

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 25.09.2023 15:15:30

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования**

**«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»**

## Рабочая программа дисциплины (модуля)

# Термодинамика неравновесных процессов

Закреплена за подразделением

Кафедра физической химии

Направление подготовки

03.03.02 ФИЗИКА

Профиль

Квалификация **Бакалавр**

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **3 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 108

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

зачет с оценкой 8

аудиторные занятия 36

самостоятельная работа 72

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	8 (4.2)		Итого	
	Неделя 12			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	12	12	12	12
Практические	24	24	24	24
Итого ауд.	36	36	36	36
Контактная работа	36	36	36	36
Сам. работа	72	72	72	72
Итого	108	108	108	108

Программу составил(и):

*д.ф.-м.н., проф., Петелин Александр Львович*

Рабочая программа

**Термодинамика неравновесных процессов**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» по направлению подготовки 03.03.02 ФИЗИКА (приказ от 02.04.2021 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

03.03.02 ФИЗИКА, 03.03.02-БФ3-23.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

03.03.02 ФИЗИКА, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра физической химии**

Протокол от 21.06.2022 г., №11-21/22

Руководитель подразделения Салимон А.И.

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

1.1	Цель - научить использовать основные понятия и законы неравновесной термодинамики (линейной термодинамики Онзагера и нелинейной термодинамики Пригожина) для рассмотрения материаловедческих вопросов и задач, связанных с созданием новых материалов и совершенствованием свойств имеющихся материалов.
1.2	Задачи:
1.3	– научиться использованию законов линейной термодинамики для описания диффузионных процессов в условиях внешних воздействий химического состава открытых природных систем, подвергающихся воздействию техногенных факторов,
1.4	– научиться построению кинетических моделей химических процессов для анализа устойчивости стационарных состояний,
1.5	– освоить анализ эволюции неравновесных состояний открытых конденсированных систем методами неравновесной термодинамики для решения возникающих технологических задач

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.12
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Введение в физику полупроводников	
2.1.2	Введение в физику твердого тела	
2.1.3	Квантовая механика. Спецглавы.	
2.1.4	Компьютерные методы в физике	
2.1.5	Методы физико-химических исследований	
2.1.6	Нелинейная физика	
2.1.7	Специальный физический практикум	
2.1.8	Статистическая физика	
2.1.9	Строение некристаллических систем	
2.1.10	Теория химической связи	
2.1.11	Термодинамика металлических растворов	
2.1.12	Физика конденсированного состояния	
2.1.13	Физические свойства твердых тел	
2.1.14	Анализ данных	
2.1.15	Высшая математика. Спецглавы.	
2.1.16	Квантовая механика	
2.1.17	Машинное обучение	
2.1.18	Методы исследования материалов	
2.1.19	Методы обработки статистических данных (анализ данных)	
2.1.20	Метрология, стандартизация и технические измерения	
2.1.21	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.1.22	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.1.23	Фазовые равновесия и структурообразование	
2.1.24	Физика поверхности	
2.1.25	Диффузия и диффузионно-контролируемые процессы	
2.1.26	Линейная алгебра	
2.1.27	Методы контроля и анализа веществ	
2.1.28	Теория поверхностных явлений	
2.1.29	Теория функций комплексных переменных	
2.1.30	Техника физико-химического эксперимента	
2.1.31	Электродинамика	
2.1.32	Кристаллография	
2.1.33	Математическая статистика и анализ данных	
2.1.34	Методы математической физики	
2.1.35	Теоретическая механика и основы теории упругости.	
2.1.36	Физика	
2.1.37	Электротехника	

2.1.38	Математика
2.1.39	Органическая химия
2.1.40	Информатика
2.1.41	Химия
2.1.42	Инженерная и компьютерная графика
2.2	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

**ОПК-1: Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности, осуществлять моделирование и анализ для проведения детальных исследований и поиска решения технических вопросов в соответствующей области исследования**

**Знать:**

ОПК-1-31 математические методы определения устойчивости конечных состояний неравновесных систем

**ПК-3: Способен осуществлять проведения работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований**

**Уметь:**

ПК-3-У1 осуществлять проведения работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований

**ПК-4: Способен решать задачи физики используя современные методы исследования и математические методы решения задач**

**Уметь:**

ПК-4-У1 решать задачи физики используя современные методы исследования и математические методы решения задач

**ОПК-1: Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности, осуществлять моделирование и анализ для проведения детальных исследований и поиска решения технических вопросов в соответствующей области исследования**

**Уметь:**

ОПК-1-У1 планировать и проводить экспериментальные и теоретические исследования

**Владеть:**

ОПК-1-В1 методами анализа неравновесных термодинамических открытых физико-химических систем

### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
	<b>Раздел 1. Термодинамика необратимых процессов</b>							
1.1	Линейная термодинамика необратимых процессов. Принцип Пригожина /Лек/	8	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1Л2.1Л3.1 Э1 Э2			
1.2	Изучение лекционного материала. Подготовка к практическим занятиям /Ср/	8	12	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1Л2.1Л3.1 Э1			
1.3	Расчеты энтропии. Изменение энтропии при различных процессах /Пр/	8	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1Л3.1 Э1			
1.4	Изучение лекционного материала. Подготовка к практическим занятиям /Ср/	8	12	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1Л2.1 Э1 Э2			

1.5	Локальное равновесие. Определение внутренней энергии, энтальпии для неравновесных систем по зависимости плотностей этих величин от пространственных координат /Пр/	8	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1Л2.1 Э1			
1.6	1-ый и 2-ой постулаты Онзагера. Соотношения взаимности /Лек/	8	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1			
1.7	Изучение лекционного материала. Подготовка к практическим занятиям /Ср/	8	9	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1			
1.8	Термодинамические силы /Пр/	8	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1 Э2			
1.9	Изучение лекционного материала. Подготовка к практическим занятиям /Ср/	8	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1Л2.1 Э1 Э2			
1.10	Условия справедливости первого закона Фика /Пр/	8	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1Л2.1 Э1 Э2			
1.11	Термодиффузия /Лек/	8	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1 Э1 Э2			
1.12	Изучение лекционного материала. Подготовка к практическим занятиям /Ср/	8	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1 Э1 Э2			
1.13	Принцип детального химического равновесия /Пр/	8	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1Л2.1 Э1 Э2			
1.14	Изучение лекционного материала. Подготовка к практическим занятиям и тесту /Ср/	8	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1Л2.1 Э1 Э2			
1.15	Термодиффузия /Пр/	8	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1Л2.1 Э1 Э2			
	<b>Раздел 2. Диссипативные структуры</b>							
2.1	Нелинейная термодинамика необратимых процессов. Критерий Гленсдорфа-Пригожина /Лек/	8	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1			
2.2	Подготовка к практическим занятиям. Изучение лекционного материала /Ср/	8	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1 Э2			
2.3	Кинетика сложных химических реакций /Пр/	8	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1 Э2			

2.4	Подготовка к практическим занятиям. Изучение лекционного материала /Ср/	8	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л2.1 Э1			
2.5	Диссипативные структуры. Эффект Бенара /Пр/	8	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л2.1 Э1			
2.6	Устойчивые и неустойчивые стационарные состояния Примеры из механики и химии /Лек/	8	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1			
2.7	Подготовка к практическим занятиям. Изучение лекционного материала /Ср/	8	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1			
2.8	Анализ устойчивости неравновесных систем /Пр/	8	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1			
2.9	Подготовка к практическим занятиям. Изучение лекционного материала. Выполнение домашнего задания /Ср/	8	12	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1 Э2			
2.10	Автокаталитические реакции. Цепные реакции /Пр/	8	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л2.1Л3.1 Э1 Э2		КМ1	Р1
2.11	Временные диссипативные структуры. Химические осцилляции /Лек/	8	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1Л2.1 Э1			
2.12	Подготовка к практическим занятиям. Изучение лекционного материала /Ср/	8	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1Л2.1 Э1			
2.13	Реакция Белоусова-Жаботинского. Брюсселятор /Пр/	8	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1Л2.1 Э1			
2.14	Подготовка к практическим занятиям. Изучение лекционного материала /Ср/	8	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1Л2.1 Э1			
2.15	Временные диссипативные структуры. Орегонатор /Пр/	8	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1Л2.1 Э1			
2.16	Изучение лекционного материала. Подготовка к экзамену /Ср/	8	11	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1			

### 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

#### 5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
КМ1	Тест	ОПК-1-В1;ОПК-1-У1;ОПК-1-31;ПК-3-У1;ПК-4-У1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Какие процессы рассматривает теория Онзагера?</li> <li>2. Какой знак имеет величина <math>T(ds/dt)_{необр}</math>?</li> <li>3. Для каких процессов <math>T(ds/dt)_{необр} &lt; 0</math>?</li> </ol>

		<p>4. Укажите точное определение обратимого процесса: «Обратимым называют такой процесс, при котором...»</p> <p>5. Укажите правильное утверждение: «Обратимым является такой процесс, при котором...»</p> <p>6. Когда следует брать знак <math>&gt;</math> и когда знак <math>=</math> в соотношении <math>dS &gt; \text{дельта}Q/T</math>?</p> <p>7. Укажите точное определение принципа локального равновесия</p> <p>8. Какие условия налагает принцип локального равновесия на размеры локальных областей (<math>\delta x</math>), если размер системы <math>L</math>, а межатомное расстояние <math>d</math>?</p> <p>9. Может ли энтропия вещества быть отрицательной?</p> <p>10. Что такое изолированная система?</p> <p>11. Укажите условия стационарности открытой системы с неизменными краевыми условиями</p> <p>12. Укажите условия равновесия изолированной системы</p> <p>13. Укажите условия эволюции открытой системы при малых отклонениях от равновесия</p> <p>14. Для каких систем изменение энтропии позволяет установить направление самопроизвольных процессов?</p> <p>15. Укажите условия эволюции изолированной системы при небольших отклонениях от равновесия и неизменных внешних условиях?</p> <p>16. Укажите правильную запись уравнения непрерывности (закона сохранения) для числа молей <math>i</math>-го компонента:</p> <p>17. Какие процессы рассматривает теория Онзагера?</p> <p>18. Укажите правильную формулировку 2-го постулата Онзагера:</p> <p>19. Укажите правильную запись 3-го постулата соотношений взаимности Онзагера.</p> <p>20. Какая термодинамическая сила действует в системе, где есть градиент температуры, но нет градиента концентрации?</p> <p>21. Какая термодинамическая сила действует в системе, где нет градиента температуры, но есть градиент концентрации <math>i</math>-го компонента?</p> <p>22. Укажите правильную запись термодинамической силы в случае химической реакции:</p> <p>23. Какая из приведенных ниже величин рассматривается в термодинамике необратимых реакций как поток в случае химической реакции?</p> <p>24. С чем связан поток в случае химической реакции?</p> <p>25. Какова связь между потоками и термодинамическими силами в теории Онзагера?</p> <p>26. Может ли диффузионная термодинамическая сила вызвать поток электричества?</p> <p>27. В некоторой системе тепловая термодинамическая сила равна нулю. Следует ли отсюда, что тепловой поток равен нулю?</p> <p>28. В некоторой системе поток <math>i</math>-го свойства равен нулю. Следует ли отсюда, что и соответствующая термодинамическая сила равна нулю?</p> <p>29. Как записать кинетический коэффициент <math>L(ii)</math>, если в неравновесной системе (бесконечно разбавленный раствор) имеется только одна диффузионная термодинамическая сила?</p> <p>30. Какова размерность кинетического коэффициента <math>L(ii)</math>, если в неравновесной системе (бесконечно разбавленный раствор) имеется только одна диффузионная термодинамическая сила?</p> <p>31. Какая термодинамическая величина определяет поведение неравновесной системы?</p> <p>32. Какое состояние неравновесной системы во второй области диаграммы отклонения от равновесия является устойчивым конечным состоянием?</p> <p>33. Экстремум какой величины определяет устойчивость конечного состояния при линейных отклонениях системы от равновесия?</p> <p>34. Уравнение для термодинамической движущей силы при одновременном действии градиентов концентрации и электрического потенциала можно записать в следующем виде:</p> <p>35. Уравнение для термодинамической движущей силы при</p>
--	--	---

		<p>одновременном действии градиентов концентрации и температуры можно записать в следующем виде:</p> <p>36. Какова размерность химической термодинамической силы?</p> <p>37. Какова размерность диффузионной термодинамической силы?</p> <p>38. Какова размерность электрической термодинамической силы?</p> <p>39. Какова размерность тепловой термодинамической силы?</p> <p>40. В чем заключается принцип детального равновесия?</p> <p>41. В каких случаях справедливо соотношение <math>L(ik) = L(ki)</math>?</p> <p>42. Следствием какого закона термодинамики является 3-й постулат Онзагера <math>L(ik) = L(ki)</math>?</p> <p>43. Могут ли быть отрицательными диагональные коэффициенты в уравнении Онзагера?</p> <p>44. Могут ли быть отрицательными перекрестные коэффициенты в уравнении Онзагера?</p> <p>45. Если два потока не являются независимыми (например, потоки атомов и вакансий), сохраняются ли соотношения взаимности?</p> <p>46. В системе имеется тепловой поток и протекает химическая реакция. При постоянном градиенте температуры скорость химической реакции увеличили в 5 раз. Как изменится тепловой поток?</p> <p>47. В стационарном состоянии при термодиффузии в твердом растворе внедрения концентрация примеси на горячем конце меньше, чем на холодном. Какой знак имеет тепло переноса?</p> <p>48. Укажите направление потока тепла при термодиффузии в твердом растворе внедрения в стационарном состоянии</p> <p>49. Укажите направление потока примеси при термодиффузии в твердом растворе внедрения в стационарном состоянии</p> <p>50. Укажите правильное выражение для потока тепла в нестационарном состоянии при термодиффузии</p> <p>51. Укажите правильное выражение для потока тепла в стационарном состоянии при термодиффузии</p> <p>52. Укажите правильное выражение для потока вещества в нестационарном состоянии при термодиффузии</p> <p>53. Укажите правильное выражение для потока вещества в стационарном состоянии при термодиффузии</p> <p>54. Укажите правильное выражение для тепла переноса при термодиффузии</p> <p>55. В задаче о термодиффузии атом затрачивает энергию <math>\Delta H(1) = 40</math> кДж/моль в начале скачка и <math>\Delta H(2) = 80</math> кДж/моль – в конце скачка (на соседней плоскости). Чему равно тепло переноса?</p> <p>56. В задаче о термодиффузии атом затрачивает энергию <math>\Delta H(1) = 60</math> кДж/моль в начале скачка и <math>\Delta H(2) = 100</math> кДж/моль – в конце скачка (на соседней плоскости). Чему равно тепло переноса?</p> <p>57. В задаче о термодиффузии тепло переноса составляет 40 кДж/моль, а энергия активации диффузии 100 кДж/моль. Чему равна энергия, которую атом затрачивает в начале скачка?</p> <p>58. В задаче о термодиффузии тепло переноса составляет 40 кДж/моль, а энергия активации диффузии 100 кДж/моль. Чему равна энергия, которую атом затрачивает в начале скачка?</p> <p>59. В задаче о термодиффузии тепло переноса составляет 40 кДж/моль, а энергия активации диффузии 100 кДж/моль. Чему равна энергия, которую атом затрачивает в конце скачка (на соседней плоскости)?</p> <p>60. В задаче о термодиффузии тепло переноса составляет 40 кДж/моль, а энергия, которую затрачивает атом в начале скачка в два раза меньше, чем в конце скачка (на соседней плоскости). Чему равна энергия активации диффузии?</p> <p>61. На левом торце металлического стержня поддерживается температура 400 К, а на правом – 450 К. При термодиффузии в стационарном состоянии концентрация примеси на левом торце составляет <math>1 \cdot 10^{-3}</math> моль/см<sup>3</sup>, а на правом – <math>1 \cdot 10^{-5}</math> моль/см<sup>3</sup>.</p>
--	--	---

			<p>Определите тепло переноса.</p> <p>62. В металлическом стержне создан линейный градиент температуры, причем на левом торце поддерживается температура 500 К, а на правом – 600 К. При термодиффузии в стационарном состоянии концентрация примеси на левом торце составляет <math>2E-4</math> моль/см<sup>3</sup>. Определите концентрацию примеси на середине образца, если тепло переноса составляет 100 кДж/моль.</p> <p>63. При термодиффузии в стационарном состоянии концентрация примеси на левом торце металлического стержня составляет <math>1E-2</math> моль/см<sup>3</sup>, а на правом – <math>5E-3</math> моль/см<sup>3</sup>. На левом торце поддерживается температура 400 К. Определите температуру на правом конце стержня, если тепло переноса составляет 100 кДж/моль.</p> <p>64. На левом торце металлического стержня поддерживается температура 400 К, а на правом – 500 К. При термодиффузии в стационарном состоянии отношение концентрации примеси на левом торце к концентрации на правом равно 2. Определите это отношение, если поднять температуру на правом торце до 550 К.</p> <p>65. На левом торце металлического стержня поддерживается температура 400 К, а на правом – 500 К. При термодиффузии в стационарном состоянии отношение концентрации примеси на левом торце к концентрации на правом равно 2. Определите это отношение, если тепло переноса уменьшить на 30%.</p> <p>66. Протекает обратимая газовая реакция <math>A + B = 2D</math>, константа равновесия которой при 1000 К равна 4,1. Исходный состав смеси при общем давлении 1 атм составляет <math>A = B = 25\%</math>. Определите скорость прямой реакции, если общая скорость реакции в состоянии, близком к равновесию, составляет 0,001 моль/(см<sup>3</sup> с).</p> <p>67. Протекает обратимая газовая реакция <math>A + B = D</math>, константа равновесия которой при 1000 К равна 8,3. Исходный состав смеси при общем давлении 1 атм составляет <math>A = B = 25\%</math>. Определите кинетический коэффициент <math>L(ii)</math>, если общая скорость реакции в состоянии, близком к равновесию, составляет 0,001 моль/(см<sup>3</sup> с).</p> <p>68. Протекает обратимая газовая реакция <math>2A + B = D</math>, <math>\Delta G_0</math> которой при 800 К равно 14,2 кДж/моль. Исходный состав смеси при общем давлении 1 атм составляет <math>A = 30\%</math>, <math>B = 40\%</math>. Определите общую скорость реакции в состоянии, близком к равновесию, если скорость прямой реакции составляет 0,008 моль/(см<sup>3</sup> с).</p> <p>69. Протекает обратимая газовая реакция <math>2A + B = 2D</math> при 1000 К. Общая скорость реакции в состоянии, близком к равновесию, составляет <math>1E-3</math> моль/(см<sup>3</sup> с), а скорость прямой реакции – <math>1E-2</math> моль/(см<sup>3</sup> с). Исходный состав смеси при общем давлении 1 атм составляет <math>A = 20\%</math>, <math>B = 50\%</math>. Определите <math>\Delta G(0)</math> реакции.</p>
--	--	--	---

## 5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)

Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
P1	ДЗ-1	ОПК-1-В1;ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ПК-3-У1;ПК-4-У1	<p>Домашнее задание термодинамике неравновесных процессов</p> <p><b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАЦИОНАРНЫХ СОСТОЯНИЙ</b></p> <p>Пример варианта</p> <p>Задана химическая система с постоянными и переменными концентрациями</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Определите стационарные состояния.</li> <li>Определите устойчивость стационарных состояний методом потенциала и анализа кинетической функции .</li> <li>Определите значения управляющих параметров, при которых происходит неравновесный (кинетический) фазовый переход в системе.</li> <li>Постройте соответствующую бифуркационную диаграмму.</li> </ol>

**5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)**

Экзамен по дисциплине не предусмотрен

**5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)**

Основная образовательная программа подготовки бакалавра предусматривает ФОС как комплекс педагогических измерительных материалов и оценочных средств для определения качества результатов обучения и уровня сформированности компетенций обучающихся в ходе освоения, в частности, дисциплины. ФОС является составной частью учебно-методического обеспечения учебных дисциплин, служит для оценки успешности освоения обучающимися дисциплины и способствует повышению качества образовательного процесса. Вид промежуточной аттестации по дисциплине, установленный учебным планом, определяет состав ФОС. Общая процедура и сроки проведения оценочных мероприятий соответствуют регламентам текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. Промежуточный контроль (экзамен) предназначен для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины. Экзамен принимается преподавателем - ведущим лектором и выставляется на основе результатов контрольных мероприятий семестра. Оценка на контрольных мероприятиях выставляется обучающимся на основе критериев уровней освоения компетенций (соотносится с уровнями: «пороговый» – оценка «3», «продвинутый» – оценка «4» и «высокий» – оценка «5»). Оценка «отлично» или «хорошо» ставится, если студент полно излагает изученный материал, обнаруживает понимание специфики вопроса, дает правильное определение основных понятий речевой коммуникации; обнаруживает понимание материала, может обосновать свои суждения, применить знания на практике, привести необходимые примеры, самостоятельно составленные; излагает материал последовательно и правильно с точки зрения норм литературного языка; владеет навыками языкового анализа. Ответ не содержит фактические ошибки. Оценка «удовлетворительно» ставится, если студент дает ответ, удовлетворяющий тем же требованиям, т.е. обнаруживает понимание специфики вопроса, но при ответе не демонстрирует достаточной обоснованности суждений, и/или отчасти подменяет рассуждения пересказом текста, и/или допускает одну фактическую ошибку. Оценка «неудовлетворительно» ставится, если студент обнаруживает незнание большей части материала, неверно отвечает на вопрос, даёт ответ, который содержательно не соотносится с поставленной задачей, допускает ошибки в формулировке определений и правил, искажающие их смысл, беспорядочно излагает материал. Текущий контроль проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы студентов. Объектом текущего контроля являются конкретизированные результаты обучения (учебные достижения) по дисциплине. ФОС текущего контроля по дисциплине состоит из вопросов и заданий, составленных с учетом показателей оценивания компетенций, формируемых в результате освоения дисциплины. Результаты текущей аттестации обучающихся учитываются при выставлении оценки по промежуточной аттестации в случае полного выполнения обучающимися установленного учебного графика.

**6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ****6.1. Рекомендуемая литература****6.1.1. Основная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Петелин А. Л.	Нелинейная термодинамика. Устойчивость конечных состояний неравновесных систем: курс лекций: учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. 'Металлургия'	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2011

**6.1.2. Дополнительная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Гленсдорф П., Пригожин И., Гинзбург Б.	Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций	Электронная библиотека	Москва: Мир, 1973

**6.1.3. Методические разработки**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Капуккина Н. Е., Бокштейн Б. С.	Физическая химия: Разд.: Химическое равновесие: Метод. указания для самостоят. работы студ. всех спец.	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2001

**6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

Э1	Российское образование: федеральный портал [Электронный ресурс].	– <a href="http://www.edu.ru/">http://www.edu.ru/</a> (Ссылки на внешний сайт.) Ссылки на внешний сайт..
Э2	Физическая химия: термодинамика и кинетика	<a href="https://lms.misis.ru/ebooks/physical-chemistry/index.html">https://lms.misis.ru/ebooks/physical-chemistry/index.html</a>

**6.3 Перечень программного обеспечения**

П.1	Лицензии ПО Windows Server CAL ALNG LicSAPk MVL DvcCAL, ПО WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr и PerUsr
П.2	ESET NOD32 Antivirus
П.3	Win Pro 10 32-bit/64-bit
<b>6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных</b>	
И.1	Каталог Российской государственной библиотеки (РГБ) [Электронный ресурс]. – <a href="http://www.aleph.rsl.ru">http://www.aleph.rsl.ru</a> (Ссылки на внешний сайт.)Ссылки на внешний сайт..

#### 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus
Читальный зал №3 (Б)		комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink B7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus

#### 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Изучаемая дисциплина содержит материал, необходимый для получения представления об основах термодинамики неравновесных систем, диссипативных структурах, методах поиска устойчивости при решении нелинейных неравновесных задач. Данные, лежащие в основе курса, быстрыми темпами пополняются, поэтому студенты должны внимательно относиться к лекционным занятиям, которые могут содержать информацию, не представленную в рекомендованной литературе и учебных пособиях.

Учебным планом специальности по данной дисциплине не предусмотрены консультации. Поэтому следует обращать внимание студентов на детальное конспектирование лекционного материала. Следует выделять особенно важные смысловые фрагменты и обращать на них внимание слушателей, как во время лекций, так и в ходе практических занятий. Практические занятия призваны для освоения не рассмотренных до прослушивания данной дисциплины методов анализа сложных неравновесных систем на устойчивость, Это может вызывать у студентов, пропускающих лекционные или практические занятия, определенные трудности при выполнении контрольных мероприятий. Особенно важно тщательно относиться к выполнению заданий преподавателя и самостоятельному разбору теоретических и практических вопросов по ходу курса.

При необходимости возможно проведения дополнительных консультаций по неясным вопросам.