


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
физической химии



Д.х.н., доц. О.А. Козадеров

08.06.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.ДВ.01.01 Основы термодинамики неравновесных процессов**

*Код и наименование дисциплины в соответствии с учебным планом*

**1. Код и наименование направления подготовки/специальности:**

04.03.01 Химия

**2. Профиль подготовки/специализация:** Теоретическая и экспериментальная химия

**3. Квалификация выпускника:** бакалавр

**4. Форма обучения:** очная

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** физической химии

**6. Составители программы:** Зарцын Илья Давидович, д.х.н., проф.

**7. Рекомендована:** НМС химического факультета от 25.04.23, протокол № 4

**8. Учебный год:** 2025 /2026

**Семестр:** 5

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

обучить студентов основным положениям термодинамики необратимых процессов, расширить их возможности в применении термодинамических методов к описанию неравновесных систем, необратимых физико-химических и химико-технологических процессов.

Задачи учебной дисциплины:

познакомить обучающихся с методологией термодинамики необратимых процессов, а также основными принципами применения термодинамического подхода к необратимым процессам и неравновесным системам.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** Блок 1. Дисциплины. Часть, формируемая участниками образовательных отношений. Дисциплина по выбору.

**11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:**

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК - 1	Способен проводить сбор, анализ и обработку научно-технической (научной) информации, необходимой для решения задач химической направленности, поставленных специалистом более высокой квалификации	ПК - 1.1	Обеспечивает сбор научно-технической (научной) информации, необходимой для решения задач исследования, поставленных специалистом более высокой квалификации	Знать: законы термодинамики необратимых процессов Уметь: применять фундаментальные соотношения физической химии на практике Владеть: интерпретацией экспериментальных данных в рамках изученных теоретических моделей
		ПК - 1.2	Составляет аналитический обзор литературных источников по заданной тематике, оформляет отчеты о выполненных научно-исследовательских работах по заданной форме	Знать: законы термодинамики необратимых процессов Уметь: находить взаимосвязь между фундаментальными законами термодинамики и протекающими процессами при описании физико-химических явлений Владеть: навыками применения фундаментальные соотношения физической химии на практике

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час.** — 4 / 144.

**Форма промежуточной аттестации** зачет

**13. Трудоемкость по видам учебной работы**

Вид учебной работы		Трудоемкость			
		Всего	По семестрам		
			5 семестр	№ семестра	...
Контактная работа		108	108		
в том числе:	лекции	36	36		

	практические	36	36		
	лабораторные	36	36		
	курсовая работа				
Самостоятельная работа		36	36		
Промежуточная аттестация					
Итого:		144	144		

### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
<b>1. Лекции</b>			
1.1	Обоснование применения термодинамики к необратимым процессам и неравновесным системам.	Введение. Обоснование применения термодинамического метода к неравновесным процессам и системам.	ЭУМК Основы термодинамики необратимых процессов <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=10476">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=10476</a>
1.2	Методология термодинамики необратимых процессов.	Методология термодинамики необратимых процессов, основанной на гипотезе локального равновесия. Законы сохранения массы, энергии, уравнение баланса энтропии. Диссипативная функция.	
1.3	Гомогенные системы. Химическое сродство. Сопряженные химические реакции	Производство энтропии в гомогенных системах и термодинамические потенциалы. Координата химической реакции. Химическое сродство.	
1.4	Гетерогенные системы. Электрокинетические явления, мембранные процессы в изотермических и неизотермических системах, термомеханические явления, термоосмос.	Определение гетерогенных систем. Законы сохранения массы и энергии в гетерогенных системах. Неопределенность понятия «теплота» для открытых систем. Различные способы определения теплоты для открытых систем. Баланс энтропии для гетерогенных систем. Поток энтропии и производство энтропии. Диссипативная функция для гетерогенной системы. Термодинамические силы и потоки. Различные типы гетерогенных систем.	
1.5	Термодинамика стационарных состояний.	Общий подход к описанию стационарных состояний в термодинамике необратимых процессов. Теорема о минимуме производства энтропии в стационарном состоянии.	
1.6	Непрерывные системы. Общий вид законов сохранения. Термодинамическое описание процессов в непрерывных системах.	Непрерывные системы. Общий вид законов сохранения. Дивергенция, градиент. Уравнение баланса энтропии в непрерывных системах.	
1.7	Обоснование применения термодинамики к необратимым процессам и неравновесным системам.	Гипотеза локального равновесия, расширенная (локально-неравновесная) обратимая термодинамика. Поток энтропии и производство энтропии.	
1.8	Методология термодинамики необратимых процессов.	Термодинамические силы и потоки. Число степеней свободы системы в неравновесном состоянии.	

1.9	Гомогенные системы. Химическое сродство. Сопряженные химические реакции	Сопряженные химические реакции, термодинамическое сопряжение и химическая индукция, линейные феноменологические соотношения для сопряженных реакций. Кинетическая трактовка химического сродства. Соотношение Марселина-Де-Донде.	ЭУМК Основы термодинамики необратимых процессов <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=10476">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=10476</a>
1.10	Гетерогенные системы. Электрокинетические явления, мембранные процессы в изотермических и неізотермических системах, термомеханические явления, термоосмос.	Преобразование диссипативной функции для состояния близкого к равновесию. Электрокинетические явления. Диссипативная функция. Линейные феноменологические соотношения. Стационарное состояние. Соотношения взаимности Онсагера. Перекрестные эффекты. Гетерогенные системы с переносом электричества. Мембранный потенциал, обобщенные числа переноса Гетерогенные системы в неізотермических условиях. Термоосмос. Термомеханические явления.	
1.11	Термодинамика стационарных состояний.	Потенциал рассеяния. Обобщение ранее изученных перекрестных явлений в рамках единого формализма термодинамики необратимых процессов.	
1.12	Непрерывные системы. Общий вид законов сохранения. Термодинамическое описание процессов в непрерывных системах.	Термодинамические силы и потоки. Диффузия. Термоэлектрические явления. Эффекты Зеебека и Пельтье. Термодиффузия. Эффекты Соре и Дюфура. Разделение изотопов	

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1	Обоснование применения термодинамики к необратимым процессам и неравновесным системам.	6	6	6	6	24
2	Методология термодинамики необратимых процессов.	6	6	6	6	24
3	Гомогенные системы. Химическое сродство. Сопряженные химические реакции	6	6	6	6	24
4	Гетерогенные системы. Электрокинетические явления, мембранные процессы в изотермических и неізотермических системах, термомеханические явления, термоосмос.	6	6	6	6	24
5	Термодинамика стационарных состояний.	6	6	6	6	24
6	Непрерывные системы. Общий вид законов сохранения. Термодинамическое описание процессов в непрерывных системах.	6	6	6	6	24
	Итого:	36	36	36	36	144

#### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Работа с конспектами лекций, выполнение практических заданий, заданий текущей аттестации.

При реализации дисциплины с использованием дистанционных образовательных технологий используются инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>) и/или «МООК ВГУ» (<https://mooc.vsu.ru>), сервисы видеоконференций (BigBlueButton, Zoom, Discord и др.), электронная почта, мессенджеры и соцсети для организации лекционных, лабораторных занятий и самостоятельной работы студентов.

#### 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Пармон В.Н. Термодинамика неравновесных процессов для химиков. Приложения к химической кинетике, катализу, материаловедению и биологии / В.Н. Пармон - М.: Издательский дом «Интеллект», 2014. - 472 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
2	Пригожин И. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур/ И. Пригожин, Д. Кандепуди, - М.: Мир, 2002.- 451 с.
3	Бажин Н.М. Термодинамика для химиков / Н.М. Бажин, В.А.Иванченко, В.Н.Пармон. – М.: Химия, 2004.- 415 с.
4	Агеев Е.П. Неравновесная термодинамика в вопросах и ответах / Е.П. Агеев.-М.: УРСС, 2001.- 135 с.
5	Глендсдорф П. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций/ П. Глендсдорф, И.Пригожин.-М.:Москва. УРСС, 2003.-273 с.
6	Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах. Введение в теорию диссипативных структур / В.Эбелинг. - М.:Москва - Ижевск, 1979. - 253 с.
7	Хаазе Р. Термодинамика необратимых процессов. / Р.Хаазе. - М.: Мир, 1967.- 534 с.
8	Анищенко В.С. Знакомство с нелинейной динамикой /В.С. Анищенко. - М. : Москва - Ижевск,2002.-142 с.
9	Трубецков Д.И. Введение в синергетику. Хаос и структуры / Д.И. Трубецков.- М.:УРСС,2004. – 232 с.
10	Николис Г. Познание сложного / Г.Николис, И. Пригожин.- М.:Мир,1990.-342 с.
11	Путь в синергетику/ П.Б. Безручко [и др.] - М.:УРСС, 2005.- 303 с.
12	Данилов Ю.А. Лекции по нелинейной динамике / Ю.А.Данилов - М.:Постмаркет,2001.-187с.
13	Справочник по электрохимии / под ред. А.М. Сухотина .— Л. : Химия : Ленингр. отд-ние, 1981 .— 486 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Источник
14	Научная электронная библиотека — < <a href="http://www.elibrary.ru">http://www.elibrary.ru</a> >
15	Электронная библиотека Воронежского государственного университета - < <a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a> >
16	Официальное электронное издание Химического факультета МГУ в Интернет - < <a href="http://www.chemnet.ru">http://www.chemnet.ru</a> >
17	ЭУМК Основы термодинамики необратимых процессов <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=10476">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=10476</a>

#### 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)

№ п/п	Источник
1	Сборник примеров и задач по электрохимии : учеб. пособие /сост.: А.В. Введенский [и др.] - Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2010.

**17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):**

Дисциплина включает проведение лекций и практических занятий

При реализации учебной дисциплины используются элементы электронного обучения и различные дистанционные образовательные технологии, позволяющие обеспечивать опосредованное взаимодействие (на расстоянии) преподавателей и обучающихся, включая инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>) и/или «МООК ВГУ» (<https://mooc.vsu.ru>), проведение вебинаров, видеоконференций (в том числе с применением сервисов Zoom, Discord и др.), взаимодействие в соцсетях, посредством электронной почты, мессенджеров

**18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:** Проектор, ноутбук, экран, доска ученическая

**19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций**

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Обоснование применения термодинамики к необратимым процессам и неравновесным системам.	ПК-1	ПК-1.1 ПК-1.2	<i>Перечень вопросов</i>
2.	Методология термодинамики необратимых процессов.	ПК-1	ПК-1.1 ПК-1.2	<i>Перечень вопросов</i>
3.	Гомогенные системы. Химическое сродство. Сопряженные химические реакции	ПК-1	ПК-1.1 ПК-1.2	<i>Перечень вопросов</i>
4.	Гетерогенные системы. Электрокинетические явления, мембранные процессы в изотермических и неизотермических системах, термомеханические явления, термоосмос.	ПК-1	ПК-1.1 ПК-1.2	<i>Перечень вопросов</i>
5.	Термодинамика стационарных состояний.	ПК-1	ПК-1.1 ПК-1.2	<i>Перечень вопросов</i>
6.	Непрерывные системы. Общий вид законов сохранения. Термодинамическое описание процессов в непрерывных системах.	ПК-1	ПК-1.1 ПК-1.2	<i>Перечень вопросов</i>

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет				<i>Перечень вопросов</i>

## 20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

### 20.1 Текущий контроль успеваемости

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в формах устного опроса (фронтальная беседа) и письменных двух контрольных работ). Первая контрольная работа включает вопросы с первого по девятый, вторая – с 10-го по 19-й.

Требования к выполнению заданий: наиболее полное и краткое изложение сути вопроса. Ответ должен отражать способность обучающегося применять знание законов термодинамики необратимых процессов к практическим задачам, умение работать с литературой и находить нужную информацию. В этом случае выставляется оценка зачтено.

### 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования. Обучающийся получает вопрос из перечня вопросов к зачету, готовит письменный ответ в течение 40 минут, после чего проводится устное собеседование по материалам учебной дисциплины.

Промежуточная аттестация осуществляется по результатам контрольных работ. При успешном прохождении текущей аттестации зачет выставляется автоматически. В случае, если обучающийся не справился с заданиями контрольных работ, он получает вопросы из перечня для прохождения промежуточной аттестации.

Требования к выполнению заданий: наиболее полное и краткое изложение сути вопроса. Ответ должен отражать способность обучающегося применять знание законов термодинамики необратимых процессов к практическим задачам, умение работать с литературой и находить нужную информацию. В этом случае выставляется оценка зачтено.

При реализации дисциплины с применением дистанционных образовательных технологий оценки за зачет могут быть выставлены по результатам текущей аттестации обучающегося в семестре.

#### **Перечень вопросов для подготовки к текущей и промежуточной аттестации.**

1. Обоснование применения термодинамического метода к неравновесным процессам и системам.
2. Законы сохранения массы, энергии, уравнение баланса энтропии. Диссипативная функция.
3. Производство энтропии в гомогенных системах и термодинамические потенциалы. Координата химической реакции. Химическое сродство.
4. Определение гетерогенных систем. Законы сохранения массы и энергии в гетерогенных системах.
5. Неопределенность понятия «теплота» для открытых систем. Различные способы определения теплоты для открытых систем. Баланс энтропии для гетерогенных систем. Поток энтропии и производство энтропии.
6. Диссипативная функция для гетерогенной системы. Термодинамические силы и потоки. Различные типы гетерогенных систем.
7. Общий подход к описанию стационарных состояний в термодинамике необратимых процессов. Теорема о минимуме производства энтропии в стационарном состоянии.
8. Непрерывные системы. Общий вид законов сохранения. Дивергенция, градиент. Уравнение баланса энтропии в непрерывных системах.

9. Гипотеза локального равновесия, расширенная (локально-неравновесная) необратимая термодинамика. Поток энтропии и производство энтропии.
10. Термодинамические силы и потоки. Число степеней свободы системы в неравновесном состоянии.
11. Сопряженные химические реакции, термодинамическое сопряжение и химическая индукция, линейные феноменологические соотношения для сопряженных реакций.
12. Кинетическая трактовка химического сродства. Соотношение Марселина-Де-Донде.
13. Преобразование диссипативной функции для состояния близкого к равновесию. Электрокинетические явления. Диссипативная функция.
14. Линейные феноменологические соотношения. Стационарное состояние. Соотношения взаимности Онсагера. Перекрестные эффекты.
15. Перекрестные эффекты. Гетерогенные системы с переносом электричества. Мембранный потенциал, обобщенные числа переноса.
16. Гетерогенные системы в неизотермических условиях. Термоосмос. Термомеханические явления.
17. Потенциал рассеяния. Обобщение ранее изученных перекрестных явлений в рамках единого формализма термодинамики необратимых процессов.
18. Термодинамические силы и потоки. Диффузия. Термоэлектрические явления. Эффекты Зеебека и Пельтье.
19. Термодиффузия. Эффекты Соре и Дюфура. Разделение изотопов.