

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*  
**Семенов В. Н.**  
*подпись, расшифровка подписи*  
24.09.2020г.

**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: Фундаментальная химия в профессиональном образовании**

**3. Квалификация выпускника: Специалист**

**4. Форма обучения: Очная**

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: общей и неорганической химии**

**6. Составители программы: к. х. н. Наумов А. В.**

*(ФИО, ученая степень, ученое звание)*

**7. Рекомендована:**

Научно-методическим советом химического факультета 19.03.2020,  
протокол № 3

*(наименование рекомендующей структуры, дата, номер протокола,*

---

*отметки о продлении вносятся вручную)*

**8. Учебный год: 2022/2023**

**Семестр(ы): 5**

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

*Целями освоения учебной дисциплины являются:*

освещение современного состояния теории гетерогенных равновесий и учения о диаграммах состояний

*Задачи учебной дисциплины:*

рассмотрение термодинамической теории гетерогенных равновесий и ее применение к построению и анализу диаграмм состояний

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: Б1.В.ДВ.03.01

## 11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПКВ-1	Способен проводить сбор, систематизацию и критический анализ научной, технической и патентной информации, необходимой для решения исследовательских задач химической направленности.		ПКВ-1.1 ПКВ-1.2	<p><b>Знать:</b> Как проводить сбор, систематизацию и критический анализ научной, технической и патентной информации, необходимой для решения исследовательских задач химической направленности.</p> <p><b>Уметь:</b> Проводить сбор, систематизацию и критический анализ научной, технической и патентной информации, необходимой для решения исследовательских задач химической направленности.</p> <p><b>Владеть:</b> Сбором, систематизацией и критическим анализом научной, технической и патентной информации, необходимой для решения исследовательских задач химической направленности.</p>
ПКВ-2	Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в области аналитической, физической, неорганической, органической и полимерной химии.		ПКВ-2.1 ПКВ-2.2	<p><b>Знать:</b> Как планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в области аналитической, физической, неорганической, органической и полимерной химии.</p> <p><b>Уметь:</b> Планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в области аналитической, физической, неорганической, органической и полимерной химии.</p> <p><b>Владеть:</b> Планированием работы и выбором адекватных методов решения научно-исследовательских задач в области аналитической, физической, неорганической, органической и полимерной химии.</p>
ПКВ-3	Способен на основе критического анализа результатов НИР и НИОКР оценивать перспективы их практического применения и продолжения работ		ПКВ-3.1 ПКВ-3.2	<p><b>Знать:</b> Как на основе критического анализа результатов НИР и НИОКР оценивать перспективы их практического применения и продолжения работ в области аналитической, физической, неорганической, органической и полимерной химии.</p> <p><b>Уметь:</b> На основе критического анализа результатов НИР и НИОКР оценивать</p>

	в области аналитической, физической, неорганической, органической и полимерной химии.			<p>перспективы их практического применения и продолжения работ в области аналитической, физической, неорганической, органической и полимерной химии.</p> <p>Владеть: На основе критического анализа результатов НИР и НИОКР оцениванием перспектив их практического применения и продолжения работ в области аналитической, физической, неорганической, органической и полимерной химии.</p>
--	---	--	--	--

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час.**(в соответствии с учебным планом) — 2/72.

**Форма промежуточной аттестации**(зачет/экзамен) зачет

### 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		№ семестра	№ семестра	...
Аудиторные занятия		5		
в том числе:	лекции	18		
	практические			
	лабораторные	36		
Самостоятельная работа		18		
в том числе: курсовая работа (проект)				
Форма промежуточной аттестации (экзамен – __ час.)				
Итого:		72		

#### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
<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 р-Т-х-диаграмм двухкомпонентных систем. Системы с расслоением в твердом. Система с конгруэнтным соединением	
<b>2. Практические занятия</b>			
<b>3. Лабораторные 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	

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

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
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

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. : Metallurgia, 1988.
3	Зломанов В. П. P-T-x 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. : Metallurgia, 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	Полторак О. М. Термодинамика в физической химии / О. М. Полторак. – М. : Высш. шк., 1991.
4	Донде Де Т. Термодинамическая теория сродства. Книга принципов / Т. Де Донде, П. Ван Риссельберг. – М. : Metallurgia, 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. : Metallurgizdat, 1957.
8	Курнаков Н. С. Введение в физикохимический анализ / Н. С. Курнаков. – Л. : ОНТИ, 1936.
9	Млодзеевский А. Б. Геометрическая термодинамика / А. Б. Млодзеевский. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1956.

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

№ п/п	Ресурс
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, онлайн-курсы, ЭУМК

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

№ п/п	Источник
1	Пункты 1 – 5 а), пункты 1 – 9 б)

**17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):**

При реализации дисциплины проводятся лекции (вводная и по разделам дисциплины), семинарские занятия (проблемные, дискуссионные и т.д.), проводится текущая аттестация, самостоятельная работа по дисциплине или отдельным ее разделам и т.д.

**18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:** Мультимедийное оборудование для чтения лекций с использованием электронных презентаций.

## 19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1	Введение	ПКВ-1 ПКВ-2 ПКВ-3	ПКВ-1.1 ПКВ-1.2 ПКВ-2.1 ПКВ-2.2 ПКВ-3.1 ПКВ-3.2	устный опрос
2	Аддитивность термодинамических систем и уравнения Гиббса–Дюгема	ПКВ-1 ПКВ-2 ПКВ-3	ПКВ-1.1 ПКВ-1.2 ПКВ-2.1 ПКВ-2.2 ПКВ-3.1 ПКВ-3.2	устный опрос
3	Системы с переменным числом частиц. Гомогенное равновесие	ПКВ-1 ПКВ-2 ПКВ-3	ПКВ-1.1 ПКВ-1.2 ПКВ-2.1 ПКВ-2.2 ПКВ-3.1 ПКВ-3.2	устный опрос
4	Парциальные молярные функции	ПКВ-1 ПКВ-2 ПКВ-3	ПКВ-1.1 ПКВ-1.2 ПКВ-2.1 ПКВ-2.2 ПКВ-3.1 ПКВ-3.2	устный опрос
5	Гетерогенное равновесие	ПКВ-1 ПКВ-2 ПКВ-3	ПКВ-1.1 ПКВ-1.2 ПКВ-2.1 ПКВ-2.2 ПКВ-3.1 ПКВ-3.2	устный опрос
6	Учение о диаграммах состояний	ПКВ-1 ПКВ-2 ПКВ-3	ПКВ-1.1 ПКВ-1.2 ПКВ-2.1 ПКВ-2.2 ПКВ-3.1 ПКВ-3.2	устный опрос
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет				<i>Перечень вопросов</i>

## 20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

### 20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

*Практикоориентированные задания/домашние задания*

*(наименование оценочного средства текущего контроля успеваемости)*

Перечень заданий, тем рефератов, тем презентаций, курсовых, докладов, лабораторных работ требования к представлению портфолио

Формулируются вариативно исходя из разделов дисциплины

Описание технологии проведения

Устный опрос

Требования к выполнению заданий (или шкалы и критерии оценивания)

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

## 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование по билетам к зачету

(наименование оценочного средства текущего контроля успеваемости)

Перечень заданий, тем рефератов, тем презентаций, курсовых, докладов, требования к представлению портфолио, вопросов к экзамену (зачету) и порядок формирования КИМ

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.

Описание технологии проведения

Устный опрос

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания

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