

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

Естественнонаучный факультет

Кафедра «Математики и физики»

«УТВЕРЖДАЮ»

«29» августа 2025 г.

Зав. кафедрой  Гулбоев Б.Дж.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по учебной дисциплине (модулю)
«Неравновесная термодинамика»
Направление подготовки - 03.03.02 «Физика»
Профиль подготовки - «Общая физика»
Форма подготовки - очная
Уровень подготовки - бакалавриат

Душанбе 2025 г.

**ПАСПОРТ
ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**
по дисциплине (модулю)
«Неравновесная термодинамика»

Общие положения

Фонд оценочных средств (далее ФОС) предназначен для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу учебной дисциплины «Неравновесная термодинамика» программы подготовки специалистов по бакалавру для специальности 03.03.02 Физики.

В результате освоения учебной дисциплины «Неравновесная термодинамика» обучающийся должен обладать предусмотренными ФГОС следующими умениями, знаниями, а также использовать приобретенные знания и умения в практической деятельности и повседневной жизни.

В результате освоения дисциплины «Неравновесная термодинамика» формируются следующие (профессиональные) компетенции обучающегося:

1) Профессиональные компетенции выпускников и индикаторы их достижения

код	Формируемая компетенция	Этапы формирования компетенции	Содержание этапа формирования компетенции	Вид оценочного средства
ПК-2	Способностью проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	Начальный 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 проведения эксперимента по определению основных физических величин во всех разделах физики, такие как оптика и спектроскопия, физика твердого тела, ядерной физики и т.д. - основные достижения, современные тенденции и современную экспериментальную базу в области физики.	Коллоквиум
		Продвинутый этап (навыки)	Умеет: - 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	Владеет: - навыками работы с современными экспериментальными научными	Коллоквиум

		этап (умения)	оборудованиями 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.	
--	--	------------------	---	--

Уровень и качество знаний обучающихся оценивается по результатам текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины в виде зачета (на 7 семестре).

Текущий контроль включает в себя защиту выполненного практического задания.

Защита задач для самостоятельного решения проводится для проверки способности использовать законы теоретической физики при анализе условия и решения задач по физическая кинетика, а также умения применять математические методы для описания физических явлений.

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проводится в виде экзамена на 7 семестре.

Зачет предполагает ответ на вопросов, по всему курсу. К моменту сдачи зачета должны быть благополучно пройдены предыдущие формы контроля.

Методика формирования результирующей оценки в обязательном порядке учитывает активность студентов на занятиях, посещаемость занятий, выполнение самостоятельных заданий.

Комплект вопросов для письменной работы (ответы на контрольные вопросы) или для собеседования на коллоквиумах (по основным разделам дисциплины), а также для написание рефератов:

для написания рефератов:					
№ п/п	Контролируемые разделы, темы, модули ¹	Формируе ые компетенци и	Оценочные средства		
			Количество тестовых заданий	Другие оценочные средства	
				Вид	Количество
1	Феноменологическая термодинамика необратимых процессов. Основные положения неравновесной термодинамики. Термодинамическое описание равновесных и неравновесных систем.	ПК-2	7	Решение	8
				задач	
				Опрос	13
				Реферат	9

¹Наименования разделов, тем, модулей соответствуют рабочей программе дисциплины.

	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.				
2	Броуновское Движение. Уравнение Ланжевена для броуновской частицы. Характер движения броуновской частицы. Случайные силы. Смещение	ПК-2	6	Решение задач Опрос Реферат	8 13 9

	броуновской частицы. Уравнение Фоккера – Планка для броуновской частицы. Вывод уравнения Фоккера – Планка. Решение уравнения Фоккера – Планка.				
3	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. Н-теорема Больцмана. Разложение Гильберта. Метод Энскога – Чепмена. Вывод уравнений гидродинамики. Метод моментов.	ПК-2	6	Решение задач Опрос Реферат	7 12 8
4	Кинетическое уравнение для электронов и фононов в проводящих кристаллах -4ч. (Кинетические коэффициенты в	ПК-2	6	Решение задач Опрос Реферат	7 12 9

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.				
---	--	--	--	--

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины «Неравновесная термодинамика» организуется в виде лекций, практических занятий и самостоятельной работы. Продолжительность изучения дисциплины -1 семестра.

Уровень и качество знаний обучающихся оцениваются по результатам входного контроля, текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины в виде экзамена.

Лекция - основная форма систематического, последовательного устного изложения учебного материала. Чтение лекций, как правило, осуществляется наиболее профессионально подготовленными преподавателями университета. Основными задачами лекций являются:

- ознакомление обучающихся с целями, задачами и структурой изучаемой дисциплины, ее местом в системе наук и связями с другими дисциплинами;
- изложение комплекса основных научных понятий, законов, методов, принципов данной дисциплины;

Лекции мотивируют обучающегося на самостоятельный поиск и изучение научной и специальной литературы и других источников по темам дисциплины, ориентируют на выявление, формулирование и исследование наиболее актуальных вопросов и проблем физической кинетики. Значимым фактором полноценной и плодотворной работы обучающегося на лекции является культура ведения конспекта. Слушая лекцию, необходимо научиться выделять и фиксировать ее ключевые моменты, записывая их более четко и выделяя каким-либо способом из общего текста. Кроме того, необходимо научиться делать понятные для обучающегося сокращения при записи текста лекции и стремиться освоить быструю манеру письма и рубрикацию материала.

Интерактивные лекции проводятся в форме проблемных лекций. В ходе проблемной лекции преподаватель включает в процесс изложения материала серию проблемных вопросов. Как правило, это сложные, ключевые для темы вопросы. Студенты приглашаются для размышлений и поиску ответов на них по мере их постановки. Типовая структура проблемной лекции включает:

- создание проблемной ситуации через постановку учебной проблемы; конкретизацию этой проблемы, выдвижение гипотез по ее решению;
- мысленный эксперимент по проверке выдвинутых гипотез;
- проверку сформулированных гипотез, подбор аргументов и фактов для их подтверждения;
- формулировку выводов;
- подведение к новым противоречиям или перспективам изучения последующего материала;
- вопросы для обратной связи, помогающие корректировать умственную деятельность студентов на лекции. В ходе проблемной лекции проводится дискуссия по актуальным вопросам.

Практические занятия по дисциплине «Неравновесная термодинамика» проводятся в соответствии с учебно-тематическим планом по отдельным группам. Цель практических занятий - закрепить теоретические знания, полученные студентами на лекциях и в результате самостоятельного изучения соответствующих разделов рекомендуемой литературы, а также приобрести начальные практические навыки анализа наблюдаемых физических явлений.

Темы практических занятий заранее сообщаются обучающимся для того, чтобы они имели возможность подготовиться и проработать соответствующие теоретические вопросы дисциплины. В начале каждого практического занятия преподаватель кратко доводит до обучающихся цель и задачи занятия и сообщает обучающимся основные законы необходимые для решения задач на занятии.

В рамках практического занятия обучающиеся решают задачи и разбирают практические задачи самостоятельно или при помощи преподавателя. Преподаватель выступает в роли консультанта, осуществляет контроль полученных обучающимися результатов.

Интерактивными являются практические занятия в форме метода развивающейся кооперации (решение задач в группах с последующим обсуждением).

Отсутствие обучающихся на занятиях или их неактивное участие на них может быть компенсировано самостоятельным выполнением дополнительных заданий и представлением их на проверку преподавателю.

Целью самостоятельной работы обучающихся при изучении настоящей учебной дисциплины является выработка ими навыков работы с научной и учебной литературой, а также развитие у обучающихся устойчивых способностей к самостоятельному изучению и обработке полученной информации.

В процессе самостоятельной работы обучающийся должен воспринимать, осмысливать и углублять получаемую информацию, решать практические задачи, подготавливать доклады, выполнять домашние задания, овладевать профессионально

необходимыми навыками. Самостоятельная работа обучающегося весьма многообразна и содержательна. Она включает следующие виды занятий:

- самостоятельный подбор, изучение, конспектирование, анализ учебно-методической и научной литературы, периодических научных изданий,
- индивидуальная творческая работа по осмыслению собранной информации, проведению сравнительного анализа и синтеза материалов, полученных из разных источников, интерпретации информации, выполнение домашних заданий;
- завершающий этап самостоятельной работы;
- подготовка к сдаче зачета по дисциплине, предполагающая интеграцию и систематизацию всех полученных при изучении учебной дисциплины знаний.

Опрос — это выяснение мнения сообщества по тем или иным вопросам. По итогам опроса могут быть изменены или отменены существующие либо приняты новые правила и руководства (за исключением противоречащих общим принципам проекта). Опрос 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.

Требование к опросу:

- точность ответа на поставленный вопрос;
- формулировка целей и задач работы;
- раскрытие (определение) рассматриваемого понятия (определения, проблемы, термина);
- четкость структуры работы;
- самостоятельность, логичность изложения;
- наличие выводов, сделанных самостоятельно.

Критерии оценки по опросу:

Отметка «5». Выступление выполнено в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности. Работа соответствует требованию.

Отметка «4». Выступление отвечает предъявленным требованиям. Допускаются отклонения от необходимой последовательности выполнения, не влияющие на правильность конечного результата.

Отметка «3». Учащиеся показывают знания не в полной мере и испытывают затруднение при решении задач.

Отметка «2» выставляется в том случае, когда учащиеся не подготовлены к выполнению этой работы.

Решение задач — процесс выполнения действий или мыслительных операций, направленный на достижение цели, заданной в рамках проблемной ситуации задачи; является составной частью мышления. С точки зрения когнитивного подхода процесс решения задач является наиболее сложной из всех функций интеллекта и определяется как когнитивный процесс более высокого порядка, требующий согласования и управления более элементарными или фундаментальными навыками.

Критерии оценки решения задач:

Оценка «5» - выставляется студенту, если он активно принимал участие в решении задач и отвечал на вопросы полным ответом с доказательством и решением безошибочно.

Оценка «4» - наличие несущественных ошибок, уверенно исправляемых обучающимся после дополнительных и наводящих вопросов. Демонстрация обучающимся знаний в объеме пройденной программы. Четкое изложение учебного материала.

Оценка «3» - наличие несущественных ошибок в ответе, не исправляемых обучающимся. Демонстрация обучающимся недостаточно полных знаний по пройденной программе.

Оценка «2» - выставляется студенту, если он не учувствовал в решении задач, а при вызывании к доске не мог ничего ответить.

Критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

Критериями оценок результатов внеаудиторной самостоятельной работы студента являются:

- уровень освоения студентами учебного материала;
- умения студента использовать теоретические знания при выполнении практических задач;
- сформированность общеучебных умений;
- умения студента активно использовать электронные образовательные ресурсы; находить требующуюся информацию, изучать ее и применять на практике;
- обоснованность и четкость изложения ответа;
- оформление материала в соответствии с требованиями;
- умение ориентироваться в потоке информации, выделять главное;
- умение четко сформулировать проблему, предложив ее решение, критически оценить решение и его последствия;
- умение показать, проанализировать альтернативные возможности, варианты действий;
- умение сформировать свою позицию, оценку и аргументировать ее.

Критерии оценки самостоятельной работы студентов:

Оценка «5» ставится тогда когда студент свободно применяет знания на практике, не допускает ошибок в воспроизведении изученного материала, выделяет главные положения в изученном материале и не затрудняется в ответах на видоизмененные вопросы, усваивает весь объем программного материала и оформлен аккуратно в соответствии с требованиями;

Оценка «4» ставится тогда когда студент знает весь изученный материал, отвечает без особых затруднений на вопросы преподавателя, умеет применять полученные знания на практике, в ответах не допускает серьезных ошибок, легко устраняет определенные неточности с помощью дополнительных вопросов преподавателя, материал оформлен недостаточно аккуратно и в соответствии с требованиями;

Оценка «3» ставится тогда когда студент обнаруживает освоение основного материала, но испытывает затруднения при его самостоятельном воспроизведении и требует дополнительных дополняющих вопросов преподавателя, предпочитает отвечать на вопросы воспроизводящего характера и испытывает затруднения при ответах на воспроизводящие вопросы, материал оформлен не аккуратно или не в соответствии с требованиями;

Оценка «2» ставится тогда когда студент имеет отдельные представления об изучаемом материале, но все, же большая часть не усвоена и материал оформлен не в соответствии с требованиями.

В основу разработки балльно-рейтинговой системы положены принципы, в соответствии с которыми формирование рейтинга студента осуществляется постоянно в процессе его обучения в университете. Настоящая система оценки успеваемости студентов основана на использовании совокупности контрольных точек, равномерно расположенных на всем временном интервале изучения дисциплины. При этом предполагается разделение всего курса на ряд более или менее самостоятельных, логически завершенных блоков и модулей и проведение по ним промежуточного контроля.

Студентам выставляются следующие баллы за выполнение задания ПК:

- **оценка «отлично» (10 баллов):** контрольные тесты, а также самостоятельно выполненные семестровые задания, выполненные полностью и сданные в срок в соответствии с предъявляемыми требованиями;

- **оценка «хорошо» (8-9 баллов):** задание выполнено и в целом отвечает предъявляемым требованиям, но имеются отдельные замечания в его оформлении или сроке сдачи;

- **оценка «удовлетворительно» (6-7 баллов):** задание выполнено не до конца, отсутствуют ответы на отдельные вопросы, имеются отклонения в объеме, содержании, сроке выполнения;

- **оценка «неудовлетворительно» (5 и ниже):** отсутствует решение задачи, задание переписано (скачано) из других источников, не проявлена самостоятельность при его выполнении.

Текущий контроль осуществляется в ходе учебного процесса по результатам выполнения самостоятельной работы и контрольной работы.

Основными формами текущего контроля знаний являются:

- обсуждение вынесенных в планах практических занятий лекционного материала и контрольных вопросов;

- решение тестов и их обсуждение с точки зрения умения сформулировать выводы, вносить рекомендации и принимать адекватные управленческие решения;

- выполнение контрольной работы и обсуждение результатов;

- участие в дискуссиях в качестве участника и модератора групповой дискуссии по темам дисциплины;

- написание и презентация доклада;

- написание самостоятельной (контрольной) работы.

Для контроля усвоения данной дисциплины учебным планом предусмотрен экзамен. Общее количество баллов по дисциплине - 100 баллов в семестре. Распределение баллов на текущий и промежуточный контроль при освоении дисциплины, а также итоговой оценке представлено ниже.

ПРИМЕРЫ ОПРОСОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА ПО ОСВОЕНИЮ МАТЕРИАЛА

1. Что такое неравновесная термодинамика?
2. В чем заключается основное отличие равновесных и неравновесных процессов?
3. Объясните понятие термодинамического равновесия.
4. Что подразумевается под локальным термодинамическим равновесием?
5. Каковы ключевые задачи неравновесной термодинамики?
6. Какие системы называются открытыми, закрытыми и изолированными в термодинамике?
7. Что такое энтропия, и как она меняется в неравновесных системах?
8. Объясните понятие производной энтропии по времени.
9. Как интерпретируется второй закон термодинамики для неравновесных систем?
10. Какие основные уравнения описывают неравновесные процессы?
11. Что такое поток вещества? Приведите примеры.
12. Объясните понятие теплового потока.
13. Каковы причины возникновения диффузионных потоков?
14. Что такое химический потенциал? Как он связан с потоками?
15. Опишите физический смысл градиента температуры в контексте теплопередачи.
16. Что такое термодинамические силы? Приведите примеры.

17. В чем заключается связь между потоками и силами?
18. Объясните линейные соотношения Онсагера.
19. Что такое сопряженные потоки и силы?
20. Какие примеры сопряжения потоков вы можете привести?
21. Объясните феноменологические законы Онсагера.
22. Что такое симметрия коэффициентов Онсагера?
23. Как проверяется выполнение условий симметрии?
24. Как зависят коэффициенты Онсагера от природы материала?
25. Приведите примеры процессов, где коэффициенты Онсагера играют ключевую роль.
26. Как рассчитывается производство энтропии в неравновесных системах?
27. Приведите примеры процессов с максимальным производством энтропии.
28. Как производство энтропии связано с эффективностью термодинамических процессов?
29. Какие параметры влияют на величину производства энтропии?
30. Объясните, почему производство энтропии всегда положительно.
31. Что такое уравнение диффузии, и как оно используется в термодинамике?
32. Объясните закон Фика для диффузии.
33. Как связаны коэффициент диффузии и термодинамические параметры?
34. Что описывает закон Фурье для теплопроводности?
35. Каковы основные предположения при выводе закона Фурье?
36. Что такое термоэлектрический эффект?
37. Как объяснить эффект Зеебека с точки зрения термодинамики?
38. Что такое эффект Пельтье?
39. Как связаны эффекты Пельтье и Зеебека?
40. Что такое термодиффузия?
41. В чем отличие линейной и нелинейной неравновесной термодинамики?
42. Приведите примеры нелинейных процессов в природе.
43. Какие уравнения описывают нелинейные процессы?
44. Как изменение параметров влияет на нелинейные системы?
45. Что такое автоколебания в нелинейной термодинамике?
46. Приведите примеры применения неравновесной термодинамики в биологии.
47. Как неравновесная термодинамика используется в химии?
48. Объясните роль неравновесной термодинамики в материаловедении.
49. Какие процессы изучает неравновесная термодинамика в астрофизике?
50. Каковы перспективы развития неравновесной термодинамики?

ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ

1. История развития неравновесной термодинамики.
2. Принципы локального термодинамического равновесия.
3. Производство энтропии и его роль в неравновесной термодинамике.
4. Основные уравнения неравновесной термодинамики.
5. Законы сохранения в неравновесных системах.
6. Термодинамические силы и потоки: теория и примеры.
7. Сопряженные потоки в неравновесной термодинамике.
8. Линейные соотношения Онсагера и их физический смысл.
9. Коэффициенты Онсагера: методы измерения и интерпретация.
10. Градиенты температуры, давления и концентрации в неравновесных системах.
11. Теплопроводность как пример неравновесного процесса.
12. Диффузия: основные закономерности и применение теории.
13. Термоэлектрические явления: эффект Зеебека и Пельтье.

14. Электропроводность в неравновесной термодинамике.
15. Термодиффузия и ее практическое значение.
16. Нелинейная неравновесная термодинамика: основы и примеры.
17. Автоколебания в термодинамических системах.
18. Принципы самоорганизации в неравновесных системах.
19. Диссипативные структуры и их роль в природе.
20. Хаос и порядок в неравновесной термодинамике.
21. Неравновесная термодинамика в химических реакциях.
22. Роль неравновесной термодинамики в биологических системах.
23. Использование теории в материаловедении.
24. Термодинамическое описание климатических процессов.
25. Применение неравновесной термодинамики в астрофизике.
26. Сравнение неравновесной термодинамики и кинетической теории.
27. Связь теории поля и неравновесной термодинамики.
28. Неравновесная термодинамика и теория хаоса.
29. Применение неравновесной термодинамики в социофизике.
30. Термодинамика в экономических и социальных процессах.
31. Развитие неравновесной термодинамики в XXI веке.
32. Компьютерное моделирование неравновесных процессов.
33. Современные исследования в области диссипативных структур.
34. Использование неравновесной термодинамики в нанотехнологиях.
35. Проблемы и вызовы теории неравновесной термодинамики.

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА ПО РЕШЕНИЮ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

1. Рассчитайте поток тепла J_q , проходящий через стенку толщиной $l=0.01$ м, если температурный градиент составляет $\nabla T=50$ К/м, а теплопроводность материала $\lambda=0.5$ Вт/(м*К). **Формула:** $J_q=-\lambda \nabla T$.
2. Определите поток вещества J_c через мембрану, если концентрация на одной стороне $C_1=2$ моль/м³, на другой $C_2=1$ моль/м³, толщина мембраны $l=0.002$ м а коэффициент диффузии $D=1.5 \cdot 10^{-9}$ м²/с. **Формула:** $J_c=-D \Delta C/l$.
3. Рассчитайте термоЭДС (E) в проводнике длиной $L=0.1$ м, если разность температур его концов $\Delta T=50$ К, а коэффициент Зеебека $S=20$ мВ/К. **Формула:** $E=S \Delta T$.
4. Определите производство энтропии σ в системе, через которую проходит тепловой поток $J_q=5$ Вт/м², если температура на входе $T_1=300$ К, а на выходе $T_2=310$ К. **Формула:** $\sigma=J_q(1/T_2-1/T_1)$.
5. Найдите коэффициент взаимного влияния L_{12} , если поток вещества $J_c=0.02$ моль/м²*с создается под действием тепловой силы $X_T=500$ К⁻¹, а сопряжённый поток $J_q=0.05$ Вт/м². Коэффициент $L_{11}=1 \cdot 10^{-4}$ м²/с. **Формулы:** $J_q=L_{12}X_T+L_{11}X_C$ (при $X_C=0$.)
6. Рассчитайте величину энтропии, если в системе наблюдается автоколебательный процесс с амплитудой теплового потока $J_q=10$ Вт/м², а циклическая температура изменяется между $T_{\min}=290$ К и $T_{\max}=310$ К.
7. Используя уравнения Фика, определите время t , за которое концентрация вещества выровняется в слое толщиной $L=0.01$ м, если коэффициент диффузии $D=2 \cdot 10^{-9}$ м²/с. **Формула:** $t=L^2/D$.
8. Составьте график зависимости производства энтропии от температурного градиента для материала с теплопроводностью $\lambda=0.3$ Вт/(м*К). **Формула для расчета энтропии:** $\sigma=\lambda(\nabla T)^2/T$.
9. Рассчитайте изменение энтропии ΔS системы, если тепло $Q=500$ Дж передается системе при температуре $T=300$ К. **Формула:** $\Delta S=Q/T$.

10. Определите тепловой поток J_q через медный стержень длиной $l=0.05$ м, если на его концах поддерживаются температуры $T_1=350$ К и $T_2=300$ К, а теплопроводность меди $\lambda=400$ Вт/(м*К).
11. Сформулируйте второй закон термодинамики для процесса, в котором происходит диффузия газа в изолированной системе.
12. Найдите плотность теплового потока J_q , если температура изменяется со скоростью $\nabla T=100$ К/м, а теплопроводность материала $\lambda=0.8$ Вт/(м*К).
13. Рассчитайте поток вещества через мембрану толщиной $l=0.005$ м, если разность концентраций составляет $\Delta C=0.02$ моль/м³, а коэффициент диффузии $D=2 \cdot 10^{-9}$ м²/с.
14. Определите, какое количество вещества проходит через мембрану за $t=10$ мин, если площадь мембраны $A=0.01$ м², а поток вещества $J_c=5 \cdot 10^{-6}$ моль/(м²*с).
15. Вычислите производство энтропии σ в системе, где тепловой поток $J_q=10$ Вт/м², температура на входе $T_1=300$ К, а на выходе $T_2=310$ К.
16. Рассчитайте суммарное производство энтропии для двух последовательно соединенных систем с температурами $T_1=300$ К, $T_2=310$ К, $T_3=320$ К и одинаковым тепловым потоком $J_q=5$ Вт/м².
17. Найдите энтропийное производство в процессе термодиффузии, если поток вещества $J_c=0.01$ моль/(м²*с), а градиент химического потенциала $\nabla \mu=2$ Дж/моль.
18. Определите коэффициент теплопроводности материала λ , если через него проходит тепловой поток $J_q=50$ Вт/м², температурный градиент составляет $\nabla T=25$ К/м.
19. Рассчитайте тепло, проходящее через стенку площадью $A=2$ м² за $t=1$ час, если тепловой поток $J_q=15$ Вт/м².
20. Найдите массу газа, диффундировавшего через мембрану площадью $A=0.01$ м² за $t=10$ мин, если поток вещества $J_c=2 \cdot 10^{-5}$ кг/(м²*с).
21. Вычислите время, за которое концентрация выравнивается в системе толщиной $L=0.01$ м, если коэффициент диффузии $D=1 \cdot 10^{-9}$ м²/с.
22. Определите термоЭДС E , возникающую в проводнике, если разность температур между концами $\Delta T=40$ К, а коэффициент Зеебека $S=15$ μ В/К.
23. Рассчитайте тепловой поток в системе, где наблюдается эффект Пельтье, если ток составляет $I=5$ А, а коэффициент Пельтье $\Pi=0.01$ В.
24. Выясните, как изменится поток тепла при удвоении разности температур в системе с теплопроводностью $\lambda=0.3$ Вт/(м*К).
25. Рассчитайте коэффициент взаимного влияния L_{12} для системы с потоками $J_c=0.02$ моль/(м²*с) и $J_q=0.04$ Вт/м², если термодинамическая сила $XT=100$ К⁻¹.
26. Проверьте, выполняется ли симметрия коэффициентов Онсагера для заданных данных: $L_{11}=2 \cdot 10^{-3}$ м²/с, $L_{22}=4 \cdot 10^{-3}$ Вт/(м²*К), $L_{12}=L_{21}=1 \cdot 10^{-3}$.
27. Оцените поведение системы при увеличении градиента концентрации ∇C в 5 раз, если зависимость потока от градиента нелинейная: $J_c=k(\nabla C)^2$, где $k=0.01$.
28. Постройте график зависимости производства энтропии σ от градиента температуры для системы с $\lambda=0.4$ Вт/(м*К) и начальной температурой $T=300$ К.
29. Рассчитайте, какое количество вещества проходит через мембрану толщиной $l=0.001$ м в системе, где температура линейно изменяется от $T_1=300$ К до $T_2=310$ К.
30. Найдите энергию, рассеиваемую в системе с производством энтропии $\sigma=0.1$ Вт/(м³*К) за $t=1$ мин, если объем системы $V=1$ м³.

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ НЕРАВНОВЕСНАЯ ТЕРМОДИНАМИКА (ЭКЗАМЕН)

Тестовое задание – это один из методов педагогического контроля, задание стандартной формы, выполнение которого позволяет установить уровень и наличие определенных умений, навыков, способностей, умственного развития и других характеристик личности с помощью специальной шкалы результатов, позволяющие за

сравнительно короткое время оценить результативность познавательной деятельности, т.е. оценить степень и качество достижения каждым учащимся целей обучения (целей изучения).

1. Уравнение непрерывности характеризует:
 - а) Баланс импульса
 - б) Balances Mass
 - в) Баланс энергии
 - г) Баланс энтропии
2. Что такое поток массы?
 - а) Градиент температуры
 - б) Скорость переноса вещества через единую площадь.
 - в) включенный свет импульса
 - г) Скорость изменения энтропии
3. Для каких систем справедливо приближение линейной неравновесной термодинамики?
 - а) Для сильно отклонившихся от равновесия
 - б) Для систем в равновесии
 - в) Для систем закрытого наблюдения.
 - г) Для любых систем
4. Соотнесите уравнения и явления: 1. Закон Фика. 2. Закон теплопроводности Фурье. 3. Law Опа
 - а) Теплопередача
 - б) Диффузия
 - в) ЭлектропроводностьОбъясните, что такое энтропийное производство в неравновесных условиях.
5. Опишите подход к основам изучения систем, находящихся далеко от равновесия.
6. Выберите правильное утверждение:
 - а) Неравновесная термодинамика изучает системы, находящиеся в равновесии.
 - б) Неравновесная термодинамика изучает процессы, протекающие в условиях равновесия.
 - в) Неравновесная термодинамика применима только к системам, вдали от равновесия.
7. Что характеризует второй закон термодинамики в двадцати неравновесных системах?
 - а) Сохранение масс.
 - б) увеличение энтропии.
 - в) Изменение температуры.
8. Определите, что такое стационарное состояние:
 - а) Состояние системы, в которой все процессы прекращаются.
 - б) Состояние, при котором потоки и градиенты продолжают во времени.
 - в) Состояние, при котором температура достигает максимума.
9. . Укажите, что описывает закон Фика:
 - а) Электрический ток.
 - б) Диффузию вещества.
 - в) Теплопередаче.
10. Второй закон термодинамики в неравновесных условиях утверждает, что:
 - а) Энтропия выброса.
 - б) Энтропия сохраняется постоянно.
 - в) Энтропия увеличивается.
 - г) Поток энтропии возникает.
11. Основное допущение линейной неравновесной термодинамики:

- а) Потоки пропорциональны силам.
 - б) Потоки обратно пропорциональны силам.
 - в) Потоки не отличаются от силы.
 - г) Силы имеют преимущество.
12. Закон Фика характеризует:
- а) Перенос масс.
 - б) Перенос энергии.
 - в) Перенос импульса.
 - г) Тепловое излучение.
13. Поток вещества можно определить как:
- а) Уменьшение энтропии во времени.
 - б) Количество веществ, проходящих через единственную площадь в единицу времени.
 - в) Разность температуры в системе.
 - г) Модуль теплового потока.
14. Как называется процесс управления веществом в системе?
- а) Теплопроводность.
 - б) Вязкость.
 - в) Диффузия.
 - г) Электропроводность.
15. Что измеряет коэффициент теплопроводности?
- а) Скорость диффузии вещества.
 - б) Способность материала передавать тепло.
 - в) Скорость изменения энтропии.
 - г) Электропроводность вещества.
3. Соотнесите физические законы с явлениями: 1. Law Ofa. 2. Закон Фика. 3. Закон теплопроводности Фурье
- а) Диффузия вещества
 - б) Электропроводность
 - с) Теплопередача
16. Укажите, какой параметр относится к каждому процессу: 1. Температурный градиент. 2. Градиент каналов. 3. Электрическое поле
- а) Теплопроводность
 - б) Диффузия
 - в) Электропроводность
17. Что такое энтропийное производство в неравновесных условиях?
18. Объясните, почему неравновесная термодинамика применима только для равновесия линейных систем.
19. Опишите основное различие между равновесной и неравновесной термодинамикой.
20. На графике показаны профили температуры в системе координат x . Определите, какой профиль соответствует стационарному состоянию.
21. Изучите график содержания вещества в системе. Опишите, какие процессы происходят в начальный момент времени и в перспективе.
22. Как изменить поток тепла, если коэффициент теплопроводности увеличится в 2 раза, а температурный градиент останется неизменным?
23. Что такое перекрёстные эффекты в термодинамике (эффект Дюфура, эффект Зеебека)? Приведите примеры.
24. Объясните, почему стационарное состояние не всегда соответствует термодинамическим принципам.
25. Рассмотрите систему с двумя взаимодействующими потоками (например, теплом и массой). Как влияют между собой их термодинамические силы?

Итоговые оценки студентов

Буквенное обозначение итоговых оценок студентов и их цифровые эквиваленты:

Буквенная оценка	Цифра	Общий балл	Традиционная оценка
A	4	$95 \leq A \leq 100$	отлично
A-	3,67	$90 \leq A- < 95$	
B+	3,33	$85 \leq B+ < 90$	хорошо
B	3	$80 \leq B < 85$	
B-	2,67	$75 \leq B- < 80$	
C+	2,33	$70 \leq C+ < 75$	удовлетворительно
C	2	$65 \leq C < 70$	
C-	1,67	$60 \leq C- < 65$	
D+	1,33	$55 \leq D+ < 60$	
D	1	$50 \leq D < 55$	
Fx	0	$45 \leq Fx < 50$	неудовлетворительно
F	0	$0 < F < 45$	

Критерии выведения итоговой оценки промежуточной аттестации:

«Отлично» - средняя оценка $\geq 3,67$.

«Хорошо» - средняя оценка $\geq 2,67$ и $\leq 3,33$.

«Удовлетворительно» - средняя оценка $\geq 1,0$ и $\leq 2,33$.

«Неудовлетворительно» - средняя оценка < 0 .

Разработчик: _____ « » _____ 2025г.