


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

АПАТИТСКИЙ ФИЛИАЛ

УТВЕРЖДАЮ
Директор АФ ФГБОУ ВО «МГТУ»
к.г.-м.н., доцент И.В. Чикирёв





"28" июня 2019 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

По дисциплине: Б1.В.03.04 Неравновесная термодинамика
указывается цикл (раздел) ОП, к которому относится дисциплина, название дисциплины

для направления подготовки (специальности) 04.03.01 Химия
код и наименование направления подготовки (специальности)

Неорганическая химия и химия координационных соединений
наименование профиля /специализаций/образовательной программы

Квалификация выпускника, уровень подготовки бакалавр
(указывается квалификация (степень) выпускника в соответствии с ФГОС ВО)

Кафедра - разработчик: химии и строительного материаловедения
название кафедры - разработчика рабочей программы

Апатиты
2019

Лист согласования

1 Разработчик(и)

доцент
должность

химии и СМ
кафедра


_____ подпись

И.Р. Елизарова
И.О. Фамилия

2. Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры-разработчика рабочей программы
_____ химии и строительного материаловедения _____
название кафедры

"28" июня 2019 г. протокол № 11.

дата

И.о. заведующего кафедры – разработчика

"28" июня 2019 г.

_____  _____
дата подпись

А.И. Николаев

И.О.Фамилия

Лист изменений и дополнений

к рабочей программе по дисциплине «**Неравновесная термодинамика**», входящей в состав ОПОП по направлению подготовки 04.03.01 Химия, направленности (профилю) Неорганическая химия и химия координационных соединений, 2019 года начала подготовки.

Таблица 1. Изменения и дополнения

№ п/п	Дополнение или изменение, вносимое в рабочую программу в части	Содержание дополнения или изменения	Основание для внесения дополнения или изменения	Дата внесения дополнения или изменения
1				
2				
3				

Дополнения и изменения внесены « ____ » _____ _____ г

Аннотация рабочей программы дисциплины

Коды циклов дисциплин, модулей, практик	Название циклов, разделов, дисциплин, модулей, практик	Краткое содержание (Цель, задачи, содержание разделов дисциплины, реализуемые компетенции, формы промежуточного контроля, формы отчетности)
1	2	3
Б1.В.03.04	Неравновесная термодинамика	<p>Цель дисциплины – ознакомление с теорией движения открытых макроскопических систем.</p> <p>Задачи дисциплины: освоение студентами следующих основных понятий:</p> <ul style="list-style-type: none"> - элементов векторного анализа, теории поля, теории сплошных сред. - законов сохранения в открытых системах. - феноменологических уравнений неравновесной термодинамики. Перекрестных явлений. - скалярных и векторных процессов. Принципов Кюри. <p><u>В результате изучения дисциплины бакалавр должен:</u></p> <p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные положения термодинамики закрытых и открытых систем; - законы сохранения для открытых систем; - феноменологические уравнения неравновесной термодинамики; - основные типы неравновесных систем и процессов. <p>Уметь:</p> <p>определить характер системы и процесса (открытый, закрытый), установить перекрестные процессы для системы, установить взаимосвязь потоков и сил для системы, вычислять термодинамические силы и потоки.</p> <p>Обладать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - теоретическим материалом по лекциям и научным источникам обзорного характера; - разбором наиболее сложных теоретических вопросов на лекциях и практических занятиях, алгоритмом решения задач на практических занятиях. <p><u>Содержание разделов дисциплины:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Введение в теорию необратимых процессов. Теория необратимых процессов. Понятие о сопряженных процессах. Методы изучения необратимых процессов. 2. Общие принципы. Псевдотермостатическая теория, ее недостатки. Теория Онзагера. Понятие силы (средства) и потоков. Линейный закон (феноменологический закон). Теорема Онзагера, соотношение взаимности. 3. Основные понятия и определения термодинамики неравновесных (необратимых) процессов. Однородное, стационарное, неоднородное и нестационарное состояние неравновесной системы. Условие устойчивого равновесия. Положительные и отрицательные самопроизвольные процессы. Равновесные процессы. Некомпенсированная работа. Диссипация. Время установления локального равновесия. Типы неравновесных термодинамических систем. 4. Обобщенная координата, сила, работа. Полезная работа. Виды работ. Теплота диссипации. Первый и второй законы термодинамики для закрытых систем при протекании равновесных и неравновесных процессов. 5. Время в неравновесной термодинамике. Изменение энтропии во

		<p>времени в стационарном состоянии. Локальная функция диссипации и локальная скорость возникновения энтропии, связь между ними. Соотношение де Донде. Взаимосвязь потоков и сил. Самопроизвольные и вынужденные потоки. Эффект увлечения.</p> <p>6. Основные законы и принципы неравновесной термодинамики. Принцип Кюри. Основные постулаты линейной термодинамики. Обобщенная термодинамика неравновесных процессов. Неравновесная термодинамика граничных условий. Свойства функций диссипаций. Теорема Глансдорфа-Пригожина. Применение принципа Ле-Шателье к различным состояниям системы.</p> <p>7. Прикладные аспекты неравновесной термодинамики. Способы вычисления термодинамических сил. Обобщенный закон сохранения субстанции Умова. Уравнение баланса энтропии для системы с неравновесным процессом при отсутствии внешних сил, химических реакции и конвекции. Поток энтропии, функция диссипации и термодинамические силы в уравнении баланса энтропии. Общий алгоритм расчета изменения энтропии в неравновесном нестационарном процессе. Процесс теплообмена в непрерывной системе. Уравнение баланса для скалярной экстенсивной величины в прерывной системе. Равновесные соотношения в отсутствие и при наличии внешних полей. Неравновесные процессы в однородных системах. Неравновесные процессы в прерывных системах. Энтропия движущегося компонента. Классификация стационарных состояний. Закон распределения Нернста для равновесного и стационарного состояния.</p> <p>8. Диффузионные явления. Уравнение стационарной и нестационарной изотермической диффузии. Обобщенный закон Фика. Некоторые вопросы электрохимии с позиции неравновесной термодинамики. Эффективный коэффициент диффузии в изотермических условиях, его зависимость от абсолютной подвижности. Уравнение Нернста-Планка и Нернста-Эйнштейна.</p> <p>Реализуемые компетенции ПК-1-н</p> <p>Формы отчетности Семестр 8 – зачет, контрольная работа</p>
--	--	--

Пояснительная записка

1. **Рабочая программа** составлена на основе ФГОС ВО по направлению подготовки 04.03.01 Химия, утвержденного приказом Минобрнауки РФ от 17 июля 2017 года, № 671, учебного плана в составе ОП по направлению подготовки 04.03.01 Химия, профилю «Неорганическая химия и химия координационных соединений».

2. Цели и задачи учебной дисциплины (модуля).

Целью дисциплины (модуля) «Неравновесная термодинамика» является подготовка обучающегося в соответствии с квалификационной характеристикой бакалавра и рабочим учебным планом направления 04.03.01 Химия, что предполагает ознакомление обучаемых с теорией движения открытых макроскопических систем.

Задачи дисциплины: освоение студентами следующих основных понятий:

- Элементов векторного анализа, теории поля, теории сплошных сред.
- Законов сохранения в открытых системах.
- Феноменологических уравнений неравновесной термодинамики. Перекрестных явлений.
- Скалярных и векторных процессов. Принципов Кюри.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине «Неравновесная термодинамика»

Процесс изучения дисциплины «Неравновесная термодинамика» направлен на формирование элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 04.03.01 Химия:

ПК-1-н. Способен выбирать и использовать технические средства и методы испытаний для решения исследовательских задач химической направленности, поставленных специалистом более высокой квалификации

Результаты формирования компетенций и планируемые результаты обучения представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Планируемые результаты обучения

№ п/п	Код компетенции	Компоненты компетенции, степень их реализации	Результаты обучения
1.	ПК-1-н. Способен выбирать и использовать технические средства и методы испытаний для решения исследовательских задач химической направленности, поставленных специалистом более высокой квалификации	Компоненты компетенции соотносятся с содержанием дисциплины и компетенция реализуется полностью	Знать: основные положения термодинамики закрытых и открытых систем; законы сохранения для открытых систем; феноменологические уравнения неравновесной термодинамики; основные типы неравновесных систем и процессов Уметь: определить характер системы и процесса (открытый, закрытый), установить перекрестные процессы для системы, установить взаимосвязь потоков и сил для системы, вычислять термодинамические силы и потоки. Владеть: теоретическим материалом по лекциям и научным источникам обзорного характера; разбором наиболее сложных теоретических вопросов

		<p>на лекциях и практических занятиях, алгоритмом решения задач на практических занятиях.</p> <p>Индикаторы сформированности компетенций в реализуемой части: ПК-1-н-1. Планирует отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР в разделах 1, 2, 6, 7. ПК-1-н-2. Готовит элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР ПК-1-н-3. Выбирает технические средства и методы испытаний (из набора имеющихся) для решения поставленных задач НИР ПК-1-н-4. Готовит объекты исследования</p>
--	--	---

4. Структура учебной дисциплины (модуля)

Таблица 2* - Распределение учебного времени дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 часа

Виды учебной нагрузки, часов	Распределение трудоемкости дисциплины по формам обучения			
	Очная			Всего Часов
	Номер семестра обучения			
	7	8		
Лекции	-	45	-	45
Практические занятия	-	-	-	-
Лабораторные работы	-	-	-	-
Самостоятельная работа	-	27	-	27
Подготовка и сдача экзамена	-	-	-	-
Всего часов по дисциплине	-	72	-	72

Формы промежуточного и текущего контроля

Экзамен	-	-	-	-
Зачет / зачет с оценкой	-	+/-	-	+/-
Курсовая работа (проект)	-	-	-	-
Количество РГЗ	-	-	-	-
Количество контрольных работ	-	1	-	1
Количество рефератов	-	-	-	-
Количество эссе	-	-	-	-

5. Содержание учебной дисциплины (модуля)

Таблица 3* - Содержание разделов дисциплины (модуля), виды работы

№ п/п	Содержание разделов (модулей), тем дисциплины	Количество часов, выделяемых на виды учебной подготовки
-------	---	---

* Разработчикам РП можно убирать столбцы с формами обучения, если данная форма не реализуется в МГТУ

* Разработчикам РП можно убирать столбцы с формами обучения, если данная форма не реализуется в МГТУ

		Очная форма			
		Объем работы в часах			
		Лекции	ПР	ЛР	СР
1	2	3	4	5	6
1.	Введение в теорию необратимых процессов. Теория необратимых процессов. Понятие о сопряженных процессах. Методы изучения необратимых процессов.	2			1
2.	Псевдотермостатическая теория, ее недостатки. Теория Онзагера. Понятие силы (сродства) и потоков. Линейный закон (феноменологический закон). Теорема Онзагера, соотношение взаимности.	2			1
3.	Понятия, определения термодинамики неравновесных (необратимых) процессов. Однородное, стационарное, неоднородное и нестационарное состояние неравновесной системы. Условие устойчивого равновесия. Положительные и отрицательные самопроизвольные процессы.	2			1
4.	Равновесные процессы. Некомпенсированная работа. Диссипация. Время установления локального равновесия. Типы неравновесных термодинамических систем.	3			1
5.	Обобщенная координата, сила, работа. Полезная работа. Виды работ. Теплота диссипации. Первый и второй законы термодинамики для закрытых систем при протекании равновесных и неравновесных процессов.	3			2
6.	Время в неравновесной термодинамике. Изменение энтропии во времени в стационарном состоянии.	4			1
7.	Локальная функция диссипации и локальная скорость возникновения энтропии, связь между ними. Соотношение де Донде. Взаимосвязь потоков и сил. Самопроизвольные и вынужденные потоки. Эффект увлечения.	4			1
8.	Принцип Кюри. Основные постулаты линейной термодинамики. Обобщенная термодинамика неравновесных процессов. Неравновесная термодинамика граничных условий.	2			2
9.	Свойства функций диссипаций. Теорема Гландорфа-Пригожина. Применение принципа Ле-Шателье к различным состояниям системы.	4			2
10.	Способы вычисления термодинамических сил. Обобщенный закон сохранения субстанции Умова. Уравнение баланса энтропии для системы с неравновесным процессом при отсутствии внешних сил, химических реакции и конвекции.	2			2
11.	Поток энтропии, функция диссипации и термодинамические силы в уравнении баланса энтропии. Общий алгоритм расчета изменения энтропии в неравновесном нестационарном процессе. Процесс теплообмена в непрерыв-	4			2

	ной системе. Уравнение баланса для скалярной экстенсивной величины в прерывной системе.				
12.	Равновесные соотношения в отсутствие и при наличии внешних полей. Неравновесные процессы в однородных системах.	2			2
13.	Неравновесные процессы в прерывных системах. Энтропия движущегося компонента. Классификация стационарных состояний. Закон распределения Нернста для равновесного и стационарного состояния.	4			2
14.	Диффузионные явления. Уравнение стационарной и нестационарной изотермической диффузии. Обобщенный закон Фика.	2			3
15.	Некоторые вопросы электрохимии с позиции неравновесной термодинамики. Эффективный коэффициент диффузии в изотермических условиях, его зависимость от абсолютной подвижности. Уравнение Нернста-Планка и Нернста-Эйнштейна.	5			4
	Итого:	45	-	-	27

Таблица 4 - Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины (модуля), и видов занятий с учетом форм контроля

Перечень компетенций	Виды занятий								Формы контроля
	Л	ЛР	ПЗ	КР/КП	р	к/р	э	СРС	
ПК-1-н	+					+		+	Опрос на лекции. Выполнение контрольной работы.

Примечание: Л – лекции, ЛР – лабораторные работы, ПЗ – практические занятия, КР/КП – курсовая работа (проект), р – реферат, к/р – контрольная работа, э - эссе, СРС – самостоятельная работа студентов

Таблица 5 - Перечень лабораторных работ

Не предусмотрены

Таблица 6 - Перечень практических работ

Не предусмотрены

6. Перечень примерных тем курсовой работы (проекта)

Не предусмотрены

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю) *

Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся приводится в Методических указаниях к самостоятельной работе по дисциплине «Неравновесная термодинамика».

*В перечень входят методические указания к: выполнению практических, лабораторных, контрольных, самостоятельных, расчетно-графических, курсовых работ и др.

8. Фонд оценочных средств

ФОС входит в состав образовательной программы в качестве самостоятельного документа.

9. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

№ п/п	Название учебников, учебных пособий и других источников	Авторы (под ред.)	Издательство	Год издания
1	2	3	4	5
Основная:				
1.	Физическая и коллоидная химия	Кругляков М.И.	М.: Высшая школа	2007
Дополнительная:				
5.	Химия. Современный краткий курс	Зайцев О.С.	М.: НЦ ЭНАС	2001
10.	Введение в нанотехнологию : учебник https://e.lanbook.com/reader/book/4310/#1	В.И. Марголин, В.А. Жабрев, Г.Н. Лукьянов, В.А. Тупик	Санкт-Петербург : Лань	2012
13.	Физическая химия. Химическая термодинамика: учеб. пособие http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778229334.html?SSr=010134171b106b0b2512518	Тимакова Е.В.	Новосибирск : Изд-во НГТУ	2016

10. Перечень ресурсов информационно - телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)*

ЭБС «Университетская библиотека онлайн» (Договор № 530-10/18 от 01.11.2018 г. ООО «Современные цифровые технологии», с 16.11.2018 г. по 15.11.2019 г.),

ЭБС «Издательства Лань» (Договор № 19/85 от 12 сентября 2018 г. ООО «ЭБС Лань», с 02.10.2018 г. по 01.10.2019 г., Договор № 19/159 от 28 мая 2019 г. ООО «Издательство Лань», с 02.10.2019 г. по 01.10.2020 г.),

ЭБС «Консультант студента» (Договор № 100 СЛ/03-2018 от 20 марта 2018 г. ООО «Политехресурс», с 21.04.2018 г. по 20.04.2019 г., Договор № 19/37 от 11.03.2019 г. ООО «Политехресурс», с 21.04.2019 г. по 20.04.2020 г.),

ЭБС «IPR books» (Лицензионный договор № 3768 18 от 15.03.2018 г. ООО «Ай Пи Эр Медиа», с 20.04.2018 г. до 20.04.2019 г., Лицензионный договор № 4979/ 19 от 01.04.2019 г. ООО «Ай Пи Эр Медиа», с 20.04.2019 г. до 20.04.2020 г.),

ЭБС «Троицкий мост» (Договор № 19/38 от 11 марта 2019 г. ООО «Издательско-торговая компания дом «Троицкий мост», с 01.04.2019 г. по 31.03.2020 г.),

Национальная электронная библиотека (НЭБ) (Договор № 101/НЭБ/2370 от 09.08.2017 г., с 09.08.2017 г. по 08.08.2022 г.),

Электронная база данных «EBSCO» (Сублицензионный договор № 45.49/19.85 от 09.01.2019 г. ООО ЦНИ НЭИКОН, с 01.01.2019 г. по 31.12.2019 г.).

11. Перечень информационных технологий и лицензионного программного обеспече-

ния, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем*.

1. Операционная система Microsoft Windows Vista Business Russian Academic OPEN, лицензия № 44335756 от 29.07.2008 (договор №32/379 от 14.07.08 г.)

2. Офисный пакет Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN, лицензия № 45676388 от 08.07.2009 (договор 32/224 от 14.0.2009 г.)

3. Система оптического распознавания текста ABBYY FineReader Corporate 9.0 (сетевая версия), 2009 год (договор ЛЦ-080000510 от 28 апреля 2009 г.). Операционная система Microsoft Windows Vista Business Russian Academic OPEN, лицензия № 44335756 от 29.07.2008

Таблица 8 - Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

№ п./п.	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1.	<p>Помещение № 105 Учебная аудитория для проведения лекционных и практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной аттестации. г. Апатиты, Академгородок, д. 50а.</p>	<p>Укомплектовано специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации обучающимся:</p> <ul style="list-style-type: none"> - учебные столы – 9 шт.; - письменные столы – 2 шт.; - стеллаж для книг – 1 шт.; - доска аудиторная – 1 шт.; - оверхед – 1 шт.; - проекционный экран – 1 шт.; - ноутбук <i>Lenovo B50-30</i> – 1 шт.; - мультимедийный DLP-проектор – 1 шт.; - учебно-наглядные пособия. <p>Посадочных мест – 18.</p>
2.	<p>Помещение № 210 Компьютерный класс Специальное помещение для проведения практических занятий и самостоятельной работы обучающихся. г. Апатиты, Академгородок, д. 50 а</p>	<p>Укомплектовано специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления информации, мультимедийным оборудованием:</p> <p>DLP-проектор, проекционный экран, ПЭВМ Intel Pentium G4400 3.3 GHz с ЖК-монитором 19”, объединенными в локальную вычислительную сеть с доступом к интернету, электронно-библиотечным системам и к электронной информационно-образовательной среде университета и предназначено для самостоятельной работы обучающихся – 12 шт.;</p> <ul style="list-style-type: none"> - компьютерные столы – 12 шт.; - учебные столы – 10 шт.; - стол письменный – 1 шт.; - доска аудиторная – 1 шт.; - кафедра – 1 шт.; - проекционный экран – 1 шт.;

		<p>- ноутбук <i>Lenovo B50-30</i> – 1 шт.;</p> <p>- мультимедийный <i>DLP</i>-проектор – 1 шт.</p> <p>Посадочных мест – 12 (компьютерные столы), 20 (учебные столы).</p> <p>Персональные компьютеры с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета со специализированным программным обеспечением:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Операционная система Windows Professional 8.1 Russian Upgrade OLP NL AcademicEdition, лицензия № 64570101 от 26.12.2014 (договор S4093290 от 20.12.2014 г.). 2. Офисный пакет Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN, лицензия № 42024925 от 04.11.2007 (договор 32/224 от 14.07.2009 г.). 3. Система оптического распознавания текста АБВУ FineReader Corporate 9.0 (сетевая версия), (договор ЛЦ-080000510 от 28 апреля 2009 г.). 4. Statsoft STATISTICA Advanced 10 for Windows Ru (лицензия от 28.09.2012). 5. MathCAD Education (лицензия № 2689694 от 13.09.2012). 6. ArcGIS ArcInfo Lab Pack Desktop 10 (договор № 18-02-11 от 01.12.2011). 7. CorelDRAW Graphics Suite X5, лицензия № 4087619 от 20.12.2011 (договор № MAV-030/11 от 30.11.2011). 8. Autodesk Autocad Revit Series 8.1 (акт передачи-приемки ПО с МГТУ). 9. Adobe Photoshop Extended CS5 12.0, лицензия № 8085097 (договор 134136735 от 15.11.2010). 10. ScanEx Image Processor с модулем Thematic Pro (договор № 15/1203-ПО от 03.12.2015).
--	--	--

Таблица 9 - Технологическая карта дисциплины (промежуточная аттестация - зачет)
Дисциплина «Неравновесная термодинамика»

№ п/п	Контрольные точки	Зачетное количество баллов		График прохождения (недели сдачи)
		min	max	
Текущий контроль				
1	2	3	4	5
1.	Беседа в ходе лекции № 1,2	4	6	1-я неделя
2.	Беседа в ходе лекции № 3	4	6	2-я неделя
3.	Беседа в ходе лекции № 4,5	4	6	3-я неделя
4.	Беседа в ходе лекции № 6	4	6	4-я неделя
5.	Беседа в ходе лекции № 7,8	4	6	5-я неделя
6.	Беседа в ходе лекции № 9	4	6	6-я неделя
7.	Беседа в ходе лекции № 10,11	4	6	7-я неделя

8.	Беседа в ходе лекции № 12	4	6	8-я неделя
9.	Беседа в ходе лекции № 13,14	4	6	9-я неделя
10.	Беседа в ходе лекции № 15	4	6	
11.	Выполнение контрольной работы	10	20	14-я неделя
12.	Выполнение домашних заданий	3	5	в течение семестра
13.	Своевременность выполнения контрольных точек	2	5	в течение семестра
14.	Посещение занятий	5	10	Свыше 75% посещенных занятий – 10, от 75 до 50% - 5, менее 50% - 0
	Итого за работу в семестре	60	100	
Промежуточная аттестация – зачет				
	Итоговые баллы по дисциплине	60	100	Зачетная неделя