

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
физической химии



А.В. Введенский  
04.06.2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ДВ.01.02 Основы термодинамики**  
**необратимых процессов**

1. Шифр и наименование направления подготовки: 04.05.01  
Фундаментальная и прикладная химия
2. Профиль подготовки/специализации: без специализации
3. Квалификация (степень) выпускника: специалист
4. Форма образования: очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: физической химии
6. Составители программы: Зарцын Илья Давидович, д.х.н., проф.
7. Рекомендована: НМС химического факультета от 24.05.18, протокол № 5
8. Учебный год: 2020 / 2021 **Семестр 5**

**9. Цели и задачи учебной дисциплины:** Обучить студентов основным положениям термодинамики необратимых процессов, расширить их возможности в применении термодинамических методов к описанию неравновесных систем, необратимых физико-химических и химико-технологических процессов.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:**

Вариативная часть блока. Обязательная дисциплина. Вариативная часть.

**11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):**

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ОПК-1	Способность воспринимать, развивать и использовать теоретические основы традиционных и новых разделов химии при решении профессиональных задач	<b>знать:</b> принципы термодинамики необратимых процессов; <b>уметь:</b> оценивать возможность реализации определенного типа химических процессов; <b>иметь навыки:</b> основных расчетных термодинамики необратимых процессов применительно к химическим процессам.
ПК-3	Владение системой фундаментальных химических понятий и методологических аспектов химии, формами и методами научного познания	<b>знать:</b> законы термодинамики необратимых процессов <b>уметь:</b> применять фундаментальные соотношения физической химии на практике <b>иметь навыки:</b> интерпретации экспериментальных данных в рамках изученных теоретических моделей

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час в соответствии с учебным планом — 2/72. Форма промежуточной аттестации (зачет/экзамен) – зачет.**

**13. Виды учебной работы**

Вид учебной работы	Трудоемкость (часы)			
	Всего	По семестрам		
		Сем. 5		.....
Аудиторные занятия	50	50		
в том числе: лекции	16	16		
практические	34	34		
лабораторные	-	-		
Самостоятельная работа	22	22		
Форма промежуточной аттестации (зачет – 0 час. / экзамен – 0 час.)	0	0		
Итого:	72	72		

**13.1. Содержание дисциплины**

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>1. Лекции</b>		
1.1	Обоснование применения термодинамики к необратимым процессам и неравновесным системам.	Введение. Обоснование применения термодинамического метода к неравновесным процессам и системам.
1.2	Методология термодинамики необратимых процессов.	Методология термодинамики необратимых процессов, основанной на гипотезе локального равновесия. Законы сохранения массы, энергии, уравнение баланса энтропии. Диссипативная функция.
1.3	Гомогенные системы. Химическое сродство. Сопряженные химические реакции	Производство энтропии в гомогенных системах и термодинамические потенциалы. Координата химической реакции. Химическое сродство.

1.4	Гетерогенные системы. Электрокинетические явления, мембранные процессы в изотермических и неизотермических системах, термомеханические явления, термоосмос.	Определение гетерогенных систем. Законы сохранения массы и энергии в гетерогенных системах. Неопределенность понятия «теплота» для открытых систем. Различные способы определения теплоты для открытых систем. Баланс энтропии для гетерогенных систем. Поток энтропии и производство энтропии. Диссипативная функция для гетерогенной системы. Термодинамические силы и потоки. Различные типы гетерогенных систем.
1.5	Термодинамика стационарных состояний.	Общий подход к описанию стационарных состояний в термодинамике необратимых процессов. Теорема о минимуме производства энтропии в стационарном состоянии.
1.6	Непрерывные системы. Общий вид законов сохранения. Термодинамическое описание процессов в непрерывных системах.	Непрерывные системы. Общий вид законов сохранения. Дивергенция, градиент. Уравнение баланса энтропии в непрерывных системах.
1.7	Обоснование применения термодинамики к необратимым процессам и неравновесным системам.	Гипотеза локального равновесия, расширенная (локально-неравновесная) необратимая термодинамика. Поток энтропии и производство энтропии.
1.8	Методология термодинамики необратимых процессов.	Термодинамические силы и потоки. Число степеней свободы системы в неравновесном состоянии.
1.9	Гомогенные системы. Химическое сродство. Сопряженные химические реакции	Сопряженные химические реакции, термодинамическое сопряжение и химическая индукция, линейные феноменологические соотношения для сопряженных реакций. Кинетическая трактовка химического сродства. Соотношение Марселина-Де-Донде.
1.10	Гетерогенные системы. Электрокинетические явления, мембранные процессы в изотермических и неизотермических системах, термомеханические явления, термоосмос.	Преобразование диссипативной функции для состояния близкого к равновесию. Электрокинетические явления. Диссипативная функция. Линейные феноменологические соотношения. Стационарное состояние. Соотношения взаимности Онсагера. Перекрестные эффекты. Гетерогенные системы с переносом электричества. Мембранный потенциал, обобщенные числа переноса Гетерогенные системы в неизотермических условиях. Термоосмос. Термомеханические явления.
1.11	Термодинамика стационарных состояний.	Потенциал рассеяния. Обобщение ранее изученных перекрестных явлений в рамках единого формализма термодинамики необратимых процессов.
1.12	Непрерывные системы. Общий вид законов сохранения. Термодинамическое описание процессов в непрерывных системах.	Термодинамические силы и потоки. Диффузия. Термоэлектрические явления. Эффекты Зеебека и Пельтье. Термодиффузия. Эффекты Соре и Дюфура. Разделение изотопов

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)				Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1	Обоснование применения термодинамики к необратимым процессам и неравновесным системам.	2	4		4	8
2	Методология термодинамики необратимых процессов.	2	4		4	8
3	Гомогенные системы. Химическое сродство.	4	8		4	10

	Сопряженные химические реакции					
4	Гетерогенные системы. Электрокинетические явления, мембранные процессы в изотермических и неизотермических системах, термомеханические явления, термоосмос.	4	8		4	12
5	Термодинамика стационарных состояний.	2	6		4	12
6	Непрерывные системы. Общий вид законов сохранения. Термодинамическое описание процессов в непрерывных системах.	2	4		2	6
	Итого:	16	34	-	22	72

#### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Работа с конспектами лекций, выполнение практических заданий, заданий текущей аттестации.

#### 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Пармон В.Н. Термодинамика неравновесных процессов для химиков. Приложения к химической кинетике, катализу, материаловедению и биологии / В.Н. Пармон - М.: Издательский дом «Интеллект», 2014. - 472 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
2	Пригожин И. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур/ И. Пригожин, Д. Канделуди, - М.: Мир, 2002.- 451 с.
3	Бажин Н.М. Термодинамика для химиков / Н.М. Бажин, В.А.Иванченко, В.Н.Пармон. – М.: Химия, 2004.- 415 с.
4	Агеев Е.П. Неравновесная термодинамика в вопросах и ответах / Е.П. Агеев.-М.: УРСС, 2001.- 135 с.
5	Гленсдорф П. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций/ П. Гленсдорф, И.Пригожин.-М.:Москва. УРСС, 2003.-273 с.
6	Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах. Введение в теорию диссипативных структур / В.Эбелинг. - М.:Москва - Ижевск, 1979. - 253 с.
7	Хаазе Р. Термодинамика необратимых процессов. / Р.Хаазе. - М.: Мир, 1967.- 534 с.
8	Анищенко В.С. Знакомство с нелинейной динамикой /В.С. Анищенко. - М. : Москва - Ижевск,2002.-142 с.
9	Трубецков Д.И. Введение в синергетику. Хаос и структуры / Д.И. Трубецков.- М.:УРСС,2004. – 232 с.
10	Николис Г. Познание сложного / Г.Николис, И. Пригожин.- М.:Мир,1990.-342 с.
11	Путь в синергетику/ П.Б. Безручко [и др.] - М.:УРСС, 2005.- 303 с.
12	Данилов Ю.А. Лекции по нелинейной динамике / Ю.А.Данилов - М.:Постмаркет,2001.-187с.
13	Справочник по электрохимии / под ред. А.М. Сухотина. — Л. : Химия : Ленингр. отд-ние, 1981. — 486 с.

в)информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Источник
15	Научная электронная библиотека — < <a href="http://www.elibrary.ru">http://www.elibrary.ru</a> >
16	Электронная библиотека Воронежского государственного университета - < <a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a> >
17	Официальное электронное издание Химического факультета МГУ в Интернет - < <a href="http://www.chemnet.ru">http://www.chemnet.ru</a> >

**16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ и др.)**

№ п/п	Источник
1	Сборник примеров и задач по электрохимии : учеб. пособие /сост.: А.В. Введенский [и др.] - Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2010.

**17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)**

**18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Ноутбук , on-line-проектор, лекционная аудитория

**19. Фонд оценочных средств:**

**19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения**

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС (средства оценивания)
ОПК-1 Способность воспринимать, развивать и использовать теоретические основы традиционных и новых разделов химии при решении профессиональных задач	<b>знать:</b> принципы термодинамики необратимых процессов;	1, 2, 5	Контрольная работа
	<b>уметь:</b> оценивать возможность реализации определенного типа химических процессов;	3, 4	
	<b>иметь навыки:</b> основных расчетных термодинамики необратимых процессов применительно к химическим процессам.	6	
ПК-3 Владение системой фундаментальных химических понятий и методологических аспектов химии, формами и методами научного познания	<b>Знать:</b> законы термодинамики необратимых процессов	1, 2, 5	
	<b>Уметь:</b> применять фундаментальные соотношения физической химии на практике	3, 4	
	<b>Иметь навыки:</b> интерпретации экспериментальных данных в рамках изученных теоретических моделей	6	
<b>Промежуточная аттестация</b>			Комплект вопросов

**19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации**

**Пример:**

Для оценивания результатов обучения на экзамене/зачете используются следующие показатели (ЗУНы из 19.1):

- 1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом;
- 2) умение связывать теорию с практикой;
- 3) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований.

Для оценивания результатов обучения на зачете используется – зачтено, не зачтено  
Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Оценка	Критерии оценок
Зачтено	Глубокие знания по всем вопросам билета. Способность находить решения нестандартных научных задач по обсуждаемой проблеме. Понимание сути основных проблем курса. Обоснование ответов.
Незачтено	Отрывочные знания материала. Слабое владение математическим аппаратом. Неумение применять полученные знания к анализу конкретных систем и процессов. Грубые ошибки при решении даже простых задач.

### 19.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

#### 19.3.1 Перечень вопросов к экзамену (зачету):

1. Обоснование применения термодинамического метода к неравновесным процессам и системам.
2. Законы сохранения массы, энергии, уравнение баланса энтропии. Диссипативная функция.
3. Производство энтропии в гомогенных системах и термодинамические потенциалы. Координата химической реакции. Химическое сродство.
4. Определение гетерогенных систем. Законы сохранения массы и энергии в гетерогенных системах.
5. Неопределенность понятия «теплота» для открытых систем. Различные способы определения теплоты для открытых систем. Баланс энтропии для гетерогенных систем. Поток энтропии и производство энтропии.
6. Диссипативная функция для гетерогенной системы. Термодинамические силы и потоки. Различные типы гетерогенных систем.
7. Общий подход к описанию стационарных состояний в термодинамике необратимых процессов. Теорема о минимуме производства энтропии в стационарном состоянии.
8. Непрерывные системы. Общий вид законов сохранения. Дивергенция, градиент. Уравнение баланса энтропии в непрерывных системах.
9. Гипотеза локального равновесия, расширенная (локально-неравновесная) необратимая термодинамика. Поток энтропии и производство энтропии.
10. Термодинамические силы и потоки. Число степеней свободы системы в неравновесном состоянии.
11. Сопряженные химические реакции, термодинамическое сопряжение и химическая индукция, линейные феноменологические соотношения для сопряженных реакций.
12. Кинетическая трактовка химического сродства. Соотношение Марселина-Де-Донде.
13. Преобразование диссипативной функции для состояния близкого к равновесию. Электрокинетические явления. Диссипативная функция.
14. Линейные феноменологические соотношения. Стационарное состояние. Соотношения взаимности Онсагера. Перекрестные эффекты.
15. Перекрестные эффекты. Гетерогенные системы с переносом электричества. Мембранный потенциал, обобщенные числа переноса.
16. Гетерогенные системы в неизотермических условиях. Термоосмос. Термомеханические явления.
17. Потенциал рассеяния. Обобщение ранее изученных перекрестных явлений в рамках единого формализма термодинамики необратимых процессов.
18. Термодинамические силы и потоки. Диффузия. Термоэлектрические явления. Эффекты Зеебека и Пельтье.
19. Термодиффузия. Эффекты Соре и Дюфура. Разделение изотопов.

### 19.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме *письменной работы (контрольная)*. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний, позволяющее(ие) оценить степень сформированности умений и навыков. При оценивании используются качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.