

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович
Должность: Проректор по учебной и методической работе
Дата подписания: 29.09.2023 09:45:53
Уникальный программный ключ:
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)»
(СПбГТИ(ТУ))**

УТВЕРЖДАЮ

**Проректор по учебной и
методической работе**

Б. В. Пекаревский

« 26 » апреля 2019 года

**Рабочая программа дисциплины
НЕРАВНОВЕСНАЯ ТЕРМОДИНАМИКА**

Направление подготовки

04.04.01 Химия

Направленности программы магистратуры

Физическая химия и химия твердого тела

Квалификация

Магистр

Форма обучения

Очная

Факультет **информационных технологий и управления**

Кафедра **математики**

Санкт-Петербург

2019

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
Разработчик		д.ф.-м.н. А. А. Груздков

Рабочая программа дисциплины «Неравновесная термодинамика» обсуждена на заседании кафедры математики

Протокол от « » 2019 №

Заведующий кафедрой

А. А. Груздков

Одобрено учебно-методической комиссией факультета информационных технологий и управления

протокол от « » 2019 №

Председатель

В. В. Куркина

СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления подготовки «Химия»		С. Г. Изотова
Директор библиотеки		Т. Н. Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		Т. И. Богданова
Начальник УМУ		С. Н. Денисенко

СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы	Ошибка! Закладка не определена.
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы	5
3. Объем дисциплины	6
4. Содержание дисциплины	6
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий	6
4.2. Занятия лекционного типа	7
4.3 Занятия семинарского типа	8
4.4. Самостоятельная работа обучающихся	9
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	10
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации	10
7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	11
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины	11
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины	11
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	12
10.1. Информационные технологии	12
10.2. Программное обеспечение	12
10.3. Базы данных и информационные справочные системы	12
11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	12
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья	12
Фонд оценочных средств	13

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения (дескрипторы)
<p>ПК-1 Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках</p>	<p>ПК-1.В.03.1 Применение аппарата линейной и нелинейной неравновесной термодинамики.</p>	<p>Знать: основные положения и принципы неравновесной термодинамики (ЗН-1); соотношения и область применимости линейной неравновесной термодинамики (ЗН-2); критерии устойчивости стационарных состояний термодинамических систем (ЗН-3). Уметь: рассчитывать производство энтропии в неравновесных процессах (У-1); находить границы устойчивости стационарных состояний термодинамических систем (У-2). Владеть: терминологией, применяемой в области неравновесной термодинамики (Н-1).</p>

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы¹

Дисциплина относится к обязательным дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений. Код дисциплины по учебному плану Б1.В.03. Дисциплина изучается на 1 курсе в 1-ом семестре.

В методическом плане дисциплина опирается на знания в области физики, физической химии, математики, полученные при обучении по программам бакалавриата.

Полученные в процессе изучения дисциплины «Неравновесная термодинамика» знания, умения и навыки могут быть использованы при изучении дисциплин «Физико-химические процессы образования новой фазы», «Термодинамика и кинетика электрохимических процессов», «Высокотемпературные химические процессы», «Химические и фазовые равновесия в многокомпонентных системах», а также в научно-исследовательской работе и при выполнении выпускной квалификационной работы.

¹ Место дисциплины будет учитываться при заполнении таблицы 1 в Приложении 1 (Фонд оценочных средств)

3. Объем дисциплины

Вид учебной работы	Всего, академических часов
	Очная форма обучения
Общая трудоемкость дисциплины (зачетных единиц/ академических часов)	5/180
Контактная работа с преподавателем:	68
занятия лекционного типа	32
занятия семинарского типа, в т.ч.	32
семинары, практические занятия	32
лабораторные работы	
курсовое проектирование (КР или КП)	..
КСР	4
другие виды контактной работы	..
Самостоятельная работа	85
Контроль	27
Форма текущего контроля (Кр, реферат, РГР, эссе)	РГР
Форма промежуточной аттестации (КР, КП, зачет, экзамен)	Экзамен

4. Содержание дисциплины

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, акад. часы	Занятия семинарского типа, академ. часы		Самостоятельная работа, акад. часы	Формируемые компетенции/индикаторов
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы		
1.	Основные понятия и положения термодинамики	8	10		25	ПК-1 ПК- 1.В.03.1
2.	Формализм линейной неравновесной термодинамики	16	14		30	ПК-1 ПК- 1.В.03.1
3.	Термодинамические системы далёкие от равновесия	8	8		30	ПК-1 ПК-

						1.В.03.1
	ИТОГО	32	32		85	

4.2. Занятия лекционного типа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	Введение. Неравновесная термодинамика и ее место в системе естественных наук. История развития неравновесной термодинамики. Классическая и неравновесная термодинамика. Возможность термодинамического описания реальных процессов. Значение неравновесной термодинамики для формирования естественнонаучного мировоззрения. Понятия термодинамической системы и её состояния. Классификация термодинамических систем и их состояний. Концепция локального равновесия.	2	
1	Экстенсивные и интенсивные характеристики, их задание. Общий вид законов сохранения. Сохранение массы, уравнение неразрывности. Потенциальная и кинетическая энергия, понятие внутренней энергии. Первое начало термодинамики и его формулировка для открытых систем.	4	
1	Второе начало термодинамики, его формулировка для открытых систем. Баланс энтропии. Производство энтропии. Термодинамические силы и термодинамические потоки. Независимость производства энтропии от способа описания химических реакций.	2	
2	Формализм линейной неравновесной термодинамики. Примеры линейных законов. Феноменологические коэффициенты, ограничения на них, вытекающие из второго начала термодинамики. Закон взаимности Онсагера. Тензорная размерность потока. Принцип Кюри и его следствия для линейной неравновесной термодинамики.	4	
2	Последовательно протекающие химические реакции, проверка соотношений взаимности. Феноменологические коэффициенты для изотермической диффузии.	4	
2	Перекрёстное влияние термодинамических процессов. Эффект Соре, эффект Дюффюра. Теплопроводность в кристаллах.	2	
2	Понятие стационарного неравновесного состояния. Стационарное состояние теплопроводности. Стационарное состояние для последовательно протекающих химических реакций.	2	

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
2	Принцип минимума производства энтропии. Устойчивость стационарных состояний в случае линейной неравновесной термодинамики, связь с устойчивостью равновесных состояний.	4	
3	Область применимости линейной неравновесной термодинамики. Условие стационарности в нелинейной термодинамике. Оценка устойчивости стационарного состояния по линейному приближению, применение к химическим реакциям.	2	
3	Условие устойчивости Ляпунова. Вторая вариация энтропии, как функция Ляпунова. Применение к химическим реакциям.	2	
3	Потеря устойчивости стационарного состояния. Понятие бифуркации, пример. Колебательные химические реакции. Понятие диссипативных структур.	4	
	Итого	32	

4.3 Занятия семинарского типа

4.3.1. Семинары, практические занятия

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	Математический аппарат неравновесной термодинамики. Важнейшие формулы математического анализа. Понятие потока векторного поля. Формула Остроградского-Гаусса.	2	
1	Внутренние и внешние термодинамические параметры. Изолированные, закрытые, открытые термодинамические системы, примеры. Понятие фазы и компоненты. Гомогенные и гетерогенные системы, примеры.	2	Групповая дискуссия
1	Сохранение массы в закрытых многокомпонентных системах с учётом химических реакций. Случай нескольких одновременно протекающих реакций. Сохранение массы в открытых системах.	2	
1	Связь потока среды с потоками отдельных компонент, конвективный и диффузионный член. Термодинамические потенциалы.	2	
1	Производство энтропии при передаче тепла между фазами. Производство энтропии в химических реакциях. Связь химического потенциала с термодинамическими потенциалами.	2	
2	Производство энтропии в необратимых процессах. Термодинамические силы и термодинамические потоки. Независимость производства энтропии от способа описания химических реакций.	2	
2	Линейная связь между термодинамическими силами и	2	Мозговой

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	потоками. Примеры. Феноменологические коэффициенты, ограничения на их значения. Соотношения взаимности Онсагера. Применение принципа Кюри.		штурм
2	Законы Фурье и Фика. Уравнения теплопроводности и диффузии. Теплопроводность в анизотропных средах.	2	
2	Стационарные состояния для одномерного уравнения теплопроводности, их термодинамический смысл. Баланс энтропии при одномерном потоке тепла.	2	
2	Проверка соотношений взаимности для последовательно протекающих химических реакций. Эффективная скорость реакции.	2	
2	Принцип минимума производства, его применение к определению стационарного состояния открытых химических систем.	2	
2	Устойчивость стационарного состояния в рамках линейной неравновесной термодинамики.	2	
3	Границы применимости линейной неравновесной термодинамики для химических реакций. Нелинейная неравновесная термодинамика. Условие стационарности в нелинейной термодинамике.	2	
3	Оценка устойчивости стационарного состояния открытой химической системы по линейному приближению.	2	
3	Применение второй вариации энтропии для оценки устойчивости стационарного состояния открытых химических систем.	2	
3	Термодинамические системы за порогом устойчивости.	2	Разбор конкретных ситуаций
Итого		32	

4.3.2. Лабораторные занятия

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад.	Примечание
	не предусмотрены		

4.4. Самостоятельная работа обучающихся

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
1	Основные типы термодинамических систем. Производство энтропии в различных термодинамических процессах.	25	Вопросы к экзамену №№ 1-10

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
2	Применение формализма Онсагера к описанию различных процессов. Эффекты Соре и Дюфура, их применение в технологических процессах.	30	РГР, вопросы к экзамену №№ 11-25
3	Диссипативные структуры. «Брюсселятор», реакция Белоусова-Жаботинского.	30	РГР, вопросы к экзамену №№ 26-32
Итого		85	

5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте Медиа: <http://media.technolog.edu.ru>

6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Своевременное выполнение обучающимся мероприятий текущего контроля позволяет превысить (достигнуть) пороговый уровень («удовлетворительно») освоения предусмотренных элементов компетенций.

Результаты дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций превышен (достигнут) пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена. К сдаче экзамена допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля.

Экзамен предусматривают выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и комплектуются вопросами (заданиями) двух видов: теоретический вопрос (для проверки знаний) и комплексная задача (для проверки умений и навыков).

При сдаче экзамена, студент получает два вопроса из перечня вопросов и одно практическое задание, время подготовки студента к устному ответу — до 45 мин.

Результаты освоения дисциплины считаются достигнутыми, если для всех индикаторов компетенций достигнут пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе — оценка «удовлетворительно».

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1.

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

а) печатные издания:

1. Базаров, И. П. Термодинамика: учебник / И. П. Базаров. — СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2010. — 376 с.
2. Сергеева, Н. М. Самоорганизация в физико-химических системах: учебное пособие / Н. М. Сергеева, В. Г. Корсаков; под ред. Г. А. Скоробогатова. — СПбГТИ(ТУ). Каф. хим. нанотехнологии и материалов электронной техники. — СПб.: — 2011. — 158 с.
3. Практикум по физической химии. Физические методы исследования: учебное пособие для вузов по направлению «Химия» и спец. «Химия» / Е. П. Агеев и др.; под ред. М. Я. Мельникова и др. — М.: Академия, 2014. — 528 с.

б) электронные учебные издания:

1. Афанасьев, Б. Н. Физическая химия: Учебное пособие для вузов по направлениям "Химическая технология", "Биотехнология" и "Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии" / Б. Н. Афанасьев, Ю. П. Акулова. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 464 с.
2. Морачевский, А. Г. Физическая химия. Термодинамика химических реакций: учебное пособие для вузов по направлению подготовки магистров «Техническая физика» / А. Г. Морачевский, Е. Г. Фирсова. — СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2015. — 112 с.
3. Буданов, В. В. Химическая термодинамика: Учебное пособие для вузов по направлению "Химическая технология и биотехнология" и химико-технологическим направлениям подготовки дипломированных специалистов / В. В. Буданов, А. И. Максимов. — Санкт-Петербург: Лань. — 2021. — 320 с.

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

учебный план, РПД и учебно-методические материалы: <http://media.technolog.edu.ru>
электронно-библиотечные системы:

- «Электронный читальный зал – БиблиоТех» <https://technolog.bibliotech.ru/>;
«Лань» <https://e.lanbook.com/books/>.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Все виды занятий по дисциплине «Неравновесная термодинамика» проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП:

СТП СПбГТИ 040-02. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования;

СТО СПбГТИ 018-2014. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Семинары и практические занятия. Общие требования к организации и проведению.

СТП СПбГТИ 048-2009. КС УКВД. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению.

СТП СПбГТИ 016-2015. КС УКВД. Порядок проведения зачетов и экзаменов.

Планирование времени, необходимого на изучение данной дисциплины, лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала.

Основными условиями правильной организации учебного процесса для студентов является:

плановость в организации учебной работы;
серьезное отношение к изучению материала;
постоянный самоконтроль.

На занятия студент должен приходить, имея багаж знаний и вопросов по уже изученному материалу.

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

10.1. Информационные технологии

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий:

чтение лекций с использованием слайд-презентаций;

взаимодействие с обучающимися посредством электронно-информационной образовательной среды.

10.2. Программное обеспечение

При выполнении РГР студенты используют пакет прикладных программ Mathcad.

10.3. Базы данных и информационные справочные системы

wolframalpha.com/examples/mathematics

11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для ведения лекционных и практических занятий используются аудитории кафедры математики.

При изучении соответствующих разделов курса используется компьютерный класс, оборудованный 16 персональными компьютерами, объединенными в сеть.

12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями учебные процесс осуществляется в соответствии с Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья СПбГТИ(ТУ), утвержденным ректором 28.08.2014 г.

Фонд оценочных средств
для проведения промежуточной аттестации по
дисциплине «Неравновесная термодинамика»

1. Перечень компетенций и этапов их формирования.

Компетенции		
Индекс	Формулировка²	Этап формирования³
ПК-1	Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках	начальный

² **жирным шрифтом** выделена та часть компетенции, которая формируется в ходе изучения данной дисциплины (если компетенция осваивается полностью, то фрагменты)

³ этап формирования компетенции выбирается по п.2 РПД и учебному плану (начальный – если нет предшествующих дисциплин, итоговый – если нет последующих дисциплин (или компетенция не формируется в ходе практики или ГИА), промежуточный - все другие.)

2. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
ПК-1.В.03.1 Применение аппарата линейной и нелинейной неравновесной термодинамики.	Знает основные положения и принципы неравновесной термодинамики (ЗН-1);	Ответы на вопросы №№ 1--10, 19, 31, 32 к экзамену.	Разъясняет суть основных понятий и принципов термодинамики, допуская ошибки. Затрудняется с разбором конкретных примеров.	Допускает отдельные неточности в формулировках принципов термодинамики и записи основных законов. Не всегда приводит корректные примеры.	Разъясняет суть основных понятий термодинамики и формулирует основные принципы, правильно выписывая математические соотношения и приводя примеры.
	Знает соотношения и область применимости линейной неравновесной термодинамики (ЗН-2);	Ответы на вопросы №№ 11-26 к экзамену.	Допускает ошибки в формулировках принципов линейной неравновесной термодинамики, затрудняется с разбором конкретных примеров.	Знает и может применять основные соотношения линейной неравновесной термодинамики, допуская незначительные ошибки и неточности.	Знает и может применять основные соотношения линейной неравновесной термодинамики, корректно обосновывая полученные результаты.
	Знает критерии устойчивости стационарных состояний термодинамических систем (ЗН-3).	Ответы на вопросы №№ 27-31 к экзамену.	Знает суть понятия устойчивости стационарного состояния, делая существенные ошибки в формулировках условий устойчивости. Затрудняется с их обоснованием.	Умеет разъяснять суть понятия устойчивости стационарного состояния и верно формулировать условия их устойчивости, допуская неточности в формулировках и в обосновании.	Умеет разъяснять суть понятия устойчивости стационарного состояния и верно формулировать условия их устойчивости, давая подробные обоснования.

Умеет рассчитывать производство энтропии в неравновесных процессах (У-1);	Ответы на вопросы №№ 21-24 к экзамену.	Умеет рассчитывать производство энтропии в необратимых процессах, допуская ошибки.	Умеет составлять баланс энтропии при анализе химических реакций, теплопроводности, диффузии. Допускает неточности и отдельные ошибки в обосновании.	Умеет составлять баланс энтропии при анализе химических реакций, теплопроводности, диффузии. Даёт подробные обоснования.
Умеет находить границы устойчивости стационарных состояний термодинамических систем (У-2).	Ответы на вопросы №№ 28-31 к экзамену.	При определении границ устойчивости стационарных состояний делает ошибки, затрудняется с обоснованием.	При применении условий устойчивости к оценке диапазона устойчивости стационарных состояний допускает неточности и ошибки в обосновании.	Применяет условия устойчивости стационарных состояний для определения критических значений параметров. Дает верные обоснования результатов.
Владеет терминологией, применяемой в области неравновесной термодинамики (Н-1).	Ответы на вопросы №№ 1, 2, 8, 9, 14, 19, 26, 31, 32 к экзамену	Знает только приблизительный смысл, используемых терминов. Допускает путаницу и смешение понятий.	Допускает существенные неточности при использовании терминологии, применяемой в неравновесной термодинамике.	Корректно применяет терминологию, умея подробно разъяснять суть понятий и приводить примеры.

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ):

по дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме экзамена, шкала оценивания – балльная.

3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации

3.1 Вопросы к экзамену

1. Понятие термодинамической системы. Открытые, закрытые, изолированные термодинамические системы. Понятие равновесного, неравновесного, стационарного термодинамического состояния. Время релаксации. Гипотеза локального равновесия.
2. Интенсивные и экстенсивные термодинамические характеристики, их задание в неравновесной термодинамике. Примеры.
3. Статистический смысл основных термодинамических характеристик (температура, энтропия, давление).
4. Общий вид законов сохранения в неравновесной термодинамике.
5. Закон сохранения массы в открытых системах. Сохранение массы в многокомпонентной среде.
6. Первое начало термодинамики. Формулировка для случая открытых систем.
7. Энтропия. Второе начало термодинамики. Формулировка для открытых систем. Производство энтропии.
8. Термодинамические силы и термодинамические потоки. Примеры: передача тепла, перенос вещества.
9. Степень полноты химической реакции. Понятие скорости химической реакции. Химическое сродство (формулировка Де Донде).
10. Связь химического сродства с термодинамическими потенциалами. Выражение для химического сродства для случая идеальных систем.
11. Линейная неравновесная термодинамика, область её применимости. Формализм Онсагера. Феноменологические коэффициенты. Соотношения взаимности Онсагера.
12. Закон Фурье. Вывод уравнения теплопроводности.
13. Закон Фика. Вывод уравнения диффузии.
14. Понятие тензорной размерности потоков. Примеры. Принцип симметрии Кюри. Пример применения принципа Кюри.
15. Примеры перекрёстного влияния термодинамических процессов. Эффект Соре. Эффект Дюфура.
16. Теплопроводность в анизотропной среде.
17. Проверка соотношений взаимности для случая последовательно протекающих химических реакций. Эффективная скорость реакции.
18. Феноменологические коэффициенты для изотермической диффузии (случай двух- и трёхкомпонентной смеси).
19. Понятие стационарного неравновесного состояния.
20. Стационарный поток тепла (одномерный случай). Баланс энтропии при стационарном потоке тепла.
21. Открытые химические системы: стационарное состояние, баланс энтропии.
22. Теорема Пригожина (о минимуме производства энтропии).
23. Вывод условия стационарности состояния открытой химической системы из принципа минимума производства энтропии для двух последовательных реакций.
24. Стационарное состояние теплопроводности. Вывод условия стационарности из

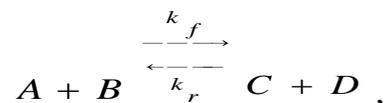
принципа минимума производства энтропии.

25. Устойчивость стационарного состояния в рамках линейной неравновесной термодинамики. Связь с устойчивостью равновесного состояния.
26. Нелинейная неравновесная термодинамика. Основные понятия.
27. Условие стационарности состояния в нелинейной неравновесной термодинамике (теорема Пригожина).
28. Устойчивость стационарного состояния. Условие Ляпунова. Вторая вариация энтропии, как функционал Ляпунова.
29. Применение условия устойчивости стационарного состояния Ляпунова к химическим реакциям.
30. Анализ устойчивости по линейному приближению. Применение к химическим реакциям.
31. Потеря устойчивости стационарного состояния. Понятие бифуркации, простейший пример бифуркации системы.
32. Понятие диссипативных структур. Пример колебательных химических реакций.

К экзамену допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. При сдаче экзамена, студент получает два вопроса из перечня, приведенного выше, и задание аналогичное заданиям расчётно-графической работы. Время подготовки студента к устному ответу на вопросы - до 45 мин.

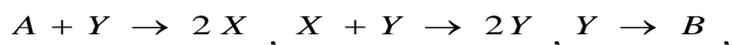
3.2 Содержание расчётно-графической работы (типовой вариант)

1. Для реакции, протекающей по схеме



составьте выражение для избыточного производства энтропии.

2. Запишите кинетические соотношения для [X] и [Y] для реакций, протекающих по схеме



предполагая, что [A] и [B] поддерживаются постоянными. Найдите стационарные состояния и исследуйте их устойчивость в зависимости от значений [A] и [B].

4. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями СПб

СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. КС УКВД. Порядок проведения зачетов и экзаменов.