отталкивание на малых и притяжение на больших расстояниях между частицами. Асимптотика угла рассеяния на больших прицельных расстояниях.

4. Сечения столкновений молекул. Дифференциальное сечение рассеяния. Газокинетические сечения. Кинетическое уравнение Больцмана.

4.1. Сечения столкновений молекул. Дифференциальное сечение рассеяния. Газокинетические сечения

Дифференциальное сечение рассеяния. Рассеяние частиц на неподвижном центре. Расчёт дифференциального сечения рассеяния на основе классической механики. Рассеяние при межчастичных столкновениях. Расчёт дифференциального сечения рассеяния на основе квантовой механики. Дифференциальное сечение рассеяния твёрдых шаров. Дифференциальное сечение рассеяния заряженных частиц. Дифференциальное сечение рассеяния частиц, взаимодействующих произвольным образом. Диффузионное сечение. Коэффициент ослабления потока и закон Бугера. Сечение потери энергии и другие газокинетические сечения. Расчёт газокинетических сечений столкновений твёрдых шаров. Расчёт газокинетических сечений столкновений точечных центров отталкивания. Расчёт газокинетических сечений столкновений точечных заряженных частиц. Расчёт газокинетических сечений столкновений частиц, взаимодействующих произвольным образом. Полное сечение рассеяния частиц..

4.2. Кинетическое уравнение Больцмана.

Уравнение Больцмана — основа строгой кинетической теории процессов переноса в разреженных газах. Уравнение локального баланса фазовой плотности. Разделение вкладов внешних и внутренних сил. Прямые и обратные столкновения. Интеграл столкновений Больцмана..

3.3. Темы практических занятий

1. Функция распределения молекул. Локальные средние значения динамических переменных;
2. Локальные плотности потоков динамических переменных;
3. Функции распределения, средние значения и потоки в смесях;
4. Элементарная кинетическая теория процессов переноса в газах;
5. Столкновения молекул. Процесс парного столкновения;
6. Столкновения молекул. Угол рассеяния частиц;
7. Сечения столкновений молекул. Дифференциальное сечение рассеяния. Газокинетические сечения;
8. Кинетическое уравнение Больцмана.

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основы кинетической теории. Функция распределения."

2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Элементарная кинетическая теория процессов переноса в газах"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Столкновения молекул. Межмолекулярное взаимодействие. Процесс парного столкновения. Угол рассеяния частиц."
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Сечения столкновений молекул. Дифференциальное сечение рассеяния. Газокинетические сечения. Кинетическое уравнение Больцмана."

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)				Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	
Знать:						
способы описания физических процессов с помощью функций распределения молекул	ИД-1пк-1	+				Домашнее задание/Контрольный опрос «Полевое описание неравновесной системы. Функция распределения молекул»
современные достижения в области определения свойств веществ и параметров высокотемпературных и высокоэнергетических процессов	ИД-1пк-1			+		Домашнее задание/Контрольный опрос «Кинетическая теория процессов переноса. Столкновения молекул. Угол рассеяния частиц»
методы расчета теплофизических параметров веществ, основанные на молекулярно-кинетической теории	ИД-1пк-1		+			Домашнее задание/Контрольный опрос «Элементарная кинетическая теория процессов переноса в газах. Кинетическая теория процессов переноса»
Уметь:						
выбирать конкретные методы для определения параметров веществ в заданных агрегатных состояниях	ИД-1пк-1				+	Домашнее задание/Контрольный опрос «Кинетическая теория процессов переноса. Сечения столкновений молекул. Кинетическое уравнение Больцмана»

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

2 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольный опрос «Кинетическая теория процессов переноса. Сечения столкновений молекул. Кинетическое уравнение Больцмана» (Домашнее задание)
2. Контрольный опрос «Кинетическая теория процессов переноса. Столкновения молекул. Угол рассеяния частиц» (Домашнее задание)
3. Контрольный опрос «Полевое описание неравновесной системы. Функция распределения молекул» (Домашнее задание)
4. Контрольный опрос «Элементарная кинетическая теория процессов переноса в газах. Кинетическая теория процессов переноса» (Домашнее задание)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №2)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.- "Физическая кинетика", (2-е изд., испр.), Издательство: "ФИЗМАТЛИТ", Москва, 2002 - (536 с.)
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2692;](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2692)
2. П. Резибуа, М. ДеЛенер- "Классическая кинетическая теория жидкостей и газов", Издательство: "Мир", Москва, 1980 - (423 с.)
[https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=495535;](https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=495535)
3. Елецкий, А. В. Физическая кинетика разреженных систем : учебное пособие по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" / А. В. Елецкий, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2016 . – 60 с. - ISBN 978-5-7046-1790-7 .
[http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=8733.](http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=8733)

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Dr.Web;
3. Acrobat Reader.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Т-417, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Т-417, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Т-417, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Помещения для самостоятельной работы	Т-412, Учебная лаборатория вычислительной техники	стол преподавателя, стол учебный, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, компьютер персональный
Помещения для консультирования	Т-205, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, доска маркерная
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Т-213, Подсобное помещение	

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Физическая кинетика

(название дисциплины)

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Контрольный опрос «Полевое описание неравновесной системы. Функция распределения молекул» (Домашнее задание)
- КМ-2 Контрольный опрос «Элементарная кинетическая теория процессов переноса в газах. Кинетическая теория процессов переноса» (Домашнее задание)
- КМ-3 Контрольный опрос «Кинетическая теория процессов переноса. Столкновения молекул. Угол рассеяния частиц» (Домашнее задание)
- КМ-4 Контрольный опрос «Кинетическая теория процессов переноса. Сечения столкновений молекул. Кинетическое уравнение Больцмана» (Домашнее задание)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Основы кинетической теории. Функция распределения.					
1.1	Полевое описание неравновесной системы. Локальные средние значения динамических переменных. Локальные удельные термодинамические функции и их локальные плотности		+			
1.2	Локальные плотности потоков динамических переменных		+			
1.3	Функции распределения, средние значения и потоки в смесях		+			
2	Элементарная кинетическая теория процессов переноса в газах					
2.1	Элементарная кинетическая теория процессов переноса в газах			+		
3	Столкновения молекул. Межмолекулярное взаимодействие. Процесс парного столкновения. Угол рассеяния частиц.					
3.1	Столкновения молекул. Межмолекулярное взаимодействие. Процесс парного столкновения				+	
3.2	Столкновения молекул. Угол рассеяния частиц				+	
4	Сечения столкновений молекул. Дифференциальное сечение рассеяния. Газокинетические сечения. Кинетическое уравнение Больцмана.					
4.1	Сечения столкновений молекул. Дифференциальное сечение рассеяния. Газокинетические сечения					+

4.2	Кинетическое уравнение Больцмана.				+
Вес КМ, %:		20	20	30	30