

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
ТЕРМОДИНАМИКА НЕОБРАТИМЫХ ПРОЦЕССОВ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.09.04.02
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 3;
Часов (всего) по учебному плану:	108 часов
Лекции	3 семестр - 16 часов;
Практические занятия	3 семестр - 32 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	проводится в рамках часов аудиторных занятий
Самостоятельная работа	3 семестр - 59,7 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Решение задач Проверочная работа	
Промежуточная аттестация:	
Зачет с оценкой	3 семестр - 0,3 часа;

Москва 2025

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 положений и выводов термодинамики необратимых процессов, формирование у студентов научного, творческого подхода к решению практических задач, связанных с нестационарными, неравновесными потоками вещества, энергии и заряда в физических системах..

Задачи дисциплины

- формирование понимания ограничений и допущений, принятых при выводе основных соотношений термодинамики необратимых процессов;
- осознание важности и значения результатов, полученных в рамках линейной термодинамики необратимых процессов;
- приобретение навыка использовать полученные знания для установления однозначной связи между потоками физических величин (массы, энергии, заряда и т.д.) и внешними силами, действующими на систему;
- изучение методов построения системы балансовых уравнений, полностью описывающих поведение системы во времени при протекании в ней неравновесных процессов под действием любых заданных сил и условий;
- формирование четкого представления о таких физических явлениях, как термо-, бародиффузия, эффект Дюфура (возникновение потока тепла под действием градиента концентраций), термоэлектрические явления (эффекты Зеебека и Пельтье), электрокинетические явления и др. эффекты.

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: - основные аналитические методы исследования сложных физических процессов; - пределы применимости классических уравнений тепловых и гидродинамических процессов; - законы классического описания неравновесных систем. уметь: - использовать современные математические методы для описания задач гидродинамики и теплообмена.

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)», «Физика специальная (механика жидкости и газа)», «Термодинамика», «Статистическая физика» в объеме программы бакалавриата

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 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ 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	Полевое описание неравновесной сплошной среды. Термины и определения	6	3	2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	<p><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Полевое описание неравновесной сплошной среды. Термины и определения" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p>	
1.1	Термины и определения. Локальные и интегральные термодинамические функции. Уравнение локального баланса термодинамической величины. Уравнение интегрального баланса термодинамической величины	6		2	-	2	-	-	-	-	-	2	-		
2	Уравнения баланса массы, импульса, энергии многокомпонентной системы	14		2	-	4	-	-	-	-	-	8	-		<p><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Уравнения баланса массы, импульса, энергии многокомпонентной системы" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u></p>
2.1	Уравнения баланса массы системы. Уравнения баланса масс компонентов системы. Уравнения	14		2	-	4	-	-	-	-	-	8	-		

	баланса импульса системы. Уравнения баланса энергии системы. Полная, собственная и внутренняя энергии. Плотность потока собственной энергии, производство собственной энергии. Уравнение локального баланса собственной энергии в переменных Эйлера и Лагранжа. Уравнение локального баланса кинетической энергии движущейся среды. Уравнение локального баланса внутренней энергии.													[1], стр. 17-47
3	Первый закон термодинамики: локальная формулировка.	10	2	-	4	-	-	-	-	-	4	-	-	<u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы <u>Изучение материалов литературных источников:</u>
3.1	Понятие локального термодинамического равновесия. Локальная удельная внутренняя энергия как функция состояния. Локальные формулировки первого закона термодинамики. Температура, термическое и калорическое уравнения состояния.	10	2	-	4	-	-	-	-	-	4	-	-	[2], стр. 23-40
4	Второй закон	12	2	-	4	-	-	-	-	-	6	-	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u>

	термодинамики: локальная формулировка.													Повторение материала по разделу "Второй закон термодинамики: локальная формулировка."
4.1	Энтропия и уравнение Гиббса. Производство энтропии и необратимость. Энтропия и уравнение Гиббса: локальная формулировка второго закона термодинамики. Уравнение локального баланса энтропии. Производство энтропии и необратимость. Плотность теплового потока. Возрастание локального производства энтропии в результате необратимых процессов, протекающих в системе.	12	2	-	4	-	-	-	-	-	6	-	-	<u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Второй закон термодинамики: локальная формулировка." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], стр. 41-67
5	Первый закон термодинамики: интегральные формулировки.	6	1	-	2	-	-	-	-	-	3	-	-	<u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции
5.1	Интегральный баланс внутренней энергии. Интегральный баланс энтальпии. Интегральный баланс полной энтальпии.	6	1	-	2	-	-	-	-	-	3	-	-	
6	Второй закон термодинамики: интегральная	6	1	-	2	-	-	-	-	-	3	-	-	<u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции <u>Подготовка к практическим занятиям:</u>

<p>Диффузия и теплопроводность во многокомпонентных смесях. Явление термодиффузии. Диффузионный термоэффект. Эффект Зеебека. Эффект Пельтье. Обобщенный закон Фика. Обобщенный закон Ома. Вязкость. Три независимых составляющих вклада вязких напряжений в производство энтропии. Сдвиговая вязкость. Торсионная вязкость. Объемная вязкость. Обобщенный закон Ньютона. Вид тензоров теплопроводности и электропроводности в анизотропных средах. Доказательство симметричности тензоров теплопроводности и электропроводности. Химическая кинетика. Зависимость скорости реакции от сродства. Теплопроводность химически реагирующих систем.</p>													<p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 100-108</p>
	Зачет с оценкой	18.0	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	
	Всего за семестр	108.0	16	-	32	-	-	-	-	0.3	42	17.7	

	Итого за семестр	108.0		16	-	32	-	-	0.3	59.7	
--	------------------	-------	--	----	---	----	---	---	-----	------	--

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. Полевое описание неравновесной сплошной среды. Термины и определения

1.1. Термины и определения. Локальные и интегральные термодинамические функции. Уравнение локального баланса термодинамической величины. Уравнение интегрального баланса термодинамической величины

Термины и определения. Локальные и интегральные термодинамические функции. Уравнение локального баланса термодинамической величины. Уравнение интегрального баланса термодинамической величины.

2. Уравнения баланса массы, импульса, энергии многокомпонентной системы

2.1. Уравнения баланса массы системы. Уравнения баланса масс компонентов системы. Уравнения баланса импульса системы. Уравнения баланса энергии системы. Полная, собственная и внутренняя энергии. Плотность потока собственной энергии, производство собственной энергии. Уравнение локального баланса собственной энергии в переменных Эйлера и Лагранжа. Уравнение локального баланса кинетической энергии движущейся среды. Уравнение локального баланса внутренней энергии.

Уравнения баланса массы системы. Уравнения баланса масс компонентов системы. Уравнения баланса импульса системы. Уравнения баланса энергии системы. Полная, собственная и внутренняя энергии. Плотность потока собственной энергии, производство собственной энергии. Уравнение локального баланса собственной энергии в переменных Эйлера и Лагранжа. Уравнение локального баланса кинетической энергии движущейся среды. Уравнение локального баланса внутренней энергии..

3. Первый закон термодинамики: локальная формулировка.

3.1. Понятие локального термодинамического равновесия. Локальная удельная внутренняя энергия как функция состояния. Локальные формулировки первого закона термодинамики. Температура, термическое и калорическое уравнения состояния.

Понятие локального термодинамического равновесия. Локальная удельная внутренняя энергия как функция состояния. Локальные формулировки первого закона термодинамики. Температура, термическое и калорическое уравнения состояния..

4. Второй закон термодинамики: локальная формулировка.

4.1. Энтропия и уравнение Гиббса. Производство энтропии и необратимость. Энтропия и уравнение Гиббса: локальная формулировка второго закона термодинамики. Уравнение локального баланса энтропии. Производство энтропии и необратимость. Плотность теплового потока. Возрастание локального производства энтропии в результате необратимых процессов, протекающих в системе.

Энтропия и уравнение Гиббса. Производство энтропии и необратимость. Энтропия и уравнение Гиббса: локальная формулировка второго закона термодинамики. Уравнение локального баланса энтропии. Производство энтропии и необратимость. Плотность теплового потока. Возрастание локального производства энтропии в результате необратимых процессов, протекающих в системе..

5. Первый закон термодинамики: интегральные формулировки.

5.1. Интегральный баланс внутренней энергии. Интегральный баланс энтальпии. Интегральный баланс полной энтальпии.

Интегральный баланс внутренней энергии. Интегральный баланс энтальпии. Интегральный баланс полной энтальпии..

6. Второй закон термодинамики: интегральная формулировка.

6.1. Интегральный баланс энтропии и закон возрастания энтропии.
Интегральный баланс энтропии и закон возрастания энтропии..

7. Потoki и термодинамические силы. Теорема Кюри. Соотношения взаимности Онзагера.

7.1. Зависимость потоков от термодинамических сил. Линейная термодинамика необратимых процессов. Теорема Кюри. Применение теоремы Кюри к скалярным и векторным процессам переноса. Матрица кинетических коэффициентов. Соотношения взаимности Онзагера. Независимые потоки и термодинамические силы. Симметрия матрицы кинетических коэффициентов векторных процессов переноса.

Зависимость потоков от термодинамических сил. Линейная термодинамика необратимых процессов. Теорема Кюри. Применение теоремы Кюри к скалярным и векторным процессам переноса. Матрица кинетических коэффициентов. Соотношения взаимности Онзагера. Независимые потоки и термодинамические силы. Симметрия матрицы кинетических коэффициентов векторных процессов переноса..

8. Процессы переноса.

8.1. Диффузия и теплопроводность во многокомпонентных смесях. Вязкость. Химические реакции. Диффузия и теплопроводность во многокомпонентных смесях. Явление термодиффузии. Диффузионный термоэффект. Эффект Зеебека. Эффект Пельтье. Обобщенный закон Фика. Обобщенный закон Ома. Вязкость. Три независимых составляющих вклада вязких напряжений в производство энтропии. Сдвиговая вязкость. Торсионная вязкость. Объемная вязкость. Обобщенный закон Ньютона. Вид тензоров теплопроводности и электропроводности в анизотропных средах. Доказательство симметричности тензоров теплопроводности и электропроводности. Химическая кинетика. Зависимость скорости реакции от сродства. Теплопроводность химически реагирующих систем.

Диффузия и теплопроводность во многокомпонентных смесях. Вязкость. Химические реакции. Диффузия и теплопроводность во многокомпонентных смесях. Явление термодиффузии. Диффузионный термоэффект. Эффект Зеебека. Эффект Пельтье. Обобщенный закон Фика. Обобщенный закон Ома. Вязкость. Три независимых составляющих вклада вязких напряжений в производство энтропии. Сдвиговая вязкость. Торсионная вязкость. Объемная вязкость. Обобщенный закон Ньютона. Вид тензоров теплопроводности и электропроводности в анизотропных средах. Доказательство симметричности тензоров теплопроводности и электропроводности. Химическая кинетика. Зависимость скорости реакции от сродства. Теплопроводность химически реагирующих систем..

3.3. Темы практических занятий

1. Применение линейных законов переноса к процессам диффузии и теплопроводности;
2. Правила построения симметричной матрицы кинетических коэффициентов векторных процессов переноса. Тензорные процессы переноса;
3. Интегральный баланс энтропии и закон возрастания энтропии;
4. Первый закон термодинамики: интегральные формулировки;

5. Второй закон термодинамики: локальная формулировка. Энтропия и уравнение Гиббса. Производство энтропии и необратимость;
6. Внутренняя энергия, энтальпия, полная энтальпия неравновесной системы: вывод балансовых соотношений;
7. Уравнения баланса массы, импульса, энергии многокомпонентной системы;
8. Правила построения локального и интегрального уравнений баланса термодинамической величины.

3.4. Темы лабораторных работ
не предусмотрено

3.5 Консультации

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	5	6	7	8	
Знать:										
законы классического описания неравновесных систем	ИД-1ПК-1				+	+	+			Проверочная работа/Контрольный опрос № 3 "Второй закон термодинамики неравновесных систем"
пределы применимости классических уравнений тепловых и гидродинамических процессов	ИД-1ПК-1			+						Проверочная работа/Контрольный опрос № 2 "Первый закон термодинамики неравновесных систем"
основные аналитические методы исследования сложных физических процессов	ИД-1ПК-1							+	+	Проверочная работа/Контрольный опрос № 4 "Потоки и термодинамические силы"
Уметь:										
использовать современные математические методы для описания задач гидродинамики и теплообмена	ИД-1ПК-1	+	+							Решение задач/Контрольный опрос № 1 "Уравнения локального баланса"

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

3 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольный опрос № 2 "Первый закон термодинамики неравновесных систем" (Проверочная работа)

Форма реализации: Смешанная форма

1. Контрольный опрос № 3 "Второй закон термодинамики неравновесных систем" (Проверочная работа)
2. Контрольный опрос № 4 "Потоки и термодинамические силы" (Проверочная работа)

Форма реализации: Соблюдение графика выполнения задания

1. Контрольный опрос № 1 "Уравнения локального баланса" (Решение задач)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Зачет с оценкой (Семестр №3)

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

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Е. П. Агеев- "Неравновесная термодинамика в вопросах и ответах: в вопросах и ответах", (Изд. 2-е, иправ. и доп.), Издательство: "МЦНМО", Москва, 2005 - (160 с.)
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=63243>;
2. Сорокин В. С.- "Макроскопическая необратимость и энтропия. Введение в термодинамику", Издательство: "ФИЗМАТЛИТ", Москва, 2004 - (176 с.)
https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=59366.

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. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. Журнал Science - <https://www.sciencemag.org/>
11. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
12. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
13. Федеральный портал "Российское образование" - <http://www.edu.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-205, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, доска маркерная
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Т-205, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, доска маркерная
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Т-205, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, доска маркерная
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

Термодинамика необратимых процессов

(название дисциплины)

3 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Контрольный опрос № 1 "Уравнения локального баланса" (Решение задач)
- КМ-2 Контрольный опрос № 2 "Первый закон термодинамики неравновесных систем" (Проверочная работа)
- КМ-3 Контрольный опрос № 3 "Второй закон термодинамики неравновесных систем" (Проверочная работа)
- КМ-4 Контрольный опрос № 4 "Потоки и термодинамические силы" (Проверочная работа)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	7	11	16
1	Полевое описание неравновесной сплошной среды. Термины и определения					
1.1	Термины и определения. Локальные и интегральные термодинамические функции. Уравнение локального баланса термодинамической величины. Уравнение интегрального баланса термодинамической величины		+			
2	Уравнения баланса массы, импульса, энергии многокомпонентной системы					
2.1	Уравнения баланса массы системы. Уравнения баланса масс компонентов системы. Уравнения баланса импульса системы. Уравнения баланса энергии системы. Полная, собственная и внутренняя энергии. Плотность потока собственной энергии, производство собственной энергии. Уравнение локального баланса собственной энергии в переменных Эйлера и Лагранжа. Уравнение локального баланса кинетической энергии движущейся среды. Уравнение локального баланса внутренней энергии.		+			
3	Первый закон термодинамики: локальная формулировка.					
3.1	Понятие локального термодинамического равновесия. Локальная удельная внутренняя энергия как функция состояния. Локальные формулировки первого закона термодинамики. Температура, термическое и калорическое уравнения состояния.			+		
4	Второй закон термодинамики: локальная формулировка.					
4.1	Энтропия и уравнение Гиббса. Производство энтропии и необратимость. Энтропия и уравнение Гиббса: локальная формулировка второго закона термодинамики.				+	

	Уравнение локального баланса энтропии. Производство энтропии и необратимость. Плотность теплового потока. Возрастание локального производства энтропии в результате необратимых процессов, протекающих в системе.				
5	Первый закон термодинамики: интегральные формулировки.				
5.1	Интегральный баланс внутренней энергии. Интегральный баланс энтальпии. Интегральный баланс полной энтальпии.			+	
6	Второй закон термодинамики: интегральная формулировка.				
6.1	Интегральный баланс энтропии и закон возрастания энтропии.			+	
7	Потоки и термодинамические силы. Теорема Кюри. Соотношения взаимности Онзагера.				
7.1	Зависимость потоков от термодинамических сил. Линейная термодинамика необратимых процессов. Теорема Кюри. Применение теоремы Кюри к скалярным и векторным процессам переноса. Матрица кинетических коэффициентов. Соотношения взаимности Онзагера. Независимые потоки и термодинамические силы. Симметрия матрицы кинетических коэффициентов векторных процессов переноса.				+
8	Процессы переноса.				
8.1	Диффузия и теплопроводность во многокомпонентных смесях. Вязкость. Химические реакции. Диффузия и теплопроводность во многокомпонентных смесях. Явление термодиффузии. Диффузионный термоэффект. Эффект Зеебека. Эффект Пельтье. Обобщенный закон Фика. Обобщенный закон Ома. Вязкость. Три независимых составляющих вклада вязких напряжений в производство энтропии. Сдвиговая вязкость. Торсионная вязкость. Объемная вязкость. Обобщенный закон Ньютона. Вид тензоров теплопроводности и электропроводности в анизотропных средах. Доказательство симметричности тензоров теплопроводности и электропроводности. Химическая кинетика. Зависимость скорости реакции от сродства. Теплопроводность химически реагирующих систем.				+
Вес КМ, %:		25	15	25	35