

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

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
общей и неорганической химии  
(наименование кафедры, отвечающей за реализацию дисциплины)  
проф. Семенов В. Н.  
(подпись, расшифровка подписи)  
30.06.2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
Б1.В.ДВ.03.01 Термодинамика гетерофазных равновесий  
(код и наименование дисциплины в соответствии с учебным планом)

**1. Код и наименование направления подготовки/специальности:**

04.05.01 – Фундаментальная и прикладная химия

**2. Профиль подготовки/специализация:**

**3. Квалификация (степень) выпускника:**

специалист

**4. Форма обучения:**

очная

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:**

общей и неорганической химии

**6. Составители программы:**

Наумов Александр Владимирович, к. х. н.

(ФИО, ученая степень, ученое звание)

**7. Рекомендована:**

НМС химического факультета 17.06.2021, протокол № 5

(наименование рекомендующей структуры, дата, номер протокола)

(отметки о продлении вносятся вручную)

**8. Учебный год:** 2023/2024

**Семестр(ы):** 5

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

освещение современного состояния теории гетерогенных равновесий и учения о диаграммах состояний.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

С1.В.ДВ.3 – вариативная часть, дисциплины по выбору.

## Требования к входным знаниям:

знание общей и химической термодинамики в объеме, предусмотренной программами по физической химии; знание линейной алгебры, векторной алгебры и дифференциальной геометрии, анализа и элементов теории функций, дифференциальных уравнений в объеме, предусмотренном программой курса «Высшая математика».

## 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	
ПК-1	Способен осуществлять контроль качества сырья, компонентов и выпускаемой продукции химического назначения, проводить паспортизацию химической продукции	<b>знать:</b> основы методов качественного и химического анализа <b>уметь:</b> проводить на практике работу по анализу материалов <b>владеть:</b> навыками обработки полученных данных и составления отчетов о проделанной работе;
ПК-2	Способен выбирать технические средства и методы испытаний объектов неорганической химии для решения технологических задач поставленных специалистом более высокой квалификации	<b>знать:</b> средства и методы испытаний объектов неорганической химии <b>уметь:</b> готовить элементы документации, проекты планов и программ <b>владеть:</b> навыками планирования отдельные стадии исследования; навыками ведения документации
ПК-3	Способность применять основные естественнонаучные законы при обсуждении полученных результатов	<b>знать:</b> сущность учения о периодичности и его роль в прогнозировании свойств химических элементов и соединений; квантово-химическое строение атомов, молекул и химической связи; основные термодинамические и кинетические закономерности протекания химических реакций <b>уметь:</b> прогнозировать и описывать свойства веществ на основе закономерностей, вытекающих из Периодического закона и Периодической системы элементов. Объяснять природу химической связи, опираясь на электронное строение атомов и молекул <b>владеть:</b> основными химическими теориями, законами, концепциями о строении и реакционной способности веществ

**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		
	Всего	По семестрам	
		5 семестр	6 семестр
Аудиторные занятия	50	50	
лекции	16	16	
практические	34	34	
лабораторные			
Самостоятельная работа	22	22	
Форма промежуточной аттестации (зачет – 0 час / экзамен – ___ час)		зачет	
Итого:		72	

### 13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>1. Лекции</b>		
1.1	Введение	Понятие термодинамической системы. Понятие состояния системы. Термодинамические степени свободы
1.2	Аддитивность термодинамических систем и уравнения Гиббса–Дюгема	Постулат аддитивности. Интенсивные и экстенсивные величины. Теорема о линейной однородности характеристических функций. Уравнения Гиббса–Дюгема. Теорема об интенсивности обобщенных сил. Обобщенные силы как система зависимых функций
1.3	Системы с переменным числом частиц. Гомогенное равновесие	Понятие компонента. Химический потенциал. Основания стехиометрии. Независимые компоненты. Необходимое условие равновесия. Закон Гульдберга и Вааге. Достаточное условие равновесия. Устойчивость
1.4	Парциальные молярные функции	Базис независимых компонентов. Пространство составов. Аппарат парциальных молярных функций. Определение парциальных молярных функций по Льюису. Представление химического потенциала. Некоторые конкретные представления
1.5	Гетерогенное равновесие	Необходимые условия гетерогенного равновесия. Понятие фазы по Гиббсу. Структура состояний гетерогенной системы. Понятие фазы по Ван-дер-Ваальсу–Сторонкину, уравнение фазы. Устойчивость состояний. Сосуществующие состояния. Равновесие в окрестности чистого компонента. Задача локальной формулировки термодинамических уравнений для сосуществующих состояний. Уравнение Сторонкина–Ван-дер-Ваальса
1.6	Учение о диаграммах состояний	Топологические структуры сосуществования фаз, строение фазовой диаграммы. Представления Курнакова. Правило фаз Гиббса и теорема Дюгема. Существование и сосуществование фаз в однокомпонентной системе. Существование и сосуществование фаз в бинарной системе с неограниченной растворимостью. Принципы построения проекций и сечений p-T-x-диаграмм двухкомпонентных систем. Системы с расслоением в твердом. Система с конгруэнтным соединением
<b>2. Практические занятия</b>		
2.2	Аддитивность термодинамических систем и уравнения Гиббса–Дюгема	Вывод характеристических соотношений
2.3	Системы с переменным числом частиц. Гомогенное равновесие	Решение прямой задачи равновесия для растворов
2.4	Парциальные молярные функции	Работа с пространством составов двух- и трехкомпонентных систем. Вычисление парциальных молярных функций по экспериментальным данным
2.5	Гетерогенное равновесие	Вычисление линий пара, линий ликвидуса и солидуса в двухкомпонентных системах
2.6	Учение о диаграммах состояний	Посторонние и чтение диаграмм состояний двухкомпонентных систем
<b>3. Лабораторные работы</b>		

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

№	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоят. работа	Всего
1	Введение	2			2	4
2	Аддитивность термодинамических систем и уравнения Гиббса–Дюгема	2	4		4	10
3	Системы с переменным числом частиц. Гомогенное равновесие	2	6		4	12
4	Парциальные молярные функции	4	6		4	14
5	Гетерогенное равновесие	2	8		4	14
6	Учение о диаграммах состояний	4	10		4	18
	Итого:	16	34		22	72

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

(рекомендации обучающимся по освоению дисциплины: работа с конспектами лекций, презентационным материалом, выполнение практических заданий, тестов, заданий текущей аттестации и т.д.)

Термодинамика гетерогенных равновесий является одним из элементов теоретической базы химии твердого тела и химии полупроводников. Курс термодинамики гетерогенных равновесий составляет один из предметов специализации студентов в области химических наук.

Методические материалы, доступные в локальной сети Университета (сайт библиотеки), включают в себя следующие типы материалов: учебники, учебные пособия, методические указания для студентов, в которых изучаемый материал представлен в систематизированном и структурированном виде, и которые включают в себя необходимые таблицы, схемы и материалы презентаций, с опорой на которые проводится аудиторная работа. Также в локальной сети размещены методические указания для преподавателя и указания для самопроверки. На протяжении курса студенты по инициативе лектора обсуждают в аудитории наиболее сложные вопросы и детали курса.

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

(список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Сторонкин А. В. Термодинамика гетерогенных систем. Ч. 1, 2 / А. В. Сторонкин. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1967.
2	Глазов В. М. Химическая термодинамика и фазовые равновесия / В. М. Глазов, Л.М. Павлова. – М. : Металлургия, 1988.
3	Зломанов В. П. P-T-х диаграммы двухкомпонентных систем / В. П. Зломанов. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1980.
4	Воронин Г. Ф. Основы термодинамики / Г. Ф. Воронин. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1987.
5	Петров Д. А. Двойные и тройные системы / Д. А. Петров. – М. : Металлургия, 1980.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1	Зоммерфельд А. Термодинамика и статистическая физика / А. Зоммерфельд. – М. : Изд-во иностр. лит., 1955.
2	Леонтович М. А. Введение в термодинамику / М. А. Леонтович. – М., Л. : ГИТТЛ, 1952.
3	Полтораки О. М. Термодинамика в физической химии / О. М. Полтораки. – М. : Высш. шк., 1991.
4	Донде Де Т. Термодинамическая теория сродства. Книга принципов / Т. Де Донде, П. Ван Риссельберг. – М. : Металлургия, 1984.
5	Льюис Г. Н. Химическая термодинамика / Г. Н. Льюис, М. Рендалл. – Л. : ОНТИ, 1936.
6	Гильдебранд Д. Г. Растворимость неэлектролитов / Д. Г. Гильдебранд. – М. : ГОНТИ, 1938.
7	Вагнер К. Термодинамика сплавов / К. Вагнер. – М. : Металлургиздат, 1957.

8	<b>Курнаков Н. С.</b> Введение в физикохимический анализ / Н. С. Курнаков. – Л. : ОНТИ, 1936.
9	<b>Млодзеевский А. Б.</b> Геометрическая термодинамика / А. Б. Млодзеевский. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1956.

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

№ п/п	Источник
1	lib.vsu.ru
2	http://www.elibrary.ru – Научная электронная библиотека
3	http://www.en.edu.ru – Естественнонаучный образовательный портал

\* Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы

## 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	Пункты 1 – 5 а), пункты 1 – 9 б)

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

lib.vsu.ru – Сайт библиотеки ВГУ;

http://www.elibrary.ru – Научная электронная библиотека;

http://www.en.edu.ru – Естественнонаучный образовательный портал

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

(при использовании лабораторного оборудования указывать полный перечень, при большом количестве оборудования можно вынести данный раздел в приложение к рабочей программе)

Мультимедийное оборудование для чтения лекций с использованием электронных презентаций.

## 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)
ПК-1 Способен осуществлять контроль качества сырья, компонентов и выпускаемой продукции химического назначения, проводить паспортизацию химической продукции	<b>знать:</b> основы методов качественного и химического анализа <b>уметь:</b> проводить на практике работу по анализу материалов <b>владеть:</b> навыками обработки полученных данных и составления отчетов о проделанной работе;	Темы 1–6	устный опрос
		Темы 1–6	устный опрос
		Темы 1–6	устный опрос

ПК-2 Способен выбирать технические средства и методы испытаний объектов неорганической химии для решения технологических задач, поставленных специалистом более высокой квалификации	<b>знать:</b> средства и методы испытаний объектов неорганической химии  <b>уметь:</b> готовить элементы документации, проекты планов и программ  <b>владеть:</b> навыками планирования отдельных стадий исследования; навыками ведения документации	Темы 1–6	устный опрос
		Темы 1–6	устный опрос
		Темы 1–6	устный опрос
ПК-3 Владение знаниями о составе, строении и химических свойствах простых веществ и химических соединений; иметь представление об электронном строении атомов и молекул, закономерностях химических превращений веществ	<b>знать:</b> сущность учения о периодичности и его роль в прогнозировании свойств химических элементов и соединений; квантово-химическое строение атомов, молекул и химической связи; основные термодинамические и кинетические закономерности протекания химических реакций  <b>уметь:</b> прогнозировать и описывать свойства веществ на основе закономерностей, вытекающих из Периодического закона и Периодической системы элементов. Объяснять природу химической связи, опираясь на электронное строение атомов и молекул  <b>владеть:</b> основными химическими теориями, законами, концепциями о строении и реакционной способности веществ	Темы 1–6	устный опрос
		Темы 1–6	устный опрос
		Темы 1–6	устный опрос
Промежуточная аттестация			КИМ

\* В графе «ФОС» в обязательном порядке перечисляются оценочные средства текущей и промежуточной аттестаций.

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

Для оценивания результатов обучения на зачете используются следующие показатели (ЗУНы из 19.1): владение понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способность иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач. Для оценивания результатов обучения на зачете используется – зачтено, не зачтено

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Знание основных фактов, совокупность которых дает ответ на зачетный вопрос, с доказательством теорем, выводом уравнений и т.п. и умение иллюстрировать эти факты примерами. Ответ соответствует перечисленным показателям	пороговый уровень	<i>зачтено</i>
Компетенции не освоены		<i>не зачтено</i>

## 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 зачету:

1. Термодинамическая система. Состояние системы. Термодинамические степени свободы. Системы с переменным числом частиц. Компонент. Независимые компоненты.
2. Фаза. Понятие фазы Гиббса. Понятие фазы по Ван-дер-Ваальсу, уравнение фазы.
3. Постулат аддитивности. Интенсивные и экстенсивные величины. Неаддитивность гравитирующих и заряженных систем.
4. Теорема о линейной однородности характеристических функций. Уравнения Гиббса–Дюгема.
5. Теорема об интенсивности обобщенных сил. Обобщенные силы как система зависимых функций.
6. Необходимое условие гомогенного равновесия. Формализм Де Донде. Достаточное условие равновесия. Устойчивость.
7. Химическое сродство по Де Донде. Закон Гульдберга–Вааге.
8. Зависимость сродства от температуры и давления, изобары и изотермы Вант-Гоффа. Принцип Ле Шателье–Брауна.
9. Аппарат парциальных молярных функций. Формализм смесей идеальных газов. Идеальные растворы.
10. Неидеальные растворы. Формализм Льюиса, избыточные функции Скотчарда.
11. Стандартные состояния и идеальные системы сравнения. Функции смешения.
12. Регулярные растворы. Полиномиальное представление Маргулеса. Представление Ван-Лаара.
13. Необходимые условия гетерогенного равновесия.
14. Существующие и сосуществующие состояния, общее и частное уравнения фазы по Ван-дер-Ваальсу–Сторонкину.
15. Сродство компонента к фазе. Равновесия вблизи чистого компонента. Уравнения Шредера и

Ван-Лаара.

16. Задача локальной формулировки термодинамических уравнений для сосуществующих состояний. Уравнение Ван-дер-Ваальса.

17. Правило фаз Гиббса и правило Дюгема.

18. Бинарная система с неограниченной растворимостью.

19. Системы с расслоением в твердом. Эв- и перитектические системы.

20. Система с конгруэнтным соединением, p-T-x-диаграмма состояний.

**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: устного опроса (фронтальная беседа). 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 и практическое задание, позволяющее оценить степень сформированности умений и навыков.

При оценивании используются качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.