

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»  
Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ  
Декан химического факультета,  
Чл.-корр. РАН, профессор



/С.Н. Калмыков/

«20» мая 2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**  
**Фазовые равновесия в многокомпонентных системах**

**Уровень высшего образования:**  
Специалитет

---

**Направление подготовки (специальность):**  
04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия

**Направленность (профиль) ОПОП:**  
Химия твердого тела

**Форма обучения:**  
очная

---

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
Учебно-методической комиссией факультета  
(протокол №3 от 13.05.2019)

Москва 2019

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки / специальности 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия» (программа специалитета), утвержденного приказом МГУ от 29 декабря 2018 года № 1770 (с изменениями по приказу № 1109 от 11.09.2019).

Год (годы) приема на обучение 2019/2020

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: вариативная часть ООП, блок ПД.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников). Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП (в форме компетенция – индикатор - ЗУВ) указано в Общей характеристике ОПОП.

Компетенция	Индикатор достижения	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<b>ОПК-1.С.</b> Способен решать современные проблемы фундаментальной и прикладной химии, используя методологию научного подхода и систему фундаментальных химических понятий и законов	<b>ОПК-1.С.1.</b> Воспринимает информацию химического содержания, систематизирует и анализирует ее, оценивает актуальность и степень новизны данных	<b>Знать:</b> основные законы и закономерности, определяющие направление и результат протекания процессов в гомогенных и гетерогенных системах, способы аналитического представления этих закономерностей
<b>СПК-2.С.</b> Способен использовать теоретические основы методов физико-химического анализа и знание устройства и принципов работы соответствующих приборов (установок) для изучения строения и свойств неорганических материалов; готовность разрабатывать новые методики получения и обработки данных	<b>СПК-2.С.1.</b> грамотно выбирает методы и приборы для изучения состава, строения и свойств неорганических веществ	<b>Знать:</b> теоретические основы физико-химического анализа и используемых в нем методов. <b>Знать:</b> принципы работы и устройства приборов и установок, используемых для изучения строения и свойств твердотельных неорганических материалов.
<b>СПК-3.С.</b> Способен планировать синтез металлических сплавов и композиционных материалов с определенными эксплуатационными характеристиками на основе информации о диаграммах состояния, применять на практике современные методы получения сплавов и композитов, прогнозировать их поведение при воздействии различных эксплуатационных факторов, применять различные способы защиты металлов и сплавов от коррозионных разрушений	<b>СПК-3.С. 1.</b> Способен объяснять выбор условий синтеза металлических сплавов и композиционных материалов с определенными эксплуатационными характеристиками на основе информации о диаграммах состояния	<b>Уметь:</b> на основе информации о строении диаграмм состояния двух-, трех- и многокомпонентных систем выбирать пределы легирования и режимы термической обработки при получении композиционных материалов

3. Объем дисциплины (модуля) составляет 4 зачетных единицы, всего 144 часа, из которых 78 часов составляет контактная работа студента с преподавателем (36 часа занятия лекционного типа, 36 часов – занятия семинарского типа, 2 часа – групповые консультации, 4 часа – промежуточный контроль успеваемости), 66 часов составляет самостоятельная работа студента.

4. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.

Обучающийся должен

**Знать:** основные определения, теоремы и методы математического анализа; общие положения, законы и теории неорганической химии, физической химии, кристаллохимии, химии твердого тела.

**Уметь:** применять теоретические знания из различных областей химической науки при решении учебных и научных задач химической направленности.

**Владеть:** навыками применения теоретических основ различных разделов химии при решении химических проблем.

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п..	Всего
Тема 1. Теоретические основы физико-химического анализа	54	18	16			2	36	16		16
Тема 2. Экспериментальные методы построения фазовых диаграмм.	30	10	10				20	10		10
Тема 3. Математические и тер-	24	8	6			2	16	8		8

модинамические методы в анализе фазовых диаграмм										
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>	<b>36</b>			2		4	<b>6</b>	32		<b>32</b>
<b>Итого</b>	<b>144</b>	<b>36</b>	<b>32</b>	<b>2</b>		<b>8</b>	<b>78</b>	<b>66</b>		<b>66</b>

Содержание тем:

**Тема 1. Теоретические основы физико-химического анализа.** Диаграммы состав – свойство. Правило фаз, принципы непрерывности и соответствия. Однокомпонентные системы. Термодинамическое описание кривых испарения, возгонки, плавления. Тройная точка. Полиморфизм, энантиотропия, монотропия. Применение правила фаз к однокомпонентным системам. Основные типы диаграмм состояния двухкомпонентных систем. Правило фаз Гиббса для двухкомпонентных систем. Сингулярная точка диаграммы. Метод триангуляции. Тройные системы. Треугольник составов. Диаграммы состояния тройных систем различных типов. Изотермические и политермические разрезы. Применение правила фаз Гиббса к тройным системам Триангуляция. Симплексные треугольники. Квазибинарные разрезы. Четверные и многокомпонентные системы. Способы изображения состава четверной системы. Ортогональная и клинографическая проекции диаграммы. Построение диаграммы Левенгерца. Диаграмма Иенеке. Изотермические диаграммы растворимости. Элементы топологии многокомпонентных систем. Кинетические методы построения диаграмм фазовых равновесий. Метод диффузионных пар. Метод суперпозиции диффузионных зон. Метод гомогенизации.

**Тема 2. Экспериментальные методы построения фазовых диаграмм.** Термический и дифференциально-термический методы анализа. Определения и понятия. Микроструктурный анализ. Рентгенофазовый анализ. Примеры термограмм, дифрактограмм, микроструктуры для различных типов систем.

**Тема 3. Математические и термодинамические методы в анализе фазовых диаграмм.** Метод термодинамического расчета диаграмм состояния. Понятие о методе псевдопотенциала и его возможностях. Полуэмпирические методы оценки свойств соединений (модели Миедема, Кауфмана) и модели предсказания свойств фаз в многокомпонентных системах по данным более простых. Обзор нетермодинамических подходов построения диаграмм состояния многокомпонентных систем (эмпирические соотношения, статистическое прогнозирование). Формализация строения диаграмм состояния с помощью графов

#### 6. Образовательные технологии:

- преподавание дисциплин в форме авторских курсов по программам, составленным на основе результатов исследований научных школ МГУ. Проводятся традиционные лекции с использованием мультимедийных презентаций, а также лекции-демонстрации проблемного характера, посвященные современным методам изучения фазовых равновесий в многокомпонентных системах;
- использование средств дистанционного сопровождения учебного процесса;
- в ходе семинарских занятий студенты решают задачи, нацеленные на практическое усвоение лекционного материала, обсуждают

предложенные преподавателем проблемы, а также отвечают на вопросы преподавателя;

### 7. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю):

Студентам предоставляется программа курса, план занятий и перечень заданий для самостоятельной работы. По каждой теме указывается материал в источниках из списков основной и вспомогательной литературы, а также из интернет-ресурсов. Дополнительные материалы размещаются на сайте кафедры общей химии:  
[www.chem.msu.ru/rus/teaching/general-spec.html](http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/general-spec.html)

### 8. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и вспомогательной учебной литературы ко всему курсу

#### Основная литература

1. Мешков Л.Л. Введение в физико-химический анализ. – М., 2008 г. – 130 с.
2. Брандон Д., Каплан У. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля. – М.: Техносфера, 2004. – 377 с.
3. Емелина А.Л. Дифференциальная сканирующая калориметрия. – М.: МГУ, 2009. – 42 с.
4. Физико-химический анализ многокомпонентных систем: Учеб. пособие для студентов вузов / Афиногенов Ю.П., Гончаров Е.Г., Семенова Г.В.; Воронеж. Гос. ун-т. – М.: Моск. физ.-техн. ин-т (Гос. ун-т), 2002. – 264 с.
5. Фазовые диаграммы многокомпонентных систем: Учеб. пособие для студентов вузов / Афиногенов Ю.П.; Воронеж. Гос. ун-т. – М.: МФТИ, 2005. – 204 с.
6. Сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ в примерах практического применения: Учеб. пособие для студентов вузов / Криштал М.М., Ясников И.С., Полунин В.И. и др. – М.: Техносфера, 2009. – 206 с.
7. Калмыков К.Б., Дмитриева Н.Е. Сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный анализ неорганических материалов: Метод. пособие для студентов хим. факультета МГУ. – М.: МГУ, 2017. – 58 с.

#### Дополнительная литература

1. Богомолова Н.А. Практическая металлография. М.: Высшая школа, 1978. – 272 с.
2. Сидоров Л.Н., Коробов М.В., Журавлева Л.В. Масс-спектральные термодинамические исследования. М.: МГУ, 1985. – 208 с.
3. Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П. и др. Электронно-зондовые методы изучения материалов. Руководство к лабораторным занятиям. М.: МГУ, 1987. – 140 с.
4. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. М.: МИСИС, 1998.

- Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы:

1. Springer Materials Landolt-Börnstein Database: [www.springermaterials.com/docs/index.html](http://www.springermaterials.com/docs/index.html)

2. База данных «Термические Константы Вещств»: [www.chem.msu.su/cgi-bin/tkv.pl?show=welcome.html](http://www.chem.msu.su/cgi-bin/tkv.pl?show=welcome.html)

## 9. Язык преподавания – русский

### 10. Преподаватели:

д.х.н., профессор Мешков Леонид Леонидович, 8(495)939-17-80;

к.х.н., в.н.с. Кузнецов Виктор Николаевич, [vnk@general.chem.msu.ru](mailto:vnk@general.chem.msu.ru), 8(495)939-35-38;

к.х.н., доцент Кабанова Елизавета Генриховна, [kabanova@general.chem.msu.ru](mailto:kabanova@general.chem.msu.ru), 8(495)939-46-17.

### Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

Образцы оценочных средств для текущего контроля усвоения материала и промежуточной аттестации - экзамена. На экзамене проверяется достижение промежуточных индикаторов компетенций, перечисленных в п.2.

#### Вопросы для экзамена:

1. Физико-химический анализ. Основные понятия. Принцип непрерывности и принцип соответствия.
2. Методы изображения равновесий, применяемые в физико-химическом анализе. Принципы непрерывности и соответствия. Вид кривых состав-свойство в системах эвтектического и перитектического типа (задачи 5 или 6 из сборника).
3. Однокомпонентные системы. Принципы построения диаграммы состояния однокомпонентной системы. Правило фаз Гиббса для однокомпонентной системы. Диаграммы состояния серы и воды.
4. Двухкомпонентные системы. Правило фаз Гиббса для двухкомпонентной системы. Принципы построения ДС по кривым плавкости и охлаждения на примере системы с полной взаимной растворимостью в жидком и твердом состоянии. Определение состава фаз. Правило рычага.
5. Основные типы диаграмм состояния. Термодинамический вывод диаграммы эвтектического типа. Кривые охлаждения и особенности формирования структуры сплавов эвтектического типа.
6. Основные типы диаграмм состояния. Термодинамический вывод диаграммы перитектического типа. Кривые охлаждения и особенности формирования структуры сплавов перитектического типа.
7. Двухкомпонентные системы. Правило фаз Гиббса для двухкомпонентной системы. Принципы построения ДС по кривым плавкости и охлаждения на примере системы с полной взаимной растворимостью в жидком и отсутствием растворимости в твердом состоянии.
8. Правило фаз, зависимости энергии Гиббса от состава и температуры, химические потенциалы. Термодинамический анализ условий равновесия и растворимости компонентов в отдельной фазе.

9. Диаграмма состояния двойной системы с конгруэнтным химическим соединением. Термодинамический вывод. Учение Н.С.Курнакова о сингулярных точках. Соединения постоянного и переменного состава. Вид зависимостей состав-свойство (задача 7 из сборника).
10. Методы физико-химического анализа. Методы определения фазового состава образца. Методы определения составов равновесных фаз.
11. Тройная ДС, образованная системой с непрерывной растворимостью компонентов в твердом и жидком состоянии и двумя системами эвтектического типа. Пути кристаллизации сплавов. Политермические и изотермические сечения.
12. Тройная диаграмма состояния, образованная двумя системами эвтектического типа без растворимости компонентов и системой с полной взаимной растворимостью компонентов друг в друге. Пути кристаллизации сплавов. Изотермические и политермические сечения.
13. Тройная ДС, образованная тремя системами эвтектического типа без растворимости компонентов друг в друге. Пути кристаллизации сплавов. Изотермические и политермические сечения.
14. Кинетические методы построения диаграмм фазовых равновесий. Метод диффузионных пар. Метод суперпозиции диффузионных зон. Теоретические основы и методика экспериментальных исследований.
15. Фазовая диаграмма и микроструктура материала. Микроструктура эвтектических и перитектических сплавов. Ликвация и ее влияние на свойства металлических материалов. Методы получения аморфных сплавов.
16. Прогнозирование n-компонентных диаграмм состояния по информации о строении систем меньшей мерности. Метод графов.
17. Четырехкомпонентные системы: правило фаз Гиббса, способы определения состава. Четырехкомпонентная система с непрерывной растворимостью в жидком и твердом состояниях: изотермические сечения.
18. Представление фазовых равновесий с помощью графов. Полиэдрация изотермического сечения диаграммы фазовых равновесий четырехкомпонентной системе с помощью графов.
19. Четырехкомпонентные системы: правило фаз Гиббса, способы определения состава. Четырехкомпонентная система с тремя изоморфными двойными системами и тремя двойными системами с простой эвтектикой: изотермические сечения.
20. Методы построения изотермических сечений диаграмм фазовых равновесий трехкомпонентных систем (метод равновесных сплавов, кинетические методы).

#### Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Шкала оценивания знаний, умений и навыков является единой для всех дисциплин (приведена в таблице ниже)

<b>ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)</b>				
Оценка \ Результат	2	3	4	5
Знания	Отсутствие	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные	Сформированные систематиче-

	знаний		знания	ские знания
Умения	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения)	Отсутствие навыков	Наличие отдельных навыков	В целом, сформированные навыки, но не в активной форме	Сформированные навыки, применяемые при решении задач

<b>РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)</b>	<b>ФОРМА ОЦЕНИВАНИЯ</b>
<p>Знать: основные законы и закономерности, определяющие направление и результат протекания процессов в гомогенных и гетерогенных системах, способы аналитического представления этих закономерностей.</p> <p>Знать: теоретические основы физико-химического анализа и используемых в нем методов.</p> <p>Знать: принципы работы и устройства приборов и установок, используемых для изучения строения и свойств твердотельных неорганических материалов</p>	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на экзамене
<p>Уметь: на основе информации о строении диаграмм состояния двух-, трех- и многокомпонентных систем выбирать пределы легирования и режимы термической обработки при получении композиционных материалов.</p>	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на экзамене