

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Ястребов Олег Александрович  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 27.05.2025 17:38:22  
Уникальный программный идентификатор:  
ca953a0120d891083f939673078ef1a989dae18a

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»**

**Факультет физико-математических и естественных наук**  
(наименование основного учебного подразделения (ОУП)-разработчика ОП ВО)

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Термодинамика неравновесных процессов**

(наименование дисциплины/модуля)

**Рекомендована МССН для направления подготовки/специальности:**

**04.04.01 «Химия»**

(код и наименование направления подготовки/специальности)

**Освоение дисциплины ведется в рамках реализации основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОП ВО):**

**«Фундаментальная и прикладная химия»**

(наименование (профиль/специализация) ОП ВО)

**2025 г.**

## 1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины «Термодинамика неравновесных процессов» является формирование у студентов знаний основных законов неравновесных (необратимых) процессов, эволюции неравновесных диссипативных систем, понимания возможности применения законов неравновесной термодинамики в решении конкретных теоретических и практических задач.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Термодинамика неравновесных процессов» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций (части компетенций):

*Таблица 2.1. Перечень компетенций, формируемых у обучающихся при освоении дисциплины (результаты освоения дисциплины)*

Шифр	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции (в рамках данной дисциплины)
ПК-1	Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках	ПК-1.1. Составлять общий план исследования и детальные планы отдельных стадий.
		ПК-1.2. Выбирать экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов.

## 3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина «Термодинамика неравновесных процессов» относится к элективной компоненте блока Б1 ОП ВО.

В рамках ОП ВО обучающиеся также осваивают другие дисциплины и/или практики, способствующие достижению запланированных результатов освоения дисциплины «Термодинамика неравновесных процессов».

*Таблица 3.1. Перечень компонентов ОП ВО, способствующих достижению запланированных результатов освоения дисциплины*

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
ПК-1	Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной		Экспериментальные методы исследования в химии Нанохимия Адсорбция Физико-химия поверхности и хемосорбция Дизайн каталитических

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
	области химии, химической технологии или смежных с химией науках		систем Современные проблемы менеджмента в химии Химия окружающей среды Физические методы исследования в катализе Применение хроматографии в катализе Научно-исследовательская работа Преддипломная практика

\* - заполняется в соответствии с матрицей компетенций и СУП ОП ВО

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Термодинамика неравновесных процессов» составляет 2 зачетные единицы.

Таблица 4.1. Виды учебной работы по периодам освоения ОП ВО для **ОЧНОЙ** формы обучения

Вид учебной работы	ВСЕГО, ак.ч.	Семестр(-ы)			
		1	2	3	4
<i>Контактная работа, ак.ч.</i>	36	36			
в том числе:					
Лекции (ЛК)	36	36			
Лабораторные работы (ЛР)					
Практические/семинарские занятия (СЗ)					
<i>Самостоятельная работа обучающихся, ак.ч.</i>	18	18			
<i>Контроль (зачет с оценкой), ак.ч.</i>	18	18			
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	ак.ч.	<b>72</b>	<b>72</b>		
	зач.ед.	<b>2</b>	<b>2</b>		

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 5.1. Содержание дисциплины по видам учебной работы

Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)	Вид учебной работы*
Раздел 1. Введение.	Тема 1.1. История развития термодинамики неравновесных процессов: от тепловых двигателей до космологии.	ЛК
	Тема 1.2. Основные понятия равновесной термодинамики. Неравновесные системы: линейный и нелинейный случаи Типы неравновесных систем.	ЛК
Раздел 2.	Тема 2.1. Сохранение массы, импульса,	ЛК

Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)	Вид учебной работы*
Первый и второй законы термодинамики.	полной энергии. Первый закон термодинамики в случае отсутствия внешних сил. Случай наличия внешних сил.	
	Тема 2.2. Сохранение энергии в химических реакциях (закон Гесса). Теорема Карно. Цикл Карно, диаграмма энтропия-температура. Неравенство Клаузиуса. Закон возрастания энтропии. Баланс энтропии.	ЛК
Раздел 3. Феноменологическая термодинамика необратимых процессов. Линейная неравновесная термодинамика.	Тема 3.1. Энтропия, произведенная в системе необратимыми процессами. Термодинамические силы и потоки. Производство энтропии и её выражение для теплопроводности, диффузии, химической реакции.	ЛК
	Тема 3.2. Принцип локального равновесия. Линейные соотношения между силами и потоками. Принцип симметрии Кюри. Соотношения взаимности Онзагера.	ЛК
	Тема 3.3.. Термоэлектрические явления (эффект Зеебека, эффект Пельтье). Электрокинетические явления. Термодиффузия.	ЛК
Раздел 4. Неравновесные состояния и их устойчивость	Тема 4.1. Параметры состояния и их флуктуации. Вероятность флуктуации Теория устойчивости Гиббса. Условия тепловой, механической и химической устойчивости изолированной системы.	ЛК
	Тема 4.2. Критические явления. Термодинамическая теория флуктуаций Эйнштейна. Микроскопическая обратимость. Принцип минимума возникновения (производства) энтропии. Энтропия и случайные величины.	ЛК
	Тема 4.3. Стационарные состояния. Устойчивость неравновесных стационарных состояний (теория Ляпунова).	ЛК
Раздел 5. Эволюция неравновесных диссипативных систем.	Тема 5.1. Конструктивная роль необратимых процессов. Диссипативные структуры. Бифуркация. Химические колебания как пример диссипативной структуры. Реакция Белоусова – Жаботинского.	ЛК
	Тема 5.2. Автоколебания в катализе. Пример простой реакции автокатализа. Структурная неустойчивость и биохимическая эволюция.	ЛК

Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)	Вид учебной работы*
	Детерминированный хаос.	

\* - заполняется только по **ОЧНОЙ** форме обучения: ЛК – лекции; ЛР – лабораторные работы; СЗ – семинарские занятия.

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 6.1. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Тип аудитории	Оснащение аудитории	Специализированное учебное/лабораторное оборудование, ПО и материалы для освоения дисциплины (при необходимости)
Лекционная	Аудитория для проведения занятий лекционного типа, оснащенная комплектом специализированной мебели; доской (экраном) и техническими средствами мультимедиа презентаций.	
Для самостоятельной работы обучающихся	Аудитория для самостоятельной работы обучающихся (может использоваться для проведения семинарских занятий и консультаций), оснащенная комплектом специализированной мебели и компьютерами с доступом в ЭИОС.	

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература:

1. Современная термодинамика: от тепловых двигателей до диссипативных структур: Учебник / И. Пригожин, Д. Кондепуди; Пер. с англ. Ю.А. Данилова, В.В. Белого под ред. Е.П. Агеева. - М.: Мир, 2002.

<http://lib.rudn.ru/MegaPro/Web/SearchResult/ToPage/1>

2. Пригожин И.Р., Дефэй Р Химическая термодинамика /.Пер. с англ. под ред. В.А.Михайлова. - 2-е изд. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. - 533  
<https://lib.rudn.ru/MegaPro/Web/SearchResult/ToPage/1>

3. Термодинамика: Учебник для вузов / И.П. Базаров. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1990. – 376.  
<http://lib.rudn.ru/MegaPro/Web/SearchResult/ToPage/1>

4. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах: От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации.Пер. с англ. Под ред. Ю.А.Чизмаджева. - М.: Мир, 1979.  
<https://lib.rudn.ru/MegaPro/Web/SearchResult/ToPage/1>

5. Агеев Е.П. Неравновесная термодинамика в вопросах и ответах: Учебное издание для студентов, аспирантов и преподавателей химических специальностей. - М.: Эдиториал УРСС, 2001.- 136

[https://dl.booksee.org/genesis/105000/99101c38c0d1d898bb9cfa714978be2c/\\_as/\[Ageev\\_E.P.\]\\_Neravnovesnaya\\_termodinamika\\_v\\_vopros\(BookSee.org\).pdf](https://dl.booksee.org/genesis/105000/99101c38c0d1d898bb9cfa714978be2c/_as/[Ageev_E.P.]_Neravnovesnaya_termodinamika_v_vopros(BookSee.org).pdf)

*Дополнительная литература:*

1. Пармон В.Н. Лекции по термодинамике неравновесных процессов для химиков: Учебное пособие, Новосиб. Гос. университет. 2004. – 296 с.

[https://fen.nsu.ru/posob/phys\\_ch/neravnoves.pdf](https://fen.nsu.ru/posob/phys_ch/neravnoves.pdf)

2. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой / И. Пригожин, И. Стенгерс; Пер. с англ. Ю.А.Данилова; Общ. ред. и послесл. В.И.Аршинова и др. - М.: Прогресс, 1986. - 431 с.: ил. - 1.70.

<http://lib.rudn.ru/MegaPro/Web/SearchResult/ToPage/1>

3. Неравновесная термодинамика и физическая кинетика: Учебное пособие для вузов / И.П. Базаров, Э.В. Геворкян. - М.: Изд-во МГУ, 1989. - 240 с.

<http://lib.rudn.ru/MegaPro/Web/SearchResult/ToPage/1>

4. Хакен Г. Синергетика. Под ред. Ю.Л.Климонтовича, С.М.Осовца. - М. : Мир, 1980. - 404 с. <https://lib.rudn.ru/MegaPro/Web/SearchResult/ToPage/1>

5. Крылов О.В., Шуб Б.Р. Неравновесные процессы в катализе. - М. : Химия, 1990. - <https://lib.rudn.ru/MegaPro/Web/SearchResult/ToPage/1>

*Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:*

1. ЭБС РУДН им. П. Лумумбы и сторонние ЭБС, к которым студенты университета имеют доступ на основании заключенных договоров:

- Электронно-библиотечная система РУДН им. П. Лумумбы – ЭБС РУДН им. П. Лумумбы <http://lib.rudn.ru/MegaPro/Web>

- ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <http://www.biblioclub.ru>

- ЭБС Юрайт <http://www.biblio-online.ru>

- ЭБС «Консультант студента» [www.studentlibrary.ru](http://www.studentlibrary.ru)

- ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com/>

- ЭБС «Троицкий мост»

- Химическая энциклопедия <http://www.chemport.ru>

- Портал фундаментального химического образования России <http://www.chemnet.ru>

- XuMuK: сайт о химии для химиков [www.xumuk.ru](http://www.xumuk.ru)

- IOPSCIENCE IOP Publishing <http://iopscience.iop.org/journals?type=archive>

- Mendeley <http://www.mendeley.com/>

- Nature <http://www.nature.com/siteindex/index.html>

- RSC, журналы Королевского химического общества (Royal Society of Chemistry) <http://pubs.rsc.org/>

- ScienceDirect (ESD) <http://www.sciencedirect.com>

- Электронные ресурсы издательства Springer <https://rd.springer.com/>

- Wiley Online Library <http://www.wileyonlinelibrary.com/>

2. Базы данных и поисковые системы:

- электронный фонд правовой и нормативно-технической документации <http://docs.cntd.ru/>

- поисковая система Яндекс <https://www.yandex.ru/>

- поисковая система Google <https://www.google.ru/>

- реферативная база данных SCOPUS <http://www.elsevierscience.ru/products/scopus/>

- Reaxys, Reaxys Medicinal Chemistry <https://www.reaxys.com/>

*Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся при освоении дисциплины/модуля\*:*

1. Курс лекций по дисциплине «Термодинамика неравновесных процессов».
2. Методические указания по освоению дисциплина.

\* - все учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся размещаются в соответствии с действующим порядком на странице дисциплины **в ТУИС!**

**РАЗРАБОТЧИКИ:**

Профессор, кафедра  
физической и коллоидной  
химии

Должность, БУП

Михаленко И.И.

Фамилия И.О.

**РУКОВОДИТЕЛЬ БУП:**

Кафедра физической и  
коллоидной химии

Наименование БУП

Чередниченко А.Г.

Фамилия И.О.

**РУКОВОДИТЕЛЬ ОП ВО:**

Декан ФФМиЕН, заведующий  
кафедрой органической химии

Должность, БУП

Воскресенский Л.Г.

Фамилия И.О.