

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»

Химический факультет

УТВЕРЖДЕНО

решением Ученого совета ННГУ

протокол от

31 августа 2021 г. № 11

Рабочая программа дисциплины
Термодинамика неравновесных процессов

Направление подготовки
04.06.01 «Химические науки»

Направленность подготовки
02.00.04 «Физическая химия»

Квалификация выпускника
Исследователь. Преподаватель-исследователь

Форма обучения
Очная

Нижний Новгород
2021

1. Место дисциплины (модуля) в структуре основной образовательной программы (ООП)

Дисциплина «Термодинамика неравновесных процессов» относится к числу профессиональных дисциплин, является дисциплиной выбора и изучается на 2 году обучения, в 4 семестре.

Данная дисциплина находится в логической и содержательно-методической взаимосвязи с курсами математики, физики, физической химии, курса специальных дисциплин «Избранные главы термодинамики».

Для успешного освоения дисциплины аспирант должен:

- сформировать представления о методах неравновесной термодинамики применительно к явлениям переноса в изотермических и неізотермических условиях при наличии внешних факторов воздействия, в том числе, применительно к биологическим системам.
- уметь описывать модели процессов в непрерывных системах, включая биологические.

Изучение дисциплины «Термодинамика неравновесных процессов» как предшествующей составляет основу дальнейшей подготовки аспиранта к сдаче кандидатского экзамена по специальности.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ООП (компетенциями выпускников)

Таблица 1

Планируемые результаты обучения по дисциплине

Код формируемой компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ПК-3 базовый	<i>З1 Знать:</i> общие подходы, лежащие в основе традиционных методов обработки экспериментальных данных и методы численного моделирования; модели, лежащие в основе анализируемых химических процессов. <i>У1 Уметь:</i> осуществлять выбор наиболее оптимальных методов численного анализа или моделирования химических процессов и явлений. <i>В1 Владеть:</i> систематическими базовыми знаниями в области информационных технологий в химии, методами численного анализа получаемых результатов.
ПК-5 базовый	<i>З1 Знать:</i> химические, физические и технические аспекты химических промышленных процессов; основные требования правил безопасности при работе с оборудованием различных классов сложности и опасности; цели и задачи научных исследований по направлению деятельности, базовые принципы и методы их организации; требования к представлению отчетных материалов;

	<p>основные методы обработки экспериментальных данных.</p> <p><i>У1 Уметь:</i> предлагать наиболее оптимальные технологические решения и способы обработки результатов, документировать полученные результаты; составлять общий план работы по заданной теме, предлагать наиболее оптимальные способы обработки результатов, проводить исследования по согласованному с руководителем плану; представлять полученные результаты.</p> <p><i>В1 Владеть:</i> навыками проведения испытаний на лабораторном и промышленном оборудовании в соответствии с требованиями руководящих документов и требований правил безопасности; углубленными знаниями по выбранной направленности подготовки, базовыми навыками проведения научно-исследовательских работ по предложенной теме; базовыми навыками работы со стандартным исследовательским и контрольно-измерительным оборудованием.</p>
--	---

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 1 зачетную единицу, всего 36 часов, из которых 18 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа), 18 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Таблица 2

Структура дисциплины

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	В том числе					Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Контактная работа, часов					
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
Основные положения и понятия неравновесной термодинамики		4	-	-	-	4	4
Термодинамика процессов в однородных и неоднородных системах		4	-	-	-	4	4
Термодинамика процессов в непрерывных системах		4	-	-	-	4	4
Термодинамика стационарных и квазистационарных состояний систем		6	-	-	-	6	6
Аттестация по дисциплине: зачет							
Итого	36	18	-	-	-	18	18

Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия	Форма текущего контроля*
1.	Основные положения и понятия неравновесной термодинамики	Локальное термодинамическое равновесие. Типы неравновесных систем. Термодинамическое сопряжение процессов. Взаимосвязь потоков и сил. Принцип Кюри. Соотношения взаимности. Онзагера эффекты Зеебека \leftrightarrow Пельтье. Электрокинетические явления. Некоторые свойства функции диссипации	лекции	зачет
2.	Термодинамика процессов в однородных и неоднородных системах	Однородные системы. Прерывные системы. Обобщенные термодинамические силы. Закон распределения Нернста	лекции	зачет
3.	Термодинамика процессов в непрерывных системах	Непрерывные системы. Функция диссипации неизотермической диффузии. Вывод закона Фика	лекции	зачет
4.	Термодинамика стационарных и квазистационарных состояний систем	Теорема Гленсдорфа–Пригожина. Вычисление термодинамических сил	лекции	зачет

4. Образовательные технологии

Использование мультимедийных презентаций. Студентам предоставляется возможность копирования презентаций для выполнения самостоятельной работы, подготовки к итоговому контролю.

Самостоятельная работа. Умение работать с учебной и научной литературой; производить расчеты; пользоваться химическим языком. Развитие самостоятельности, интеллектуальных умений, умение анализировать явления и делать выводы.

5. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

Целью самостоятельной работы является овладение навыками работы с литературой (в читальном зале библиотеки, с доступом к ресурсам Интернет), более углубленное изучение отдельных разделов дисциплины при выполнении индивидуальных заданий. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций. Итоговый контроль по данному курсу проводится в виде экзамена на знание материала по контрольным вопросам.

Темы для самостоятельных работ:

- 1 Термодинамические функции в неравновесных состояниях
- 2 Поток энтропии и производство энергии.
- 3 Баланс энтропии.
- 4 Скорости реакций и сродства.
- 5 Явления последствия и процессы релаксации.
- 6 Мембранные процессы в изотермических системах.
- 7 Осмос в двухкомпонентной системе.
- 8 Процессы в изотермических системах.
- 9 Феноменологические законы.
- 10 Соотношения взаимности Онзагера.
- 11 Гравитационные и центробежные цепи.
- 12 Однородные системы.
- 13 Неоднородные системы.
- 14 Применение теории Пригожина к биологическим системам.

6. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования приведен в приложении 1.

6.2. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине. Описание шкал оценивания

Критерии оценок

Зачтено	Аспирант посетил не менее 60% аудиторных занятий, ответил на вопросы по основным разделам курса
Незачтено	Аспирант пропустил более 40% аудиторных занятий, при ответах на вопросы проявил незнание важнейших разделов дисциплин

Итоговый контроль сформированности компетенции осуществляется на основании оформления отчета по комплексным практическим работам.

6.3. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, необходимых для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций.

Уровни освоения дисциплины оцениваются согласно требованиям, изложенным в паспорте каждой из указанных компетенций, где указаны критерии оценивания результатов обучения и Планируемые результаты обучения.

Контрольные вопросы:

1. Термодинамические функции в неравновесных состояниях (ПК-3).
2. Поток энтропии и производство энергии (ПК-3).
3. Баланс энтропии (ПК-3).
4. Скорости реакций и сродства (ПК-5).
5. Явления последствия и процессы релаксации (ПК-5).
6. Мембранные процессы в изотермических системах (ПК-3).
7. Осмос в двухкомпонентной системе (ПК-3).
8. Процессы в изотермических системах (ПК-5).
9. Феноменологические законы (ПК-5).
10. Соотношения взаимности Онзагера (ПК-3).
11. Гравитационные и центробежные цепи (ПК-5).
12. Однородные системы (ПК-5).
13. Неоднородные системы (ПК-5).
14. Применение теории Пригожина к биологическим системам (ПК-5).

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) основная литература:

1. Бажин Н.М., Пармон В.Н. Начала физической химии. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. – 332 с.
[Электронный ресурс]: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=420417>.
2. Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. – М.: Мир, 1973. – 280 с.
3. Базаров И.П. Термодинамика. – М.: Высшая школа, 1983. – 344 с.

б) дополнительная литература:

1. Гроот, С.Р., Мазур П. Неравновесная термодинамика. – М.: Мир, 1964. – 456 с.
2. Ландау Л., Лифшиц Е. Статистическая физика. (Классическая и квантовая). – М.; Л.: Гостехиздат, 1951. – 480 с.
3. Хаазе Р. Термодинамика необратимых процессов. – М.: Мир, 1967. – 544 с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. <http://webbook.nist.gov>;
2. <http://www.chem.msu.ru>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Современный компьютер, мультимедиапроектор, экран, доска, специализированный пакет программ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 04.06.01 «Химические науки» (уровень подготовки кадров высшей квалификации).

Автор

Д.х.н., проф. _____ Маркин А.В.

Рецензент _____ Зеленцов С.В.

Заведующий кафедрой физической химии
химического факультета ННГУ им. Н.И. Лобачевского _____ Маркин А.В.

Программа рекомендована на заседании кафедры физической химии от «___» _____
2021 г. протокол № ____.

Программа одобрена на заседании Методической комиссии химического факультета от 27
августа 2021, протокол № 1.

Карты компетенций, в формировании которых участвует дисциплина

Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
ОПК 1					
ЗНАТЬ: современные способы использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современных способах использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности	В целом успешные, но не систематические представления о современных способах использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности	В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы, представления о современных способах использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности	Сформированные представления о современных способах использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности
УМЕТЬ: выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования	Отсутствие умений	Фрагментарное использование умения выбирать и использовать экспериментальные и расчетно-теоретические методы для решения научной задачи	В целом успешное, но не систематическое использование умения выбирать и использовать экспериментальные и расчетно-теоретические методы для решения научной задачи	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использование умения выбирать и использовать экспериментальные и расчетно-теоретические методы для решения научной задачи	Сформированное умение выбирать и использовать экспериментальные и расчетно-теоретические методы для решения научной задачи
ВЛАДЕТЬ: навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков поиска и критического анализа научной и технической	В целом успешное, но не систематическое применение навыков поиска и критического анализа научной и	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков поиска и критического анализа научной и технической	Успешное и систематическое применение навыков поиска и критического анализа научной и технической

информации по тематике проводимых исследований		информации	технической информации	информации	информации
ВЛАДЕТЬ: навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов	В целом успешное, но не систематическое применение навыков планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов	Успешное и систематическое применение навыков планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов
ВЛАДЕТЬ: навыками представления и продвижения результатов интеллектуальной деятельности	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков представления и продвижения результатов интеллектуальной деятельности	В целом успешное, но не систематическое применение навыков представления и продвижения результатов интеллектуальной деятельности	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков представления и продвижения результатов интеллектуальной деятельности	Успешное и систематическое применение навыков представления и продвижения результатов интеллектуальной деятельности
ПК 6					
ЗНАТЬ: технические характеристики учебно-научной аппаратуры для проведения химических экспериментов	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания о технических характеристиках учебно-научной аппаратуры для проведения химических экспериментов	Неполные знания о технических характеристиках учебно-научной аппаратуры для проведения химических экспериментов	Сформированные, но содержащие определенные пробелы знания о технических характеристиках учебно-научной аппаратуры для проведения химических экспериментов	Сформированные систематические знания о технических характеристиках учебно-научной аппаратуры для проведения химических экспериментов)

УМЕТЬ: осуществлять документирование результатов экспериментальных и теоретических исследований в соответствующей профессиональной области	Отсутствие умений	Частично освоенное умение осуществлять документирование результатов экспериментальных и теоретических исследований в соответствующей профессиональной области	В целом успешное, но не систематическое умение осуществлять документирование результатов экспериментальных и теоретических исследований в соответствующей профессиональной области	В целом успешное, но содержащее определенные пробелы умение осуществлять документирование результатов экспериментальных и теоретических исследований в соответствующей профессиональной области	Полностью сформированное и системное умение осуществлять документирование результатов экспериментальных и теоретических исследований в соответствующей профессиональной области
ВЛАДЕТЬ: навыками разработки, согласования и утверждения технической документации различного уровня сложности (отчеты, методики, программы испытаний, лабораторные регламенты, технические условия и др.)	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков разработки, согласования и утверждения технической документации различного уровня сложности (отчеты, методики, программы испытаний, лабораторные регламенты, технические условия и др.)	В целом успешное, но не систематическое применение навыков разработки, согласования и утверждения технической документации различного уровня сложности (отчеты, методики, программы испытаний, лабораторные регламенты, технические условия и др.)	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков разработки, согласования и утверждения технической документации различного уровня сложности (отчеты, методики, программы испытаний, лабораторные регламенты, технические условия и др.)	Успешное и систематическое применение навыков разработки, согласования и утверждения технической документации различного уровня сложности (отчеты, методики, программы испытаний, лабораторные регламенты, технические условия и др.)
ПК 7					
ЗНАТЬ: технические и метрологические характеристики серийной	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания о технических и метрологических характеристиках	Неполные знания о технических и метрологических характеристиках	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о технических и	Сформированные и систематические знания о технических и метрологических

аппаратуры, применяемой в аналитических и физико-химических исследованиях)		серийной аппаратуры, применяемой в аналитических и физико-химических исследованиях	серийной аппаратуры, применяемой в аналитических и физико-химических исследованиях	метрологических характеристиках серийной аппаратуры, применяемой в аналитических и физико-химических исследованиях	характеристиках серийной аппаратуры, применяемой в аналитических и физико-химических исследованиях
УМЕТЬ: определять место разрабатываемого УМК в общем учебном плане подготовки аспирантов по профилю научной направленности и дополнять с его (УМК) помощью действующий план подготовки аспирантов, обеспечивая повышения уровня их квалификации	Отсутствие знаний	Частично освоенное умение определять место УМК в общем учебном плане подготовки аспирантов по профилю научной направленности и дополнять с его (УМК) помощью действующий план подготовки аспирантов, обеспечивая повышения уровня их квалификации	В целом успешное, но не систематическое умение определять место разрабатываемого УМК в общем учебном плане подготовки аспирантов по профилю научной направленности и дополнять с его (УМК) помощью действующий план подготовки аспирантов, обеспечивая повышения уровня их квалификации	В целом успешное, но содержащее определенные пробелы умение определять место разрабатываемого УМК в общем учебном плане подготовки аспирантов по профилю научной направленности и дополнять с его (УМК) помощью действующий план подготовки аспирантов, обеспечивая повышения уровня их квалификации	Успешное и системное умение определять место УМК в общем учебном плане подготовки аспирантов по профилю научной направленности и дополнять с его (УМК) помощью действующий план подготовки аспирантов, обеспечивая повышения уровня их квалификации
УМЕТЬ: формулировать цели, задачи, инструменты и технологии реализации УМК для подготовки студентов по профилю научной направленности	Отсутствие умений	Частично освоенное умение формулировать цели, задачи, инструменты и технологии реализации УМК для подготовки студентов	В целом успешное, но не систематическое умение формулировать цели, задачи, инструменты и технологии реализации УМК для	В целом успешное, но содержащее определенные пробелы умение формулировать цели, задачи, инструменты и технологии реализации	Успешное и системное умение формулировать цели, задачи, инструменты и технологии реализации УМК для подготовки студентов по профилю

и в смежных областях (в том числе – по междисциплинарным направлениям подготовки)		по профилю научной направленности и в смежных областях (в том числе – по междисциплинарным направлениям подготовки)	подготовки студентов по профилю научной направленности и в смежных областях (в том числе – по междисциплинарным направлениям подготовки)	УМК для подготовки студентов по профилю научной направленности и в смежных областях (в том числе – по междисциплинарным направлениям подготовки)	научной направленности и в смежных областях (в том числе – по междисциплинарным направлениям подготовки)
ВЛАДЕТЬ: навыками составления УМК по профилю научной направленности и в смежных областях (в том числе – по междисциплинарным направлениям подготовки), в том числе – навыками системного изложения учебных материалов в доступной для обучающихся форме с учетом полученного ими ранее задела	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков составления УМК по профилю научной направленности и в смежных областях (в том числе – по междисциплинарным направлениям подготовки), в том числе – навыками системного изложения учебных материалов в доступной для обучающихся форме с учетом полученного ими ранее задела	В целом успешное, но не систематическое применение навыков составления УМК по профилю научной направленности и в смежных областях (в том числе – по междисциплинарным направлениям подготовки), в том числе – навыками системного изложения учебных материалов в доступной для обучающихся форме с учетом полученного ими ранее задела	В целом успешное, но содержащее определенные пробелы применение навыков составления УМК по профилю научной направленности и в смежных областях (в том числе – по междисциплинарным направлениям подготовки), в том числе – навыками системного изложения учебных материалов в доступной для обучающихся форме с учетом полученного ими ранее задела	Успешное и системное применение навыков составления УМК по профилю научной направленности и в смежных областях (в том числе – по междисциплинарным направлениям подготовки), в том числе – навыками системного изложения учебных материалов в доступной для обучающихся форме с учетом полученного ими ранее задела
ПК 8					
ЗНАТЬ: Требования, предъявляемые к содержанию и составу	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания о требованиях, предъявляемых к содержанию и составу	Неполные знания о требованиях, предъявляемых к содержанию и	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о требованиях,	Сформированные и систематические знания о требованиях, предъявляемых к

учебно-методических комплексов (УМК) по профилю научной направленности и в смежных областях (в том числе – по междисциплинарным направлениям подготовки)		учебно-методических комплексов (УМК) по профилю научной направленности и в смежных областях (в том числе – по междисциплинарным направлениям подготовки)	составу учебно-методических комплексов (УМК) по профилю научной направленности и в смежных областях (в том числе – по междисциплинарным направлениям подготовки)	предъявляемых к содержанию и составу учебно-методических комплексов (УМК) по профилю научной направленности и в смежных областях (в том числе – по междисциплинарным направлениям подготовки)	содержанию и составу учебно-методических комплексов (УМК) по профилю научной направленности и в смежных областях (в том числе – по междисциплинарным направлениям подготовки)
УМЕТЬ: определять место разрабатываемого УМК в общем учебном плане подготовки аспирантов по профилю научной направленности и дополнять с его (УМК) помощью действующий план подготовки аспирантов, обеспечивая повышения уровня их квалификации	Отсутствие знаний	Частично освоенное умение определять место УМК в общем учебном плане подготовки аспирантов по профилю научной направленности и дополнять с его (УМК) помощью действующий план подготовки аспирантов, обеспечивая повышения уровня их квалификации	В целом успешное, но не систематическое умение определять место разрабатываемого УМК в общем учебном плане подготовки аспирантов по профилю научной направленности и дополнять с его (УМК) помощью действующий план подготовки аспирантов, обеспечивая повышения уровня их квалификации	В целом успешное, но содержащее определенные пробелы умение определять место разрабатываемого УМК в общем учебном плане подготовки аспирантов по профилю научной направленности и дополнять с его (УМК) помощью действующий план подготовки аспирантов, обеспечивая повышения уровня их квалификации	Успешное и системное умение определять место УМК в общем учебном плане подготовки аспирантов по профилю научной направленности и дополнять с его (УМК) помощью действующий план подготовки аспирантов, обеспечивая повышения уровня их квалификации
УМЕТЬ: формулировать цели, задачи, инструменты и	Отсутствие умений	Частично освоенное умение формулировать цели,	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее определенные пробелы	Успешное и системное умение формулировать цели, задачи,

технологии реализации УМК для подготовки студентов по профилю научной направленности и в смежных областях (в том числе – по междисциплинарным направлениям подготовки)		задачи, инструменты и технологии реализации УМК для подготовки студентов по профилю научной направленности и в смежных областях (в том числе – по междисциплинарным направлениям подготовки)	формулировать цели, задачи, инструменты и технологии реализации УМК для подготовки студентов по профилю научной направленности и в смежных областях (в том числе – по междисциплинарным направлениям подготовки)	умение формулировать цели, задачи, инструменты и технологии реализации УМК для подготовки студентов по профилю научной направленности и в смежных областях (в том числе – по междисциплинарным направлениям подготовки)	инструменты и технологии реализации УМК для подготовки студентов по профилю научной направленности и в смежных областях (в том числе – по междисциплинарным направлениям подготовки)
ВЛАДЕТЬ: навыками составления УМК по профилю научной направленности и в смежных областях (в том числе – по междисциплинарным направлениям подготовки), в том числе – навыками системного изложения учебных материалов в доступной для обучающихся форме с учетом полученного ими ранее задела	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков составления УМК по профилю научной направленности и в смежных областях (в том числе – по междисциплинарным направлениям подготовки), в том числе – навыками системного изложения учебных материалов в доступной для обучающихся форме с учетом полученного ими ранее задела	В целом успешное, но не систематическое применение навыков составления УМК по профилю научной направленности и в смежных областях (в том числе – по междисциплинарным направлениям подготовки), в том числе – навыками системного изложения учебных материалов в доступной для обучающихся форме с учетом полученного ими ранее задела	В целом успешное, но содержащее определенные пробелы применение навыков составления УМК по профилю научной направленности и в смежных областях (в том числе – по междисциплинарным направлениям подготовки), в том числе – навыками системного изложения учебных материалов в доступной для обучающихся форме с учетом полученного ими ранее задела	Успешное и системное применение навыков составления УМК по профилю научной направленности и в смежных областях (в том числе – по междисциплинарным направлениям подготовки), в том числе – навыками системного изложения учебных материалов в доступной для обучающихся форме с учетом полученного ими ранее задела